

Tesis Doctoral

**Comportamiento fisiológico y
agronómico y calidad de la uva
de la variedad tempranillo, en
función de la distancia entre cepas,
en el Valle del Río Duero**



Autor: Enrique Barajas Tola

Unidad de Cultivos Leñosos y Hortícolas



INSTITUTO
TECNOLÓGICO
AGRARIO

Junta de Castilla y León
Consejería de Agricultura y Ganadería

Tesis Doctoral

**Comportamiento fisiológico y agronómico y
calidad de la uva de la variedad tempranillo,
en función de la distancia entre cepas, en el
Valle del Río Duero**

Autor: Enrique Barajas Tola

Unidad de Cultivos Leñosos y Hortícolas

Edita: Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León
© Copyright: Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL Y RECURSOS FORESTALES**

TESIS DOCTORAL

**COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y AGRONÓMICO Y CALIDAD DE LA UVA
DE LA VARIEDAD TEMPRANILLO, EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE
CEPAS, EN EL VALLE DEL RÍO DUERO**

Esta publicación es una versión en formato divulgativo de la memoria de Tesis Doctoral titulada "COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y AGRONÓMICO Y CALIDAD DE LA UVA DE LA VARIEDAD TEMPRANILLO, EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE CEPAS, EN EL VALLE DEL RÍO DUERO", dirigida por el Dr. D. Jesús Yuste Bombín y defendida por **Dr. Enrique Barajas Tola** el 25 de marzo de 2011 en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia de la Universidad de Valladolid, obteniendo la calificación de Sobresaliente *Cum Laude*.



A Ana y a mis hijas Paula y Sofía

Índice

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	19
1. Introducción	19
2. Objetivos	25
3. Desarrollo vegetativo	25
3.1. Efectos de la densidad de plantación	32
4. Procesos fisiológicos	35
4.1. Potencial hídrico	35
4.1.1. Efectos de la densidad de plantación	40
4.2. Conductancia estomática.....	41
4.2.1. Efectos de la densidad de plantación	43
4.3. Transpiración	44
4.3.1. Efectos de la densidad de plantación	46
4.4. Fotosíntesis	47
4.4.1. Efectos de la densidad de plantación	51
5. Productividad global (materia seca)	52
5.1. Efectos de la densidad de plantación	56
6. Rendimiento y sus componentes	57
6.1. Efectos de la densidad de plantación	60
7. Composición de la uva	64
7.1. Efectos de la densidad de plantación.....	68

CAPÍTULO II. MATERIAL Y MÉTODOS	73
1. Caracterización de los ensayos	73
1.1. Localización geográfica.....	73
1.2. Características de los viñedos y del material vegetal.....	74
1.3. Características climáticas.....	75
1.4. Características edáficas.....	83
1.5. Características fenológicas.....	92
2. Protocolo experimental	93
2.1. Tratamientos experimentales.....	93
2.2. Diseño experimental.....	94
2.2.1. Dispositivo experimental.....	94
2.2.2. Unidades experimentales para el estudio de la superficie foliar.....	95
2.2.3. Unidades experimentales para el estudio de la materia seca.....	95
2.2.4. Unidades experimentales para el estudio fisiológico.....	96
2.2.5. Unidades experimentales para el estudio agronómico.....	97
2.3. Operaciones de cultivo.....	97
2.4. Análisis de los resultados.....	100
3. Caracterización de la superficie foliar	101
3.1. Superficie foliar total (LAI).....	101
3.2. Superficie foliar externa (SA).....	103
3.3. Relación entre superficie foliar externa y total, ó índice foliar (IF).....	104
3.4. Superficie foliar y longitud del sarmiento.....	105
3.5. Determinación de la superficie foliar y la materia seca de hojas a partir de su peso fresco.....	106
3.5.1. Área foliar.....	106
3.5.2. Peso fresco y peso seco.....	106
3.5.3. Establecimiento de las relaciones de regresión.....	107
3.5.4. Validación del método.....	107
4. Estudio de los procesos fisiológicos	109
4.1. Procedimiento de medida.....	109
4.2. Seguimientos realizados.....	110
4.3. Técnicas y equipos de medida utilizados.....	112
4.3.1. Potencial hídrico foliar (ψ).....	112
4.3.2. Conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis.....	113

5. Estudio agronómico	114
5.1. Rendimiento y sus componentes	114
5.1.1. Producción de uva.....	114
5.1.2. Peso de la baya	115
5.1.3. Peso del racimo.....	115
5.1.4. Número de bayas por racimo	115
5.1.5. Número de racimos por metro lineal.....	115
5.2. Desarrollo vegetativo	115
5.2.1. Peso de madera de poda	115
5.2.2. Diámetro del tronco	116
5.2.3. Índice de Ravaz.....	116
5.3. Productividad global: Materia seca	117
5.4. Calidad de la uva	118
5.4.1. Determinación del contenido en sólidos solubles totales.	119
5.4.2. Determinación de la acidez total.....	119
5.4.3. Determinación del pH.....	119
5.4.4. Determinación del ácido tartárico	119
5.4.5. Determinación del ácido málico.....	119
5.4.6. Determinación del K ⁺	120
5.4.7. Determinación del Índice de Polifenoles Totales	120
5.4.8. Determinación de la intensidad colorante	120
5.4.9. Determinación de la tonalidad de color.....	121
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	123
1. Caracterización de la superficie foliar	123
1.1. Dimensiones geométricas.....	123
1.2. Superficie foliar total (LAI).....	126
1.3. Superficie foliar externa (SA) y relación SA/LAI (IF).....	134
1.4. Superficie foliar y longitud	138
1.4.1. Superficie foliar del principal – Longitud del principal	138
1.4.2. Superficie foliar de anticipados – Longitud de anticipados	139
1.4.3. Superficie foliar total – Longitud total del sarmiento.....	140
1.4.4. Superficie foliar total – Longitud del principal.....	141
1.4.5. Superficie foliar y Longitud del sarmiento.....	142
1.4.6. Longitud de brotes anticipados según rango.....	143
1.5. Determinación de la superficie foliar y la materia seca de hojas a partir de su peso fresco	144
1.5.1. Peso seco – Peso fresco.....	145
1.5.2. Superficie foliar – Peso fresco	146

1.5.3. Peso seco – Superficie foliar	148
1.5.4. Validación del método.....	150
2. Procesos fisiológicos	153
2.1. Potencial hídrico foliar.....	154
2.2. Conductancia estomática.....	177
2.3. Transpiración	188
2.4. Fotosíntesis	200
3. Productividad global: materia seca.....	211
3.1. Producción global de materia seca.....	211
3.2. Distribución de materia seca en órganos renovables.....	218
3.3. Agostamiento y materia seca en el tallo.....	224
3.3.1. Porcentaje de materia seca en cada fracción del tallo en función del agostamiento.....	225
3.3.2. Distribución porcentual de materia seca en las distintas fracciones del tallo.....	227
4. Comportamiento agronómico	229
4.1. Rendimiento y sus componentes.....	242
4.2. Madera de poda	252
4.3. Crecimiento del tronco	257
4.4. Índice de Ravaz	259
4.5. Relación entre rendimiento y superficie foliar.....	262
5. Composición de la uva	267
5.1. Grado alcohólico probable	268
5.2. Acidez total	272
5.3. pH	276
5.4. Ácido tartárico y ácido málico	280
5.5. Potasio	284
5.6. Índices de color.....	288
5.7. Polifenoles	292
5.7.1. Índice de polifenoles totales.....	292
5.7.2. Antocianos totales	296
5.7.3. Antocianos extraíbles	299
5.7.4. Extractibilidad celular (Ea)	302
5.7.5. Madurez fenólica de las pepitas (Mp).....	305
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....	309
CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA.....	313

Resumen

La tesis doctoral tiene como objetivo general determinar la respuesta productiva y cualitativa de la especie *Vitis vinifera* L. a la **variación de la distancia entre cepas**, manteniendo constante la separación entre filas, en cuatro zonas vitivinícolas tradicionales de Castilla y León, ubicadas a lo largo del valle del río Duero. La variación de la distancia entre cepas pretende la aproximación a su equilibrio vegetativo-productivo para un establecimiento adecuado del viñedo, estudiando los principales parámetros agronómicos y fisiológicos a lo largo del ciclo de la vid.

Los cuatro ensayos experimentales se han situado en los términos municipales de Castrillo de Duero (Valladolid), en la D.O. Ribera del Duero; Pollos (Valladolid), en la D.O. Rueda; Rodilana (Valladolid), en la D.O. Rueda y Toro (Zamora), en la D.O. Toro. Dichos ensayos se han desarrollado durante los años 2005, 2006 y 2007 con vides de la variedad Tempranillo sobre Richter 110, plantadas en el año 2000. Las cepas fueron conducidas en espaldera en cordón Royat bilateral, con orientación de las filas Norte-Sur, y podadas en pulgares a dos yemas. Se ha mantenido la misma carga por metro lineal de espaldera de forma que haya un pámpano por cada 10 cm en los tres tratamientos experimentales estudiados. Dichos tratamientos se han establecido manteniendo un espaciado entre filas de 3 m y han consistido en una distancia entre cepas de 1,2 m en el **tratamiento 1,2** (2.778 cepas.ha⁻¹); de 1,5 m en el **tratamiento 1,5** (2.222 cepas.ha⁻¹) y de 1,8 m en el **tratamiento 1,8** (1.852 cepas.ha⁻¹).

En primer lugar se ha estudiado el efecto de la distancia entre cepas en la superficie foliar total (LAI), tanto en pámpanos principales como en anticipados, y en la superficie foliar externa (SA), así como en la relación entre ambas superficies (SA/LAI). Por otro lado, se ha desarrollado y evaluado una metodología para determinar la superficie foliar del viñedo a partir de las

longitudes del pámpano principal y de los anticipados, basándose en los tres tratamientos experimentales. De igual forma, se ha desarrollado y evaluado una metodología para determinar la superficie foliar y la materia seca de las hojas a partir de su peso fresco.

En segundo lugar, se han analizado las evoluciones diarias y estacionales en hojas externas de los parámetros fisiológicos básicos (potencial hídrico foliar, conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis neta).

En tercer lugar, se ha estudiado la acumulación de materia seca en los órganos renovables de la planta y su distribución. Se ha realizado un estudio de la acumulación de materia seca en el tallo en función del agostamiento, en época de vendimia.

En cuarto lugar, se ha evaluado la respuesta agronómica a la variación de la distancia entre cepas, analizando la producción de uva y sus componentes (peso de baya, peso del racimo, número de bayas por racimo y número de racimos por metro lineal), el peso de madera de poda y la relación entre el rendimiento y la madera de poda, el crecimiento del diámetro del tronco de las cepas, y la relación entre el rendimiento y la superficie foliar.

Por último, se ha analizado la calidad de la uva a través del contenido de sólidos solubles totales, la acidez total, el pH, el ácido tartárico, el ácido málico, el potasio, la intensidad de color y la tonalidad de color, el índice de polifenoles, así como los antocianos fácilmente extraíbles, los antocianos totales, el índice de extractibilidad celular y la madurez fenólica de las pepitas.

La elección de la distancia entre cepas más adecuada dependerá de las particularidades del terreno y de las características medioambientales de la zona, ya que, en general, la variación de dicha distancia no ha mostrado efectos muy definidos en los parámetros estudiados, aunque han sido más notables en las situaciones hídricas más restrictivas que en las menos restrictivas, pues el régimen hídrico más favorable ha atenuado el posible efecto del factor estudiado.

Por tanto, para decidir la distancia entre cepas en una plantación, hay que considerar aspectos tales como el tipo de terreno, la disponibilidad hídrica, los condicionantes económicos y los aspectos legales. En definitiva, en unas condiciones de cultivo determinadas, con mayor o menor disponibilidad hídrica real y legal, la reducción de la distancia entre cepas podría ser

conveniente si el aumento de coste derivado del incremento de número de plantas por hectárea puede ser compensado por el beneficio obtenido a través del ligero aumento de la eficacia productiva con una calidad de uva similar a la de distancias entre cepas mayores, o en ciertos casos, por el beneficio derivado de la mejoría en determinados parámetros específicos de calidad de la uva.

Abstract

The general objective of this Doctoral Thesis is to determine the productive and qualitative response of *Vitis vinifera* L. to the **variation of vine spacing**, keeping the distance between rows, in four traditional wine zones of Castilla y León, located along the Duero river valley. The variation of vine spacing is focused on the approach to its vegetative-productive balance for a proper establishment of vineyard, studying the main agronomic and physiological parameters throughout the annual cycle of the vine.

The four experimental trials have been located in the municipalities of Castrillo de Duero (Valladolid), in the A.O. Ribera del Duero; Pollos (Valladolid), in the A.O. Rueda; Rodilana (Valladolid), in the A.O. Rueda; and Toro (Zamora) in the A.O. Toro. These trials have been developed over the years 2005, 2006 and 2007, with Tempranillo variety grafted onto Richter 110, planted in 2000. Vines were trellis trained and two buds spur pruned as bilateral Royat cordon, with orientation North-South. The same number of buds and shoots per linear meter of row has been maintained in the three treatments applied, with one shoot per 10 cm of cordon. These treatments have been established to maintain a distance between rows of 3 m and consisted on a distance between vines of 1.2 m in the **treatment 1,2** (2.778 cepas.ha⁻¹), 1.5 m in the **treatment 1,5** (2.222 cepas.ha⁻¹) and 1.8 m in the **treatment 1,8** (1.852 cepas.ha⁻¹).

Firstly, it has been studied the effect of distance between vines in total leaf area (LAI), both on principal shoots and lateral shoots, and in external leaf area (SA), as well as in the relationship between both areas (SA/LAI). On the other hand, it has been developed and tested a methodology to determine the leaf area of vineyard from principal shoot and lateral shoots lengths, based on the three experimental treatments. Similarly, it has been developed and tested a methodology to determine leaf area and dry matter of leaves from their fresh weight.

Secondly, the daily and seasonal evolutions of basic physiological parameters (leaf water potential, stomatal conductance, transpiration and net photosynthesis) have been analyzed in external leaves.

Thirdly, the dry matter accumulation in the renewable plant organs and its distribution has been studied. A study of dry matter accumulation in the shoot depending on shoot wood maturation has been performed at harvest time.

Fourthly, it has been evaluated the agronomic response to the change of vine spacing, analyzing the grape production and their components (berry weight, bunch weight, number of berries per cluster and number of clusters per meter), the weight of pruning wood and the relationship between yield and pruning wood, the vine trunk diameter growth, and the relationship between yield and leaf area.

Finally, the quality of grapes has been analyzed through the total soluble solids, total acidity, pH, tartaric acid, malic acid, potassium, colour intensity and colour tone, polyphenols index, as well as easily removable anthocyanins, total anthocyanins, rate of cell extractibility and phenolic maturity of seeds.

The election of the most appropriate distance between vines depend on the particularities of soil and environmental characteristics of the area, since, in general, the variation of this distance has not shown very clear effects on the parameters studied, although these effects have been more remarkable in the more restrictive water situations than in the less restrictive ones, due to the fact that the more favourable water regime has mitigated the potential effect of the factor studied.

Therefore, to choose the distance between vines in a plantation, it necessary to take into account some aspects such as soil type, water availability and economical limitations and legal aspects. To sum up, on certain conditions of vineyard culture, with higher or lower water availability, actual and legal, the reduction of distance between vines might be convenient if the increase of cost due to the increase of number of plants per hectare can be compensated by the benefit achieved through the slight increase in production efficiency with a similar grape quality to the higher distance between vines, or in certain cases, by the benefit coming from the improvement of certain specific parameters of grape quality.

Capítulo I

1 Introducción

Castilla y León tiene una gran tradición y un gran potencial vitícola, siendo la región más extensa de Europa, que cuenta con doce Denominaciones de Origen Protegidas, además de otras comarcas tradicionales, contabilizando aproximadamente una superficie total de viñedo de 74.000 ha.

El viñedo de Castilla y León presenta una panorámica diversa derivada de la propia diversidad de la orografía, la geografía y el clima de una región tan extensa. En general, la viticultura castellanoleonesa está en plena evolución, destacando por encima de todo la transformación creciente del cultivo hacia formas y técnicas con aumento claro de la mecanización y la obtención de productos de alta calidad (Yuste 2007).

Las exigencias actuales del mercado (competitividad, calidad, salubridad, etc.) obligan al sector a plantear nuevas técnicas de cultivo que optimicen la explotación, a fin de obtener productos de alta calidad para poder competir en los mercados nacionales e internacionales (Mota *et al.* 1989, Iannini *et al.* 1991).

A la hora de diseñar una nueva plantación de viñedo, uno de los primeros aspectos que se plantea el viticultor es la elección de la densidad de plantación más adecuada para maximizar la rentabilidad del viñedo. Hoy en día, la apuesta realizada por muchos viticultores persigue la obtención de una producción encaminada, principalmente, al aumento de la calidad de cosecha. Sin embargo, surge la duda importante sobre qué densidad de

plantación es la más adecuada para maximizar la calidad de la uva y optimizar la rentabilidad del viñedo. Esta elección puede resultar decisiva de cara a las posibilidades de éxito de la futura plantación, ya que va a condicionar muchos aspectos técnicos en la gestión del viñedo.

En las principales zonas vitícolas de Castilla y León, el margen de la elección de la densidad de plantación está regulado por los reglamentos correspondientes a cada Denominación de Origen y Vino de Calidad con Indicación Geográfica. Dichos reglamentos dejan un amplio margen de elección del número de plantas por hectárea. En la tabla I.1 y en la figura I.1 se reflejan las principales zonas vitivinícolas de Castilla y León y la densidad de plantación que permiten los reglamentos de cada una de ellas. En cuanto a otras zonas vitícolas que no están amparadas por ninguna Denominación de Origen o Vino de Calidad con Indicación Geográfica, la normativa no recoge las densidades de plantación mínima o máxima que debe tener un viñedo.

El objetivo a alcanzar con la elección de una determinada densidad de plantación debe ser, principalmente, el equilibrio de las cepas, a partir de conjugar varios factores. En primer lugar, la capacidad potencial del suelo en función del tipo de vino a elaborar; en segundo lugar, el material vegetal empleado, prestando especial cuidado en la elección de la variedad, el clon, o el portainjerto más adecuado de acuerdo a las características del suelo y los objetivos pretendidos; y en tercer lugar, las técnicas de cultivo aplicadas en la gestión del viñedo (Pérez 2002). Pero este objetivo general, desde el punto de vista vitícola, no es tan fácil de conseguir como pueda parecer, ya que no existe un método de medida e interpretación de las características del suelo, las cuales influyen tanto en el potencial de las cepas como en las particularidades de la uva para el vino a elaborar. Este hecho refleja la dificultad que se encuentra a la hora de extrapolar los resultados obtenidos con una determinada densidad de plantación de un viñedo a otro, dada la falta de caracterización y de conocimiento de las condiciones de cultivo de cada situación particular (Barajas 2007).

En Castilla y León, la densidad de plantación no se ha modificado prácticamente en las últimas décadas debido a las restricciones de los consejos reguladores o al peso de la tradición (Pérez 2002). Tradicionalmente, la densidad de plantación ha estado condicionada a la maquinaria que el viticultor disponía en la explotación agrícola, lo que limitaba en gran medida las opciones técnicas del cultivo. Sin embargo, actualmente, la viticultura se ha modernizado, y con la utilización de sistemas de conducción apoyados, este condicionante es cada vez menos importante, ya que se dispone de

maquinaria apta para una distancia entre filas más reducida, permitiendo más opciones en la elección del marco de plantación, ya sea en sistemas de conducción apoyados, como la espaldera, o libres, como el vaso (Barajas 2007).

Desde el punto de vista económico, es imprescindible realizar una evaluación de costes previa a la elección de la densidad de plantación. Las densidades de plantación elevadas conllevan mayor coste inicial (mayor número de plantas, tutores, postes, tiempo en operaciones de cultivo, etc.), por lo que habría que estimar, previamente, si el valor de la uva y del vino a producir, en relación a los costes de cultivo, rentabiliza el incremento de la inversión inicial. Por lo tanto, esta evaluación influirá decisivamente en la elección del marco de plantación.

Tabla 1.1. Zonas Vitícolas de Castilla y León con Indicación Geográfica Protegida y densidad de plantación (cepas.ha⁻¹) y número de yemas máximo por hectárea permitido según la Reglamentación de cada zona.

Zona vitícola	Densidad de plantación / hectárea	Nº de yemas máximo
D.O. Arlanza	2.000 mínimo	40.000
D.O. Arribes	2.000 mínimo	Vaso:36.000 Espaldera: 42.000
D.O. Bierzo	3.800 máximo	68.400
D.O. Cigales	1.200-3.000	38.000
D.O. Ribera del Duero	2.000-4.000	40.000
D.O. Rueda	1.200-3.000	40.000
D.O. Tierra de León	1.100-4.000	40.000
D.O. Tierra del vino de Zamora	800-4.500	Vaso: 36.000 Espaldera: 42.000
D.O. Toro	900-2.700	32.000
D.O.P. Sierra de Salamanca	1.300 mínimo	65.000
Vino de Calidad de los Valles de Benavente	900-4.500	Vaso: 36.000 Espaldera: 42.000
D.O.P. Valtiendas	2.000-4.000	40.000



Figura I.1. Mapa de las zonas vitícolas de Castilla y León.

En general, desde el punto de vista técnico, con altas densidades de plantación se pueden obtener racimos de menor tamaño, más sueltos y con bayas más pequeñas (Pérez 2002). Sin embargo, este hecho no implica que se generen vinos de mayor calidad. El equilibrio del desarrollo de la planta en función del potencial del suelo debe ser considerado como el factor principal a la hora de elegir un marco de plantación u otro. Comúnmente se puede admitir que el potencial cuantitativo y cualitativo de un viñedo aumenta con el incremento de intercepción de luz por la superficie foliar, lo que se consigue con un mayor número de filas, hasta el límite máximo que unas filas sombreasen a las otras en sistemas de conducción apoyados como la espaldera, o hasta permitir el paso de maquinaria en sistemas de conducción libre como el vaso (Barajas 2007). Existen otros muchos factores que condicionan el potencial global de un viñedo (recursos hídricos, minerales, mecánicos, etc.) que influyen a la hora de desarrollar mayor o menor superficie foliar, y que hay que valorar detenidamente para establecer una nueva plantación.

En regiones europeas que producen vinos de afamada calidad son comunes los marcos de plantación de 1×1 m o incluso más estrechos. Según Jackson

y Lombard (1993), este marco de plantación puede favorecer una mayor extensión del follaje sobre una superficie determinada y puede permitir que las viñas exploten más eficazmente el volumen de suelo disponible.

En este sentido, Champagnol (1984) cree que una alta densidad de cepas naturalmente pequeñas es la mejor manera de controlar la congestión de un viñedo y de producir vino de calidad. En suelos húmedos y fértiles las raíces aprovechan un volumen de suelo razonablemente grande, pero no es el caso en suelos pobres, donde el marco de plantación denso es más efectivo para conseguir una densidad de raíz adecuada (Galet 1983, Champagnol 1984).

Investigaciones realizadas en Sudáfrica demostraron que el incremento de la densidad de plantación propició un mejor uso de los nutrientes y del agua, pero indujo un mayor estrés por sequía en condiciones muy secas (Archer y Strauss 1989). Al principio de la temporada, las cepas plantadas cerca unas de otras gozaron de una mejor penetración de la luz, pero al final de la temporada sufrieron por el estrés hídrico (Archer y Strauss 1990).

Según los investigadores Branas (1974), Galet (1983) y Champagnol (1984), se consideran tres aspectos fundamentales para obtener éxito en el establecimiento de un viñedo:

- La alta densidad puede reducir el vigor de los sarmientos en suelos y climas donde normalmente el crecimiento no es excesivo. En ese caso, puede proporcionar un microclima ideal para la producción de vino de calidad.
- Un marco de plantación denso en un lugar vigoroso será incapaz de controlar el crecimiento. El crecimiento excesivo resultante en plantaciones poco espaciadas creará un microclima desfavorable. En esas condiciones, lo más apropiado seguramente sea un mayor espaciamiento con planos de vegetación divididos para extender el follaje. Smart *et al.* (1989) sostienen que en estos lugares las viñas grandes tienen una capacidad intrínseca de limitar el vigor del sarmiento.
- En lugares donde el estrés hídrico puede ser importante, se necesita un gran espaciamiento para conservar las reservas de agua disponibles y prevenir la reducción de calidad debida a un estrés excesivo.

Remoue y Lemaitre (1985) afirman que en el comportamiento de la densidad

de plantación se deben tener en cuenta sus dos componentes, la distancia entre líneas o hileras y la distancia entre cepas. La elección de la distancia entre hileras responde a aspectos de mecanización, y la elección de la distancia entre cepas responde a aspectos de poda, carga, manejo de la vegetación, etc.

Pérez-Harvey y Bonilla-Meléndez (1994) sostienen que la densidad de plantación óptima, tanto la distancia entre filas como la distancia entre cepas, dependerá del potencial del suelo, teniendo un efecto importante en el rendimiento y en la calidad del fruto.

La variedad elegida para desarrollar la presente Tesis Doctoral es Tempranillo, por ser la más extendida y difundida en Castilla y León, conocida en Toro con el nombre de Tinta de Toro, mientras que en Cigales y Ribera del Duero es conocida como Tinta del País o Tinto Fino. Esta variedad presenta una dilatada historia en España, habiéndose convertido en los últimos años en la variedad más demandada por la gran calidad que pueden alcanzar sus vinos, con particular vocación para el envejecimiento en madera (Rubio *et al.* 2009). Está presente en la mayoría de las zonas vitícolas españolas y en las denominaciones de origen con más proyección y reconocimiento. Rubio *et al.* (2009) afirman que es una variedad que ha mostrado su primacía en la elaboración de vinos con crianza y que, lejos de conformar vinos uniformes, produce vinos fácilmente distinguibles que integran en cada caso las peculiaridades de cada zona de cultivo.

A partir de este escenario, el Departamento de Viticultura del antiguo Servicio de Investigación y Tecnología Agraria, actualmente englobado en el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla de León, planteó a partir del año 2000 (Alburquerque *et al.* 2006) cuatro ensayos experimentales con la finalidad de conocer los posibles efectos en el desarrollo vegetativo, en el comportamiento fisiológico, en la productividad de la vid, y finalmente, en la calidad de la uva, de tres densidades de plantación, variando la distancia entre cepas y manteniendo constante la distancia entre filas o hileras, en cuatro zonas vitivinícolas tradicionales de Castilla y León ubicadas a lo largo del valle del río de Duero, con unas condiciones de clima, suelo y cultivo determinadas.

2 Objetivos

El objetivo general es determinar la respuesta productiva y cualitativa de la especie *Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo, a la variación de la distancia entre cepas, manteniendo constante la separación entre filas, en cuatro zonas vitivinícolas tradicionales de Castilla y León, ubicadas a lo largo del valle del río Duero. La variación de la distancia entre cepas pretende la aproximación al equilibrio vegetativo-productivo de las cepas para un establecimiento del viñedo adecuado, estudiando los principales parámetros agronómicos y fisiológicos a lo largo del ciclo vegetativo en la vid.

Para alcanzar este objetivo general se han establecido los siguientes objetivos particulares:

- Cuantificar las consecuencias que origina la modificación del espaciamiento entre plantas sobre la fertilidad y la producción de uva.
- Evaluar el desarrollo vegetativo de la variedad Tempranillo en las diferentes densidades de plantación.
- Estudiar el comportamiento fisiológico de las plantas en función de la distancia de plantación entre cepas.
- Analizar los efectos de la densidad de plantación en la calidad de la uva, a través de la composición del mosto del cv. Tempranillo.
- Determinar la distancia entre cepas más adecuada a lo largo de la fila para el mejor aprovechamiento del viñedo de Tempranillo en las distintas zonas de cultivo.

3 Desarrollo vegetativo

El microclima de las plantas se ve modificado en función de la cantidad de follaje que desarrollen. Las hojas captan radiación solar y la transforman emitiendo vapor de agua por transpiración, lo que provoca un cambio en las condiciones de humedad y temperatura en su entorno más cercano. Estos cambios modulan los flujos de calor y de vapor de agua de la vegetación (Pérez 2002), que a su vez variarán en función de la cantidad de superficie foliar desarrollada por la planta (McNaughton 1989).

La importancia del manejo de la superficie foliar ha ido aumentando a medida que se ha ido tecnificando la viticultura, pasando de ser una práctica utilizada inicialmente para controlar el crecimiento, obtener rendimientos sostenibles y controlar enfermedades (Hunter y Archer 2001), a convertirse en una práctica integral, absolutamente esencial en viticultura y enología para la mejora de la calidad de la uva y el vino (Kliewer *et al.* 1988; Smart *et al.* 1990). A pesar de que en la actualidad el control de enfermedades a través del manejo de la masa foliar se considera una práctica secundaria, ésta tiene importantes consecuencias que contribuyen positivamente a la calidad de la uva (Savage y Sall 1983; Thomas *et al.* 1988; Stapleton y Grant 1992; Volschenk y Hunter 2001 a,b).

El desarrollo foliar constituye uno de los factores más importantes a la hora de determinar el potencial productivo global del viñedo (Barajas *et al.* 2007 a). Este desarrollo debe garantizar un determinado nivel de producción de uva de calidad y la acumulación de reservas (Yuste *et al.* 2007 a). Por lo tanto, una buena evaluación de la capacidad productiva de un viñedo puede realizarse a partir de la cuantificación del desarrollo foliar (Baeza y Lissarrague 2001). Sin embargo, la excesiva laboriosidad de la realización de las distintas medidas foliares y la posible inexactitud en los cálculos y en las regresiones que se obtienen, así como la gran variabilidad existente al cambiar las condiciones de cultivo, ha suscitado un interés creciente en la búsqueda de métodos alternativos para la determinación del área foliar (Constanza *et al.* 2004).

Numerosos estudios han puesto de manifiesto la necesidad de aplicar diferentes técnicas para la gestión de la superficie foliar desde el inicio del periodo de crecimiento. Todas las etapas del periodo vegetativo tienen su importancia, debido a los cambios fisiológicos que tienen lugar en la planta, por lo que el modo y el momento en el que se aplican las diferentes técnicas a corto plazo son factores críticos para obtener el resultado deseado (Hunter y Archer 2002).

El objetivo que debe perseguir un correcto manejo de la superficie foliar es obtener un área foliar suficiente y homogénea, de tal manera que la fotosíntesis se lleve a cabo de forma eficiente. La estructura foliar deberá estar formada por sarmientos de igual vigor uniformemente distribuidos que produzcan uvas sanas y de gran calidad, con racimos similares, de tamaño de baya parecido y madurez uniforme (Hunter y Archer 2001 a). De igual forma, resulta de gran importancia que la aplicación de las diferentes técnicas de manejo de la superficie foliar no afecte al crecimiento ni al desarrollo de otras partes de la planta (Hunter y Archer 2002).

La distribución uniforme del follaje dependerá en gran medida de la densidad de sarmientos (Smart 1988), por lo que la gestión de la superficie foliar tiene su inicio real durante el periodo de latencia invernal, con la aplicación de un sistema y unas prácticas de poda correctos (Hunter y Archer 2001 a,b).

La producción fotosintética del viñedo aumenta con el índice de área foliar (LAI) hasta un cierto punto, a partir del cual, el aumento de la densidad de vegetación limita el número de hojas expuestas a radiación directa (Reynier 1995), se amontonan las hojas, y las hojas interiores pueden dejar de ser activas al no disponer de una iluminación mínima (Sánchez 2007).

Aunque se utilicen diferentes sistemas de conducción, resulta necesario conseguir una planta equilibrada, con una superficie foliar eficiente desde el punto de vista fotosintético. Hunter (2000) y Nadal *et al.* (2001) afirman que el control del crecimiento es necesario para que no haya un exceso de pámpanos, y así la sombra interior del follaje sea limitada y exista espacio suficiente para que los sarmientos alcancen un mínimo de 1,4 metros o soporten 16 hojas primarias en la variedad Cabernet Sauvignon. De esta forma, la actividad fotosintética de las hojas dispuestas a lo largo del sarmiento y el transporte de compuestos asimilados pueden aumentar al mejorar las condiciones microclimáticas del follaje y disminuir la proporción entre la fuente y el sumidero, con un manejo de la superficie foliar adecuado (Hunter y Visser 1988; Candolfi-Vasconcelos y Koblet 1990).

Por otro lado, la manipulación de la planta se debe realizar de tal manera que se disponga de suficiente masa foliar para permitir un desarrollo y una maduración de la uva adecuados. Un follaje vigoroso y demasiado abierto puede provocar una utilización ineficiente de la energía (Hunter y Visser 1990 a) y una reducción en la tasa de asimilación de CO₂ (Hunter y Visser 1989).

Resulta evidente la necesidad de integrar buenos procedimientos en la manipulación de la superficie foliar en el ciclo de crecimiento, adaptándola a los requisitos fisiológicos de la vid. La estructura física, el microclima y la fisiología de la planta afectan de forma global a su rendimiento y a su manejo. El desarrollo de la superficie foliar tiene un papel físico y fisiológico sobre el potencial que tiene la planta para producir uva de gran calidad. De esta forma, surgen criterios prácticos necesarios para la creación de un *canopy* eficiente, capaz de satisfacer los requisitos que se derivan de la longevidad de la vid y de la producción de uva para elaborar vinos de gran calidad (Hunter y Archer 2001 b). Estos criterios han sido expuestos y

aceptados por muchos investigadores y se han fijado en función de la fisiología de la vid y de ciertos aspectos vitícolas y enológicos, resultando de fácil valoración en el terreno. Algunos de estos criterios recogidos en la bibliografía consultada son los siguientes (Hunter 2000; Hunter y Archer 2001 a,b; Hunter y Archer 2002):

- Formación de una superficie foliar vertical o ligeramente inclinada en función del sistema de conducción empleado (fundamentalmente espaldera).
- Buena exposición foliar.
- Hojas del interior de la planta ricas en clorofila y sin signos de senescencia temprana.
- Aproximadamente 16 hojas primarias en cada sarmiento.
- Vigor y longitud de sarmientos homogéneos.
- Ausencia de crecimiento activo de los sarmientos después del envero.

En función de las condiciones ambientales y particulares de cada viñedo, una estructura foliar que cumpla los criterios anteriores soportará una gran actividad fotosintética de hojas, una brotación predecible y continuada, yemas fértiles, buen rendimiento, uva de gran calidad y buen control de plagas y enfermedades (Hunter y Archer 2002).

En este sentido, para conseguir una masa foliar de esta forma y manifestar todo el potencial de la vid en el rendimiento y la calidad de la uva, sin comprometer con ello su longevidad, se requerirá una estrategia global. Esta estrategia debe basarse en operaciones a largo plazo bien seleccionadas y bien implementadas (selección del lugar y tipo de suelo, combinación portainjerto-variedad, densidad de plantación, sistema de conducción, etc.), por un lado, y en ciertas técnicas de manejo de la superficie foliar (poda, eliminación de sarmientos infértiles, colocación de sarmientos, despunte, aclareo de racimos, etc.), por otro (Hunter y Bonnardot 2002). Todo ello forma parte de una estrategia global de manejo estacional que contemple el momento y el método de irrigación, la manipulación de la masa foliar y la vendimia (Hunter y Archer 2001 b).

El área foliar expuesta es un parámetro de gran importancia en el manejo de

la masa foliar y la proporción entre el área foliar expuesta y la materia seca se ha establecido como un indicador para obtener el contenido de azúcar deseado (Kliewer y Weaver 1971; Hunter y Visser 1990 a,b; Carbonneau 1995; Murisier 1996). De igual forma, el área foliar total de la cepa es también muy importante en relación con la producción de carbohidratos y la composición de la baya, e influye directamente sobre el microclima de los racimos (Hunter y Visser 1990 a,b; Katerji *et al.* 1994; Hunter 2000) y es dependiente del vigor de la planta, que a su vez es función del estado hídrico de la planta y de la fertilización nitrogenada (Conraide 1980; Hardie y Martin 2000; Lebon 2001).

Existen diferentes parámetros biométricos que pueden caracterizar el vigor de una planta, el área foliar, el amontonamiento del follaje, el número y el diámetro de los sarmientos y el peso de la madera de poda. Según Carbonneau (1987), el peso de madera de poda no es una medida que refleje verdaderamente el vigor de una planta y sí una buena indicación de la fracción de materia seca acumulada en los sarmientos (Lopes y Castro 1989). Muchos estudios ecofisiológicos de la vid determinan que el conocimiento de la superficie foliar es indispensable para comprender la respuesta de la planta e indicar el potencial cualitativo de los distintos sistemas de conducción (Lopes y Pinto 1998).

En este sentido, el desarrollo foliar tiene gran importancia a la hora de determinar el potencial productivo global del viñedo. Por lo tanto, una buena evaluación de la capacidad productiva de un viñedo puede realizarse a través de la cuantificación de la superficie foliar (Baeza y Lissarrague 2001).

Según la bibliografía consultada, existen diferentes métodos de cuantificación de la superficie foliar, que pueden ser directos o indirectos. Los métodos directos se basan en la medida directa sobre la superficie foliar de los sarmientos. Los indirectos, sin embargo, se fundamentan en la realización de medidas de otros parámetros, que no sea la superficie foliar, y que se relacionan con ésta a través de diferentes regresiones con mayor o menor precisión. Los diferentes métodos y procedimientos de cálculo del área foliar pueden ser, a su vez, destructivos o no destructivos, es decir, que conlleven la eliminación de la superficie foliar, o que, por el contrario, la conserven.

A continuación se indican algunos de los métodos y procedimientos indirectos que se recogen en la bibliografía consultada.

- Medidas de penetración luminosa a través del plano de vegetación

(Granz y Williams 1993; Sommer y Lang 1994; Olivera y Santos 1995; Ollat *et al.* 1998; Patakas y Noitsakis 1999).

- Modelos que utilizan ceptómetros que miden la radiación directa (Wünsche *et al.* 1995).
- Modelos que utilizan el Plant Canopy Analyzer (PCA) basado en la medida de la radiación difusa (Johnson y Lars 2004).
- Modelos empíricos donde el desarrollo del área foliar es calculado en función de la temperatura (Schultz 1992; Bindi *et al.* 1997).
- Modelos basados en el análisis de imágenes (Dobrowski *et al.* 2002; Johnson *et al.* 2003).

Estos métodos indirectos son rápidos, pero la mayoría de ellos necesita aparatos económicamente muy costosos, que requieren, frecuentemente, calibraciones y protocolos de uso muy específicos (Ollat *et al.* 1998). Además, cuando se aplican a masas foliares muy densas subestiman la superficie foliar (Cohen *et al.* 2000). Otra desventaja añadida de estos métodos es que no distinguen la superficie foliar de las hojas del tallo principal de la de las hojas de los anticipados.

Los métodos directos destructivos están basados en medidas realizadas sobre hojas y/o pámpanos. Consisten en la defoliación del pámpano y la posterior medida en el laboratorio con medidores de área foliar u otros procedimientos que relacionen otros parámetros con la superficie foliar (Sepúlveda y Kliewer 1983). Estos métodos resultan fáciles y seguros pero son muy laboriosos y reducen el área foliar de la planta disminuyendo la fotosíntesis global de la cepa.

Los métodos directos no destructivos consisten en medir el área foliar con aparatos portátiles, de elevado coste económico y de gran dificultad de manejo en el campo. Otros procedimientos no destructivos están basados en las relaciones empíricas entre el área foliar y otros parámetros que pueden medirse directamente de una forma fácil sobre la masa vegetal. Hay varios modelos matemáticos que se han propuesto para determinar el área foliar de forma no destructiva:

- Modelos basados en la longitud del nervio central de la hoja (Carbonneau 1976 a; Lopes y Pinto 2000).

- Métodos basados en la longitud de los pámpanos principales (Schultz 1992).
- Modelos basados en la longitud y la anchura de la hoja más grande (Smith y Kliewer 1984; Elsner y Jubb 1988).

El método no destructivo establecido por Carbonneau (1976 a) es sencillo y seguro, pero para estimar el área foliar total se deben medir los nervios centrales de las hojas de los pámpanos principales y de las hojas de los anticipados, lo cual resulta un trabajo muy laborioso.

Para intentar superar este problema, Carbonneau (1976 b) propuso medir una de cada tres hojas consecutivas, tratando de no perder fiabilidad en la estimación. De igual modo, Barbagallo *et al.* (1996) proponen un modelo empírico para estimar el área foliar de las hojas del pámpano principal basándose únicamente en la medida de tres hojas: la más grande, la apical y una intermedia. Este método permite una reducción de las hojas a medir pero sólo considera las hojas del pámpano principal y no especifica como medir las hojas de los brotes anticipados, a pesar de que esta superficie foliar puede representar una importante proporción de la superficie foliar total, especialmente si el vigor de la cepa es elevado (Huglin y Schneider 1998).

Mabrouk y Carbonneau (1996) desarrollaron un método para estimar el área foliar por sarmiento basado en la relación entre el área foliar y la longitud del sarmiento principal y de los anticipados. La simplicidad de este modelo lo hace apropiado y de uso común, ya que no necesita de ningún equipamiento especial. Sin embargo, la longitud del sarmiento principal no está siempre bien correlacionada con el área foliar (Lopes y Pinto 2000; Tregoat *et al.* 2001).

Lopes y Pinto (2000) proponen otro modelo empírico para estimar el área foliar por sarmiento, el cual incluye cuatro variables: la longitud del sarmiento, el número de hojas principales, el área de la hoja mayor y el área de la hoja más pequeña. Para estimar la superficie foliar de los brotes anticipados, estos autores proponen un método similar, que considere a cada brote anticipado como si estuviera compuesto por una sola hoja. A pesar de su buena precisión, estos modelos sólo pueden aplicarse al final de la fase de crecimiento foliar, de manera que no proporcionan información en las primeras etapas del desarrollo vegetativo.

Yuste *et al.* (2006) y Barajas *et al.* (2007 a) proponen otros modelos de estimación de la superficie foliar a partir del peso fresco o del peso seco de

las hojas de sarmiento a través de regresiones entre estos parámetros y el área foliar por sarmiento. De igual forma, Barajas *et al.* (2007 b), Barajas *et al.* (2008) y Yuste *et al.* (2008) desarrollan otro método para estimar la superficie foliar basado en la longitud del sarmiento tanto del tallo principal como de los brotes anticipados. Para aplicar este método, estos investigadores proponen medir la longitud del pámpano principal y de los brotes anticipados hasta un rango determinado, ya que estiman que un porcentaje bastante constante (aproximadamente 60%) de la superficie foliar de los brotes anticipados está desarrollada en los 6 primeros rangos del sarmiento principal en Tempranillo.

3.1 Efectos de la densidad de plantación

Hidalgo y Candela (1966) afirman que a medida que aumenta la densidad de plantación, las cepas tienen menor capacidad individual y disminuye la relación entre madera y uva. Estos investigadores observaron que el peso de madera de poda de cada cepa disminuye a medida que aumenta la densidad de plantación. De igual forma, esta tendencia fue observada en la producción de uva por cepa.

Según Champagnol (1979), la elección de la densidad de la plantación, tanto la distancia entre cepas como la distancia entre filas, depende fundamentalmente de la fertilidad del suelo. El aumento de la densidad de plantación permite una mejor exploración del suelo y una disminución del vigor de la planta. Estos aspectos son favorables para la calidad de la uva, pero una densidad de plantación demasiado elevada provoca un amontonamiento de la vegetación. Una densidad de plantación baja puede producir un recubrimiento vegetal más heterogéneo. Una forma de limitar los efectos de la sequía es limitar la evaporación y eventualmente la transpiración reduciendo la masa vegetal a través de la disminución de la densidad de plantación. La disminución de la densidad de plantación reduce el déficit hídrico, ya que cuanto más denso sea el sistema radicular y más profundas sean las raíces, mayor será la cantidad de agua extraída del suelo por cada planta, ya que la superficie foliar se adapta, por lo general, a las posibilidades de absorción del agua existente. Champagnol (1979) recomienda densidades de plantación elevadas en terrenos pobres, densidades medias en terrenos fértiles y densidades bajas en terrenos fértiles y clima cálido a fin de evitar el amontonamiento excesivo de la vegetación.

Remoue y Lemaitre (1985) observaron que el peso de madera de poda por cepa aumenta con el espaciamiento sobre la línea, pero el incremento de la madera de poda (kg/cepa) que se produce cuando se separan las hileras es

mucho más importante que cuando se separan las cepas dentro de la línea. En este sentido, Turkington *et al.* (1980) trabajando con distintas distancias entre cepas, observaron que las cepas plantadas a 1,2 m presentaban un peso de madera de poda por cepa menor que las plantadas a 2,1 m. De igual forma, Wiebe y Bradt (1973) obtuvieron valores de peso de madera de poda por cepa más elevados en las densidades de plantación intermedias.

Chaves (1986) señala que viñedos con bajas densidades de plantación pueden mantener, desde el punto de vista vegetativo y de la producción, cargas por hectárea análogas a viñedos con mayor densidad de plantación. De igual forma, Murisier y Zufferey (1996) afirman que un aumento de la carga en bajas densidades de plantación puede aumentar el área foliar por cepa y ser similar a densidades de plantación más elevadas. Sin embargo, Nikov (1987) y Reynolds *et al.* (1994) señalan que el área foliar por cepa no se ve afectada significativamente por la carga. Miller y Howell (1998) no observaron una correlación entre el número de pámpanos por cepa y el área foliar por cepa en la variedad Concord a finales del ciclo vegetativo en la misma densidad de plantación. Según Murisier y Zufferey (1996) y Reynolds *et al.* (1994), el área foliar de las hojas principales por cepa debería aumentar con una carga mayor, mientras que el área foliar de los anticipados por cepa se mantiene igual.

Las densidades de plantación elevadas presentan valores de LAI mayores (Belvini *et al.* 1986; Carbonneau 1993), pero al reducir la distancia entre cepas y la distancia entre líneas, es decir al aumentar la densidad de plantación, se reduce el vigor individual de las plantas y la relación entre madera de poda y uva, siendo las plantas más débiles según Hidalgo y Candela (1966). Resultados contrarios encontraron Nadal y Lampreave (1999) trabajando con las variedades Cabernet Sauvignon y Chardonnay con tres densidades de plantación (2.000, 3.000 y 4.000 cepas.ha⁻¹). Estos investigadores observaron que el vigor en las tres densidades de plantación era casi idéntico, y que éstas presentaron pocas variaciones en los parámetros vegetativos.

Hunter (1998 a,b), trabajando con la variedad Pinot noir sobre 99R con seis densidades de plantación (3×3 m; 3×1,5 m; 2×2 m; 2×1 m; 1×1 m y 1×0,5 m), observó que el microclima en la zona de racimos empeoraba en las densidades de plantación más altas (1×1 m y 1×0,5 m), al disminuir la intensidad de luz y el flujo del aire y aumentar la humedad relativa, con el consiguiente aumento de la incidencia de plagas y enfermedades (Smart *et al.* 1990). A medida que se acorta el espaciamiento entre cepas existe mayor competencia entre ellas, presentando un sistema radicular más pequeño, por lo que se convierten en cepas más pequeñas con menor capacidad

individual. En cambio, dicho autor obtuvo anchuras de vegetación muy similares en las seis densidades de plantación (Hunter 1998 a,b).

De igual forma, Archer (1991) trabajando con la variedad Pinot noir con las mismas densidades que Hunter, en un suelo con potencial medio, observó que el aumento de la densidad de plantación incrementaba la densidad radicular. Con altas densidades de plantación aumenta la utilización o el aprovechamiento del agua y de los nutrientes del suelo. Esta circunstancia induce a un estrés hídrico más temprano en condiciones de secano o no riego en densidades más elevadas, observándose un menor desarrollo vegetativo con las consiguientes consecuencias sobre el microclima del *canopy* (Archer 1999). Con distancias entre plantas más pequeñas, el *canopy* es menos denso debido al menor vigor o crecimiento de los pámpanos. Esta circunstancia favorece la eficiencia fisiológica y la mejor penetración de la luz en la zona de racimos al principio del ciclo. Al final del ciclo, con espaciamientos entre plantas más amplios la situación es la contraria, habiendo mayor eficiencia fisiológica debido a que el suelo no se ha vaciado de agua tanto como en las densidades de plantación más elevadas (Archer y Strauss 1990).

Pérez (2002) afirma que el aumento de la densidad de plantación contribuye al aumento de la superficie del plano de vegetación, a la vez que a un ligero aumento de la superficie foliar total (LAI) y externa (SA) por metro cuadrado de suelo y a una mejor distribución espacial de la masa vegetativa. Este investigador, trabajando con la variedad Tempranillo y dos densidades de plantación (2,2×1,15 m y 2,7×1,4 m) y dos regímenes hídricos (secano y regadío), observó diferencias significativas en el LAI entre los dos regímenes hídricos pero no entre las densidades de plantación, aunque sí observó diferencias estadísticamente significativas entre densidades de plantación en la superficie foliar externa (SA).

Intrieri *et al.* (2003 a), trabajando con la variedad Pignoletto sobre SO4 con 4 distancias entre cepas de 0,75 m, 1 m, 1,25 m y 1,5 m y una misma distancia entre filas de 4 m, y a su vez con 5 formas diferentes de gestión del suelo, observaron que las distintas distancias entre cepas no mostraban diferencias entre sí, con valores de los parámetros vegetativos muy parecidos entre tratamientos. En cambio, sí encontraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos de gestión de suelo, que resultaban determinantes como elementos reguladores del equilibrio vegetativo-productivo del viñedo. En este sentido, el factor distancia entre cepas se mostró escasamente determinante.

De la misma forma, Peterlunger *et al.* (2003), trabajando con la variedad Sauvignon blanc sobre SO4 con 4 distancias entre cepas de 1,4 m, 1,2 m, 1

m y 0,8 m y una distancia entre filas de 2,9 m, observaron valores muy parecidos de desarrollo vegetativo en los tres primeros tratamientos de distancia entre cepas (1,4 m, 1,2 m y 1 m). En cambio, el tratamiento de 0,8 m presentó valores muy altos de desarrollo foliar por metro cuadrado de suelo, con un índice de Ravaz de 3,3 frente a 4,5 del tratamiento de 1,4 m, evidenciando un excesivo amontonamiento de la vegetación del espaciamiento más corto. En cuanto al peso de madera de poda por metro lineal, Peterlunger *et al.* (2003) obtuvieron el mayor valor ($4,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$) en el tratamiento de 1 m y el menor ($3,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$) en el tratamiento de 0,8 m.

Silvestroni *et al.* (2003), trabajando con la variedad Verdicchio y dos distancias entre cepas (0,7 m y 1,6 m) y con la variedad Montepulciano y dos distancias entre cepas (0,5 m y 1,5 m), obtuvieron resultados de peso de madera de poda por metro lineal muy similares, sin observar diferencias estadísticamente significativas entre las dos distancias entre cepas estudiadas en cada variedad.

En definitiva, la influencia de la densidad de plantación, y concretamente la distancia entre cepas, sobre el desarrollo vegetativo en la variedad Tempranillo no ha sido objeto de un estudio pormenorizado. Teniendo en cuenta que las referencias encontradas en otras variedades y en otras regiones vitícolas muestran resultados muy heterogéneos, el presente trabajo pretende aportar una referencia útil de dicho aspecto en diferentes situaciones de cultivo de Tempranillo en el valle del río Duero.

4 Procesos fisiológicos

4.1 Potencial hídrico

El movimiento del agua desde el suelo al aire, a través de la planta, se puede explicar por la existencia de potenciales a lo largo de este recorrido (Azcón-Bieto y Talón 2000). De forma esquemática, el movimiento del agua en la planta se resume en cuatro pasos: suelo-raíz, raíz-tallo, tallo-hoja (a través de los pecíolos) y hoja-atmósfera (Choné *et al.* 2001).

El potencial hídrico, compuesto por los potenciales de presión, osmótico, matricial y gravitacional (Passioura 1980; Turner 1981), es el parámetro fisiológico que explica el balance entre los flujos de absorción y de transpiración en agua por medio de la energía necesaria para extraer el agua contenida en los tejidos foliares (Albuquerque 1993).

Este parámetro influye significativamente sobre otros procesos fisiológicos que ocurren en la planta, como la asimilación de CO₂ y la actividad enzimática (Castel 1982). La actividad fisiológica que tiene lugar en la planta viene determinada por los mecanismos de intercambio gaseoso que ocurren en la hoja. De esta forma, la fotosíntesis, la conductancia estomática y la transpiración están interrelacionadas entre sí (Novello y Cravero 1987).

La cámara de presión es un instrumento fiable para determinar el potencial hídrico en el xilema de los tallos y en las hojas (pecíolos) (Guardiola y García 1990). La medida del potencial hídrico foliar consiste en estimar, mediante la utilización de un gas inerte aplicado a presión sobre una hoja, la capacidad de las células para retener el agua (Ojeda *et al.* 2004). Mientras menos agua libre haya en la planta, más fuerte será la presión necesaria para hacerla salir.

Con dicha cámara existe la posibilidad de realizar la medida antes del amanecer, cuando los estomas de las hojas están cerrados y la planta ha podido reequilibrar durante la noche su estado hídrico en relación al agua del suelo (Katerji y Hallaire 1984; Van Zyl 1987; Carbonneau y Ollat 1991; Lebon y Schultz 1996; Deloire *et al.* 2003 a,b), que se denomina potencial hídrico antes del amanecer o potencial hídrico de base, y en la hora de máxima iluminación, cuando hay regulación estomática y la planta está en plena actividad (transpiración, fotosíntesis, etc.), denominándose potencial hídrico de mediodía (Pérez 2002). La mayor homogeneidad de las condiciones microclimáticas durante la noche permite obtener valores de potencial hídrico con menor variabilidad que en las medidas realizadas a lo largo del día (Van Leeuwen *et al.* 2001). El valor del potencial hídrico a lo largo del día es el resultante de los diversos mecanismos de regulación del estado hídrico de las hojas de un cultivo que se localiza en un suelo con un determinado potencial hídrico y en un ambiente con una determinada demanda atmosférica (Van Zyl y Weber 1977).

Es difícil establecer a partir de qué valor de potencial hídrico disminuye la fotosíntesis, ya que varía según el hábitat, el historial de la planta en ciclos precedentes, las condiciones ambientales actuales (Sánchez 2007), la variedad (Schultz 1996; Escalona *et al.* 1999), el patrón (Iacono *et al.* 1998) y la edad foliar (Patakas *et al.* 1997), entre otros factores. Diferentes autores han observado un valor crítico del potencial hídrico a partir del cual el cierre estomático se intensifica. Zufferey (2000) afirma que la actividad fisiológica se ve disminuida en gran medida a partir de valores de potencial hídrico foliar de -1,0 MPa para la variedad Chasselas. Düring y Loveys (1982) señalan que la actividad estomática se reduce a partir de valores de potencial hídrico foliar de -1,1 MPa para la variedad Riesling y -1,4 MPa para la variedad Silvaner. La resistencia a la difusión del CO₂

aumenta cuando el potencial hídrico foliar es menor de -1,1 MPa según Grimes y Williams (1990), de -1,3 MPa según Kriedemann y Smart (1971), Smart (1974 a) y Naor *et al.* (1994), o de -1,5 MPa según Van Zyl (1987).

Existen trabajos que indican que el potencial hídrico foliar puede verse modificado y sufrir cambios significativos dependiendo de la variación de algunos factores. En este sentido, Choné *et al.* (2001) afirman que el potencial hídrico foliar puede verse modificado en función del tipo de suelo, ya que suelos arcillosos darán valores menos negativos que suelos arenosos y con gravas. Otros trabajos muestran la importancia de las condiciones ambientales sobre el comportamiento del potencial hídrico foliar, ya que éste puede variar en función del nivel de saturación luminosa (Liu *et al.* 1978), de la colocación espacial de la hoja dentro del *canopy* (Schultz y Matthews 1992) y de los distintos órganos de la planta (Smart 1974 a).

El potencial hídrico foliar es uno de los parámetros de control y seguimiento del estado hídrico del viñedo más aceptado por la comunidad científica y por el sector (Carbonneau 1998; Ojeda *et al.* 2001; Deloire *et al.* 2004). Numerosos investigadores han dado valores de referencia de potencial hídrico para conocer la restricción hídrica que está soportando el viñedo. En la tabla I.2 se recogen los valores de referencia de potencial hídrico foliar medido antes del amanecer (ψ_{aa}) dados por Carbonneau (1998) en Deloire *et al.* (2006), y en la figura I.2 se recogen los estados hídricos óptimos para la vid en relación al momento del ciclo vegetativo y a la intensidad de la restricción hídrica dados por Ojeda (2007) y basados en trabajos de Carbonneau (2002), Williams y Araujo (2002) y Sibille *et al.* (2005).

Tabla I.2. Valores de potencial hídrico (MPa) medido antes del amanecer (ψ_{aa}) y estado hídrico de la vid correspondiente (según Carbonneau 1998).

ψ_{aa} (MPa)	Estado hídrico de la vid
0 a -0,2	restricción hídrica ausente a leve
-0,2 a -0,4	restricción hídrica leve a media
-0,4 a -0,6	restricción hídrica media a fuerte
-0,6 a -0,8	restricción hídrica fuerte a severa
< -0,8	restricción hídrica severa

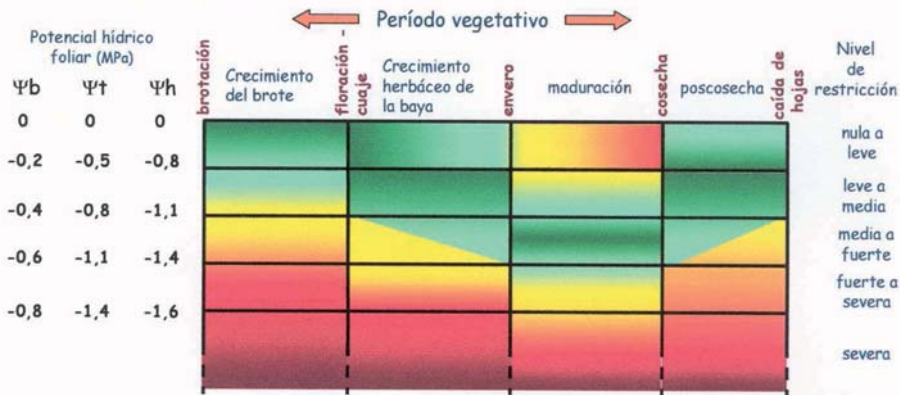


Figura I.2. Estados hídricos óptimos (zonas en verde), desfavorables (zonas en amarillo) y perjudiciales (zonas en rojo) en función del periodo vegetativo del viñedo. Niveles de restricción hídrica expresados en MegaPascales (MPa) para potencial hídrico medido antes del amanecer (ψ_b), potencial hídrico de tallo al mediodía solar (ψ_t) y potencial hídrico foliar al mediodía solar (ψ_h) (Ojeda 2007). Equivalencias entre valores de tipos de potencial basadas en trabajos de Carbonneau (2002), Williams y Araujo (2002) y Sibille *et al.* (2005).

El potencial hídrico foliar medido durante el transcurso del día permite describir la dinámica de deshidratación de la vid. Esta dinámica de desecamiento (vaciamiento de la reservas de agua de la planta) depende principalmente de la reserva de agua del suelo y, por consecuencia, del estado hídrico de la planta al amanecer (potencial hídrico antes del amanecer), del sistema de conducción (LAI, SA y IF), de la variedad, de las prácticas culturales y de la evapotranspiración (Deloire *et al.* 2006).

En la figura I.3 se recoge el modelo de evolución diaria del potencial hídrico foliar dado por Deloire *et al.* (2006). El potencial hídrico foliar alcanza un valor mínimo (negativo) durante el transcurso del día, que depende del potencial hídrico antes del amanecer. Para valores de ψ_{aa} entre 0 y -5 bares, el ψ mínimo puede ser alcanzado entre las 13 y las 16 (hora solar). Para valores de ψ_{aa} inferiores a -6 bares, el ψ mínimo se alcanza generalmente entre las 12 y las 14 (hora solar), o incluso más temprano durante la mañana (Deloire *et al.* 2004).

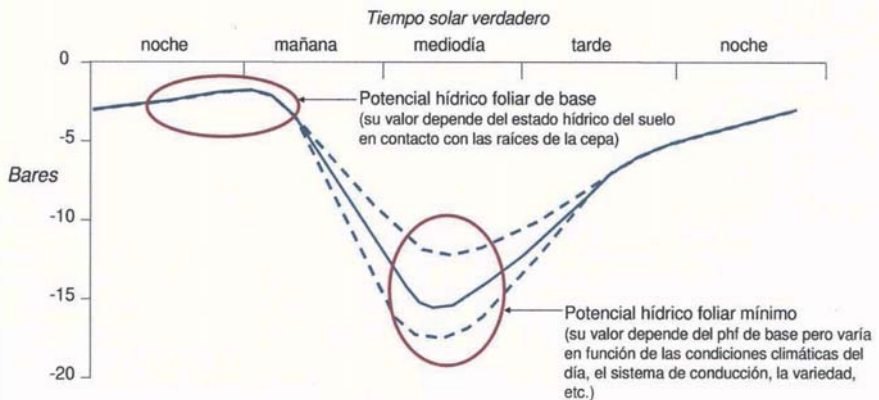


Figura I.3. Modelo de evolución diaria del potencial hídrico foliar y momentos de ocurrencia de los potenciales hídricos antes del amanecer (potencial hídrico de base) y mínimo en una planta de vid (Deloire *et al.* 2006).

Las relaciones entre el potencial medido antes del amanecer y el potencial mínimo no son lineales (Carbonneau 2002; Carbonneau *et al.* 2003), es por ello necesario asociar ambos potenciales para analizar de forma más precisa la evolución hídrica de la planta y comprender las consecuencias de las restricciones hídricas sobre su fisiología (fotosíntesis, etc.) y sobre la dinámica de maduración de las bayas (Deloire *et al.* 2006).

En este sentido, Poni *et al.* (1993), trabajando con la variedad Pinot noir, encontraron una relación lineal entre el potencial hídrico antes del amanecer y el contenido de agua en el suelo. Van Leeuwen y Seguin (1994) relacionaron el potencial hídrico antes del amanecer con muchos de los parámetros del ciclo vegetativo y reproductivo de la vid, como longitud del sarmiento, peso de la baya, compuestos fenólicos, antocianos, etc. Bartolomé *et al.* (1995) señalaron que hay una influencia negativa de los valores bajos de potencial hídrico en la fisiología de la vid, y en particular en la fotosíntesis (Dettori y Spano 1990).

En la numerosa bibliografía consultada existen dos tendencias a la hora de determinar qué tipo de potencial hídrico es el más fiable para conocer el estado hídrico de la vid. Hay autores que estiman que el potencial hídrico antes del amanecer es el mejor indicador del estado hídrico de las cepas (Katerji y Hallaire 1984; Van Zyl 1987; Carbonneau y Ollat 1991; Yuste 1995; Lebon y Schultz 1996; Di Lorenzo *et al.* 2005). Otros autores afirman que el mejor indicador del estado hídrico de la cepa, sobre todo en condiciones de secano, es el potencial hídrico de tallo (Choné *et al.* 2001). En cambio,

Williams y Araujo (2002) indican que el indicador que mejor describe el estado hídrico de la planta es el potencial hídrico foliar medido a las 12:00 hora solar.

4.1.1 Efectos de la densidad de plantación

Lopes (1994) afirma que el estado hídrico de la vid varía en función de la fase del ciclo vegetativo y de la disponibilidad de agua del suelo. En este sentido, Archer (1991) trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación (1×0,5 m; 1×1 m; 2×1 m; 2×2 m; 3×1,5 m y 3×3 m) observó valores de potencial hídrico antes del amanecer muy similares al principio del ciclo en las 6 densidades de plantación estudiadas, mientras que al final del ciclo los espaciamientos más estrechos estaban sometidos a un estrés hídrico más severo, con valores de ψ_{aa} más negativos.

En este sentido, Hunter (1998 a,b), trabajando con la variedad Pinot noir y con las mismas densidades de plantación que Archer (1991), observó que las densidades de plantación más elevadas se vieron sometidas a un mayor estrés hídrico durante el periodo de maduración, con valores de potencial hídrico más negativos que las densidades de plantación más bajas. De igual forma, Hunter (1998 b) observó diferencias entre espaciamientos en la concentración de ácido abscísico (ABA) en la savia del xilema, con mayor concentración de este ácido en las densidades de plantación más elevadas. Según Loveys y Kriedemann (1974), las altas concentraciones de ácido abscísico (ABA) están asociadas con el estrés hídrico y el cierre estomático que soporta la planta, de manera que la disminución de los valores de potencial hídrico actuaría como un amplificador de esa señal química en la hoja, siendo el ABA el compuesto más sólidamente referenciado como tal señal (Düring *et al.* 1996).

Pérez (2002), trabajando con la variedad Tempranillo con dos densidades de plantación (2,7×1,4 m y 2,2×1,15 m) en regadío y secano, observó valores similares de potencial hídrico antes del amanecer al principio del ciclo vegetativo entre densidades y regímenes hídricos. Al final del ciclo, en maduración, obtuvo valores claramente más negativos de ψ_{aa} en la alta densidad en secano. De igual forma, Pérez (2002) observó diferencias entre regímenes hídricos al final del ciclo, con valores de ψ_{aa} más negativos en el secano en ambas densidades de plantación estudiadas.

El comportamiento del potencial hídrico foliar medido en diferentes momentos del día en distintas densidades de plantación, y más

concretamente en distintas distancias entre cepas dentro de la línea, ha sido escasamente objeto de estudio en general. Los trabajos realizados por Intriери *et al.* (2003 a), Peterlunger *et al.* (2003) y Silvestroni *et al.* (2003) estudian el comportamiento agronómico de diferentes densidades de plantación a través de la modificación de la distancia entre cepas dentro de la línea, pero no estudian el comportamiento del potencial hídrico foliar en función de la distancia entre cepas. El presente trabajo pretende aportar una referencia de dicho aspecto en diferentes condiciones de cultivo de la variedad Tempranillo a lo largo del valle del río Duero.

4.2 Conductancia estomática

La conductancia estomática está fuertemente correlacionada con el microclima luminoso y térmico de las hojas cuando no existen limitaciones hídricas (Carbonneau *et al.* 1978, Sepúlveda y Kliwer 1986). Düring y Loveys (1996) afirman que el aumento de conductancia estomática que se produce a primeras horas de la mañana es debido, principalmente, a la luz. De igual forma, la relación entre la conductancia estomática y la luz también ha sido reflejada por otros autores, como Naor y Wample (1994), Iacono *et al.* (1995) y Lovisolo *et al.* (1996).

Smart y Robinson (1991) resumen el efecto de las condiciones luminosas en el comportamiento estomático, ya que los estomas se abren y se cierran como respuesta a la luz. La apertura estomática comienza al amanecer con muy bajas intensidades de luz, de tal forma que cuando se alcanzan los 200 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ los estomas están completamente abiertos. A medida que avanza el día, la iluminación y la temperatura aumentan, y la humedad relativa desciende, provocando que la planta aumente el nivel de transpiración. Si en estas condiciones la planta es incapaz de translocar el agua suficiente para cubrir unas necesidades crecientes, cerrará total o parcialmente los estomas. Avanzada la tarde, si las condiciones ambientales vuelven a ser propicias, la planta abrirá de nuevo sus estomas. Por último, al atardecer, como consecuencia de la caída de la luz, los estomas se cerrarán y permanecerán en esa situación durante toda la noche.

La apertura estomática no es homogénea, algunos estomas pueden estar completamente abiertos y otros total o parcialmente cerrados (Düring y Stoll 1996 a,b). La apertura máxima sólo se produce en condiciones poco habituales: sin limitación hídrica, con iluminación máxima y humedad relativa elevada (Champagnol 1984).

El cierre estomático es necesario para que la planta se defienda de la

limitación hídrica (Bartolomé 1993) si la demanda evaporativa supera la oferta, de tal manera que incluso con agua en el suelo, los estomas se cierran (Champagnol 1984). Investigadores como Correira *et al.* (1990) y Flexas *et al.* (1998) afirman que el cierre estomático se produce antes de que el potencial hídrico foliar experimente cambio alguno.

Pérez (2002) afirma que la conductancia estomática disminuye a lo largo de la estación en función del potencial hídrico foliar, es decir que cuanto más negativo es el potencial hídrico menor es la conductancia estomática.

Van Zyl (1987) y Koundouras *et al.* (1999) encontraron una correlación significativa entre la conductancia estomática y el potencial hídrico medido antes del amanecer. Koundouras *et al.* (1999) observaron que la conductancia estomática disminuye a lo largo de ciclo en función del potencial hídrico medido antes del amanecer (ψ_{aa}), de forma que con valores de ψ_{aa} muy negativos, el valor máximo de conductancia estomática es menor. Estos investigadores determinan que la conductancia estomática es el indicador más sensible del estado fisiológico global de la planta.

En este sentido, Cuevas (2001) señala que la conductancia estomática explica en gran medida la tasa de fotosíntesis neta por unidad superficial de hoja en condiciones no limitantes de PAR, siendo de tipo logarítmico la relación entre ambos parámetros. Este autor afirma que la conductancia estomática es mejor indicador que el potencial hídrico foliar para estimar el estado hídrico de la planta.

El comportamiento de la conductancia estomática durante el día ha sido estudiado por varios investigadores. Archer y Strauss (1990), Bartolomé (1993) y Yuste (1995) observaron dos máximos a lo largo del día en los valores de conductancia estomática, a las 9:00 hs y a las 15:00 hs, y un mínimo al mediodía. Según Salisbury y Ross (1994) este comportamiento estomático corresponde a plantas con condiciones de cultivo de regadío. En cambio, Düring y Loveys (1982) y Pérez (2002) observaron un único máximo a las 9:00 hs en la evolución diaria de la conductancia estomática. En este sentido, Salisbury y Ross (1994) afirman que la evolución diaria de la conductancia estomática con un único máximo a las 9:00 hs corresponde a un comportamiento estomático de plantas con poca disponibilidad hídrica en el suelo.

Por otra parte, el comportamiento de la conductancia estomática varía en función del régimen hídrico (Pereira y Chaves 1993), siendo la apertura estomática mayor en las plantas con mayor disponibilidad hídrica (Williams

et al. 1994, Koundouras *et al.* 1999). En este sentido, Pereira y Chaves (1993) afirman que el potencial hídrico foliar es similar en cepas con distinta disponibilidad hídrica mientras que la conductancia estomática varía en mayor medida en diferentes regímenes hídricos.

Lopes (1999) afirma que en condiciones de estrés, el potencial hídrico foliar explica sólo una pequeña parte de las variaciones de la conductancia estomática y de la fotosíntesis. En este sentido, Sánchez-Díaz y Aguirreola (2000) indican que la conductancia estomática es relativamente insensible a la fluctuación diaria del potencial hídrico foliar, y que durante el día es la conductancia estomática la que controla el potencial hídrico foliar mediante una alteración de la tasa de transpiración.

4.2.1 Efectos de la densidad de plantación

Archer y Strauss (1990), trabajando con seis densidades de plantación diferentes, observaron evoluciones diarias de la conductancia estomática distintas en función de la iluminación recibida por las hojas. Así, en las hojas soleadas observaron dos máximos a media mañana y a media tarde, con un mínimo a mediodía. La evolución diaria de la conductancia estomática en las hojas sombreadas alcanzó un único máximo a mediodía. Sepúlveda y Kliewer (1986) afirman que los valores tan bajos de conductancia estomática a mediodía son debidos, principalmente, al potencial hídrico foliar más negativo inducido por una alta temperatura en la hoja en ese momento del día, lo que provoca el cierre de los estomas.

Hunter (1998 b), trabajando con seis espaciamientos diferentes con la variedad Pinot noir, encontró diferencias en algunos parámetros ambientales al modificar la densidad de plantación, de manera que en los espaciamientos más pequeños la intensidad de luz y el flujo de aire disminuyeron y la humedad del *canopy* aumentó. En los espaciamientos más estrechos las hojas sombreadas contribuyeron más a la conductancia estomática total, en la fase de maduración, que en el caso de espaciamientos más anchos (Archer y Strauss 1989, 1990).

Archer y Strauss (1990), trabajando con seis densidades de plantación, obtuvieron valores de conductancia estomática más bajos en los espaciamientos más pequeños, sobre todo cuando el contenido de agua en el suelo disminuyó considerablemente. Esto fue debido, en gran medida, al mayor estrés hídrico soportado por las densidades de plantación más altas. Sepúlveda y Kliewer (1986) obtuvieron resultados similares trabajando con

la variedad Chenin blanc, ya que observaron menor conductancia estomática en las densidades de plantación más elevadas (1,0×0,5 m y 1,0×1,0 m) y mayor en la densidad de plantación más baja (3,0×3,0 m).

En la bibliografía consultada, el comportamiento de la conductancia estomática en función de la densidad de plantación, y más concretamente la variación de la distancia entre cepas, no ha sido objeto de un estudio amplio. Por ello, este trabajo pretende aportar datos de referencia para futuros trabajos en esta línea de investigación.

4.3 Transpiración

La transpiración es la última fase del movimiento del agua a través del sistema formado por el suelo, la planta y la atmósfera. Este movimiento es ocasionado por un gradiente decreciente de potencial hídrico desde el suelo, a través de la planta y hacia la atmósfera (Begg y Turner 1976, en Yuste 1995).

La transpiración se entiende como el paso del vapor de agua desde las células del mesófilo hacia la atmósfera con la consiguiente pérdida de agua para la planta (Azcón-Bieto y Talón 2000). A medida que disminuye el contenido de agua se reduce el potencial hídrico foliar, llegando a un punto en que induce un cierre parcial de los estomas, el cual determina la reducción de la transpiración que se observa al mediodía (Guardiola y García 1990).

La intensidad de la transpiración depende de las diferencias de presión de vapor de agua entre la atmósfera y la cámara subestomática. Cuando desciende la temperatura, el aire pierde capacidad para almacenar agua, aumentando su humedad relativa, como consecuencia disminuye el déficit de presión de vapor de agua y baja la transpiración, aunque la planta mantenga sus estomas abiertos. Las condiciones opuestas, ascenso de la temperatura, disminución de la humedad relativa o aumento del déficit de presión de vapor, tienden a elevar la tasa de transpiración hasta situaciones límite en las que la planta cierra estomas (Agabbio 1978, Flore *et al.* 1985, Lakso 1985, Novello y Cravero 1987, González 2003). Por todo ello, la medida de la temperatura puede proporcionar un método fácil para determinar el estado hídrico de las vides (Williams y Grimes 1987), ya que existe una relación entre el estado hídrico de la planta, el entorno evaporativo y la disponibilidad de agua en el suelo (Smart 1974 b).

La transpiración de la vid está estrechamente correlacionada con la iluminación (Riou *et al.* 1994), aumentando hasta un umbral de saturación

marcado por una densidad de flujo de fotones fotosintéticos de $1.200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Intrieri *et al.* 1998 a).

La tasa de transpiración de una hoja puede variar considerablemente a lo largo del día, de manera que extrapolar la pérdida de agua de una sola hoja al resto de la planta sólo sería posible si se conociese la posición exacta de dicha hoja dentro del *canopy* (Williams y Matthews 1990). Smart (1974 b) observó niveles de transpiración distintos en hojas del interior respecto a hojas del exterior del *canopy*, ya que los estomas de las hojas interiores no estaban totalmente abiertos, principalmente debido a la baja iluminación interceptada en el interior del follaje. En este sentido, Champagnol (1984) afirma que la transpiración es proporcional a la radiación recibida, por lo tanto cuando la radiación aumenta, a las horas centrales del día, ésta calienta la superficie foliar de la cepa y aumenta la transpiración. Al aumentar la temperatura se favorece la transpiración al hacer disminuir la humedad relativa y hacer que aumente la tasa de transpiración (Rosenberg *et al.* 1983, Barceló *et al.* 1987).

De igual forma, Pérez (2002) y Rubio (2002) observaron que la tasa de transpiración es considerablemente mayor en cepas regadas que en cepas no regadas. En este sentido, Boselli y Scienza (1980) observaron, en condiciones de estrés hídrico, una tendencia a conservar la mayor cantidad posible de agua contenida en los tejidos reduciendo la transpiración a través del cierre estomático, con valores de transpiración muy bajos. Magrisso (1987) observó un descenso de la tasa de transpiración de 5,5 veces cuando el nivel de desecación de suelo alcanzaba el 69%. Según Yuste (1995), las diferencias entre las tasas de transpiración de vides regadas y no regadas, en general se acentúan al avanzar el día y la estación como consecuencia de la reducción de la disponibilidad hídrica diaria (dependiente de los flujos diarios y de la rehidratación nocturna) y estacional (dependiente del agotamiento del agua en el suelo).

En este sentido, investigadores como Bartolomé (1993) y Baeza (1994) obtuvieron valores de transpiración muy variables en hojas soleadas, que fueron desde $1 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en secano en maduración hasta $28 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en regadío en el estado de tamaño guisante. Kliewer *et al.* (1985) observaron que en cepas no regadas, la transpiración disminuye de forma importante a partir de las 8:00 hs de la mañana, mientras que en cepas regadas crece desde primeras horas de la mañana hasta las 14:00 hs en que alcanza su valor máximo, empezando a decrecer a partir de las 16:00 hs.

Pérez (2002), trabajando con la variedad Tempranillo, observó que la evolución estacional de la tasa de transpiración alcanzó un máximo en julio, y posteriormente descendió hasta septiembre debido a una menor demanda evapotranspirativa en el periodo que va de tamaño guisante a maduración. Los valores de transpiración medidos a las 9:00 hs por este investigador variaron de $1 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en maduración a $14,4 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en tamaño guisante.

4.3.1 Efectos de la densidad de plantación

La densidad de plantación influye en la densidad radicular según Hidalgo y Candela (1966) y Champagnol (1984). La evolución de la transpiración es función de la densidad de raíces y del potencial hídrico, de tal manera que para potenciales hídricos de suelo medios la transpiración es menor cuando la densidad de raíces aumenta (Champagnol 1979).

Baeza (1994) señala que la transpiración, al igual que la conductancia estomática, muestra una respuesta dependiente de la superficie expuesta (SA) y de la intensidad luminosa recibida.

Archer y Strauss (1990), trabajando con seis densidades de plantación ($1 \times 0,5 \text{ m}$; $1 \times 1 \text{ m}$; $2 \times 1 \text{ m}$; $2 \times 2 \text{ m}$; $3 \times 1,5 \text{ m}$ y $3 \times 3 \text{ m}$) en la variedad Pinot noir, encontraron que la tasa de transpiración aumentaba ligeramente de floración a tamaño guisante y decrecía de tamaño guisante a maduración en todos los tratamientos. Estos investigadores no encontraron diferencias estadísticamente significativas en las tasas de transpiración entre las diferentes densidades de plantación estudiadas a lo largo de cada periodo y de cada estación. Los valores más bajos de transpiración fueron observados en las densidades de plantación $1 \times 0,5 \text{ m}$ y $1 \times 1 \text{ m}$ y los más altos en $3 \times 3 \text{ m}$, de manera que, como en la conductancia estomática, se ha asociado la transpiración baja a los potenciales hídricos más negativos de los espaciamientos más estrechos. De igual forma, estos investigadores observaron que la tasa de transpiración de las hojas expuestas al sol fue relativamente baja al amanecer, al mediodía y al atardecer, y alcanzó un máximo a mitad de la mañana y a mitad de la tarde. Encontraron tasas de transpiración que variaron entre $1,1 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en maduración y $6,6 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en tamaño guisante en hojas soleadas, y entre $0,9 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en maduración y $4,0 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en tamaño guisante en hojas sombreadas, en los seis espaciamientos con los que trabajaron.

Pérez (2002), trabajando con la variedad Tempranillo y dos densidades de

plantación (2,7×1,4 m y 2,2×2,15 m), observó tasas de transpiración ligeramente más altas en el espaciamiento de 2,7×1,4 m que en el de 2,2×2,15 m. Estas diferencias entre la baja y la alta densidad responden al aumento de gradiente de presión de vapor entre la superficie y el aire, probablemente más acusado en las plantas situadas a mayor distancia.

En la bibliografía consultada no se han encontrado muchas referencias relativas al estudio del comportamiento de la transpiración de diferentes densidades de plantación, y más concretamente de la variación de la distancia entre cepas dentro de la línea. Por ello, la presente tesis doctoral espera aportar referencias aprovechables para futuros trabajos orientados hacia esta línea de investigación.

4.4 Fotosíntesis

La fotosíntesis neta es el balance entre fijación, fotosíntesis propiamente dicha, y pérdidas de carbono por respiración, y viene determinada por la eficiencia del sistema fotosintético y por su capacidad de adaptarse a las condiciones ambientales (Haasbroek *et al.* 1997). Se obtiene midiendo la disminución de CO₂ en una atmósfera determinada, gracias a la propiedad que tiene esta molécula de absorber radiación infrarroja (González 2003).

Champagnol (1984) indica que la fotosíntesis se estima cuantificando la radiactividad fijada a compuestos orgánicos (azúcares y otros metabolitos), cuando las plantas se encuentran en una atmósfera cuya única fuente de carbono es el CO₂. La fotosíntesis se expresa en cantidad de CO₂ fijada por unidad de superficie foliar y por unidad de tiempo (mg.m⁻².s⁻¹ ó μmol.m⁻².s⁻¹).

La vid es una planta con metabolismo C3 (Champagnol 1984) cuya actividad fotosintética está condicionada por numerosos factores climáticos y fisiológicos, como la intensidad luminosa, la temperatura, la edad y el tipo de la hoja, etc. (Zufferey y Murisier 2000).

En la figura I.4 aparece la curva que representa la fijación neta de carbono en función del PAR incidente sobre hojas adultas en la variedad Chasselas observada por Zufferey y Murisier (2000). Presenta una primera fase en que la asimilación aumenta más rápidamente que la densidad de flujo de fotones fotosintéticos, pero su pendiente va disminuyendo hasta entrar en una fase de saturación, en la que la fotosíntesis neta tiende a su valor máximo y presenta dos puntos característicos (González 2003). El primer punto, el índice de saturación luminosa (I_s), refleja el valor de PAR en que la

asimilación neta es máxima ($A_{m\acute{a}x}$). Desde el punto de vista práctico, dicho valor se considera alcanzado cuando la fotosíntesis neta casi no varía, aunque aumente mucho el flujo de fotones fotosintéticos. Otro punto característico es el punto de compensación (I_c), que corresponde al valor de PAR en que no hay asimilación neta, es decir, cuando las pérdidas de carbono por respiración equilibran a la fijación fotosintética (González 2003).

Los valores de I_s e I_c dependen de diversos factores: variedad, temperatura, edad, orientación y aclimatación de las hojas, condiciones de medida, estado hídrico, etc.

En este sentido, Zufferey y Murisier (2000) indican que la forma de la curva que relaciona la fotosíntesis neta con la iluminación se ve afectada por las condiciones de temperatura ambiental. Al aumentar la temperatura aumenta la velocidad de las reacciones metabólicas, de manera que la fotosíntesis, como proceso anabólico, se debe beneficiar del aumento térmico siempre que éste se mantenga dentro de un rango determinado.

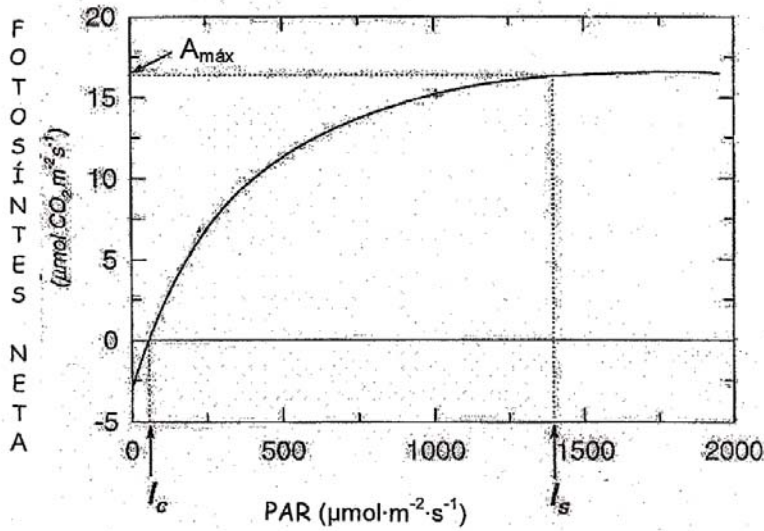


Figura I.4. Representación esquemática de la influencia de la iluminación (PAR) en la fotosíntesis neta de hojas adultas del cv. Chasselas, medida a temperatura óptima (25 a 30 °C). $A_{m\acute{a}x}$: asimilación neta máxima, I_s : índice de saturación luminosa. I_c : punto de compensación (Zufferey y Murisier 2000).

En este sentido, Kliewer y Smart (1971), citados por Carbonneau *et al.* (1992), afirman que existe una relación entre la temperatura y la humedad, indicando que cuando la temperatura supera los 30 °C la fotosíntesis disminuye rápidamente como consecuencia del cierre estomático. La temperatura ejerce una acción sobre la fotosíntesis a nivel estomático y a nivel de cloroplasto indicando que entre 10 y 25 °C manifiesta un claro efecto estimulante, pero más allá del óptimo disminuye la fotosíntesis por inhibición progresiva de la actividad enzimática, sobre todo a partir de los 30 °C (Carbonneau *et al.* 1992). Jackson y Lombard (1993) establecen un rango de temperatura óptima amplia, entre 18 y 33 °C. Champagnol (1984) indica que en condiciones frías, la fotosíntesis medida a 10 °C se reduce entre la tercera y la cuarta parte del valor máximo, pero si esta temperatura se mantiene durante mucho tiempo, la fotosíntesis disminuye aún más.

Zufferey y Murisier (2000), trabajando con la variedad Chasselas, observaron que la temperatura afecta de manera diferente a la fotosíntesis según la edad de la hoja y el momento del ciclo. Estos autores indican el intervalo óptimo de temperatura entre 27 y 30 °C para alcanzar la asimilación máxima, a saturación lumínica, en hojas adultas del tallo principal entre floración y envero.

La actividad fotosintética máxima se va desplazando, en el tallo principal, a lo largo del ciclo anual, desde la base hacia la sumidad debido al envejecimiento de las hojas (Schubert *et al.* 1995, Iacono y Sommer 1996, Koblet *et al.* 1996). Esta es la causa de que las hojas de los anticipados sean generalmente más eficaces que las de su mismo rango en el tallo principal (Champagnol 1984), por lo que su situación dentro de la cubierta vegetal es importante para la fotosíntesis a nivel de toda la planta (Schultz 1995). En este sentido, Koblet *et al.* (1996), trabajando con las variedades Pinot noir y Müller Thurgau, indican que durante la maduración, las hojas de los anticipados tienen mayores tasas de asimilación neta que las de la zona de racimos, observando diferencias desde un 4% en floración a un 65% en vendimia. Las hojas alcanzan su máxima fotosíntesis neta cuando llegan a su tamaño definitivo y partir de ese momento dicha tasa disminuye gradualmente con su edad (Vasconcelos y Castagnoli 2000).

De igual forma, las hojas sombreadas muestran valores menores de fotosíntesis neta y conductancia estomática que las hojas soleadas, como observaron Iacono *et al.* (1995) trabajando con la variedad Cabernet Sauvignon y Schultz *et al.* (1996) trabajando con la variedad Riesling.

La evolución diaria de la fotosíntesis, en días claros y en hojas bien expuestas a la luz, aumenta desde primeras horas de la mañana hasta alcanzar un

máximo y disminuye posteriormente durante el resto del día o se recupera parcialmente por la tarde (Bartolomé 1993, Baeza 1994, Lopes *et al.* 1994, Yuste 1995, Gómez del Campo 1998). Este comportamiento durante las primeras horas del día se debe al aumento de la iluminación, la temperatura y la conductancia estomática, y posteriormente, a un progresivo cierre estomático (alta temperatura, aumento del déficit de presión de vapor, disminución del potencial hídrico) (Champagnol 1984).

La tasa máxima de fotosíntesis se puede producir, dependiendo del contenido de agua en el suelo y del microclima luminoso de las hojas, desde primeras horas de la mañana (Bica y Novello 1995, Yuste 1995, Gómez del Campo 1998), al mediodía (Baeza 1994) o entrada la tarde (Bartolomé 1993), pues puede ocurrir que las condiciones ambientales vuelvan a ser favorables (temperaturas más bajas y recuperación del potencial hídrico), observándose un segundo máximo relativo en la tasa de fotosíntesis, con una nueva apertura de los estomas pero con iluminación decreciente (Yuste 1995).

La evolución estacional de la fotosíntesis aumenta al principio del ciclo hasta alcanzar un máximo a media estación y posteriormente disminuir hasta la caída de la hoja (González 2003).

Al principio del ciclo, la fotosíntesis es insuficiente para cubrir la demanda respiratoria de la planta, ya que las hojas no han alcanzado su total desarrollo, de manera que la fotosíntesis aumenta pero el crecimiento es muy intenso, por lo que se compensa con la movilización de reservas (González 2003).

Al principio del verano, la planta ha desarrollado una superficie foliar suficiente y las condiciones ambientales (temperatura, iluminación, humedad en el suelo, etc.) son ideales para que tenga lugar una tasa de fotosíntesis elevada (Champagnol 1984). Posteriormente, las condiciones ambientales óptimas disminuyen y la tendencia de la fotosíntesis es descendente, como han puesto de manifiesto numerosos investigadores (Bartolomé 1993, Baeza 1994, Ferrini *et al.* 1995, Yuste 1995 y Pérez 2002).

A medida que avanza el verano, el contenido de agua en el suelo disminuye y las hojas reducen la fotosíntesis y provocan una parada en el crecimiento. A partir de ese momento, la asimilación comienza a descender y el destino de los fotoasimilados es la respiración, la maduración y la acumulación de reservas (Champagnol 1984). Si el contenido del agua en el suelo no es limitante, el descenso de la tasa de fotosíntesis se atenúa en los meses de verano (Yuste 1995).

Por último, después de la vendimia y hasta la caída de la hoja la fotosíntesis sigue descendiendo debido a las condiciones ambientales (disminuye la iluminación, la temperatura y la duración del día) y al envejecimiento de las hojas (Champagnol 1984).

4.4.1 Efectos de la densidad de plantación

Archer y Strauss (1990) indican que la fotosíntesis neta es el resultado de la contribución individual y colectiva de las hojas, de manera que cada una de éstas se ve afectada por una serie de factores medioambientales, biológicos y fisiológicos. Los factores medioambientales, como la luz solar, la temperatura y la humedad, tienen un importante efecto en la fotosíntesis de la vid. En este sentido, las variaciones en el potencial hídrico foliar, la menor intensidad luminosa, la disminución del flujo aéreo y la humedad más alta en los *canopies* de las densidades más altas, pueden contribuir en gran medida a disminuir la tasa de asimilación de CO₂ (Hunter y Visser 1988, Hunter *et al.* 1995, Hunter 1998 b).

En la bibliografía consultada existen dos posturas diferenciadas sobre cuál es la densidad de plantación que optimice la actividad fotosintética:

- Menor actividad fotosintética en las densidades más altas. Autores como Hunter (1998 b), que trabajó con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación, encontró valores de fotosíntesis menores en los espaciamientos menores (2,0×1,0 m; 1,0×1,0 m y 1,0×0,5 m) acompañados por un incremento de la transpiración, debido a las condiciones microclimáticas menos favorables del *canopy*. Del mismo modo, Slavtcheva (1996) dice que la tasa fotosintética aumentó cuando el espacio entre filas se incrementó.
- Menor actividad fotosintética en las densidades más bajas. Esta tendencia es debida principalmente a una menor captación de radiación solar por la superficie foliar, como consecuencia de las pérdidas ocasionadas por el suelo descubierto, y a una mayor densidad de hojas, resultante de cubiertas foliares más densas (Mota *et al.* 1989).

La tasa de fotosíntesis tiene un comportamiento similar a la conductancia estomática y a la transpiración (Yuste 1995, Pérez 2002). Archer (1991), trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación, observó que en general las hojas soleadas presentaban mayores tasas de fotosíntesis que las hojas sombreadas. En este sentido, Champagnol (1979)

indica que en las horas centrales del día las hojas soleadas son sometidas a condiciones desfavorables (temperatura y humedad), por lo que su tasa de asimilación de CO_2 puede ser sensiblemente menor a la de las hojas sombreadas que reciben menor energía. De esta forma, la intensidad fotosintética de las hojas al sol a mitad del día puede ser casi nula, mientras que a dicha hora la de las hojas a la sombra puede ser máxima.

Pérez (2002), trabajando con la variedad Tempranillo, observó que la mayor tasa de fotosíntesis a nivel de hoja se produjo en las cepas situadas a mayor distancia con respecto a las cepas situadas más próximas, circunstancia relacionada con la mayor disponibilidad de suelo de cada cepa en baja densidad a pesar de tener mayor superficie foliar externa individual. La superficie foliar total y externa, por metro cuadrado de suelo, fue mayor en alta densidad, ocasionando situaciones de mayor estrés hídrico, con potenciales hídricos, en general, más negativos en los espaciamientos más estrechos, lo cual conduce a una reducción de la tasa de fotosíntesis unitaria (Yuste *et al.* 2007 b).

Por último, cabe preguntarse en qué medida los niveles más altos de fotosíntesis que pueden verse observados en las bajas densidades de plantación compensan la menor superficie foliar por metro cuadrado de suelo observada en dichos espaciamientos más anchos. En esta línea, se pretende contribuir a mostrar los posibles efectos en la tasa de fotosíntesis de la variación de la distancia entre cepas.

5 Productividad global (Materia seca)

Todos los productos de la vid tienen su origen en los azúcares producidos por la fotosíntesis. De esta forma, la fotosíntesis neta será igual a la masa de azúcares fotosintetizados (fotosíntesis bruta) menos la cantidad consumida por la respiración y transformada en energía, CO_2 y H_2O , en los procesos de biosíntesis y mantenimiento. Por lo tanto, la fotosíntesis neta es igual a la cantidad de azúcares invertida en la materia seca total: vegetativa y productiva (Sánchez 2007).

Existen numerosos investigadores que han estudiado la producción de materia seca y su distribución en los distintos órganos de la vid. En este sentido, Miller *et al.* (1997) indican que existe una estrecha relación entre la materia seca total producida por cepa y la tasa de fotosíntesis neta de toda la planta. Así, Howell (2001) señala que la fotosíntesis global de la planta está

estrechamente relacionada con el aumento de peso seco de la cepa. Guardiola y García (1990) afirman que la producción global de materia seca que es capaz de obtener una planta representa su capacidad de transformación energética de la radiación solar a través de la fotosíntesis. Baeza (1994) señala que la cantidad de materia seca elaborada por el cultivo representa la productividad real de la planta. Yuste (1995) sostiene que el análisis de la biomasa de los órganos renovables de la planta, expresada en materia seca, es una forma objetiva de evaluar el crecimiento y el desarrollo y cuantificar, en unas determinadas condiciones, el potencial productivo de la vid. Gómez del Campo (1998) indica que la cantidad neta de CO₂ asimilado por un vegetal durante un periodo de tiempo puede cuantificarse a través de la materia seca acumulada durante ese periodo.

Por lo tanto, aquellos factores que influyen en la actividad fotosintética también lo hacen en la materia seca formada, como son la radiación, la temperatura, la disponibilidad de agua, la variedad y la superficie foliar, entre otros. Así, la materia seca producida y acumulada por una planta es una medida global de su actividad fotosintética, que además integra todos aquellos factores físicos y biológicos que durante el ciclo han afectado a la productividad global o a la asimilación neta (Sánchez 2007).

Por otro lado, se ha encontrado una relación lineal entre la acumulación de materia seca en las raíces y la acumulación en el tronco (Williams 1996), y entre la acumulación de materia seca en las raíces y la acumulación en el brote (Gómez del Campo 1998).

Gómez del Campo (1998), en ensayos con plantas jóvenes en maceta, observó que la biomasa acumulada en estructuras permanentes se situaba entre un 14%, en condiciones de no estrés hídrico, y un 19%, bajo estrés hídrico. En plantas adultas, Mullins *et al.* (1992) obtuvieron porcentajes del 16%, mientras que Araujo y Williams (1988) cifraron acumulaciones del 24% solamente en raíces.

Mientras que la productividad total de materia seca depende de la fotosíntesis global de la cepa, la materia seca acumulada en un órgano depende del volumen de asimilados dirigidos hacia el desarrollo de dicho órgano (Sánchez 2007). Las relaciones fuente a sumidero expresan los intercambios entre los órganos productores y los consumidores (Carbonneau 1996). La interacción entre el clima, el tamaño del *canopy* y la distribución de la superficie foliar definen en último término el tamaño de la fuente, es decir el área foliar funcional (Poni *et al.* 2006).

El transporte de fotoasimilados desde las hojas expandidas sigue el mismo modelo que su actividad fotosintética. Al principio de su crecimiento la hoja es un sumidero (“parasita”), pero a medida que va desarrollándose, el grado de parasitismo va disminuyendo hasta que se hace nulo y pasa a ser una fuente, siendo mayor lo que exporta que lo que importa y contribuyendo al crecimiento global de la cepa (Sánchez 2007).

La fuerza o capacidad del sumidero para la acumulación de metabolitos queda definida por su tamaño y actividad, y varía a lo largo del ciclo (Miller *et al.* 1996 a). La hoja deja de ser sumidero y pasa a ser fuente cuando alcanza alrededor de la mitad de su tamaño. Los nietos se comportan como hojas jóvenes hasta que una o dos de sus hojas se hacen adultas, desde cuyo momento dejarán de importar asimilados (Koblet 1975, en Hunter *et al.* 1994). Los racimos son un sumidero importante durante el ciclo, sin embargo su demanda se hace fuerte cuando la velocidad de división celular se hace máxima (Coombe y Iland 1986).

La producción de materia seca del *canopy* depende de la variedad (Gómez del Campo 1998), del portainjerto, del sistema de conducción (González 2003), del régimen hídrico (Yuste 1995, Sánchez-Llorente 2004, Centeno 2005) y de la carga (Sipiora 2005), entre otros factores.

Sánchez (2007), en su amplia revisión bibliográfica, indica que el crecimiento inicial del pámpano depende de las reservas de carbohidratos en tronco, brazos y raíces. Williams (1996) sostiene que el crecimiento del pámpano deja de depender de las reservas en algún momento antes de floración y que depende del nivel de reservas por pámpano y del número de hojas con el 50% de su tamaño final y, por tanto, exportadoras de asimilados. Normalmente, la materia seca de las raíces y del tronco disminuye entre desborre y floración (Gómez del Campo 1998), al tiempo que aumenta la materia seca de los elementos renovables. Durante dicho periodo, la materia seca total de la planta de vid no aumenta (Miller *et al.* 1996 b), indicando que la materia seca perdida por los elementos permanentes es utilizada para sostener el crecimiento de los elementos renovables (Sánchez 2007).

La materia seca media acumulada en los racimos no presenta un incremento importante hasta cuajado (Sipiora 2005). Posteriormente, tras el cuajado, los racimos son los sumideros principales (Coombe 1992, Mullins *et al.* 1992). En el periodo de maduración se han definido dos fases de acumulación de materia seca en los racimos, de forma que el ritmo de acumulación cambia a partir de los 750-1000 grados-día en la variedad Tempranillo, pasando el

racimo a ser el principal sumidero y frenándose así la acumulación de materia seca vegetativa (Sipiora 2005).

En este sentido, Sipiora (2005) elaboró pequeños modelos de acumulación de materia seca, en órganos renovables, en función de la integral térmica. Según este autor, la acumulación de materia seca vegetativa en función de la integral térmica siguió un comportamiento sigmoideal, mientras que la acumulación de materia seca en los racimos se ajustó a una función cuadrática desde desborre hasta vendimia y a una función lineal a partir de floración. Sin embargo, la regresión lineal establecida entre la acumulación de materia seca en el conjunto de órganos renovables del *canopy* y la integral térmica fue la más significativa. A pesar de ello, Sipiora (2005) apunta que este modelo lineal de la acumulación de materia seca en la cepa no tiene en cuenta los cambios de ritmo en la acumulación, como por ejemplo el pequeño periodo de transición entre acumulación de materia seca aportada por las reservas y aportación de materia seca procedente de la fotosíntesis foliar.

Sipiora (2005) concluye que el comportamiento de la acumulación de materia seca del *canopy* fue más parecido al de la acumulación en racimos, demostrando la importancia del número de racimos o sumideros sobre la productividad de las cepas. Esta relación entre la cantidad de materia seca producida por la cepa y el rendimiento en uva ya ha sido puesta de manifiesto por muchos autores, donde se observa que pequeños incrementos en la acumulación de materia seca total se corresponden con incrementos superiores en el rendimiento final (Gómez del Campo 1998, Sánchez-Llorente 2004, Centeno 2005).

Otros autores han buscado relaciones entre la materia seca total producida por la planta y otros parámetros, así Cuevas (2001) relacionó la materia seca total y el consumo de agua por las plantas. Gutierrez *et al.* (1985), Williams (1987) y Yuste (1995) relacionaron la materia seca producida con el área foliar desarrollada y con los grados-día de crecimiento, y observaron una relación lineal durante varias fases del desarrollo de la vid. También resulta de interés poder relacionar la materia seca acumulada con la radiación solar interceptada (Russell *et al.* 1989, Schultz y Matthews 1992).

La aplicación de diferentes técnicas de cultivo puede variar la producción de materia seca. En este sentido, Baeza (1994) observó diferencias en la productividad global cuando varió los sistemas de conducción. Según Kliewer *et al.* (1988), la orientación de los pámpanos también influye en la velocidad y en la longitud de crecimiento, y por tanto en el contenido de materia seca.

5.1 Efectos de la densidad de plantación

Champagnol (1979) dice que la expresión vegetativa máxima viene definida por la cantidad de sarmientos, hojas y frutos que se puede obtener por hectárea cultivada. Cuando aumenta la densidad de plantación la masa de materia formada tiende a aumentar; no obstante, cuando la densidad es excesivamente alta la competencia entre plantas aumenta de tal manera que la masa por hectárea puede disminuir. Esta situación se presenta en los viveros, con densidades de plantación a veces superiores a 250.000 cepas. ha⁻¹, cuando se dejan las plantas en el terreno más de un año.

La densidad de plantación determina la exploración del suelo por el sistema radicular del viñedo y, por lo tanto, una gran parte de sus funciones vegetativas (Hidalgo 2006), de manera que condiciona la calidad de exploración del suelo y la cantidad de materia seca producida por unidad de superficie de cultivo (Champagnol 1984).

Petrie *et al.* (2000 a) afirman que la capacidad de la vid para producir materia seca se gobierna por la interacción entre la disposición innata que tiene la vid para fijar carbono y las condiciones medioambientales en las que se desarrolla, mientras que las prácticas de manejo pueden influir donde se producen los carbohidratos para ser distribuidos a las bayas o las partes vegetativas.

Archer y Strauss (1991) indican que la cantidad máxima de materia seca por unidad de suelo sólo puede producirse cuando la producción de fotosintetizados es máxima para el área de tierra específica ocupada. Hunter (1998 a) dice que la proporción de almidón entre la parte aérea y la parte subterránea era más baja en viñas estrechamente espaciadas (1,0×1,0 m y 1,0×1,5 m).

Pérez-Harvey y Bonilla-Meléndez (1994) señalaron que las plantaciones con elevada densidad de plantación son más eficientes y tienen mayor potencial productivo de materia seca por hectárea.

Hunter (1998 a), trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación (1×0,5 m; 1×1 m; 2×1 m; 2×2 m; 3×1,5 m y 3×3 m), encontró valores medios por cepa, de materia seca de todos los órganos vegetativos de la vid, tanto aéreos como subterráneos, más bajos en las vides menos espaciadas. Los valores obtenidos para distancias entre cepas de 1,5 m y mayores presentaban diferencias estadísticamente significativas en materia

seca con respecto a los espaciamientos de 1,0 m o inferiores, lo que indicó que existía efecto dominante de competencia por el espacio entre cepas en crecimiento. De igual forma, Hunter (1998 b) señala que las bayas de los tratamientos con espaciamientos estrechos tenían un peso seco comparativamente más alto que las de aquellos tratamientos con espaciamientos más anchos, al menos en las dos semanas anteriores a la maduración.

Pérez (2002) trabajando con la variedad Tempranillo en dos densidades de plantación ($2,2 \times 1,15$ m y $2,7 \times 1,4$ m) y con dos regímenes hídricos (secano y regadío) observó que la alta densidad tendía a incrementar moderadamente la producción de materia seca total (secano y regadío), debido a la mayor presencia de hojas funcionales por hectárea con respecto a la baja densidad. Dichas hojas consiguieron compensar las menores tasas de fotosíntesis a nivel de hoja individual observadas en los espaciamientos más cerrados, con una mayor producción de fotosintatos por unidad de superficie de suelo.

Pallioti *et al.* (2003), trabajando con la variedad Sangiovese y dos densidades de plantación ($1 \times 2,5$ m = 4.000 cepas.ha⁻¹ y $1 \times 3,3$ m = 3.030 cepas.ha⁻¹), de forma que la distancia entre cepas fue constante y se varió la distancia entre filas, observaron que la alta densidad de plantación presentaba una producción de materia seca total un 23% mayor que la baja densidad, debido a la mayor optimización de la interceptación de la radiación solar. Estos autores concluyen que en un sistema de conducción en espaldera, la distancia entre filas es un factor determinante en el balance energético de un viñedo.

En la bibliografía consultada no se han encontrado muchas referencias en las que se haya estudiado la producción de materia seca total en los distintos órganos renovables de la cepa en diferentes densidades de plantación, y más concretamente según la variación de la distancia entre cepas dentro de la línea, por lo que la presente Tesis Doctoral pretende aportar referencias aprovechables para futuros trabajos orientados en esta línea de investigación.

6 Rendimiento y sus componentes

Una de las principales finalidades perseguidas en el cultivo de la vid es conseguir rendimientos productivos adecuados, para alcanzar un rendimiento económico lo más elevado y regular posible, que compense el

esfuerzo realizado por el viticultor. Es importante establecer un equilibrio adecuado entre la cantidad y la calidad de uva, a través de costes económicos que optimicen la rentabilidad de la explotación vitícola (Pérez 2002).

La producción final de uva es función de la aportación de los distintos componentes del rendimiento, dependiendo de la densidad de plantación, del número medio de sarmientos desarrollado por cada cepa, de la fertilidad de los pámpanos, tanto en el número de racimos como en el número de bayas por racimo, y del peso individual de las bayas. En la medida que estos componentes sean alterados, la cosecha final puede verse afectada, teniendo en cuenta que cada uno de ellos puede verse influido o modificado cuantitativamente de manera distinta por diversos factores de cultivo (Yuste 1995).

Muchos de los viñedos que producen vinos de calidad tienen moderadas o bajas producciones (González 2003). Actualmente, existe la creencia de que el rendimiento y la calidad guardan una relación inversa, basada en comparar, obviando otros factores, vinos procedentes de viñedos con diferentes rendimientos. El óptimo de calidad está relacionado con un rendimiento determinado, pero dicho rendimiento puede variar según el vigor y la fertilidad del cultivar, el potencial del medio y las condiciones ecofisiológicas en las que se desarrollen las vides (González 2003).

Las cepas deben estar perfectamente equilibradas con el medio ambiente, para lo cual habrá que adecuar el objetivo buscado, el sistema de conducción, la distancia de plantación entre líneas y entre cepas, la superficie foliar externa, la cantidad de energía interceptada y la relación entre el desarrollo vegetativo y el rendimiento (Smart 1990, Jackson y Lombard 1993, Intrieri *et al.* 1998 b,c).

Smart (1990) sostiene que hasta un umbral determinado de producción, que depende del cultivar y de las condiciones ambientales, la calidad no se ve afectada por el aumento del rendimiento, luego disminuye rápidamente, y posteriormente, con rendimientos muy altos se comporta de manera independiente.

Intrieri *et al.* (1998 b,c) afirman que la calidad viene determinada por la línea de cepas (distancia entre plantas, sistema de conducción, carga, SFE,...) y que el rendimiento, a igualdad de los factores mencionados, deriva de la anchura de la calle (longitud total de líneas por superficie de suelo).

En unas condiciones determinadas de cultivo, edáficas, mesoclimáticas y

varietales, la densidad de plantación puede modificar la cantidad y la calidad de cosecha, ya que puede interactuar con los componentes del rendimiento. Así, el número de yemas dejadas en la poda está directamente relacionado con el rendimiento hasta llegar a un límite en cargas altas (Winkler *et al.* 1974, Champagnol 1984), dependiente del sistema de conducción y de la densidad de plantación. El número de racimos depende en gran medida de la fertilidad por yema dejada en la poda y de su viabilidad. El número de bayas es función del número de flores por inflorescencia, de su viabilidad y de la tasa de cuajado (González 2003). Estos factores se ven afectados, en gran medida, por las condiciones ambientales de iluminación y sobre todo de temperatura (Ebadi *et al.* 1996). El peso de la baya puede verse afectado por el microclima de los racimos y sobre todo por el de las hojas, ya que éste afecta de manera directa a la fotosíntesis, y por tanto, a la capacidad de abastecimiento de fotoasimilados durante su desarrollo y maduración (Petrie *et al.* 2000 b).

Una limitación del rendimiento y un retraso en la fecha de vendimia pueden ser debidos a un cambio en la altura de la cepa por encima del suelo, un aumento del vigor y un desequilibrio entre las hojas y los frutos (Murisier y Spring 1986). Los rendimientos disminuyen con podas cortas y con densidades bajas, pero también una elevación del tronco acompañada de una reducción de la densidad de plantación tiende a disminuir los rendimientos (Murisier y Spring 1986).

Poni *et al.* (1994) sostienen que un buen indicador para valorar el equilibrio fuente-sumidero es la relación entre el área foliar y el porcentaje de cuajado ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ de peso fresco de fruta). En general, la vid puede resentirse en el proceso productivo y de maduración cuando la citada proporción disminuye por debajo de un valor entre 8 y 14 $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. En este sentido, Slavtcheva (1996) encontró una correlación positiva entre el rendimiento en uva y el área foliar.

El estudio de la relación entre la parte vegetativa y el rendimiento alcanzados por la vid permite evaluar su eficiencia en la producción de uva y su equilibrio. En particular, la superficie foliar total y la superficie foliar expuesta serán muy importantes en la producción (Yuste 1995). De igual forma, el índice de Ravaz, o relación entre el peso de cosecha y el peso de madera de poda, se emplea frecuentemente como indicador de equilibrio por su facilidad de determinación.

Numerosos autores han establecido el índice "superficie foliar / producción de fruto" como un buen estimador del equilibrio vegeto-productivo de las plantas. May *et al.* (1969) dan un valor mínimo para esta relación de 7 $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$.

Champagnol (1984) establece $10 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ en condiciones favorables y $20 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ en condiciones de poca insolación. Fernández *et al.* (1977 b) señalan un valor óptimo de $1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ y Carbonneau (1989) considera que la SA mínima para una maduración óptima del racimo se sitúa alrededor de $9.000 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Kaps y Cahoon (1992) concluyen que al aumentar el número de hojas por planta aumenta el peso del fruto y el peso seco de hojas, tallos y raíces. En este sentido, Carbonneau (1989) propone explicar los niveles de producción en cantidad y calidad no sólo por la superficie foliar, sino por la superficie foliar expuesta, expresándola en cm^2 de superficie foliar expuesta por g de fruto.

6.1 Efectos de la densidad de plantación

Chauvet y Reynier (1974) afirman que al aumentar la densidad de plantación las cepas entran en competencia, induciendo una disminución del potencial de la vid que se refleja en una pérdida de peso de madera de poda y de rendimiento en uva.

Existen tendencias contradictorias sobre el efecto que produce la variación de la densidad de plantación sobre la producción de uva. Shaulis y Kimball (1955) y Wiebe y Bradt (1973) sostienen que los espaciamientos abiertos son equiparables o más productivos por unidad de superficie de suelo que los espaciamientos cerrados. Por el contrario, otros autores encuentran que el aumento de la densidad de plantación reduce progresivamente la producción por cepa, pero aumenta la producción por unidad de superficie de suelo (Hidalgo y Candela 1966, 1979; Muñoz 1989; Planas 1998; Valenti *et al.* 1999).

En este sentido, Winkler (1969) señala que la producción de uva por cepa está directamente relacionada con la superficie de suelo que ocupe. Este autor, trabajando con la variedad White Riesling, indica que el espaciamiento no influyó en la producción de uva por hectárea de manera significativa, excepto en los espaciamientos muy cerrados y en los muy abiertos.

Por su parte, Turkington *et al.* (1980) señalan que las diferencias encontradas en la producción entre las diferentes densidades son posiblemente debidas a las variaciones en las variedades, en el sistema radicular, en la composición y la preparación del suelo y en los tipos de poda y la severidad de la misma.

Archer y Strauss (1991), trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación ($3 \times 3 \text{ m}$; $3 \times 1,5 \text{ m}$; $2 \times 2 \text{ m}$; $2 \times 1 \text{ m}$; $1 \times 1 \text{ m}$ y $1 \times 0,5 \text{ m}$),

observaron que a medida que se aumentaba la densidad de plantación el rendimiento por planta disminuía, en cambio el rendimiento por hectárea aumentaba. Estos autores observaron estas mismas tendencias en el peso de madera de poda por planta y por hectárea. De igual forma, observaron que a medida que se acorta el espaciamiento entre cepas el peso del racimo disminuye ligeramente, aunque el peso de la baya experimentó pocas variaciones en las 6 densidades de plantación estudiadas. Estos autores observaron que el crecimiento en grosor del tronco aumentó a medida que las raíces disponían de más superficie de suelo para desarrollarse, es decir, al disminuir la densidad de plantación.

Al modificar la densidad de plantación, ya sea la distancia entre filas o la distancia entre cepas, se produce una variación en la producción, la cual no siempre resulta fácil de explicar a partir de los componentes del rendimiento que intervienen (Pérez 2002). Hay investigadores que han observado que al reducir la densidad de plantación el número de racimos por cepa es mayor que en densidades más altas (Anthony y Richardson 1999, Nadal y Lampreave 1999) y que es mayor el peso del racimo, debido al aumento del número de bayas (Archer y Strauss 1991, Valenti *et al.* 1999). En cambio, otros investigadores señalan que las altas densidades presentan mayor número de racimos, pero más pequeños y sueltos (Mochizuki y Rogstad 1999, Williams y Arnold 1999). Por último, hay investigadores que no encontraron ninguna diferencia en el número de racimos (Murisier y Ferretti 1996) ni en el peso del racimo (Anthony y Richardson 1999) entre las distintas densidades de plantación con las que trabajaron.

Hunter (1998 b), trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación (3×3 m; 3×1,5 m; 2×2 m; 2×1 m; 1×1 m y 1×0,5 m), observó que a medida que los espaciamentos son más estrechos el rendimiento por cepa disminuía, en cambio, el rendimiento por hectárea aumentaba, observando diferencias estadísticamente significativas entre densidades de plantación con distinta distancia entre filas.

Pérez (2002), trabajando con la variedad Tempranillo y dos densidades de plantación (alta densidad: 2,2×1,15 m, y baja densidad: 2,7×1,4 m), observó que el rendimiento por planta aumentó al incrementar la distancia entre cepas, lo que se atribuye a que en la poda se dejó un mayor número de yemas por cepa en la baja densidad, con el fin de mantener el mismo número de brotes por hectárea en las dos densidades de plantación, de manera que el efecto de competencia entre plantas disminuyó y se incrementó la capacidad de producción individual de las cepas situadas a mayor distancia. Además,

el rendimiento en uva por m² de suelo fue también más elevado en los espaciamientos más abiertos, con un aumento de la baja densidad frente a la alta densidad de entre el 17% y el 30% según el año.

En este sentido, Pérez (2002) observó que al aumentar el espacio entre plantas se incrementó el peso del racimo, debido principalmente al mayor peso de la baya, y no al número de bayas por racimo como observaron Williams y Arnold (1999), trabajando con la variedad Cabernet sauvignon y tres densidades de plantación.

Perterlunger *et al.* (2003), trabajando con la variedad Sauvignon Blanc y 4 densidades de plantación (2,9×1,4 m; 2,9×1,2 m; 2,9×1 m y 2,9×0,8 m), observaron mayor producción por metro lineal en la densidad de plantación de 2,9×1 m, con un valor de 4,5 kg, y menor producción por metro lineal en la densidad de plantación de 2,9×0,8 m, con un valor de 3,7 kg. Estos autores observaron un peso del racimo parecido en los cuatro tratamientos experimentales estudiados, en cambio recogieron un índice de Ravaz parecido en las densidades de plantación de 2,9×1,4 m, 2,9×1,2 m y 2,9×1 m, con valores en torno a 4,5, pero muy inferior en la densidad de plantación de 2,9×0,8 m, que mostró un valor de 3,3, reflejando un elevado amontonamiento de la vegetación con respecto a los otros tres tratamientos experimentales. Por último, estos autores concluyen afirmando que la densidad de plantación que resultó más adecuada para las condiciones del ensayo planteado fue la de 2,9×1 m.

Silvestroni *et al.* (2003), trabajando con las variedades Verdicchio y Moltepulciano y varias densidades de plantación, no observaron diferencias estadísticamente significativas ni en la producción por hectárea ni en la calidad de la uva.

Intrieri *et al.* (2003 a), trabajando con la variedad Piognoletto, cuatro densidades de plantación (4×1,5 m; 4×1,25 m; 4×1,0 m y 4×0,75 m) y varios sistemas de mantenimiento de suelo, no observaron interacción entre la densidad de plantación y el mantenimiento del suelo. La densidad de plantación de 4×0,75 m presentó un retardo en la ocupación del espacio debido a la excesiva competencia radicular entre plantas. El peso de madera de poda por metro lineal experimentó una reducción del 23% de la densidad más baja respecto a la más elevada. La producción por metro lineal no mostró diferencias entre densidades de plantación, con valores en torno a 4 kg por metro lineal. Por último, estos autores concluyen que la densidad de plantación no fue determinante para las condiciones del ensayo planteado, mostrando una ligera preferencia por la densidad de plantación de 4,0×1,0 m.

Di Lorenzo *et al.* (2003) plantearon dos ensayos en los que estudiaban diferentes densidades de plantación con diferentes variedades. En el primer ensayo estudiaron las densidades de plantación de 2,0×1,0 m, 2,25×1,0 m y 2,5×1,0 m, con las variedades Nero d'Avola, Inzolia y Merlot. En el segundo ensayo estudiaron las densidades de plantación de 2,2×0,8 m, 2,4×0,8 m, 2,2×1,0 m y 2,4×1,0 m, con las variedades Nero d'Avola, Cabernet sauvignon y Merlot. Estos autores observaron que la menor distancia en la fila provoca una mayor profundidad de exploración de las raíces, no observando diferencias en cuanto a la producción ni la calidad de la uva entre las diferentes densidades de plantación en los dos ensayos experimentales planteados.

Intrieri *et al.* (2003 b) estudiaron el comportamiento de tres distancias entre cepas (0,7 m, 1,2 m y 1,7 m) y tres distancias entre filas (2,4 m, 2,0 m y 1,6 m), no observando diferencias en los parámetros de calidad de la uva ni en los de producción, aunque pudieron observar una ligera tendencia a aumentar la producción a medida que se acorta la distancia entre filas.

Murisier y Zufferey (2003) ensayaron con distintas distancias entre líneas con la variedad Chasselas, observando que el aumento de la distancia entre líneas aumenta la producción por cepa pero disminuye la producción por m² sin un aumento del contenido de azúcar. El peso de madera de poda por m² y el contenido de azúcar decreció con el aumento del espacio entre filas. Estos autores sostienen que el efecto del espaciamiento entre filas sólo tuvo un ligero efecto sobre la acidez y el peso de la baya. Por último, concluyen que los vinos elaborados con la uva de los espaciamientos más bajos tendían a ser mejor valorados que los procedentes de los espaciamientos más altos.

Vazquez *et al.* (2006), trabajando con tres densidades de plantación (2,25×1,0 m, 2,25×1,2 m y 2,25×1,4 m) y la variedad Loureira, observaron una ligera tendencia a la disminución del número de racimos y al incremento de la producción por planta a medida que disminuye la densidad de plantación, aunque sin encontrar diferencias estadísticamente significativas entre densidades de plantación. Por último, estos autores sostienen que para las condiciones del ensayo planteadas con la variedad Loureira, la densidad de plantación no influyó en los parámetros de calidad del mosto.

En la bibliografía consultada sobre el efecto que produce la densidad de plantación en el rendimiento y en sus componentes, se ha recogido, en general, que la densidad de plantación es un factor poco determinante en la mayoría de los trabajos, influyendo en mayor medida otros factores como el riego, el

mantenimiento del suelo, etc. En los trabajos revisados se han podido observar tendencias similares cuando se aumenta o se disminuye la densidad de plantación, aunque sin resultar, en la mayoría de los casos, diferencias con significación estadística. Los ensayos en los que el factor densidad de plantación ha resultado determinante han sido aquellos en los que se han estudiado densidades de plantación muy "extremas", es decir, con gran variación entre las distancias entre filas y las distancias entre cepas, como se ha podido observar en los trabajos de Archer y Strauss (1991) y Hunter (1998 b).

7 Composición de la uva

La evaluación de los factores que influyen en la composición y la calidad de la uva resulta especialmente difícil debido a los problemas que plantea la determinación de la calidad. Los análisis químicos de los componentes de la uva y del vino serían un método ideal de evaluación siempre y cuando se pudieran relacionar correctamente con la evaluación sensorial (Jackson y Lombard 1993). Existen algunos indicadores que dan una idea de la composición y la calidad de la uva, entre los que cabe destacar los sólidos solubles, los ácidos orgánicos, el pH, los compuestos fenólicos y los antocianos, etc.

Los sólidos solubles se pueden expresar en °Brix (grados Brix), °Balling, °Baumé o °Oschlé, y se pueden medir por diferentes métodos (Amerine y Winkler 1944; Troost 1972; Jackson y Schuster 1987). En el momento de la maduración o poco antes de ésta (18 °Brix), los niveles de sólidos solubles se sitúan en torno a 1% de contenido de azúcares (glucosa y fructosa); antes de ese momento, en cambio, el contenido de azúcares podrá ser un 4% o 5% menor que los sólidos solubles, discrepancia que se debe a otros componentes con índices refractivos similares (Crippen y Morrison 1986). Los niveles de azúcar indican el grado alcohólico potencial tras la fermentación y la posibilidad de que queden azúcares residuales en el vino. A medida que madura la uva, los sólidos solubles aumentan hasta un nivel que puede indicar un estado adecuado de maduración para una determinada zona vitícola. De este modo, en zonas vitícolas con temporadas cortas, rara vez se produce una sobremaduración y el nivel de sólidos solubles es un indicador útil de maduración y de calidad. En cambio, en regiones más cálidas y con menos precipitaciones, la utilización de los sólidos solubles es menos eficaz para determinar la calidad de la uva o del vino a menos que se controlen asimismo otros componentes (Jackson y Lombard 1993). Las uvas con un

alto °Brix pueden producir vinos con alto grado alcohólico, lo cual puede ocultar otros componentes de calidad. Por ello, en las regiones más cálidas a menudo se utiliza un límite superior a 24 °Brix para indicar la maduración adecuada de la uva para obtener vinos de calidad (Winkler *et al.* 1974).

El examen de un racimo muestra normalmente diferencias en la maduración de las bayas en función de la posición espacial dentro de dicho racimo. Normalmente, las bayas más expuestas estarán más avanzadas en sólidos solubles y tendrán mayor contenido de fenoles que las situadas a la sombra (Coombe y Iland 1986).

Yuste *et al.* (2009), trabajando con la variedad Tempranillo y analizando la concentración de azúcares de cada baya en 12 partes diferentes del racimo, observaron que dicha concentración presenta gran variabilidad entre las distintas partes del racimo. Así, los tercios longitudinales del racimo presentaron una tendencia a disminuir la concentración de azúcares a medida que se desciende del tercio superior al inferior. De igual forma, la zona no superficial mostró una mayor concentración de azúcares que la zona superficial del racimo. Por el contrario, estos autores observaron que las zonas exterior e interior prácticamente no presentaron diferencias en el nivel de maduración de las bayas (figura 1.5).

Yuste *et al.* (2009) observaron que la concentración de azúcares de los racimos situados en la cara Oeste de la espaldera es mayor que la de los de la cara Este, lo que parece debido en parte a la mayor insolación solar directa recibida por esta cara de la espaldera en las condiciones ambientales de la tarde.

Long (1987) afirma que aparte de los efectos de la exposición al sol, la asincronicidad en la maduración de los racimos de una cepa puede aumentar debido a la variabilidad del ratio hoja/fruta de los sarmientos individuales. Este autor, trabajando con la variedad Cabernet sauvignon, observó que sarmientos "débiles" (<30 cm) producían uvas con menos azúcar, color y compuestos fenólicos, y los vinos obtenidos con sarmientos "normales" (1,2 m) tenían buenas cualidades frutales varietales de Cabernet y menos cualidades herbáceas.

Los ácidos orgánicos comprenden principalmente los ácidos tartárico, málico y cítrico y se pueden medir por titulación y expresar en acidez total, ya sea equivalente a ácido tartárico o a ácido sulfúrico. La síntesis de los ácidos de la uva depende del nivel de fotosíntesis realizado por la planta, cuya carencia raramente limita la acidez total. La reducción de acidez total durante la

maduración guarda relación con la tasa de respiración de la uva y depende de la temperatura (Jackson y Lombard 1993). El ácido málico es al que más afecta la respiración, y la mayor diferencia entre los climas cálidos y frescos es que en condiciones frías los malatos disminuyen lentamente, mientras que lo hacen rápidamente en las regiones cálidas (Winkler *et al.* 1974). Frecuentemente, el aumento de sombreado en el interior del *canopy* es responsable de una mayor acidez tartárica y málica y de un menor pH (Pérez 2002).

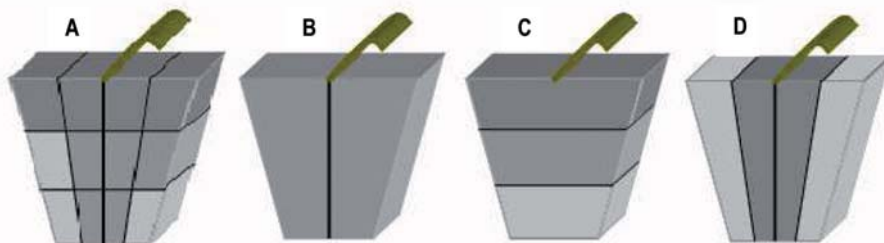


Figura 1.5. Concentración de azúcares (°Brix) según intensidad de tonalidad en las distintas zonas del racimo. A: Partes individualizadas. B: Zonas Exterior-Interior. C: Tercios Superior-Medio-Inferior. D: Zonas Superficiales-no Superficiales (Yuste *et al.* 2009).

Según Jackson y Lombard (1993), un pH superior a 3,60 en el vino puede causar problemas. Estos investigadores afirman que los valores de pH altos incrementan la actividad relativa de los microorganismos (bacterias), rebajan la intensidad de color de los vinos tintos, aglomeran más dióxido de azufre, reduciendo el contenido libre de SO_2 , y pueden reducir la capacidad de envejecimiento del vino. El aumento de pH a menudo es paralelo a un aumento de los sólidos solubles durante la maduración y puede resultar un indicador del momento óptimo de la vendimia.

La maduración de la uva se asocia con un aumento del pH del mosto y una disminución de los niveles de ácidos (Jackson y Lombard 1993). El ritmo de disminución del ácido málico depende de las temperaturas durante el crecimiento en la etapa III (Kliewer y Lider 1970), aunque según Klenert *et al.* (1978) las temperaturas más altas durante las etapas I y II se correlacionan con una mayor cantidad de ácido málico libre en la variedad Sylvaner. En las zonas más cálidas de los climas fríos, el nivel de ácido alcanza un máximo en el envero y posteriormente disminuye más rápidamente (Becker 1977).

Una característica de las zonas más frías es que las fluctuaciones de las temperaturas diarias son muy importantes a finales de verano y hasta el

periodo de maduración otoñal, siendo esta circunstancia un hecho importante que contribuye a la calidad final de la uva (Smart y Dry 1980). Kliewer (1973) intentó cuantificar estas diferencias cultivando viñas a temperaturas diurnas y nocturnas controladas. Las noches más frescas combinadas con temperaturas cálidas durante el día permitieron una reducción del pH y un incremento de los niveles de ácido en comparación con los días cálidos y las noches cálidas, observándose una mayor proporción de ácido málico sobre los ácidos totales. Para retener más tiempo el ácido y reducir el pH, las diferencias de temperatura entre el día y la noche tenían que ser mayores si la temperatura diurna era más alta. Este investigador sugiere que la menor calidad asociada a los climas cálidos se debe, al menos en parte, a que la acidez es baja y el pH es alto.

Jackson y Lombard (1993) afirman que existe una relación directa entre el clima y la calidad de la uva, de tal forma que siempre que el clima sea lo suficientemente cálido como para permitir la maduración de un varietal específico de uva, la calidad estará inversamente relacionada con el calor y la duración del verano.

En este sentido, Becker (1985) afirma que en los climas fríos los vinos blancos son más frescos, más ácidos y con aromas más finos, y los vinos de regiones más cálidas tienen un mayor contenido en alcohol y menos sabor y aroma. La calidad del vino también depende de la temperatura de maduración (fase III de crecimiento de la baya). Por ello, en una región determinada, el mejor varietal será el que mejor encaje con la duración de la temporada de cultivo, de manera que la maduración tenga lugar durante la parte fría de la temporada, siempre que ésta sea lo suficientemente cálida como para permitir la acumulación suficiente de sólidos solubles y la evolución adecuada del sabor en la uvas.

Las temperaturas más cálidas tienen por resultado, casi invariablemente, uvas con mayor cantidad de sólidos solubles (Galet 1983), aunque existe un límite superior por encima del cual se reduce la asimilación. Alleweldt *et al.* (1982) descubrieron que el ratio neto óptimo de asimilación a través de la fotosíntesis era 25 °C y el trabajo de Kliewer (1973) sugiere que la fotosíntesis es eficiente entre un 90% y un 100% entre 18 °C y 33 °C, pero disminuye considerablemente cuando las temperaturas se sitúan por encima o por debajo de estos umbrales. En este sentido, las temperaturas de 4 °C durante cuatro días en la etapa I de crecimiento de la baya retrasaron la maduración y redujeron los sólidos solubles en la uva de las variedades Thompson Seedless y Napa Gamay (Matsui *et al.* 1986). De esta forma, el estrés térmico

redujo considerablemente la conductancia estomática y el contenido en glucosa de la uva (Sepúlveda y Kliewer 1986).

El color de las uvas tintas depende en parte de la temperatura. Winkler *et al.* (1974) sugieren que las temperaturas demasiado frías o demasiado cálidas se asocian con un color débil. El rango de temperatura óptima para la síntesis de antocianos parece oscilar entre 17 °C y 26 °C (Pirie 1997). Kliewer (1973), utilizando temperaturas diurnas y nocturnas controladas, observó que temperaturas diurnas de 30 °C en la variedad Cardinal y de 35 °C en la variedad Tokay no producían coloración alguna en las bayas, con independencia de las temperaturas nocturnas utilizadas. Este mismo autor observó que en las variedades Pinot noir y Cabernet sauvignon, las temperaturas nocturnas frías de entre 15 °C y 20 °C fomentaban una buena coloración de los hollejos en comparación con el rango de temperaturas de 25 °C a 30 °C.

El suelo influye decisivamente en la calidad de los mostos, así Van Leeuwen y Seguin (1994), trabajando con distintos tipos de suelos en Saint-Emilion (Francia), demostraron la importancia que tiene el potencial matricial del suelo en la calidad de los mostos, ocasionando variaciones en el peso de la baya, en la concentración de azúcares, en el ácido málico, en el contenido de antocianos y en los compuestos fenólicos.

7.1 Efectos de la densidad de plantación

Existen datos contradictorios acerca de los efectos de la densidad de plantación en la composición y la calidad de la uva. Existen autores que afirman que las densidades de plantación elevadas aumentan la concentración de azúcares. Esta tendencia ha sido observada en los trabajos de Hedeberg y Raison (1982) con cv. Shiraz, Atanassov (1983) con cv. Cabernet sauvignon, Archer y Strauss (1991) con cv. Pinot noir, Slavtcheva (1996) con cv. Dimiat, Hunter (1998b) con cv. Pinot noir, Nadal y Lampreave (1999) con cv. Cabernet sauvignon y cv. Chardonnay, Intrieri *et al.* (2003 a) con cv. Pignoletto, Peterlunger *et al.* (2003) con cv. Sauvignon blanc y Murisier y Zufferey (2004) con cv. Chasselas, entre otros. De igual forma, existen trabajos que observaron la tendencia contraria, es decir, encontraron una disminución de la concentración de azúcares con el aumento de la densidad de plantación (Sisson 1959, Winkler 1959 y Wiebe y Bradt 1973).

Por otro lado, en la bibliografía consultada se han encontrado trabajos en los que el efecto de la densidad de plantación no afectó significativamente

a la composición ni a la calidad de la uva: Stoev y Bondjoukov (1974) con cv. Cabernet sauvignon, Turkington *et al.* (1980) con cv. Muscat, Brar y Bindra (1986) con cv. Perlette, Di Lorenzo *et al.* (2003) con cv. Nero d'Avola, cv. Merlot, cv. Inzolia y cv. Cabernet sauvignon, Silvestroni *et al.* (2003) con cv. Verdicchio y cv. Montepulciano, y Vázquez *et al.* (2006) con cv. Loureira.

En general, el efecto de la densidad de plantación en el comportamiento de los ácidos orgánicos no ha resultado significativo en la mayoría de los trabajos consultados. Archer y Strauss (1991), trabajando con 6 densidades de plantación (3×3 m; 3×1,5 m; 2×2 m; 2×1 m; 1×1 m y 1×0,5 m) y la variedad Pinot noir, observaron valores de acidez total similares en los tratamientos experimentales estudiados, aunque pudieron observar que las tres densidades de plantación más altas mostraban una acidez total ligeramente menor que las tres densidades más bajas.

Hunter (1998 b), trabajando con la misma variedad y con las mismas densidades de plantación que Archer y Strauss (1991), observó valores similares en la acidez total, aunque encontró diferencias estadísticamente significativas entre las tres densidades más altas y las tres densidades más bajas, que mostraron valores de acidez total ligeramente más bajos. Esta tendencia es contraria a la observada por Archer y Strauss (1991), poniéndose de manifiesto la fuerte influencia ejercida por las condiciones edafoclimáticas particulares de cada viñedo.

Nadal y Lampreave (1999), trabajando con las variedades Cabernet sauvignon y Chardonnay, observaron la misma tendencia que Hunter (1998 b), al encontrar valores de acidez total mayores en las densidades de plantación más elevadas.

En la bibliografía consultada, la influencia de la densidad de plantación sobre el pH no ha resultado determinante, al no haberse observado efectos claros debidos a las diferentes densidades de plantación estudiadas en los diferentes trabajos revisados (Archer y Strauss 1991; Hunter 1998 b; Nadal y Lampreave 1999; Di Lorenzo *et al.* 2003; Intrieri *et al.* 2003 a,b; Peterluger *et al.* 2003; Silvestroni *et al.* 2003 y Vázquez *et al.* 2006).

El efecto de la densidad de plantación sobre los parámetros de color de la uva presenta varias tendencias. Por un lado, Archer y Straus (1991) sostienen que la intensidad de color es mayor a medida que la densidad de plantación es mayor, en cambio Williams y Arnold (1999) señalan que las vides con densidades de plantación más bajas son las que presentan mayor intensidad

colorante. Por otro lado, Anthony y Richardson (1999) y Mochizuki y Rogstad (1999) no encontraron ninguna diferencia en la intensidad colorante al modificar la densidad de plantación.

Peterlunger *et al.* (2003), trabajando con la variedad Sauvignon blanc y 4 densidades de plantación (0,8×2,9 m; 1,0×2,9 m; 1,2×2,9 m y 1,4×2,9 m), no encontraron diferencias con significación estadística en los parámetros básicos que definen la composición básica de la uva (sólidos solubles, acidez total y pH), aunque observaron una ligera tendencia a aumentar el azúcar a medida que disminuye la distancia entre cepas, causada por la mayor superficie foliar por kilogramo de uva de las distancias entre cepas más cortas.

Silvestroni *et al.* (2003), trabajando con las variedades Verdicchio y Moltepulciano y varias distancias entre cepas, sostienen que la calidad de la uva se ve afectada por el efecto de la densidad de plantación. De igual forma, Intrieri *et al.* (2003 a), trabajando con la variedad Pignoletto y 4 densidades de plantación (0,75×4,0 m; 1,0×4,0 m; 1,25×4,0 m y 1,5×4,0 m), no observaron grandes diferencias en la calidad de la uva, aunque sí observaron una ligera tendencia de la densidad de plantación 1,0×4,0 m a presentar mayor concentración de azúcares. Análogamente, Intrieri *et al.* (2003 b) experimentaron con tres distancias entre cepas (0,7 m, 1,2 m y 1,7 m) y tres distancias entre filas (1,6 m, 2,0 m y 2,4 m) y no observaron diferencias con significación estadística entre las distintas densidades estudiadas en los parámetros que estiman la composición de la uva.

Di Lorenzo *et al.* (2003) plantearon dos ensayos experimentales con diferentes variedades y densidades de plantación, un ensayo con las variedades Nero d'Avola, Merlot e Inzolia y las densidades de plantación 1,0×2,0 m, 1,0×2,25 m y 1,0×2,5 m, y otro ensayo con las variedades Nero d'Avola, Merlot y Cabernet sauvignon y las densidades de plantación 0,8×2,2 m, 0,8×2,4 m, 1,0×2,2 m y 1,0×2,4 m. En ninguno de los dos ensayos observaron diferencias en los parámetros que estiman la calidad de la uva en ninguna de las variedades estudiadas. En este sentido, Murisier y Zufferey (2004), trabajando con la variedad Chasselas, sostienen que el espaciamiento entre hileras únicamente tiene un ligero efecto sobre la acidez total y el peso de la baya. Estos autores encontraron que los vinos mejor valorados fueron los procedentes de bajos espaciamientos o altas densidades de plantación.

Valenti *et al.* (1999) señalan que las características cualitativas del racimo mejoran de manera significativa con el aumento de la densidad de

plantación, lo que permite la producción de vino de un gran valor organoléptico, caracterizado por un grado alcohólico más elevado y una mejor estructura. El aumento de la producción por hectárea en altas densidades se acompaña, por regla general, de una maduración más completa, más precoz, y de una mejor calidad de los vinos según Planas (1998).

En general, la bibliografía consultada indica que la densidad de plantación influye ligeramente en los parámetros cualitativos de la uva. La producción de azúcar por cepa disminuye a medida que aumenta la densidad de plantación, debido a la progresiva disminución de la cosecha (Hidalgo y Candela 1969, Calò *et al.* 1991), o lo que es lo mismo, las bajas producciones por cepa de las altas densidades son compensadas en gran parte por el aumento del número de cepas, de manera que los rendimientos en azúcar por hectárea tienden a aumentar, ya que la cantidad total de azúcar está directamente ligada a la producción por hectárea (Valenti *et al.* 1996).

La presente Tesis Doctoral pretende aportar al sector y a la comunidad científica unos resultados interesantes derivados del estudio de tres densidades de plantación en cuatro situaciones edafoclimáticas diferentes a lo largo del valle del río Duero.

Capítulo II

1 Caracterización de los ensayos experimentales

El trabajo se realizó durante los años 2005, 2006 y 2007.

1.1 Localización geográfica

Los cuatro viñedos experimentales en los que se han realizado los distintos ensayos y controles se encuentran situados en los siguientes términos municipales:

- Castrillo de Duero (Valladolid), dentro de la Denominación de Origen Ribera del Duero. Las coordenadas geográficas de la parcela son 41° 36' 28" Norte y 4° 0' 42" Oeste. La altitud de la parcela sobre el nivel del mar es de 800 m.
- Pollos (Valladolid), dentro de la Denominación de Origen Rueda. Las coordenadas geográficas de la parcela son 41° 25' 52" Norte y 5° 7' 16" Oeste. La altitud de la parcela sobre el nivel del mar es de 672 m.
- Rodilana (Valladolid), dentro de la Denominación de Origen Rueda. Las coordenadas geográficas de la parcela son 41° 21' 37" Norte y 4° 53' 54" Oeste. La altitud de la parcela sobre el nivel del mar es de 800 m.
- Toro (Zamora), dentro de la Denominación de Origen Toro. Las coordenadas geográficas de la parcela son 41° 31' 59" Norte y 5° 22' 3" Oeste. La altitud de la parcela sobre el nivel del mar es de 739 m.

1.2 Características de los viñedos y del material vegetal

Las principales características de los viñedos experimentales son las siguientes:

- Variedad: Tempranillo
- Portainjerto: 110 Richter.
- Año de plantación: 2000 (planta-injerto).
- Orientación de las filas: aproximadamente Norte-Sur en todos los ensayos.
- Sistema de conducción: Espaldera, en cordón Royat bilateral, constituida por un tronco recto vertical de 60 cm de altura y brazos horizontales simétricos a partir del tronco, apoyados sobre un alambre de formación galvanizado. La vegetación se apoya en varios alambres: un alambre fijo situado a 30 cm del alambre de formación y un par de alambres móviles en Pollos, Rodilana y Toro, y dos pares de alambres móviles en Castrillo de Duero, de tal modo que la vegetación asciende en empalizada hasta alcanzar aproximadamente 180 cm de altura desde el suelo, conformando un paralelepípedo de sección rectangular.
- Tipo de poda: corta, en pulgares de dos yemas y distribuidos homogéneamente en ambos brazos.

Se ha controlado mediante poda en verde el número de brotes por metro lineal de espaldera y se ha llevado a cabo el posicionamiento de los pámpanos de manera que se mantengan homogéneamente distribuidos y adecuados a la forma de conducción en espaldera vertical. Las técnicas de cultivo aplicadas en los cuatro ensayos a lo largo de los tres años, como abonado, tratamiento fitosanitario, mantenimiento del suelo, etc., se han aplicado por igual en todos los tratamientos experimentales dentro de cada ensayo.

En la Tabla II.1 se recogen los aportes hídricos (mm) aplicados mediante riego y la fecha de aplicación, en cada uno de los ensayos experimentales en los tres años de estudio.

Los aportes hídricos se han efectuado mediante riego por goteo en los ensayos situados en Pollos y Toro, y mediante riego por aspersión a través de cañón móvil en el ensayo situado en Castrillo de Duero.

Tabla II.1. Aportes hídricos (mm) aplicados mediante riego y fecha de aplicación en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro en 2005, 2006 y 2007.

Año	Castrillo de Duero	Pollos	Rodilana	Toro
2005	15-julio (40)	20-junio (14)	-	10-mayo (70)
	-	11-julio (14)	-	-
	-	16-agosto (23)	-	-
	40	51		70
2006	4-agosto (30)	10-mayo (29)	-	-
	-	30-julio (31)	-	-
	-	8-septiembre (15)	-	-
	30	75	-	-
2007	8-agosto (30)	24-agosto (32)	-	-
		11-septiembre (20)	-	-
	30	52		

1.3 Características climáticas

Los datos climáticos de los años correspondientes al presente estudio y que han servido para realizar la descripción climática proceden de estaciones meteorológicas situadas en los siguientes términos municipales:

- Valbuena de Duero: situada a 23 km del ensayo experimental de Castrillo de Duero e integrante de la red de estaciones meteorológicas de Inforiego, de la Junta de Castilla y León.
- Tordesillas: situada a 12 km del ensayo experimental de Pollos e integrante de la red de estaciones meteorológicas de Inforiego, de la Junta de Castilla y León.
- Rueda: situada a 8 km del ensayo experimental de Rodilana y perteneciente al Departamento de Viticultura del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León.
- Toro: situada a 1 km del ensayo experimental de Toro e integrante de la red de estaciones meteorológicas de Inforiego, de la Junta de Castilla y León.

La clasificación climática general se ha realizado a partir de una serie de datos meteorológicos de 30 años, de 1978 a 2007, obtenidos del observatorio del Instituto Meteorológico Territorial de Valladolid (tabla II.2).

Tabla II.2. Características termopluviométricas del año medio del periodo 1978-2007. Estación meteorológica territorial de Valladolid. Altitud 735 m, latitud 41° 38' 40" N y longitud 4° 46' 27" W.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	4,2	6,0	8,9	10,5	14,2	18,9	22,0	21,9	18,6	13,2	7,8	4,9	12,6
Tmax	8,2	11,2	15,2	16,7	20,8	26,6	30,5	29,9	25,9	18,9	12,4	8,8	18,7
Tmin	0,2	0,9	2,7	4,3	7,5	11,2	13,6	13,8	11,2	7,5	3,2	1,3	6,5
HR	83	73	63	62	60	52	46	48	55	70	79	84	65
HS	100	142	211	229	269	323	360	333	252	176	117	88	2.599
P	42,1	31,4	24,8	44,1	47,3	28,7	14,4	17,3	29,6	54,1	52	51,4	437

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **HS:** número de horas de sol mensuales; **P:** precipitación (mm).

Se han determinado los principales índices y constantes vitícolas a partir de los datos climáticos de la Estación meteorológica territorial de Valladolid.

- Periodo activo: 211 días (5 abril - 2 noviembre)
- Periodo libre de heladas: 198 días (22 abril – 8 noviembre)
- Temperatura media en periodo activo: 17 °C
- Integral Térmica Activa (Ita): 3.628 °C
- Integral Térmica Eficaz (Ite) de Winkler y Amerine: 1.508 °C
- Precipitación en periodo activo: 235 mm
- Integral horas de luz en periodo activo: 1.942
- Producto Heliotérmico de Branas, Bernon y Levadoux (P.H.): 2,93
- Índice Heliotérmico de Huglin (IH): 2.333

En las tablas II.3, II.4 y II.5 se recogen los datos climáticos correspondientes a los tres años de estudio en el ensayo experimental de Castrillo de Duero.

Tabla II.3. Datos termopluiométricos en el año 2005. Estación meteorológica de Valbuena de Duero (Valladolid).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	1,2	1,3	9	10,2	15	21	21,6	21	15,9	12,3	5,8	2,9	11,4
Tmax	6	7,1	16	17,2	22,7	30	30	29,8	24,9	19,1	11,1	8,4	18,5
Tmin	-2,3	-4	2,3	3,1	7,1	11,4	12,3	11,4	7	6,2	1,6	-1,3	4,6
HR	88	73	66	68	58	47	45	47	53	73	83	82	65
HS	6,7	8,9	10,3	11,4	12,6	13,3	13,5	12,5	11,1	8,7	7,2	6,6	10,2
P	7,4	3,2	14,4	18,2	33,2	17	0	4,6	4	111,8	56	36	306
Pe	0,9	0	3,5	1,7	15	5	0	1,2	0	57,3	26	12,9	123
ETo	20,5	33,3	54,1	101	148	197	210	181	118	64,9	31,3	25,6	1.185

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **HS:** número medio de horas de sol diarias; **P:** precipitación (mm); **Pe:** precipitación efectiva (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

Tabla II.4. Datos termopluiométricos en el año 2006. Estación meteorológica de Valbuena de Duero (Valladolid).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	1,9	2,6	8	10,6	15,6	20,1	23,3	19,5	17,8	13,9	9,6	3,0	12,2
Tmax	6,2	9,5	14,2	17,2	23,8	29,2	32,4	28,1	26,5	20,7	14,9	8,1	19,2
Tmin	-1,5	-2,4	2,3	3,7	6,8	10,7	13,7	11,2	9,8	7,5	5,3	-1,3	5,5
HR	89	75	77	71	59	54	48	54	60	76	85	88	70
HS	6,4	8,4	9,8	11,7	12,7	13,2	13,1	12,5	10,5	8,7	6,8	6,4	10
P	31,8	36,2	38,2	39,6	2,6	34	21	26,6	27	87,4	47,2	24,6	416
Pe	11,9	17,9	13	14,7	0	15,5	11,2	14,3	6,3	43,6	15,4	8,9	173
ETo	19,3	41,2	69,9	101	154	177	200	180	112	66,8	34,6	20,1	1.176

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **HS:** número medio de horas de sol diarias; **P:** precipitación (mm); **Pe:** precipitación efectiva (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

Tabla II.5. Datos termopluviométricos en el año 2007. Estación meteorológica de Valbuena de Duero (Valladolid).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	3,1	6,6	6,4	10,6	13,2	16,6	20,2	19,1	16,7	11	4,8	2,3	10,9
Tmax	7,9	11,4	13,2	17,6	20,1	24,1	28,8	27,6	25,5	18,6	12,7	8,2	18,0
Tmin	-1,1	1,8	-0,1	3,5	6,4	8,6	10	10,6	9	4,5	-1,6	-2,4	4,1
HR	88	84	69	70	70	64	49	52	60	74	74	84	70
HS	6,5	7,5	10,1	11,2	12,1	13,2	13,5	12,3	10,9	9,2	8	6,7	10,1
P	18,4	50,4	9,6	52,6	65,4	49,6	3,4	29,2	23,2	55,2	34,2	4	395
Pe	7,8	16,6	0,7	24,9	29,7	26,3	0	16,8	10,8	31,2	17,9	0	183
ETo	20,6	39,5	74,9	95,8	125	151	188	164	117	64,6	38,3	20,4	1.099

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **HS:** número medio de horas de sol diarias; **P:** precipitación (mm); **Pe:** precipitación efectiva (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

En las tablas II.6, II.7 y II.8 se recogen los parámetros climáticos correspondientes a los tres años de estudio en el ensayo experimental de Pollos.

Tabla II.6. Datos termopluviométricos en el año 2005. Estación meteorológica de Tordesillas (Valladolid).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	1,5	1,5	7,8	10,7	15,3	21,4	22,1	21,1	15,9	12,5	5,7	3	11,5
Tmax	5,4	8,4	16,2	17,7	23,2	30,8	31	30,6	25,7	19,7	11,4	8,7	19,1
Tmin	-2,3	-5,4	-0,5	3,2	6,5	11	11,7	11	6	6,4	1	-2,2	3,9
HR	86	72	63	66	57	45	43	47	51	70	81	79	63
HS	6	8,8	10,4	11,4	12,9	13,4	13,6	12,5	11,2	8,7	7,2	7	10,3
P	0	0	0	3,2	12,4	7	0	40,8	1	93,6	33,2	13,8	205
Pe	0	0	0	0	2,8	1,2	0	24,6	0	46,8	14,3	4,4	94
ETo	19,6	36,5	72,7	100	142	195	207	171	112	60,7	28,5	22,6	1.168

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **HS:** número medio de horas de sol diarias; **P:** precipitación (mm); **Pe:** precipitación efectiva (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

Tabla II.7. Datos termopluiométricos en el año 2006. Estación meteorológica de Tordesillas (Valladolid).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	2,1	2,4	9,1	11,1	16	20,8	23,5	20	17,7	13,9	9,6	2,8	12,4
Tmax	6,1	9,4	15,5	18,1	24,2	29,7	32,9	28,6	26,8	20,9	14,9	8,3	19,6
Tmin	-1,5	-2,7	2,7	3,3	7,1	10,9	13,3	11,1	8,9	7,1	5,2	-2	5,3
HR	85	76	72	67	55	49	45	51	58	74	81	84	67
HS	6,3	8,5	10,1	11,8	12,8	13,2	13	12,6	10,6	8,7	7,2	5,9	10,1
P	24	18,2	4,6	26,6	24	14,4	2	34	31,8	82,4	54,6	16	333
Pe	10	8	0,7	7,2	13,8	2,1	0	18,8	11,1	37,9	21,4	5	136
ETo	18,8	34,7	68,2	103	156	176	192	167	101	62,9	34	18,3	1.132

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **HS:** número medio de horas de sol diarias; **P:** precipitación (mm); **Pe:** precipitación efectiva (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

Tabla II.8. Datos termopluiométricos en el año 2007. Estación meteorológica de Tordesillas (Valladolid).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	3,5	7	6,5	10,7	13,7	17	20,6	19,6	17	11,1	4	2,1	11,1
Tmax	8,2	12	13,9	18,1	20,7	24,8	29,6	28	25,7	18,7	12,7	7,6	18,3
Tmin	-0,9	1,8	-1,2	3,4	6,5	8,2	9,8	10,7	8,9	4,5	-3,2	-2,5	3,8
HR	84	79	66	69	67	61	47	51	57	73	75	84	68
HS	6,5	7,7	10,2	11	12	13,2	13,4	12,4	11	9	8	6,2	10
P	25,7	60,7	17,1	72,1	148,8	42,8	0	22,6	101,4	28,2	38,7	17,7	576
ETo	20,6	40,2	68,4	93,3	124	149	186	163	115	53,1	28,1	17,2	1.058

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **HS:** número medio de horas de sol diarias; **P:** precipitación (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

En las tablas II.9, II.10 y II.11 se recogen los parámetros climáticos correspondientes a los tres años de estudio en el ensayo experimental de Rodilana.

Tabla II.9. Datos termopluiométricos en el año 2005. Estación meteorológica de Rueda (Valladolid).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	1,2	1,7	7,7	10,9	15,7	21,5	22,1	21,7	16,8	12,9	6	3,3	11,8
Tmax	5	7,8	15,1	17,5	22,8	29,9	30,5	30,7	25,6	19,2	10,8	8,1	18,6
Tmin	-2,1	-3,5	1,2	4,7	8,7	13	13,2	12,7	8,5	7,5	2,1	-0,8	5,4
HR	87	73	60	64	54	44	43	43	47	68	80	78	62
RG	5,8	11,5	15,7	18,8	22,7	27	27,8	23,8	19,3	11,3	7,3	6,9	198
P	7,1	24,5	11	40,3	34,3	28,5	0	9,5	0	96,7	60,4	20	332
ETo	15,2	32,9	70,5	91	133	174	184	157	108	54,9	24,6	21,4	1.067

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **RG:** radiación global (W/m²); **P:** precipitación (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

Tabla II.10. Datos termopluiométricos en el año 2006. Estación meteorológica de Rueda (Valladolid).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	2,9	5,2	8,6	11,6	16,6	20,9	23,8	20,1	18,5	14,1	9,7	3,2	12,9
Tmax	6,3	10,3	14,4	18,1	24,3	29,2	32,5	28,4	26,5	20,3	14,6	7,7	19,4
Tmin	-0,1	0	3,3	5,4	9	12,5	15,3	12,1	11,2	8,8	5,9	-0,6	6,9
HR	89	76	71	63	49	47	43	50	54	72	80	83	65
RG	4,9		14	20,3	24,6	25,7	25,6	23,9	26,3	10,6	7,4	5,7	189
P	38,5	41,5	21,7	32,5	10,5	7,9	0,2	27,1	16,5	79,6	47,2	15,8	339
ETo	7,7	34,7	61,7	96,8	147	157	173	151	95,4	53,8	29,5	16,6	1.024

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **RG:** radiación global (W/m²); **P:** precipitación (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

Tabla II.11. Datos termopluiométricos en el año 2007. Estación meteorológica de Rueda (Valladolid).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	3,6	6,8	6,9	11	14	17,4	20,8	19,9	17,1	11,1	4	2,1	11,2
Tmax	7,8	11,4	13,6	17,7	20,5	24,6	28,9	27,8	25,5	18,7	12,7	7,6	18,1
Tmin	0,2	2,8	0,9	4,97	,9	10,1	10,7	10,2	10,1	4,5	-3,2	-2,5	4,7
HR	84	78	64	67	63	57	45	48	56	73	75	84	66
RG	5,9	8,8	15,5	18	20,6	24,4	26,8	22,2	18,7				
P	26,8	38,8	16,5	50,2	111,5	27,1	0	21	42,5	37,7	46,5	7	426
ETo	17,2	31,8	66,2	82,6	110	135	168	143	102	53,1	28,1	17,2	954

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **RG:** radiación global (W/m²); **P:** precipitación (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

En las tablas II.12, II.13 y II.14 se recogen los parámetros climáticos correspondientes a los tres años de estudio en el ensayo experimental de Toro.

Tabla II.12. Datos termopluiométricos en el año 2005. Estación meteorológica de Toro (Zamora).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	1,0	1,4	7,3	10,8	15,6	21,3	21,4	20,5	15,7	12,5	5,8	2,9	11,4
Tmax	5,6	9,1	15,7	17,5	23,2	30,3	30,2	30,3	25,9	20	11,8	9	19,1
Tmin	-2,8	-5,2	-0,4	3,9	7,3	11,7	12,2	11	6,8	5,9	0,7	-2,3	4,1
HR	86	73	62	67	58	49	51	54	58	72	81	80	66
HS	5,7	8,6	10,5	11,3	12,7	13,4	13,5	12,4	11,1	8,7	7,2	6,9	10,2
P	7,8	12	14	41,8	20,4	3,4	0	6	6,6	91,6	57,6	19,4	281
Pe	1,9	1,9	3,9	19,8	5,6	0	0	2,7	0,7	44	30,8	6,2	117
ETo	15	39,9	83,7	102	147	188	181	150	102	60,3	30,6	24,8	1.124

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **HS:** número medio de horas de sol diarias; **P:** precipitación (mm); **Pe:** precipitación efectiva (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

Tabla II.13. Datos termopluiométricos en el año 2006. Estación meteorológica de Toro (Zamora).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	2	2,3	8,9	11,2	16,3	20,2	22,6	18,9	16,9	13,5	9,6	2,8	12,1
Tmax	6,2	9,3	15	18,3	24,7	28,7	31,4	27,6	25,8	20,3	14,6	8,6	19,2
Tmin	-1,8	-3,2	2,8	4,1	7,4	11,8	14,5	10,2	9,2	7,4	5,4	-1,7	5,5
HR	87	77	73	69	55	55	57	61	68	79	84	86	71
HS	5,9	8,4	10,1	11,6	12,8	13,2	12,9	12,5	10,3	8,8	7,2	6,4	10
P	28,6	41	31,4	45,4	21,8	17,8	7,6	15,6	34	81,8	64,6	18,4	408
Pe	10,9	21,1	9,8	19,8	8,3	4	1,5	6,2	14	36,4	29,1	5,7	167
ETo	19,5	37,5	76,4	105	167	174	178	142	96,6	57,9	30,8	19,7	1.104

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **HS:** número medio de horas de sol diarias; **P:** precipitación (mm); **Pe:** precipitación efectiva (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

Tabla II.14. Datos termopluiométricos en el año 2007. Estación meteorológica de Toro (Zamora).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Tm	4,1	7,2	7,1	11	14,2	17,4	20,6	19,7	17,3	11,4	4,8	2,7	11,5
Tmax	8,4	11,8	14,6	18,2	21,3	25,2	28,6	27,7	25,6	19,1	13,7	8,1	18,5
Tmin	0	2,6	-0,1	4	7,5	9,8	11,4	11,2	9,6	4,8	-2,2	-1,8	4,7
HR	86	81	65	71	70	65	50	53	60	74	74	84	69
HS	6,4	8	10,4	10,9	12,1	13,3	13,4	12,4	10,8	8,9	8	6	10
P	23,8	44,2	17,4	68,8	131,4	38,6	0,8	30,2	80	44	38	10,2	527
Pe	9,3	14,9	6,8	32,5	73,9	20,2	0	16,9	44,5	21,3	20,7	2,6	264
ETo	22,3	42,8	71,5	96,4	130	143	173	145	97,9	50,2	27,4	17,6	1.017

Tm: temperatura media (°C); **Tmax:** temperatura media de máximas (°C); **Tmin:** temperatura media de mínimas (°C); **HR:** humedad relativa (%); **HS:** número medio de horas de sol diarias; **P:** precipitación (mm); **Pe:** precipitación efectiva (mm); **ETo:** evapotranspiración de referencia (mm).

La evapotranspiración de referencia (ETo) se ha calculado según el método de Penman modificado por Dorenboos y Pruit (1997) (FAO, Irrigation and Drainage, Paper 24). La precipitación efectiva (Pe) es la precipitación total

menos las pérdidas por escorrentía o por infiltración-percolación profunda, y se ha calculado para cada uno de los meses por el método que recomienda el USDA Soil Conservation Service, que está descrito en el método de cálculo de la ETo de Penman Monteith (Smith 1993).

En la figura II.1 se muestran los diagramas ombrotérmicos (2005-07) correspondientes a los ensayos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro.

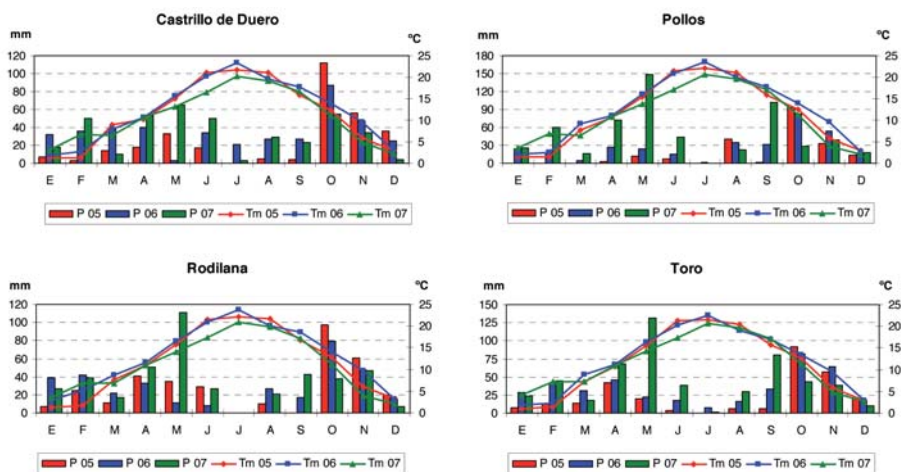


Figura II.1. Diagramas ombrotérmico., Tm: temperatura media mensual y P: precipitación mensual, correspondientes a los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro.

1.4. Características edáficas

Las características físicas y químicas de los suelos donde se encuentran los ensayos experimentales se detallan en las tablas II.15, II.16, II.17 y II.18, correspondientes a los viñedos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente. En dichas tablas se recoge la descripción de los horizontes del perfil del suelo desde la superficie hasta una profundidad que varía según el viñedo experimental de 100 a 140 cm, con su clasificación según el método USDA (2006), así como el análisis textural, el contenido de materia orgánica, la conductividad eléctrica, el pH, el contenido de caliza total y activa, la concentración de cationes extraíbles (potasio, calcio, magnesio y sodio), la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de fósforo, la concentración de metales extraíbles (Fe, Cu, Mn y Zn), el contenido de sulfatos y el contenido de cloruros.

Los suelos de los cuatro ensayos experimentales se caracterizan por un pH ligeramente básico, con un bajo nivel de materia orgánica en todos los horizontes del perfil de suelo. Según los valores de referencia dados por Gómez-Miguel (1994), los niveles de calcio y de magnesio son medio-bajos en los cuatro ensayos en todos los horizontes del perfil de suelo. Los valores de potasio son bajos en el primer horizonte y muy bajos en los horizontes más profundos. Las relaciones K/Ca y Ca/Mg muestran niveles bajos y medios respectivamente en los cuatro suelos estudiados según los valores dados por Gómez-Miguel (1994). Los niveles de fósforo son bajos en los primeros horizontes y muy bajos en los horizontes más profundos en los cuatro suelos estudiados.

Los niveles de caliza total son bajos en el primer horizonte y, en general, aumentan en los horizontes más profundos, sobre todo en los suelos de los ensayos experimentales de Rodilana y de Toro. El nivel de caliza activa es media en los primeros horizontes y aumenta en los más profundos en los ensayos de Castrillo y Toro. En el ensayo de Rodilana el nivel de caliza activa es medio en el horizonte superficial y muy alto en los demás horizontes, con valores superiores al 12%.

Según los valores de referencia dados por Gómez-Miguel (1994), los metales extraíbles muestran niveles diferentes dependiendo del suelo y del horizonte analizado. El manganeso muestra valores medio-altos en el primer horizonte y bajos en los horizontes más profundos en los ensayos de Castrillo, Pollos y Toro. En el ensayo de Rodilana, el nivel de Manganeso es bajo a lo largo de todos los horizontes del suelo, presentando algunas plantas síntomas de carencia de manganeso en el periodo de toma de datos de la presente tesis. El nivel de zinc es bajo en todos los horizontes de los cuatro suelos estudiados y el nivel de cobre presenta valores altos y muy altos en los primeros horizontes y disminuye a medida que el horizonte es más profundo.

Tabla II.15. Características edafológicas del ensayo experimental de **Castrillo de Duero** (Valladolid). Análisis realizados sobre muestra seca al aire en el Laboratorio de Análisis Físico-Químico y Sensorial del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León.

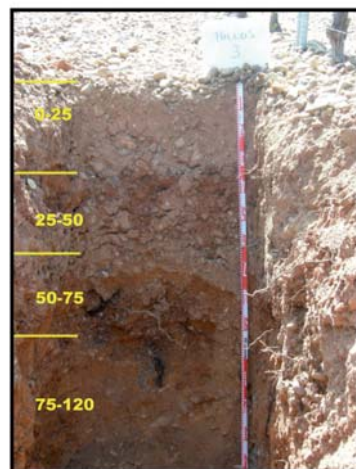
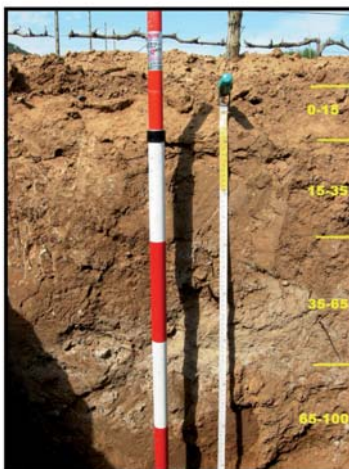
Profundidad (cm)	Colores (Munsell)		Horizonte genérico	Clasificación USDA (2006)	
	Seco	Húmedo		Horizonte diagnóstico	
0-15	7,5YR4.5/4	7,5YR3/3	A	Ochríco	
15-35	5YR4/3.5	5YR3.5/3.5	Btk1	Cálcico	CALCIXEREPT TÍPICO
35-65	7,5YR6/3	7,5YR4/2	Btk2	Cálcico	
65-100	7,5YR6/3	7,5YR4/2	Ck	Cálcico	

Profundidad (cm)	(% Textura USDA)			Elementos gruesos (%)	Clase textural
	Arena	Limo	Arcilla		
0-15	61	25	14	0	Franco-Arenosa
15-35	61	22	17	0	Franco-Arenosa
35-65	56	19	25	0	Franco-Arcillo-Arenosa
65-100	58	22	20	0	Franco-Arenosa

Profundidad (cm)	Materia orgánica (%)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH (1:2,5)	Carbonatos (%)	Caliza activa (%)
0-15	0,707	116,7	8,71	< 3	< 5
15-35	0,600	112,6	8,99	< 3	< 5
35-65	0,581	147,3	8,88	15,86	7,60
65-100	0,538	152,8	9,07	16,44	< 5

Profundidad (cm)	Cationes extraíbles				C.I.C. (meq/100g)	Fósforo (Olsen) (ppm)
	Potasio (ppm)	Calcio (cmol'/kg)	Magnesio (cmol'/kg)	Sodio (cmol'/kg)		
0-15	383	5,24	3,66	0,12	<10	14,45
15-35	278	6,13	3,94	0,12	10,9	10,09
35-65	180	5,89	3,53	0,12	<10	6,11
65-100	180	6,16	3,26	0,12	<10	3,96

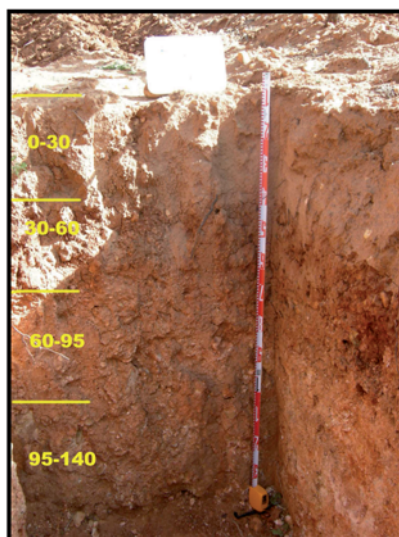
Profundidad (cm)	Metales extraíbles (mg)				Sulfatos (mg SO_4/kg)	Cloruros (mg Cl/kg)
	Fe	Cu	Mn	Zn		
0-15	<5	1,73	18,0	<1	<20	<20
15-35	<5	1,35	5,72	<1	20,4	<20
35-65	<5	<1	<2	<1	97,9	<20
65-100	<5	<1	<2	<1	118	<20



Fotos 1 y 2. Horizontes del perfil de los suelos correspondientes a los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero** (izquierda) y **Pollos** (derecha).

Tabla II.16. Características edafológicas del ensayo experimental de **Pollos** (Valladolid). Análisis realizados sobre muestra seca al aire en el Laboratorio de Análisis Físico-Químico y Sensorial del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León.

Profundidad (cm)	Colores (Munsell)		Horizonte genérico	Clasificación USDA (2006)		
	Seco	Húmedo		Horizonte diagnóstico		
0-25	5YR6/6	5YR5/5	A	Ochrico	HAPLOXERalf TÍPICO	
25-50	7,5YR6/6	7,5YR4/6	Bt	Argílico		
50-75	5YR6/7	5YR5/7	Btk	Argílico		
75-120	5YR7/75	5YR6/7	2Ck	Nd		
Profundidad (cm)	(% Textura USDA)			Elementos gruesos (%)	Clase textural	
	Arena	Limo	Arcilla			
0-25	63	22	15	20	Franco-Arenosa	
25-50	58	30	12	45	Franco-Arenosa	
50-75	65	17	18	15	Franco-Arenosa	
75-120	92	2	5	25	Arenosa	
Profundidad (cm)	Materia orgánica (%)	Conductividad eléctrica (µS/cm)		pH (1:2,5)	Carbonatos (%)	Caliza activa (%)
0-25	0,366	107,5		7,86	< 3	< 5
25-50	0,315	90,2		7,21	< 3	< 5
50-75	0,314	70,3		5,73	< 3	< 5
75-120	< 0,1	82,1		6,9	< 3	< 5
Profundidad (cm)	Cationes extraíbles				C.I.C. (meq/100g)	Fósforo (Olsen) (ppm)
	Potasio (ppm)	Calcio (cmol ⁺ /kg)	Magnesio (cmol ⁺ /kg)	Sodio (cmol ⁺ /kg)		
0-25	266	6,89	2,31	0,12	< 10	15,37
25-50	180	6,98	2,44	0,12	< 10	6,11
50-75	180	8,33	1,09	0,12	< 10	18,47
75-120	180	8,33	1,09	0,12	< 10	6,11
Profundidad (cm)	Metales extraíbles (mg)				Sulfatos (mg SO ₄ /kg)	Cloruros (mg Cl/kg)
	Fe	Cu	Mn	Zn		
0-25	61,5	2,53	44,8	< 1	< 20	< 20
25-50	10,6	< 1	< 2	< 1	< 20	< 20
50-75	33,2	< 1	33,2	< 1	34,3	< 20
75-120	5	< 1	< 2	< 1	23,5	< 20



Fotos 3 y 4. Horizontes del perfil de los suelos correspondientes a los ensayos experimentales de **Rodilana** (izquierda) y **Toro** (derecha).

Tabla II.17. Características edafológicas del ensayo experimental de **Rodilana** (Valladolid). Análisis realizados sobre muestra seca al aire en el Laboratorio de Análisis Físico-Químico y Sensorial del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León.

Profundidad (cm)	Colores (Munsell)		Horizonte genérico	Clasificación USDA (2006)	
	Seco	Húmedo		Horizonte diagnóstico	
0-35	7,5YR5/4	7,5YR3/4	Ap	Ochrico	
35-65	2,5YR5/65	2,5YR4/6	Btk	Argílico	
65-95	7,5YR8/4	7,5YR4/45	Bk1	Cálcico	HAPLOXERalf CÁLCICO
95-140	7,5YR8/4	7,5YR4/45	Bk2	Cálcico	

Profundidad (cm)	(%) Textura USDA			Elementos gruesos (%)	Clase textural
	Arena	Limo	Arcilla		
0-35	60	21	20	12	Franco-Arenosa
35-65	57	18	24	17	Franco-Arcillo-Arenosa
65-95	53	15	32	3	Franco-Arcillo-Arenosa
95-140	75	18	7	2	Franco-Arenosa

Profundidad (cm)	Materia orgánica (%)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH (1:2,5)	Carbonatos (%)	Caliza activa (%)
0-35	0,809	164,2	8,52	5,26	< 5
35-65	0,733	169,2	8,56	> 35	> 12
65-95	0,540	170,3	8,6	> 35	> 12
95-140	0,179	191,3	8,59	20,5	> 12

Profundidad (cm)	Cationes extraíbles				C.I.C. (meq/100g)	Fósforo (Olsen) (ppm)
	Potasio (ppm)	Calcio (cmol ⁺ /kg)	Magnesio (cmol ⁺ /kg)	Sodio (cmol ⁺ /kg)		
0-35	301	10,52	2,99	0,12	14,4	15,11
35-65	180	12,53	1,49	0,12	14,6	6,11
65-95	180	13,62	2,85	0,17	17,1	6,11
95-140	180	12,82	7,19	0,23	20,7	6,11

Profundidad (cm)	Metales extraíbles (mg)				Sulfatos (mg SO ₄ /kg)	Cloruros (mg Cl/kg)
	Fe	Cu	Mn	Zn		
0-35	< 5	1,01	2,50	1,82	49	< 20
35-65	< 5	< 1	< 2	< 1	164	< 20
65-95	< 5	< 1	< 2	< 1	145	< 20
95-140	< 5	< 1	< 2	< 1	62,5	38,6

No hay limitaciones edáficas, físicas ni químicas, ni existe gradiente alguno por el cual se viera beneficiado o perjudicado algún tratamiento en ninguno de los cuatro ensayos experimentales planteados. Cabe reseñar que el ensayo de Pollos hay un nivel alto de elementos gruesos en los diferentes horizontes del perfil estudiado, lo que aunque en el cultivo de la vid puede ser un factor de calidad, conlleva la importancia de controlar la fertilidad del suelo, ya que dichos elementos gruesos actúan como diluyente. En el ensayo de Toro el suelo presenta un límite abrupto a los 30 cm ya que el nivel de arcilla aumenta más de un 20% a partir de dicha profundidad (Gómez-Miguel 1994). Este aumento del porcentaje de arcilla a los 30 cm supone una barrera física para muchas de las raíces que desarrolla la viña, evitando éstas dicho horizonte y creciendo en sentido horizontal la mayoría de las raíces. En cualquier caso dicha situación no supone una limitación decisiva para el cultivo de la vid.

La curva característica de humedad del suelo (% peso seco) se muestra en las figuras II.1, II.2, II.3 y II.4; para su representación se han considerado los

cuatro horizontes genéricos, por una parte, y el conjunto del perfil, como media ponderada de sus horizontes, por otra, correspondientes a cada ensayo experimental. Los contenidos de humedad (% peso seco) para cada valor de potencial matricial han sido obtenidos mediante una membrana de Richards (Richards 1949).

Se ha calculado la capacidad máxima de almacenamiento de agua del suelo de cada ensayo experimental, como diferencia entre el contenido de humedad a capacidad de campo (potencial matricial de -0,1 bar) y el punto de marchitez (potencial matricial de -15 bar). La profundidad del perfil considerada ha sido de 1 m en Castrillo de Duero, 1,2 m en Pollos y 1,4 m en Rodilana y en Toro, por ser donde se desarrollan la mayoría de las raíces. En la tabla II.19 se muestran los valores de humedad (% peso seco) de los suelos de los cuatro ensayos experimentales a capacidad de campo y en el punto de marchitez, para las cuatro profundidades estudiadas en cada viñedo, así como los valores de densidad aparente (g.cm^{-3}) utilizados para obtener la humedad disponible o agua útil como porcentaje de volumen. La capacidad de retención de agua del suelo se ha obtenido como media ponderada de las cuatro profundidades en cada ensayo experimental considerando el primer metro de profundidad de suelo.

Tabla II.18. Características edafológicas del ensayo experimental de **Toro** (Zamora). Análisis realizados sobre muestra seca al aire en el Laboratorio de Análisis Físico-Químico y Sensorial del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León.

Profundidad (cm)	Colores (Munsell)		Horizonte genérico	Clasificación USDA (2006)		
	Seco	Húmedo		Horizonte diagnóstico		
0-30	7,5YR4/4	7,5YR3/35	A	Ochríco	RHODOXERALE CÁLCICO	
30-60	2,5YR3/5	2,5YR25/4	Bt	Argílico		
60-95	7,5YR7/6	7,5YR6/55	Btk1	Cálcico		
95-140	7,5YR65/65	7,5YR6/5	Btk2	Cálcico		
Profundidad (cm)	(% Textura USDA)			Elementos gruesos (%)	Clase textural	
	Arena	Limo	Arcilla			
0-30	82	10	8	15	Arenosa	
30-60	51	18	31	25	Franco-Arcillo-Arenosa	
60-95	62	21	17	20	Franco-Arenosa	
95-140	65	21	15	30	Franco-Arenosa	
Profundidad (cm)	Materia orgánica (%)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH (1:2,5)	Carbonatos (%)	Caliza activa (%)	
0-30	0,419	76	7,39	< 3	< 5	
30-60	0,715	127,3	7,31	34	8,22	
60-95	0,278	119,8	8,6	> 35	7,47	
95-140	0,202	150,7	8,79	> 35	8,11	
Profundidad (cm)	Cationes extraíbles				C.I.C. (meq/100g)	Fósforo (Olsen) (ppm)
	Potasio (ppm)	Calcio (cmol ⁺ /kg)	Magnesio (cmol ⁺ /kg)	Sodio (cmol ⁺ /kg)		
0-30	180	7,79	1,63	0,12	< 10	12,88
30-60	180	12,9	4,21	0,23	17,8	6,11
60-95	180	7,52	1,9	0,12	< 10	6,11
95-140	180	7,11	2,31	0,12	< 10	6,11
Profundidad (cm)	Metales extraíbles (mg)				Sulfatos (mg SO ₄ /kg)	Cloruros (mg Cl/kg)
	Fe	Cu	Mn	Zn		
0-30	19,2	1,86	29,6	< 1	< 20	< 20
30-60	< 5	< 1	2,17	< 1	61,1	< 20
60-95	< 5	< 1	< 2	< 1	112	< 20
95-140	< 5	< 1	< 2	< 1	145	22,5

Tabla II.19. Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), contenido de humedad (% peso seco) a capacidad de campo ($\psi_m = 0,1$ bar) y en el punto de marchitez ($\psi_m = 15$ bar), agua útil (% volumen) en cada profundidad de suelo estudiada y capacidad de retención de agua en 1 metro de suelo (mm) en cada ensayo experimental.

Ensayo experimental	Profundidad (cm)	Densidad Aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Humedad (% peso seco)		Agua útil (% v/v)	Capacidad retención de agua
			$\psi_m = 0,1$ bar	$\psi_m = 15$ bar		
Castrillo de Duero	0-15	1,40	17,38	5,60	16,49	158,6
	15-35	1,40	18,54	6,33	17,09	
	35-65	1,35	19,72	8,07	15,72	
	65-100	1,40	18,57	7,86	14,99	
Pollos	0-25	1,40	13,98	3,69	14,41	98,8
	25-50	1,40	8,37	4,32	5,67	
	50-75	1,40	14,39	3,34	15,46	
	75-120	1,45	3,87	1,11	4,00	
Rodilana	0-35	1,40	15,58	6,74	12,38	122,1
	35-65	1,35	26,93	17,45	12,80	
	65-95	1,35	28,55	19,17	12,67	
	95-140	1,40	21,89	13,61	11,59	
Toro	0-30	1,45	7,75	2,70	7,32	125,5
	30-60	1,35	23,87	13,48	14,02	
	60-95	1,40	21,80	11,74	14,09	
	95-140	1,40	24,26	11,71	17,57	

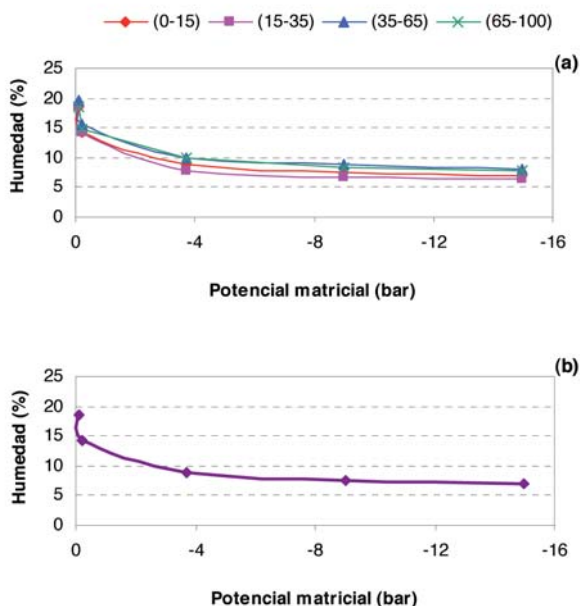


Figura II.2. Curva característica media de humedad del suelo del ensayo de **Castrillo de Duero** en los cuatro horizontes genéricos según profundidades del perfil en cm (a) y en el conjunto del perfil (media de sus horizontes) hasta una profundidad de suelo de 1 m (b).

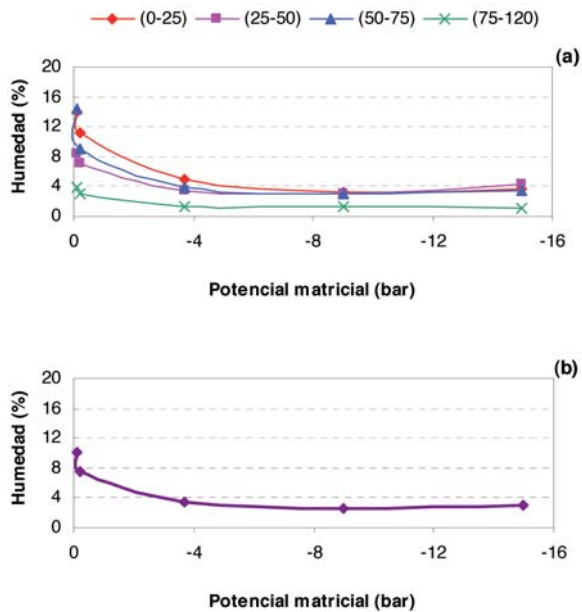


Figura II.3. Curva característica media de humedad del suelo del ensayo de **Pollos** en los cuatro horizontes genéricos según profundidades del perfil en cm (a) y en el conjunto del perfil hasta una profundidad de suelo de 1,2 m (b).

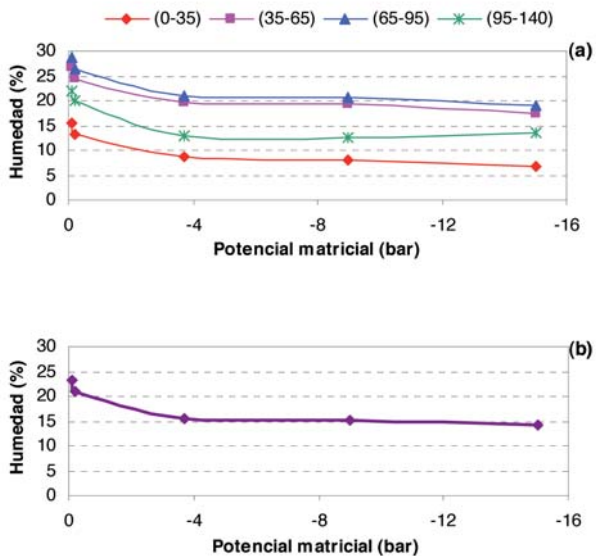


Figura II.4. Curva característica media de humedad del suelo del ensayo de **Rodilana** en los cuatro horizontes genéricos según profundidades del perfil en cm (a) y en el conjunto del perfil (media de sus horizontes) hasta una profundidad de suelo de 1,4 m (b).

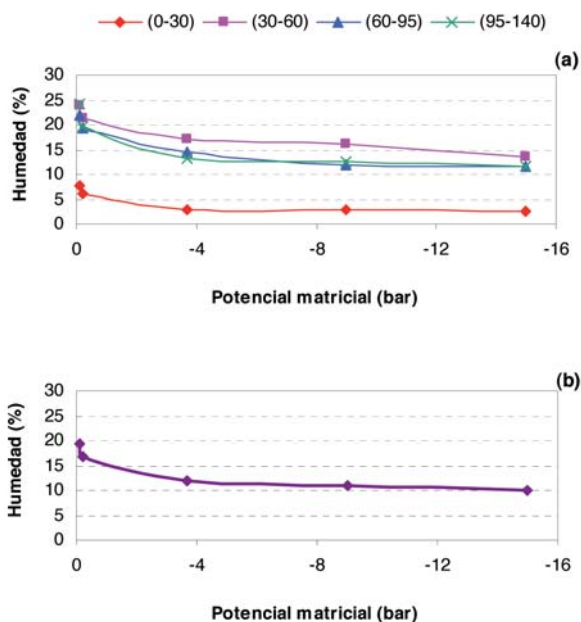


Figura II.5. Curva característica media de humedad del suelo del ensayo de **Toro** en los cuatro horizontes genéricos según profundidades del perfil en cm (a) y en el conjunto del perfil (media de sus horizontes) hasta una profundidad de suelo de 1,4 m (b).

1.5. Características fenológicas

El resumen de los estados fenológicos más representativos, como Desborre, Floración, Cuajado, Envero y Madurez, de los años 2006 y 2007, obtenidos como media de los tres tratamientos en cada ensayo experimental, aparece recogido en la tabla II.20. Cada estado fenológico se ha estimado cuando el 50% de las yemas o sus respectivos brotes se encontraban en dicho estado (Baillod y Baggiolini 1993), a excepción de la fecha de madurez o vendimia que se ha determinado a partir de un seguimiento semanal del índice de madurez desde el envero en cada ensayo experimental.

Tabla II.20. Fechas de los estados fenológicos más representativos de los cuatro ensayos experimentales en 2006 y 2007.

	Año	Desborre	Floración	Cuajado	Envero	Madurez (*)
Castrillo de Duero	2006	14 Abril10	Junio17	Junio2	Agosto	26 Sept.
	2007	19 Abril	19 Junio	24 Junio	21 Agosto	9 Octubre
Pollos	2006	3 Abril	2 Junio	9 Junio	25 Julio	20 Sept.
	2007	17 Abril	15 Junio	21 Junio	16 Agosto	5 Octubre
Rodilana	2006	7 Abril	7 Junio	14 Junio	30 Julio	18 Sept.
	2007	14 Abril	19 Junio	24 Junio	18 Agosto	27 Sept.
Toro	2006	6 Abril	5 junio	10 Junio	31 Julio	13 Sept.
	2007	12 Abril	12 Junio	18 Junio	17 agosto	24 Sept.

(*) Fecha de vendimia

2. Protocolo Experimental

Los ensayos experimentales se han realizado durante los años 2005, 2006 y 2007 en los viñedos descritos anteriormente, ocupando cada unidad de los tratamientos experimentales la misma situación a lo largo del período de estudio.

2.1 Tratamientos experimentales

Los ensayos experimentales han consistido en el estudio de la densidad de plantación, a través de la modificación la distancia entre cepas dentro de la línea.

Las densidades de plantación estudiadas tienen un espaciamento entre filas de 3 metros y una distancia entre cepas de 1,2 metros en el tratamiento 1,2, de 1,5 metros en el tratamiento 1,5 y de 1,8 metros en el tratamiento 1,8, en los cuatro ensayos experimentales. Los marcos de plantación (separación entre filas × distancia entre cepas dentro de la fila) y el área de suelo que le corresponde a cada cepa son los siguientes:

- 3 m × 1,2 m : 3,6 m² de suelo
- 3 m × 1,5 m : 4,5 m² de suelo
- 3 m × 1,8 m : 5,4 m² de suelo

De este modo, la densidad de plantación en el tratamiento 1,2 es de 2.778 cepas.ha⁻¹, en el tratamiento 1,5 es de 2.222 cepas.ha⁻¹ y en el tratamiento 1,8 es de 1.852 cepas.ha⁻¹.

2.2 Diseño experimental

2.2.1 Dispositivo experimental

El dispositivo experimental presenta una distribución en bloques al azar de los tres tratamientos, 1,2; 1,5 y 1,8, que corresponden con las tres distancias entre cepas estudiadas.

Cada ensayo experimental está formado por 12 filas de cepas divididas en cuatro bloques. Cada bloque está formado por tres filas de cepas, la central es la fila de control y a cada lado de ella se sitúa una fila destinada al efecto borde. Cada bloque incluye los tres tratamientos distribuidos al azar, por tanto, cada ensayo experimental cuenta con cuatro repeticiones de cada tratamiento experimental. En cada fila, el número de cepas de cada tratamiento varía, ya que cada fila de cada bloque termina y empieza en el mismo punto de distancia respecto del extremo (figura II.6). De esta forma, cada parcela elemental está formada por:

- 48 cepas del tratamiento 1,2, siendo las 14 plantas centrales de control.
- 39 cepas del tratamiento 1,5, siendo las 11 plantas centrales de control.
- 33 cepas del tratamiento 1,8, siendo las 9 plantas centrales de control.

Cada tratamiento se aplica en cada bloque a las tres filas contiguas que lo conforman, siendo las dos filas laterales, así como la primera y la última cepa de la fila de control de cada repetición, destinadas al efecto borde. En la figura II.6 se muestra el croquis común de la distribución de los tratamientos de densidad de plantación de los cuatro ensayos experimentales.

Este dispositivo experimental general se ha mantenido para el conjunto de los cuatro ensayos y ha constituido la base experimental. No obstante, según la parte del estudio a realizar se ha requerido el empleo de parcelas elementales o número de repeticiones diferentes, pero los datos y las muestras siempre fueron tomados de la población de cepas de control.

En los siguientes epígrafes se describen con más detalle las particularidades del diseño experimental para los distintos aspectos que se han estudiado.

2.2.2 Unidades experimentales para el estudio de la superficie foliar

Para la caracterización de la superficie foliar (superficie foliar total, superficie foliar externa, relación entre ambas, crecimiento del pámpano) se han elegido 8 cepas representativas por tratamiento en cada ensayo experimental, configurando un diseño experimental con las siguientes características:

- Número de repeticiones: 4
- Parcela elemental: 2 cepas

2.2.3 Unidades experimentales para el estudio de la materia seca

Para el estudio de la materia seca acumulada en las diferentes partes aéreas de la cepa se ha establecido un número de cepas representativo en función de la parte de la planta estudiada, del año de estudio y del ensayo experimental.

La materia seca acumulada en los racimos se ha determinado a partir de 1 racimo recogido por cepa y repetición. Este porcentaje se ha aplicado a la producción de uva por cepa, calculando de esta manera la materia seca acumulada en el conjunto de los racimos.

La materia seca acumulada en los sarmientos se ha determinado a partir del porcentaje de materia seca obtenido de 1 sarmiento representativo de 1 cepa por repetición (4 sarmientos por tratamiento). Este porcentaje se ha aplicado a la producción de madera de poda por cepa de cada repetición, obteniendo así, la materia seca acumulada en los sarmientos.

Tabla II.21. Número de cepas que componen la parcela elemental para el estudio de la materia seca acumulada en racimos; sarmientos (a): sarmientos en época de vendimia, sarmientos (b): sarmientos en época de poda en seco; y hojas, en los años 2005, 2006 y 2007.

	Año	Racimos	Sarmientos (a)	Sarmientos (b)	Hojas
Castrillo de Duero	2005	2 cepas	-	-	-
	2006	1 cepa	2 cepas	1 cepa	1 cepa*
	2007	-	-	-	-
Pollos	2005	2 cepas	-	-	1 cepa
	2006	1 cepa	2 cepas	1 cepa	1 cepa*
	2007	-	-	1 cepa	-
Rodilana	2005	2 cepas	-	-	1 cepa
	2006	1 cepa	2 cepas	1 cepa	1 cepa*
	2007	-	-	1 cepa	-
Toro	2005	2 cepas	-	-	-
	2006	-	2 cepas	1 cepa	1 cepa*
	2007	-	-	1 cepa	-

* Parcela elemental de 1 repetición y de 1 cepa por ensayo (4 repeticiones por tratamiento 1 de cada ensayo)

La materia seca acumulada en las hojas se ha determinado a partir de la ecuación de regresión que relaciona la superficie foliar con el peso seco de hojas de un sarmiento (apartado 3.5 de Material y Métodos), obtenida a partir de las hojas de 1 sarmiento por cepa y repetición.

El número de cepas que componen la parcela elemental de las unidades experimentales establecidas para el estudio de la materia seca quedan resumidas en la tabla II.21, siendo el número de repeticiones igual a 4, constante para todos los estudios en todos los ensayos.

2.2.4 Unidades experimentales para el estudio fisiológico

El estudio de la actividad fisiológica, a través de los diversos parámetros (potencial hídrico, fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración) se realizó sobre 8 cepas representativas de cada uno de los tratamientos, escogidas meticulosamente como representativas del conjunto. De cada cepa se midió en una hoja representativa, es decir, adulta, con aspecto sano y perfectamente iluminada (en las medidas realizadas durante el día). La parcela elemental fue de 2 cepas y el número de repeticiones fue 4.

2.2.5 Unidades experimentales para el estudio agronómico

El diseño experimental utilizado en el estudio del comportamiento agronómico (madera de poda, rendimiento y sus componentes, y composición del mosto) ha sido el correspondiente al modelo descrito en el dispositivo experimental general, que reúne las siguientes características:

- Número de bloques y repeticiones: 4
- Parcela elemental:
 - 14 cepas en el tratamiento 1,2
 - 11 cepas en el tratamiento 1,5
 - 9 cepas en el tratamiento 1,8

2.3 Operaciones de cultivo

Se han llevado a cabo las operaciones específicas de cultivo necesarias para el ajuste de carga de cada cepa en los cuatro ensayos experimentales: la poda en seco o poda de invierno y la poda en verde; ambas de forma manual.

La poda en seco se realizó en el período de reposo vegetativo de las plantas (tabla II.22). Se llevó a cabo una poda corta, en la cual se dejan pulgares a dos yemas francas, en las filas de control y en las filas borde, dejando un número de pulgares determinado según los tratamientos, para que exista el mismo número de yemas por metro lineal.

El tratamiento 1,2 se podó a tres pulgares por brazo, el tratamiento 1,5 a cuatro pulgares por brazo y el tratamiento 1,8 a cinco pulgares por brazo, con lo cual la carga de poda es la siguiente:

- Tratamiento 1,2: 6 pulgares, 12 yemas francas por cepa
- Tratamiento 1,5: 8 pulgares, 16 yemas francas por cepa
- Tratamiento 1,8: 10 pulgares, 20 yemas francas por cepa

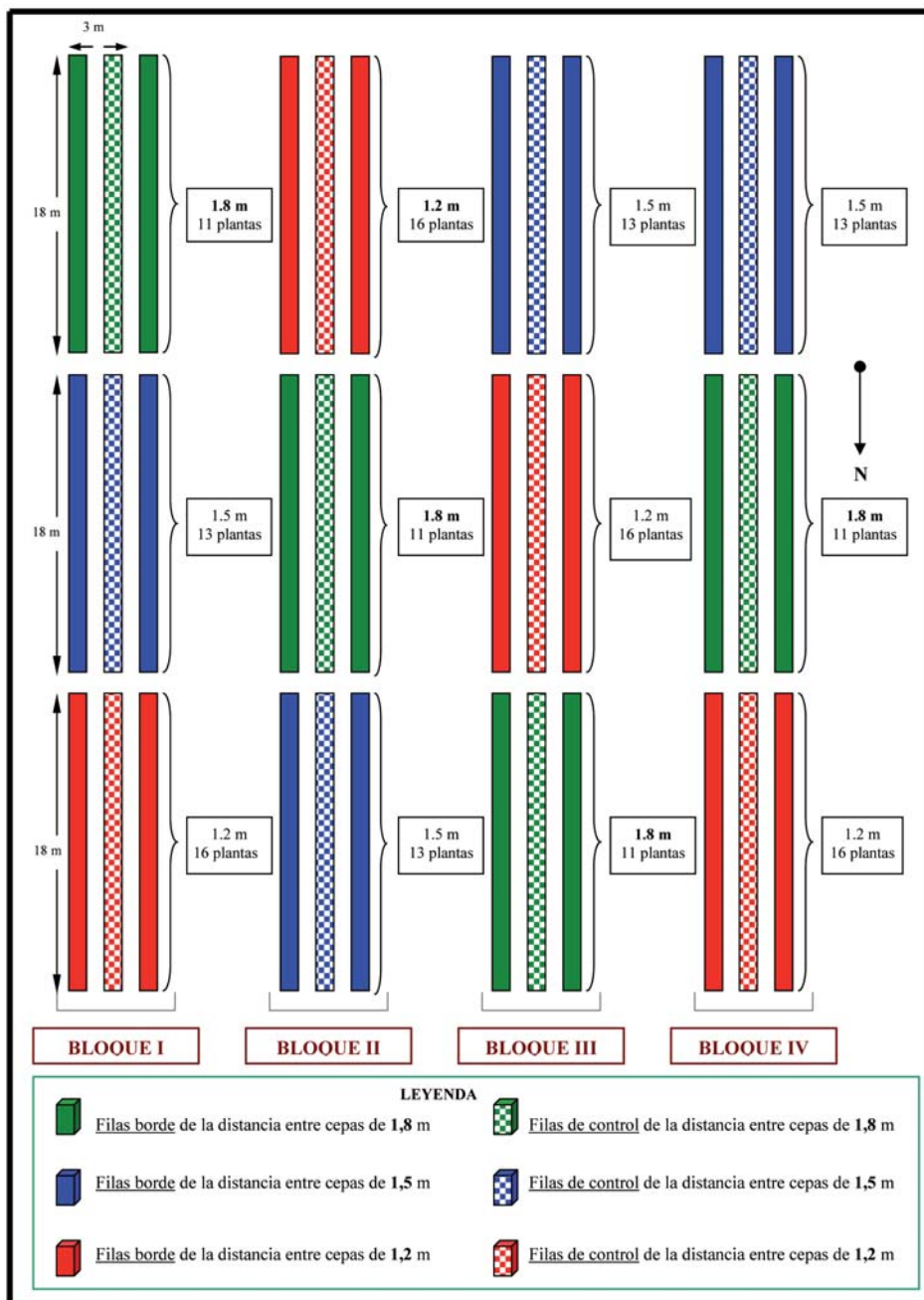


Figura II.6. Croquis del dispositivo experimental general de ensayo de distancia entre cepas con 4 bloques al azar en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro.

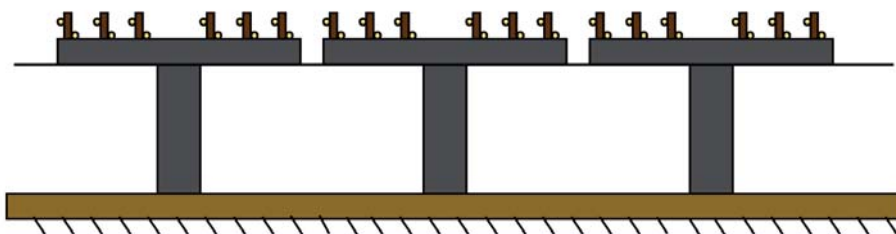


Figura II.7. Esquema del tratamiento 1,2 con las yemas francas dejadas en la poda en seco (12 yemas por cepa, 1 brote cada 10 cm de espaldera lineal).

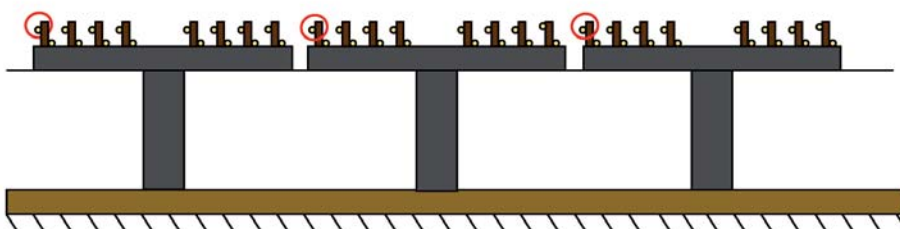


Figura II.8. Esquema del tratamiento 1,5 con las yemas francas dejadas en la poda en seco (16 yemas por cepa) y las yemas a suprimir en la poda en verde (15 yemas por cepa, 1 brote cada 10 cm de espaldera lineal).

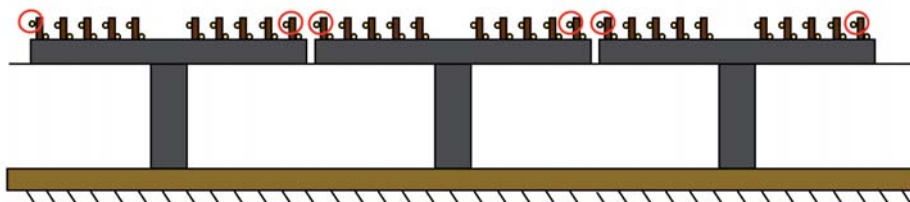


Figura II.9. Esquema del tratamiento 1,8 con las yemas francas dejadas en la poda en seco (20 yemas por cepa) y las yemas a suprimir en la poda en verde (18 yemas por cepa, 1 brote cada 10 cm de espaldera lineal).

La poda en verde se realizó tanto en las filas de control como en las filas borde, en el período de actividad vegetativa de la cepa (tabla II.22) y tuvo como objetivo el ajuste del número de brotes correspondiente en cada tratamiento. Se dejaron dos pámpanos con posibles racimos en cada pulgar, de modo que para conseguir el mismo número de pámpanos por metro lineal fue necesario dejar en cada cepa del tratamiento 1,5 un pulgar con un solo brote y en cada cepa del tratamiento 1,8 dos pulgares con un brote. De esta forma, la carga de brotes por cepa fue la siguiente:

- Tratamiento 1,2: 2 pámpanos por pulgar y 12 pámpanos por cepa

- Tratamiento 1,5: 2 pámpanos por pulgar y 15 pámpanos por cepa
- Tratamiento 1,8: 2 pámpanos por pulgar y 18 pámpanos por cepa

Tabla II.22. Fechas de realización de poda en seco y poda en verde de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro en los años 2005, 2006 y 2007.

Ensayo	Poda en seco			Poda en verde		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007
Castrillo de Duero	3-ene	15-ene	18-dic	23-may	19-may	8-jun
Pollos	2-ene	30-nov	12-dic	6-may	12-may	8-may
Rodilana	26-dic	13-dic	11-dic	6-may	10-may	10-may
Toro	28-dic	15-dic	14-dic	9-may	16-may	5-jun

Se colocó la vegetación dentro de los alambres de la espaldera de manera ordenada, situando los pámpanos en posición vertical en tantos momentos como fue necesario a lo largo del periodo de estudio para evitar posibles roturas de elementos de control en los cuatro ensayos experimentales.

2.4 Análisis de los resultados

El análisis estadístico general de los resultados se ha realizado mediante el programa estadístico Statgraphics Plus versión 5.1.

En razón al diseño experimental el análisis estadístico de los resultados se ha realizado aplicando un análisis de varianza (ANOVA) para un solo factor que es la distancia entre cepas. En el caso en que sea necesario la separación de medias se emplea el Test de la mínima diferencia significativa o LSD (Least Significant Difference method).

En el apartado correspondiente de Resultados y Discusión se recogen las figuras y las tablas que muestran los valores medios de las diferentes medidas realizadas, así como los niveles de significación estadística de los análisis de la varianza. La significación del análisis de varianza se ha determinado para alcanzar los siguientes niveles de probabilidad: $p < 5\%$ (*) y $p < 1\%$ (**).

El estudio de las relaciones entre los distintos parámetros se ha realizado aplicando modelos de regresión lineal en casos concretos. Las ecuaciones correspondientes, los coeficientes de determinación (r^2) y los niveles de significación estadística alcanzados se presentan en el apartado correspondiente de Resultados y Discusión.

3. Caracterización de la Superficie Foliar

Se ha llevado a cabo la determinación de la superficie foliar total de la cepa, representada por el índice de área foliar (LAI); de la superficie externa, representada por el índice SA; y de la relación entre ambas superficies, representada por el índice foliar (IF). Las medidas se realizaron en ocho cepas representativas de cada tratamiento en cada ensayo experimental. Las medidas de LAI se efectuaron en varias fechas a lo largo del ciclo y la medida de SA se realizó cuando la superficie foliar estaba totalmente desarrollada. En la tabla II.23 se recogen las fechas de las medidas de LAI y SA en los cuatro ensayos experimentales en los tres años de estudio.

Tabla II.23. Fechas de realización de medidas de LAI (índice de área foliar) y SA (superficie foliar externa) de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro en los años 2005, 2006 y 2007.

Ensayo	2005		2006		2007	
	LAI	SA	LAI	SA	LAI	SA
Castrillo de Duero	19-jul	29-ago	22-jun	4-ago	2-ago	28-ago
			26-jul			
			4-sep			
Pollos	26-jul	25-ago	20-jun	31-jul	30-jul	29-ago
	21-sep		21-jul			
			30-ago			
Rodilana	20-jul	25-ago	19-jun	1-ago	1-ago	29-ago
	4-oct		27-jul			
			29-ago			
Toro	21-jul	26-ago	21-jun	3-ago	3-ago	20-ago
			28-jul			
			6-sep			

3.1 Superficie foliar total (LAI)

El índice de área foliar (LAI) expresa la superficie foliar total correspondiente a la unidad de superficie de suelo. La determinación de la superficie foliar total se ha realizado en 8 cepas seleccionadas como representativas de cada tratamiento, a través de un método no destructivo.

El método seguido para calcular el área foliar total fue el establecido por Carbonneau (1976 a,b). Está basado en la medida de la longitud de los nervios de la hoja, bien se trate de los tres nervios principales, o bien, si es posible conseguir una buena relación a través de una expresión matemática, utilizando sólo el nervio principal. El proceso se realiza midiendo la superficie real de cada hoja de una muestra suficientemente amplia y la longitud del nervio central de las mismas. Utilizando regresiones matemáticas, se busca

una expresión que relacione de manera significativa la longitud del nervio central y la superficie real de la hoja, de manera que una vez obtenida, para calcular la superficie foliar es suficiente con medir la longitud del nervio central de la hoja. Este procedimiento se debe realizar, lógicamente con cada variedad objeto de estudio, pues la forma de la hoja puede variar sustancialmente.

El procedimiento para el cálculo del área foliar total llevado a cabo en los cuatro ensayos experimentales se detalla a continuación:

- Se marcaron 3 pámpanos representativos por planta individual.
- Se midió la longitud del nervio central de una de cada tres hojas, del pámpano principal y de los nietos por separado, hasta completar las medidas de los tres pámpanos de las 8 cepas de muestreo de cada tratamiento.
- A través de la ecuación de regresión que relaciona la longitud del nervio central de una hoja y el área foliar se calcula la superficie foliar de cada hoja que ha sido objeto de medida.

$$A = 0,01055412 \times (L \times 10)^2 + 0,23713115 \times (L \times 10)$$

A = área foliar

L = longitud del nervio central de la hoja

- Se calcula el área foliar de cada pámpano multiplicando por 3 a la suma de la superficie foliar de hojas de dicho pámpano.
- El cálculo del área foliar total se obtiene a partir del área de los tres pámpanos medidos, a partir de los cuales se determina la superficie foliar media del pámpano en cada tratamiento, desglosada en la superficie del pámpano principal y la superficie de los anticipados. El área foliar por cepa es el producto del área media del pámpano por el número de pámpanos de la cepa (12, 15 y 18 en los tratamientos 1,2; 1,5 y 1,8 respectivamente).
- Por último, el índice de área foliar (LAI) resulta de dividir el área foliar de la cepa entre la superficie de suelo que ocupa, según el marco de plantación.

3.2 Superficie foliar externa (SA)

La superficie foliar externa de la cepa hace referencia al área foliar que puede recibir la radiación solar de forma directa. Se considera superficie foliar externa de la espaldera la de las partes laterales y la de la parte superior del *canopy*. También la radiación reflejada por el suelo podría ser absorbida por la cara inferior del *canopy*, pero algunos autores, como Shaulis *et al.* (1966, en Smart, 1985), han observado que esta contribución es muy pequeña y puede despreciarse. El índice SA se expresa como m^2 de superficie foliar externa por m^2 de superficie de suelo y se obtiene dividiendo la superficie foliar externa por la densidad de plantación.

Las medidas de superficie foliar externa se han realizado sobre ocho cepas por tratamiento en cada ensayo, las mismas ocho cepas en las que se determinó el LAI. La forma de las plantas en espaldera en los tres tratamientos estudiados se ha asociado a un paralelepípedo, cuya anchura es la de la parte superior del *canopy*, su altura, la de la altura de vegetación, y su longitud, la longitud del cordón Royat que varía según el tratamiento. Esta forma geométrica resulta de la realización de las operaciones en verde correspondientes, como fueron algunos despuntes moderados y el guiado de los pámpanos para que estuvieran convenientemente dispuestos en forma vertical dentro de los alambres de la espaldera.

El índice SA se ha obtenido como valor medio de las medidas realizadas mediante dos procedimientos:

- Por un lado, se midió la anchura y la altura de vegetación. La anchura de vegetación se ha medido en tres posiciones a lo largo del cordón de cada cepa: en el extremo izquierdo, en el centro y en el extremo derecho; y en tres alturas a lo largo del plano de vegetación: zona de racimos, zona media y zona superior; en total en 9 puntos del *canopy*. La altura de vegetación se midió en tres posiciones: en el extremo izquierdo, en el centro y en el extremo derecho del cordón. Posteriormente, se calculó un valor medio de anchura y de altura de vegetación. La superficie foliar externa se obtiene según el siguiente cálculo:

a) SA en el tratamiento 1,2

$$SA = \frac{(anchura\ media \times 1,2 + altura\ de\ vegetaci3n\ media \times 1,2 \times 2)}{1,2 \times 3}$$

b) SA en el tratamiento 1,5

$$SA = \frac{(anchura\ media \times 1,5 + altura\ de\ vegetaci3n\ media \times 1,5 \times 2)}{1,5 \times 3}$$

c) SA en el tratamiento 1,8

$$SA = \frac{(anchura\ media \times 1,8 + altura\ de\ vegetaci3n\ media \times 1,8 \times 2)}{1,8 \times 3}$$

- Por otro lado, se midi3 el per3metro en vertical del paralelep3dico en 5 posiciones distintas por planta a lo largo del cord3n, para calcular su valor medio, excluyendo la parte basal del *canopy*. Las f3rmulas que se han aplicado para el c3lculo de SA han sido:

a) SA en el tratamiento 1,2

$$SA = \frac{per3metro \times 1,2}{1,2 \times 3}$$

b) SA en el tratamiento 1,5

$$SA = \frac{per3metro \times 1,5}{1,5 \times 3}$$

c) SA en el tratamiento 1,8

$$SA = \frac{per3metro \times 1,8}{1,8 \times 3}$$

En las cepas que no presentaban una continuidad suficiente de hojas se han restado la superficie correspondiente a zonas sin vegetaci3n de la superficie foliar externa. Finalmente, se ha calculado la media de los valores obtenidos por ambos procedimientos, con el fin de obtener mayor precisi3n en la determinaci3n del 3ndice SA.

3.3 Relaci3n entre superficie foliar externa y total, 3 3ndice foliar (IF)

La relaci3n entre la superficie foliar externa (SA) y la superficie foliar total de la cepa (LAI) sirve como estimador de la densidad de vegetaci3n, de manera que cuanto menor sea esta relaci3n mayor es el amontonamiento del follaje.

El cálculo de este índice (IF) se ha obtenido a partir del cociente simple entre los índices SA y LAI.

3.4 Superficie foliar y Longitud del sarmiento

Se ha estudiado la relación entre la longitud del sarmiento (principal y anticipados) y la superficie foliar del mismo, para determinar la superficie foliar a partir de la longitud del sarmiento (principal y anticipados), con el fin de desarrollar una metodología que permita estimar la superficie foliar del viñedo a partir de la longitud de un número representativo de sarmientos en los tres tratamientos de distancia entre cepas estudiados.

El diseño experimental, en cada ensayo, es en bloques al azar con 4 repeticiones de los tres tratamientos experimentales y una parcela elemental de 2 cepas de control. A efectos prácticos de análisis estadístico cada tratamiento de cada ensayo se ha considerado como una repetición de forma que en el conjunto de los ensayos cada tratamiento tiene 4 repeticiones (1 en cada ensayo) con una parcela elemental de 8 cepas de control. En cada cepa de control se ha medido el área foliar de 4 sarmientos mediante el método establecido por Carbonneau (1976 a,b) y la longitud del principal y de los anticipados teniendo en cuenta su rango dentro del sarmiento. Por lo tanto, en conjunto se han medido 128 sarmientos por tratamiento. Tanto la medida del área foliar como la de la longitud de los sarmientos (principal y anticipados) se ha realizado en la fase de maduración en el año 2006 en los cuatro ensayos estudiados.

Las ecuaciones de regresión se han obtenido para cada tratamiento experimental de distancia entre cepas, por un lado, y para el conjunto de tratamientos por otro. Las ecuaciones de regresión obtenidas son Superficie foliar del principal-Longitud del principal, Superficie foliar total de anticipados-Longitud total de anticipados, Superficie foliar total-Longitud total del sarmiento (principal y anticipados) y Superficie foliar total-Longitud del principal.

Se ha estudiado la longitud de los brotes anticipados según el rango de ubicación de estos, para cada tratamiento experimental y para el conjunto de ellos, de cara a valorar la superficie foliar que aportan los distintos rangos al conjunto del sarmiento en las condiciones planteadas.

3.5 Determinación de la superficie foliar y la materia seca de hojas a partir de su peso fresco

Se ha desarrollado un método para determinar la superficie foliar y la materia seca acumulada en las hojas del sarmiento a partir del peso fresco de estas, sobre una muestra representativa de sarmientos en cada ensayo. Esta metodología se aplicó en el ensayo experimental de Pollos en el año 2005 y en los ensayos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro en el año 2006.

En el año 2005, el diseño experimental fue en bloques al azar con 4 repeticiones de los tres tratamientos correspondientes a las tres distancias entre cepas estudiadas (1,2; 1,5; 1,8) y una parcela elemental de 1 cepa de control en la que se midió el área foliar de hojas de principal y de anticipados de un sarmiento.

En el año 2006, el diseño experimental de cada ensayo fue en bloques al azar con 4 repeticiones de los tres tratamientos correspondientes a las tres distancias entre cepas estudiadas y una parcela elemental a efectos de determinación experimental de 1 cepa de control. En cada ensayo se ha obtenido el valor medio de cada tratamiento correspondiente a peso fresco de hojas, materia seca acumulada en hojas y superficie foliar del sarmiento.

3.5.1 Área foliar

En el año 2005 se determinó el área foliar, utilizando un método destructivo en la época de vendimia, de un sarmiento representativo de 1 cepa por repetición (en total 4 sarmientos por tratamiento). La superficie foliar de las hojas del principal y las hojas de anticipados se determinó mediante un medidor de área foliar Delta –T.

En el año 2006 se determinó el área foliar del sarmiento en la época de maduración, siguiendo el procedimiento no destructivo descrito por Carbonneau (1976 a,b), sobre un sarmiento representativo de 1 cepa por repetición (4 sarmientos por tratamiento).

3.5.2 Peso fresco y peso seco

Sobre los mismos sarmientos en los que se midió el área foliar, ya sea con el medidor de área foliar (año 2005) o por el método descrito por Carbonneau (año 2006), se pesaron las hojas con balanza electrónica para obtener su peso fresco. Posteriormente, dichas hojas se introdujeron en estufas con

ventilación forzada a 100 °C hasta que su peso permaneció constante, obteniendo así la materia seca contenida en las hojas de cada sarmiento.

3.5.3 Establecimiento de las relaciones de regresión

En el año 2005, en el ensayo experimental de Pollos, las ecuaciones de regresión permitieron relacionar los parámetros medidos, es decir, el peso fresco, la superficie foliar y el peso seco de las hojas de un sarmiento por cepa. Las relaciones de regresión se han establecido a partir de la medida real de 4 sarmientos por tratamiento. Así, las ecuaciones de regresión obtenidas son peso fresco-peso seco, peso fresco-superficie foliar y superficie foliar-peso seco. Éstas se han establecido para cada tratamiento individual de distancia entre cepas y para el conjunto de tratamientos, es decir, sin distinguir entre tratamientos de distancia entre cepas.

En el año 2006, se determinaron las ecuaciones de regresión que relacionan los parámetros medidos, es decir, el peso fresco, la superficie foliar y el peso seco de las hojas del sarmiento. Las relaciones de regresión se han establecido a partir del valor medio de cada tratamiento en cada ensayo para el conjunto de los cuatro ensayos. Así, las ecuaciones de regresión obtenidas son peso fresco-peso seco, peso fresco-superficie foliar y peso seco-superficie foliar. Igual que en el año 2005, las ecuaciones se han obtenido para cada tratamiento individual y para el conjunto de tratamientos.

3.5.4 Validación del método

Con el objetivo de evaluar la metodología empleada, se han seguido procedimientos similares en cada uno de los dos años de estudio, pero con algunas particularidades. A continuación se describen cada uno de los pasos llevados a cabo en 2005 y en 2006.

En el año 2005, para contrastar la metodología desarrollada, se determinó el peso seco y la superficie foliar a través de las ecuaciones de regresión obtenidas, tomando el peso fresco de las hojas de 2 sarmientos por cepa y por repetición. Los pasos seguidos son los siguientes:

1. Se pesan en fresco las hojas de 2 sarmientos de una cepa de cada una de las 4 repeticiones de los tres tratamientos de distancia entre cepas.
2. A través de las ecuaciones que relacionan el peso fresco con el peso seco de las hojas del sarmiento de cada tratamiento, se obtiene el peso seco

de hojas de los sarmientos a los que se ha medido el peso fresco, resultando un total de 8 sarmientos por tratamiento.

3. De la misma forma, a través de las ecuaciones de regresión que relacionan el peso fresco con la superficie foliar, se determina la superficie foliar de los sarmientos cuyas hojas se han pesado en fresco.
4. De igual modo, se ha estimado la materia seca de hojas a través de las ecuaciones de regresión obtenidas de relacionar la superficie foliar con el peso seco de las hojas.
5. Por último, la validación se finaliza mediante la comparación de los valores obtenidos por medida directa y los estimados a partir de las ecuaciones de regresión, tanto relativos a superficie foliar como a materia seca de hojas.

En el año 2006, para evaluar la metodología descrita, se determinó la superficie foliar del sarmiento a través de las ecuaciones de regresión obtenidas, tomando el peso fresco de las hojas de un sarmiento representativo de cada una de las 8 cepas de control de cada tratamiento y ensayo. Los pasos llevados a cabo son los siguientes:

1. Se determina la superficie foliar de 8 sarmientos representativos de cada tratamiento y ensayo, en total 32 sarmientos por tratamiento de distancia entre cepas.
2. Se pesan en fresco las hojas de cada uno de estos sarmientos.
3. A través de las ecuaciones de regresión entre el peso fresco y la superficie foliar se obtiene la superficie foliar estimada de estos sarmientos.
4. De la misma forma, a través de las ecuaciones de regresión entre el peso fresco y el peso seco, se determina el peso seco estimado de las hojas de los sarmientos.
5. Por último, se lleva a cabo la comparación entre los valores de superficie foliar obtenidos por medida directa y los estimados a partir de las ecuaciones de regresión peso fresco-superficie foliar y peso seco-superficie foliar.

4 Estudio de los Procesos Fisiológicos

El estudio de la influencia de los distintos tratamientos experimentales de distancia entre cepas en los cuatro ensayos sobre la actividad y el comportamiento fisiológico de las plantas se ha realizado a través de hojas individuales. Las medidas se han llevado a cabo a lo largo del ciclo vegetativo en diferentes momentos del día.

Los parámetros medidos para estimar los efectos de los tratamientos en la fisiología de la vid han sido los siguientes:

- Potencial hídrico foliar (MPa)
- Conductancia estomática al vapor de agua ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

4.1 Procedimiento de medida

Las medidas se han realizado en hojas totalmente desarrolladas, externas, adultas y sanas, de la zona media del pámpano, con el fin de tener muestras de hojas lo más representativas posibles de cada tratamiento para comparar de la manera más adecuada posible los resultados obtenidos. Dichas medidas se llevaron a cabo en días con condiciones atmosféricas estables representativas de cada fecha, totalmente despejados y con buena iluminación. Las hojas escogidas fueron siempre de cepas de control en los cuatro ensayos experimentales estudiados. Se tomó un total de 8 muestras por tratamiento y medida en cada ensayo, de manera que cada repetición está constituida por dos cepas, en cada una de las cuales se escogió una hoja representativa en cada medida, procedente de pámpano principal, adulta y bien iluminada.

El procedimiento que se siguió en las medidas realizadas fue el siguiente:

1. Selección cuidadosa de la hoja a medir.
2. Estabilización de los parámetros relativos a las condiciones microclimáticas del entorno de la hoja (radiación PAR incidente, humedad relativa, temperatura de la hoja).

3. Medida de la conductancia estomática, de la transpiración y de la asimilación neta de CO₂.
4. Separación de la hoja y medida inmediata del potencial hídrico foliar.

El tiempo empleado en realizar el procedimiento de medida de forma completa del conjunto de repeticiones de todos los tratamientos en cada ensayo fue de una hora aproximadamente, refiriéndose los datos a la hora central del intervalo de medida.

Por otro lado, en los días en que se estimó conveniente se efectuó un seguimiento de los parámetros fisiológicos citados a lo largo de la jornada. Se escogieron varios momentos de medida dependiendo del día y del ensayo experimental a medir. Estas medidas fueron realizadas antes del amanecer (sólo para el potencial hídrico de base) y en torno a las 9, 12 y 15 horas solares para todos los parámetros, dependiendo del día de medida y del ensayo a medir.

4.2 Seguimientos realizados

Los seguimientos diarios efectuados se han realizado en hojas que se encontraban expuestas a la radiación solar directa durante el tiempo de medida. Dependiendo del día y del ensayo experimental se han realizado distintas medidas de fisiología. En las tablas II.24, II.25, II.26 y II.27 se recogen las fechas y las horas de medida de fisiología (potencial hídrico, conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis) realizadas en los cuatro ensayos experimentales en los años 2005, 2006 y 2007.

	Fecha de medida	Identificación	Estado fenológico	Ψ Hora solar	g _s , E, A Hora solar
2005	19-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	12	-
	16-agosto	Agosto	Envero	12	-
	14-septiembre	Septiembre	Maduración	12	-
2006	22-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	12	-
	26-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	25-Agosto	Agosto	Envero	12	-
	19-septiembre	Septiembre	Maduración	AA,9,12	9,12
2007	26-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	9,12	-
	25-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	9,12	-
	28-agosto	Agosto	Envero	9,12	-
	20-septiembre	Septiembre	Maduración	9,12	-

* AA: antes del amanecer

Tabla II.24. Fechas y horas solares de medida de fisiología correspondientes a Ψ: potencial hídrico; g_s: conductancia estomática; E: transpiración y A: fotosíntesis; del ensayo experimental de **Castrillo de Duero** en los años 2005, 2006 y 2007.

Tabla II.25. Fechas y horas solares de medida de fisiología correspondientes a Ψ : potencial hídrico; g_s : conductancia estomática; E: transpiración y A: fotosíntesis; del ensayo experimental de **Pollos** en los años 2005, 2006 y 2007.

Año	Fecha de medida	Identificación	Estado fenológico	Ψ	
				Hora solar	g, E, A Hora solar
2005	26-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	12	-
	12-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	9-agosto	Agosto	Envero	AA,9,12	9,12
	9-septiembre	Septiembre	Maduración	AA,9,12	9,12
2006	12-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	21-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	22-Agosto	Agosto	Envero	AA,9,12,15	9,12,15
	18-septiembre	Septiembre	Maduración	AA,9,12	9,12
2007	21-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	19-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	17-agosto	Agosto	Envero	AA,9,12	9,12
	19-septiembre	Septiembre	Maduración	AA,9,12,15	9,12,15

* AA: antes del amanecer

Tabla II.26. Fechas y horas solares de medida de fisiología correspondientes a Ψ : potencial hídrico; g_s : conductancia estomática; E: transpiración y A: fotosíntesis; del ensayo experimental de **Rodilana** en los años 2005, 2006 y 2007.

Año	Fecha de medida	Identificación	Estado fenológico	Ψ	
				Hora solar	g, E, A Hora solar
2005	6-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	12	-
	14-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	13-agosto	Agosto	Envero	AA,9,12	9,12
	13-septiembre	Septiembre	Maduración	AA,9,12	9,12
2006	19-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	17-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	21-Agosto	Agosto	Envero	AA,9,12,15	9,12,15
	19-septiembre	Septiembre	Maduración	AA,9,12	9,12
2007	22-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	20-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	13-agosto	Agosto	Envero	AA,9,12	9,12
	11-septiembre	Septiembre	Maduración	AA,9,12,15	9,12,15

* AA: antes del amanecer

Tabla II.27. Fechas y horas solares de medida de fisiología correspondientes a Ψ : potencial hídrico; g_s : conductancia estomática; E: transpiración y A: fotosíntesis; del ensayo experimental de **Toro** en los años 2005, 2006 y 2007.

Año	Fecha de medida	Identificación	Estado fenológico	Ψ	
				Hora solar	g, E, A Hora solar
2005	20-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	12	-
	21-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	12	-
	16-agosto	Agosto	Envero	12	-
	8-septiembre	Septiembre	Maduración	12	-
2006	19-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	12	-
	28-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	AA,9,12	9,12
	22-Agosto	Agosto	Envero	12	-
	13-septiembre	Septiembre	Maduración	AA,9,12	9,12
2007	27-junio	Junio	Fase herbácea de la baya	9,12	-
	26-julio	Julio	Fase herbácea de la baya	9,12	-
	20-agosto	Agosto	Envero	9,12	-
	19-septiembre	Septiembre	Maduración	9,12	-

* AA: antes del amanecer

4.3 Técnicas y equipos de medida utilizados

Con el fin de realizar las medidas de la forma más rigurosa posible e incurrir así en el menor error posible, se han seguido las recomendaciones señaladas en los correspondientes manuales técnicos de los instrumentos utilizados y las pautas indicadas por diversos autores admitidas como válidas en la determinación de la conductancia estomática, la fotosíntesis, etc.

A continuación, se detallan las técnicas y los instrumentos utilizados para las distintas determinaciones.

4.3.1 Potencial hídrico foliar (Ψ)

El potencial hídrico corresponde, desde el punto de vista energético, al trabajo que habría que suministrar a una unidad de masa de agua "ligada" a los tejidos de una planta, para llevarla de este estado de unión a un estado de referencia o agua libre, correspondiente al del agua pura a la misma temperatura y a presión atmosférica. Como se adopta el valor cero para este potencial de referencia, todos los valores de Ψ que caracterizan "el agua ligada" son negativos, puesto que sería necesario suministrar un trabajo para llevar este agua a $\Psi=0$ (Linares *et al.* 2007). Se ha medido mediante la técnica de la bomba de presión descrita por Scholander *et al.* (1965), con una cámara de tipo Scholander, marca SoilMoisture Corp. El manómetro de la cámara tiene una precisión de 0,02 MPa. Las medidas del potencial de base se han tomado antes del amanecer, siempre en ausencia de iluminación. La introducción de la hoja en la cámara se llevó a cabo en escasos segundos después de su separación de la planta en todos los casos.



Foto 5: Cámara de presión de tipo Scholander marca SoilMoisture Corp.

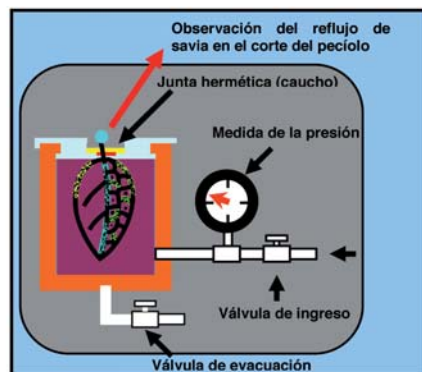


Figura II.10. Esquema de las partes de la cámara de presión de tipo Scholander.

4.3.2 Conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis

La Conductancia estomática para el vapor de agua, g_s ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), la Transpiración, E ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), y la Fotosíntesis neta, A ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), se midieron utilizando un sistema abierto de medida de intercambio de gases por infrarrojos (IRGA), modelo Li-6400 (Li-Cor, USA). Este sistema permite medir la tasa instantánea de asimilación de CO_2 de las hojas (A), como parámetro calculado, y otros parámetros que ayudan a entender el valor de A , como la conductancia estomática. Estos sistemas miden el intercambio de CO_2 y de H_2O simultáneamente. Las vías por las que se difunde el CO_2 al interior de las hojas y por las que el vapor de H_2O se difunde fuera de las mismas son, en gran medida, compartidas por ambos procesos.

En un sistema abierto, la corriente de aire atraviesa constantemente la cámara o cubeta donde se encuentra la hoja metabólicamente activa, y lo hace con flujo constante para que la concentración de aire en la cubeta también sea constante. El sistema se basa en la determinación de la concentración de CO_2 y H_2O en el aire que ha atravesado la cubeta y el aire de referencia. Para ello consta de dos detectores de infrarrojos (uno analiza el aire pasado a través de la muestra y otro el aire control), que detectan variaciones de CO_2 y H_2O en el aire a partir de medidas de absorbancia en ciertas bandas de infrarrojo, ya que estos dos gases son biatómicos y las absorben.

Como en la cubeta, durante la medida, hay una hoja que fotosintetiza y transpira, el aire que la atraviesa abandona la cubeta con menos CO_2 y con más vapor de agua que el aire de referencia. Conocida esta variación, el flujo de aire y la superficie de la hoja analizada, se puede calcular: la tasa de asimilación de CO_2 , en $\mu\text{mol de CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; y la tasa de transpiración (E), expresada en $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

La cámara del Li-6400 lleva incorporado un termopar que permite la medida de la temperatura de la hoja insertada en el interior de la cubeta, y otro para la medida de la temperatura del aire. Teniendo en cuenta estas medidas, pueden calcularse otros parámetros fisiológicos, como la conductancia estomática, expresada en $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.



Foto 6. IRGA modelo Li-6400 en el ensayo experimental de Pollos.



Foto 7. Detalle de la pinza del IRGA, realizando una medida.

5 Estudio Agronómico

El estudio agronómico hace referencia a los estimadores del rendimiento (producción unitaria de cosecha y sus componentes), del desarrollo vegetativo (madera de poda, diámetro del tronco e índice de Ravaz), de la productividad global (materia seca), y de la calidad de la uva (grado alcohólico probable, acidez total, pH, ácido tartárico, ácido málico, potasio, índice de polifenoles, intensidad y tonalidad colorante). Los diferentes controles que se han realizado en el conjunto de las unidades experimentales corresponden al diseño general común a los cuatro ensayos experimentales.

5.1 Rendimiento y sus componentes

5.1.1 Producción de uva

El rendimiento (peso de uva en kg por m² de suelo) se obtuvo pesando, en cada una de las cepas de control que forman parte del diseño experimental general descrito en el dispositivo experimental de los ensayos, el conjunto de todos los racimos producidos, mediante una báscula mecánica con una

sensibilidad de 5 g. Se contó el número de racimos de cada cepa inmediatamente antes del momento de vendimia.

5.1.2 Peso de la baya

El peso de la baya se ha obtenido a partir del muestreo de 100 bayas por parcela elemental en cada ensayo experimental, tomadas aleatoriamente de todas las posiciones del racimo de entre todos los racimos de las 9, 11 y 14 cepas de cada parcela elemental de los tratamientos 1,2; 1,5 y 1,8 respectivamente. Cada grupo de 100 bayas se introdujo en una bolsa de plástico etiquetada y en una nevera portátil para su traslado hasta el laboratorio, donde fueron pesados en una balanza de precisión de 0,01 g de sensibilidad, expresando los resultados en g por 100 bayas. En cada fecha de muestreo (semanalmente desde pleno enero) se extrajo de estas mismas bayas el mosto para el posterior análisis químico.

5.1.3 Peso del racimo

El peso medio del racimo de cada cepa se calcula de forma indirecta como el cociente entre la producción de uva de cada cepa y el número de racimos de la misma, contabilizados en el momento de la vendimia. Posteriormente se calcula el peso medio del racimo de cada repetición, que se expresa en g.

5.1.4 Número de bayas por racimo

El número medio de bayas por racimo se ha obtenido también de forma indirecta, a través del cociente entre el peso medio del racimo y el peso medio de la baya.

5.1.5 Número de racimos por metro lineal

El número de racimos por metro lineal de cordón se ha obtenido también de forma indirecta, a partir del cociente entre el número de racimos por cepa y la distancia entre cepas de cada tratamiento.

5.2 Desarrollo vegetativo

5.2.1 Peso de madera de poda

El desarrollo vegetativo se midió a través del peso de la madera de poda, expresado en kg por m² de suelo, después de la caída de la hoja, utilizando

una báscula mecánica con una sensibilidad de 5 g. También se contabilizó el número de sarmientos justo antes del momento de la poda y se calculó el peso medio del sarmiento, como indicador de vigor. La evaluación, tanto del peso de la madera de poda como del número de sarmientos, se hizo individualmente para cada cepa, y posteriormente se calculó la media de cada repetición en cada tratamiento de cada ensayo experimental.

5.2.2 Diámetro del tronco

Se efectuó la medición del diámetro del tronco con un calibre Starret 125 MEB-6/150, en cada una de las cepas de control que forman parte del diseño experimental general descrito en el dispositivo experimental de los ensayos. Las mediciones se realizaron en la época de poda en seco con el objetivo de cuantificar el crecimiento en grosor anual del tronco, ya que es uno de los depósitos de almacenamiento o reserva de diversos compuestos orgánicos sintetizados por las hojas.

El lugar de la medición en el tronco fue, aproximadamente, a una altura correspondiente a la del calibre dispuesto en vertical, pero siempre en el entrenudo, como puede observarse en la figura II.11, y siempre en la dirección de la fila de las cepas. Para realizar la medida siempre en el mismo lugar del tronco, se fijaron unos alfileres con cabeza plástica redonda de diferentes colores a cada lado del tronco. Estos alfileres han permanecido clavados en el tronco los tres años de estudio, de forma que la medida siempre se ha realizado en el mismo punto exacto del tronco de cada cepa.

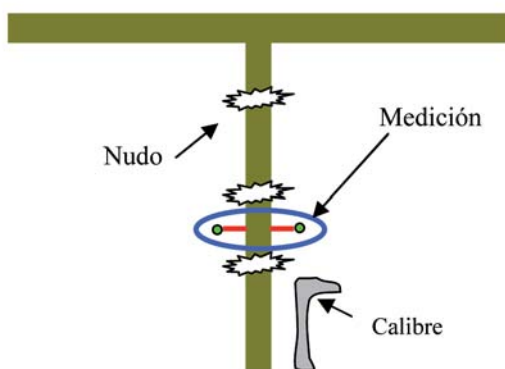


Figura II.11. Esquema de localización de la medida del diámetro en el tronco.

5.2.3 Índice de Ravaz

El índice de Ravaz se utiliza para evaluar el equilibrio entre la producción de

uva y el desarrollo vegetativo, y se calcula mediante el cociente entre el rendimiento en uva ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y el peso de madera de poda ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). El cálculo del índice se ha realizado para todas y cada una de las cepas de cada ensayo experimental, obteniéndose posteriormente la media para el conjunto de cada repetición.;

5.3 Productividad global: Materia seca

Para evaluar la productividad global de los tratamientos estudiados se han determinado la cantidad y el reparto de materia seca de hojas, de sarmientos en maduración y en época de poda en seco, y de racimos. En la tabla II.28 se recogen los tipos de determinación de materia seca efectuados en los cuatro ensayos experimentales según la parte renovable de la cepa interesada.

Tabla II.28. Determinación de materia seca acumulada en hojas; sarmientos (a): sarmientos en época de vendimia, sarmientos (b): sarmientos en época de poda en seco; y en racimos; en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, en los años 2005, 2006 y 2007.

Año	Castrillo de Duero	Pollos	Rodilana	Toro
2005	Racimos	Racimos	Racimos	Racimos
	Hojas*	Hojas*	Hojas*	Hojas*
2006	Sarmientos (a)	Sarmientos (a)	Sarmientos (a)	Sarmientos (a)
	Sarmiento (b)	Sarmiento (b)	Sarmiento (b)	Sarmiento (b)
	Racimos	Racimos	Racimos	Racimos
2007		Sarmientos (b)	Sarmientos (b)	

* 1 repetición por ensayo (4 repeticiones por tratamiento → 1 de cada ensayo)

La materia seca y su distribución en las partes renovables de la cepa, en cada uno de los tratamientos experimentales en los cuatro ensayos, se estimó sobre muestras procedentes de las mismas unidades experimentales en las que se llevaron a cabo los estudios correspondientes a la caracterización foliar. La metodología aplicada es la siguiente:

- Hojas: sobre los mismos pámpanos utilizados para determinar la superficie foliar y una vez realizada la medición, por separado, del área de las hojas de principal y de anticipados, dichas hojas se metieron en estufa a 100 °C hasta peso constante, para conocer su peso seco correspondiente. Así se obtiene la materia seca contenida en las hojas, tanto del principal como de los anticipados.

- Sarmientos: se realizó en dos momentos distintos;
 1. En maduración: en los mismos pámpanos utilizados para medir la superficie foliar y una vez realizada dicha medición, se separaron por un lado el principal y por otro los anticipados. A su vez, se separó la fracción de principal agostada de la no agostada, y la fracción de los anticipados agostada de la no agostada. Se pesó cada una de las partes en fresco y se metieron en estufa a 100 °C hasta peso constante. Así se obtiene la materia seca contenida en los sarmientos marcados, procedente tanto del principal como de los anticipados y de la fracción agostada como de la no agostada.
 2. En época de poda en seco: en reposo vegetativo, los sarmientos representativos de cada repetición y tratamiento se cortaron y se pesaron en fresco, para tener en cuenta su peso al objeto de cuantificar el peso de madera de poda. A continuación se separaron los anticipados del principal y se metieron ambos en estufa a 100 °C hasta peso constante. Así se obtiene la materia seca contenida en los sarmientos marcados, procedente tanto del principal como de los anticipados.
- Racimos: previamente a la vendimia se pesaron los racimos (1 por repetición) en fresco para su consideración como parte de la producción de cosecha y posteriormente se metieron en estufa a 100 °C hasta peso constante. A partir de ambos pesos, fresco y seco, se obtiene el porcentaje de materia seca contenida en los racimos.

Para calcular la materia seca total de la cepa se multiplica la materia seca conjunta de las distintas partes del sarmiento medio por el número de sarmientos desarrollados por cepa. De esta manera, se estima tanto la materia seca total de las partes renovables producida por cada cepa, como la distribución de materia seca desglosada en hojas, tallos y racimos.

5.4 Calidad de la uva

La calidad de la uva se ha evaluado a través de los siguientes componentes básicos del mosto: contenido en sólidos solubles totales, expresado en °Brix; acidez total titulable, expresada en g de ácido tartárico por litro de mosto; pH; contenido en ácido tartárico, en g por litro de mosto; ácido málico, en g por litro de mosto; potasio, en ppm; índice de polifenoles totales; e intensidad y tonalidad colorante.

El mosto analizado para la evaluación analítica de la uva se ha obtenido a partir del muestreo de 100 bayas por parcela elemental, en cada una de las 4 repeticiones del diseño experimental general usado para el estudio agronómico, en el momento de la vendimia. Se realizaron muestreos de bayas desde el envero hasta el momento de vendimia con periodicidad semanal, con el fin de determinar la fecha óptima de recolección. La extracción del mosto se realizó mediante trituración mecánica de las bayas con batidora. A continuación, el mosto fue vertido en un tubo de centrífuga para su centrifugación durante 3 minutos a 3.000 rpm, al cabo de los cuales se recogió el sobrenadante en una probeta para realizar las determinaciones analíticas.

5.4.1 Determinación del contenido en sólidos solubles totales

El contenido en sólidos solubles del mosto se ha medido por refractometría mediante un refractómetro digital Atago WM-7, que previamente es calibrado fijando el cero de contenido de sólidos solubles con agua destilada. Los resultados se expresan en °Brix.

5.4.2 Determinación de la acidez total

La acidez total titulable del mosto, expresada en g.l^{-1} de ácido tartárico, se ha determinado mediante una neutralización volumétrica con sosa 0,1 N hasta $\text{pH}=7$. Para conseguir tal propósito se ha empleado un valorador automático Metrohm 702 SM Titrimo.

5.4.3 Determinación del pH

El pH se ha medido con el mismo valorador automático anteriormente citado.

5.4.4 Determinación del ácido tartárico

El ácido tartárico, expresado en g.l^{-1} , se determinó por espectrofotometría a 490 nm, a partir de la coloración roja que da el ácido vanádico.

5.4.5 Determinación del ácido málico

El ácido málico, expresado en g.l^{-1} , se determinó por vía enzimática en un autoanalizador de flujo.

5.4.6 Determinación del K⁺

El potasio presente en el mosto se ha expresado en ppm, es decir en términos de concentración, y se ha determinado directamente por fotometría de llama una vez diluido el mosto.

5.4.7 Determinación del Índice de Polifenoles Totales

La determinación del índice de polifenoles totales (IPT) se ha realizado siguiendo el método de extracción establecido por Glories (Saint-Criq *et al.* 1998, 1999; Glories 1999, 2001). El principio del método se basa en la diferencia de extracción de los compuestos fenólicos de las uvas con dos valores de pH diferentes después de la rotura de bayas. Por una parte, a pH=3,2, próximo al de las uvas muestreadas, lo que permite acceder a los compuestos fenólicos fácilmente extraíbles, y por otra parte, a pH=1, pH ácido que provoca la degradación de las células de la piel y favorece así la extracción de los antocianos. A partir de dichas extracciones se definen varios parámetros:

- Antocianos fácilmente extraíbles (a pH=3,2).
- Antocianos totales (a pH=1).
- Ea: extractibilidad celular, que representa la aptitud de la uva para liberar los antocianos.
- Mp: madurez fenólica de las pepitas, que puede ser considerada como el porcentaje de contribución de las pepitas al índice de polifenoles totales.

Una vez aplicado este método se analiza el contenido polifenólico a través de la medición de la absorción a 280 nm (Ribéreau-Gayon 1970). Se hace una dilución 1 a 100 de la muestra y la densidad óptica es medida a 280 nm con relación al agua destilada bajo 1 cm de recorrido óptico.

5.4.8 Determinación de la intensidad colorante

La intensidad colorante del mosto se ha cuantificado a partir de la suma de las densidades ópticas a 420, 520 y 620 nm, medidas bajo 1 mm de recorrido óptico con relación al agua destilada (Glories 1978). Ni la pulpa ni los hollejos fueron sometidos a ningún proceso de maceración especial, por lo que la

intensidad colorante obtenida pretende ser únicamente un índice de comparación de los mostos, obtenidos mediante un procedimiento común, procedentes de los distintos tratamientos experimentales.

5.4.9 Determinación de la tonalidad de color

La tonalidad de color del mosto se cuantificó a partir del cociente entre las densidades ópticas a 420 nm y a 520 nm, medidas bajo 1 mm de recorrido óptico con relación al agua destilada. Ni la pulpa ni los hollejos fueron sometidos a ningún proceso de maceración especial, por lo que la tonalidad de color obtenida pretende ser únicamente un índice de comparación de los mostos, obtenidos mediante un procedimiento común, procedentes de los distintos tratamientos experimentales.

Capítulo III

1 Caracterización de la superficie foliar

La caracterización de la superficie foliar se ha llevado a cabo a través de indicadores que definen las dimensiones del paralelepípedo que forma la espaldera, la superficie foliar total (LAI), la superficie foliar externa (SA) y el índice foliar (IF) de cada tratamiento en cada ensayo experimental. Dichos parámetros influyen en los principales procesos fisiológicos que ocurren en la planta y su variación puede resultar determinante para la capacidad vegetativa y productiva de ésta.

La superficie foliar total (LAI), la superficie foliar externa (SA) y el índice foliar (IF) de cada tratamiento se presentan referidos a la superficie de terreno que ocupa cada planta, o sea, por m^2 de suelo, y tanto los valores de dichos índices como los análisis estadísticos vienen reflejados en las tablas y figuras de este apartado.

1.1 Dimensiones geométricas

El sistema de conducción con el que se ha trabajado es la espaldera, orientada en su manejo hacia el equivalente al término anglosajón *vertically shoot positioned* (VSP). Es un sistema en el que los brotes que forman el plano de vegetación son dirigidos en sentido ascendente y vertical, y su forma geométrica se asemeja a un paralelepípedo, definido por tres dimensiones, la anchura, la altura y la longitud del plano de vegetación. De cara a definir las dimensiones del paralelepípedo formado por la espaldera, la longitud de éste se referencia a un metro lineal de espaldera.

En las tablas III.1, III.2, III.3 y III.4 se recogen los valores medios de anchura y altura de vegetación obtenidos para cada tratamiento en la fase de maduración en el periodo 2005-07 en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente.

Tabla III.1. Características geométricas (cm) de la espaldera en los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m). Parámetros: anchura de vegetación y altura de vegetación en la época de maduración, en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	2005		2006		2007	
	Anchura	Altura	Anchura	Altura	Anchura	Altura
1,2	42	128	47	132	44	129
1,5	42	125	46	134	43	130
1,8	41	130	43	127	43	129
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.2. Características geométricas (cm) de la espaldera en los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m). Parámetros: anchura de vegetación y altura de vegetación en la época de maduración, en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	2005		2006		2007	
	Anchura	Altura	Anchura	Altura	Anchura	Altura
1,2	47	154	60	131	54	133
1,5	49	154	59	130	51	137
1,8	52	153	56	122	48	133
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.3. Características geométricas (cm) de la espaldera en los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m). Parámetros: anchura de vegetación y altura de vegetación en la época de maduración, en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	2005		2006		2007	
	Anchura	Altura	Anchura	Altura	Anchura	Altura
1,2	38	121	43	124	46	140
1,5	37	120	39	117	42	137
1,8	41	120	39	113	41	141
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.4. Características geométricas (cm) de la espaldera en los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m). Parámetros: anchura de vegetación y altura de vegetación en la época de maduración, en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Toto**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamiento	2005		2006		2007	
	Anchura	Altura	Anchura	Altura	Anchura	Altura
1,2	37	134	47	123	47	121
1,5	40	132	44	121	43	113
1,8	39	123	42	112	41	108
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns

La anchura de la espaldera está limitada a la tolerancia permitida por los alambres del sistema de apoyo y conducción. No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en las dimensiones de la cubierta foliar entre los tratamientos de distancia entre cepas en los cuatro ensayos estudiados. No obstante, en el ensayo de Toro, el tratamiento 1,8 ha presentado una altura de vegetación media en los tres años de estudio de 114 cm, sensiblemente menor que los tratamientos 1,2 y 1,5, con alturas de vegetación medias de 126 y 122 cm respectivamente.

Por otro lado, se han observado ligeras diferencias en la anchura y en la altura de vegetación entre los cuatro ensayos estudiados. Estas diferencias en la geometría de la cubierta foliar son debidas, principalmente, a los riegos recibidos en los ensayos de Castrillo de Duero, y sobre todo, en el de Pollos durante el periodo de estudio. En este sentido, Yuste (1995) y Rubio (2002), trabajando con la misma variedad, observaron ligeras diferencias en la anchura de vegetación de la espaldera provocadas principalmente por el régimen hídrico.

En la figura III.1 se recogen las dimensiones del plano de vegetación de cada tratamiento obtenido como media de los cuatro ensayos experimentales estudiados. El plano de vegetación medio obtenido en cada tratamiento es ligeramente menor a medida que la distancia entre cepas aumenta. La anchura del plano de vegetación medio decrece 1 cm a medida que se incrementa la distancia entre cepas, y la altura del plano de vegetación medio decrece de 2 a 3 cm cuando aumenta la distancia entre cepas.

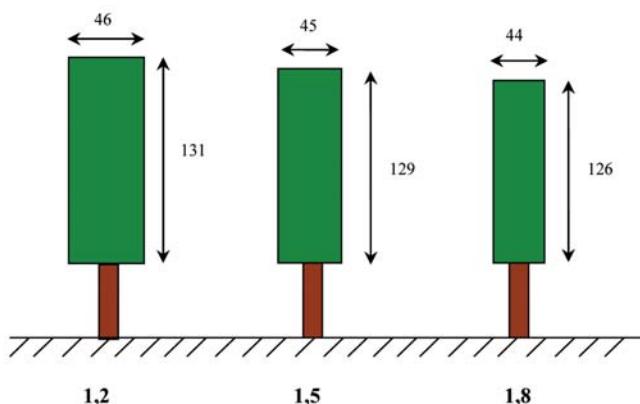


Figura III.1. Dimensiones geométricas (cm) del plano de vegetación medio obtenido en los años 2005, 2006 y 2007 en los ensayos de distancia entre cepas de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**, correspondiente a los tratamientos de distancia entre cepas de 1,2, 1,5 y 1,8.

Pérez (2002), trabajando con dos densidades de plantación, observó que la baja densidad desarrollaba un plano de vegetación mayor que la alta densidad de plantación. De la misma manera, Archer y Strauss (1991) observaron que el tamaño de la cepa se vio reducido con altas densidades de plantación debido a que el volumen de suelo explorado por las raíces fue menor. Estos investigadores obtuvieron paredes de vegetación más delgadas al disminuir el espaciamiento entre las plantas.

1.2 Superficie foliar total (LAI)

La superficie foliar total de las plantas de los distintos tratamientos de los cuatro ensayos experimentales ha sido determinada utilizando el índice de área foliar, LAI (*Leaf Area Index*), que representa la superficie foliar total desarrollada por las plantas, en m^2 por m^2 de superficie de suelo (Carbonneau 1987). Este índice se puede determinar por varios métodos. En este caso se ha utilizado el método no destructivo establecido por Carbonneau (1976 a,b), que se ha descrito en el apartado correspondiente de Material y Métodos.

En las tablas III.5, III.6, III.7 y III.8 se recogen los datos de LAI total y los correspondientes a LAI de pámpanos principales y a LAI de anticipados, así como la significación estadística del pertinente análisis de varianza de los tratamientos de distancia entre cepas de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro respectivamente. De igual forma, se expone el porcentaje de superficie foliar que correspondió al pámpano principal y el que correspondió a los anticipados en los años 2005, 2006 y 2007.

Tabla III.5. Índice de área foliar (LAI), de principal (LAI p) y de anticipados (LAI n), porcentaje de superficie de principal (% p) y de anticipados (% n) en los años 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Año	Mes	Tratamiento	LAI	LAI p	LAI n	% p	% n
2005	Julio	1,2	1,64	1,02	0,62	62,1	37,9
		1,5	1,76	0,99	0,77	56,3	43,7
		1,8	1,75	1,00	0,75	56,9	43,1
		Sig	ns	ns	ns		
	Junio	1,2	1,70	0,89	0,81	52,6	47,4
		1,5	1,63	0,90	0,73	55,3	44,7
		1,8	1,70	0,91	0,79	53,7	46,3
		Sig	ns	ns	ns		
2006	Julio	1,2	2,43	1,27	1,16	52,2	47,8
		1,5	2,09	1,14	0,95	54,6	45,4
		1,8	2,29	1,24	1,05	54,1	45,9
		Sig	ns	ns	ns		
	Septiembre	1,2	2,38	1,21	1,17	50,8	49,2
		1,5	2,38	1,20	1,18	50,4	49,6
		1,8	2,47	1,24	1,23	50,3	49,7
		Sig	ns	ns	ns		
2007	Agosto	1,2	3,09	1,19	1,90	38,5	61,5
		1,5	2,85	1,18	1,67	41,5	58,5
		1,8	3,03	1,20	1,83	39,6	60,4
		Sig	ns	ns	ns		
	Septiembre	1,2	2,55	1,09	1,46	42,8	57,2
		1,5	2,48	1,04	1,44	41,9	58,1
		1,8	2,43	1,00	1,43	41,1	58,9
		Sig	ns	ns	ns		

En las figuras III.2, III.3, III.4 y III.5 se muestran los valores de LAI total en el estado fenológico de envero en los años 2005, 2006 y 2007, y la evolución estacional de LAI total durante el año 2006 en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro respectivamente.

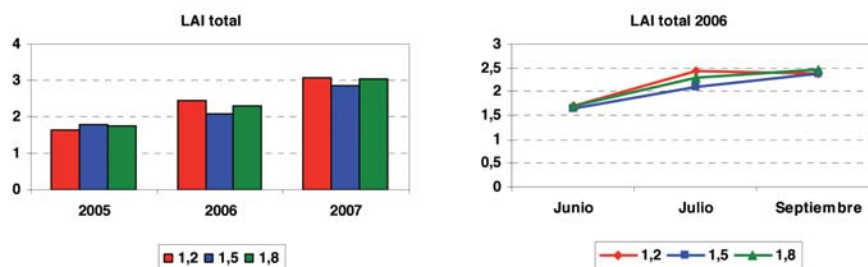


Figura III.2. Superficie foliar total (LAI) en $m^2 \cdot m^{-2}$ (izquierda) en el estado fenológico de enero en los años 2005, 2006 y 2007, y evolución estacional (derecha) en 2006 de la superficie foliar total (LAI), en $m^2 \cdot m^{-2}$, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) del ensayo de **Castrillo de Duero**.

Tabla III.6. Índice de área foliar (LAI), de principal (LAI p) y de anticipados (LAI n), porcentaje de superficie de principal (% p) y de anticipados (% n) en los años 2005, 2006 y 2007 de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Año	Mes	Tratamiento	LAI	LAI p	LAI n	% p	% n	
2005	Julio	1,2	2,70	1,50	1,20	55,4	44,6	
		1,5	2,14	1,20	0,94	56,2	43,8	
		1,8	2,39	1,26	1,13	52,7	47,3	
		Sig	ns	ns	ns			
	Septiembre	1,2	2,02	1,17	0,85	57,9	42,1	
		1,5	2,15	1,51	0,64	70,2	29,8	
		1,8	1,91	1,17	0,74	61,2	38,8	
		Sig	ns	ns	ns			
	2006	Junio	1,2	1,90 ^b	1,08	0,82 ^b	56,7	43,3
			1,5	2,49 ^a	1,08	1,41 ^a	43,4	56,6
			1,8	1,99 ^b	1,06	0,93 ^b	53,3	46,7
			Sig	*	ns	*		
Julio		1,2	1,98 ^b	0,99	0,99 ^b	49,9	50,1	
		1,5	2,59 ^a	1,01	1,58 ^a	39,0	61,0	
		1,8	1,87 ^b	0,95	0,92 ^b	50,9	49,1	
		Sig	*	ns	*			
Agosto		1,2	2,01 ^b	1,01	1,00 ^b	50,4	49,6	
		1,5	2,59 ^a	1,05	1,54 ^a	40,5	59,5	
		1,8	1,86 ^b	0,93	0,93 ^b	50,0	50,0	
		Sig	*	ns	*			
2007	Julio	1,2	3,24	1,54	1,70	47,6	52,4	
		1,5	3,43	1,62	1,81	47,3	52,7	
		1,8	2,69	1,41	1,28	52,5	47,5	
		Sig	ns	ns	ns			
	Septiembre	1,2	3,04	1,38	1,66	45,4	54,6	
		1,5	3,16	1,46	1,70	46,2	53,8	
		1,8	2,71	1,36	1,35	50,1	49,9	
		Sig	ns	ns	ns			

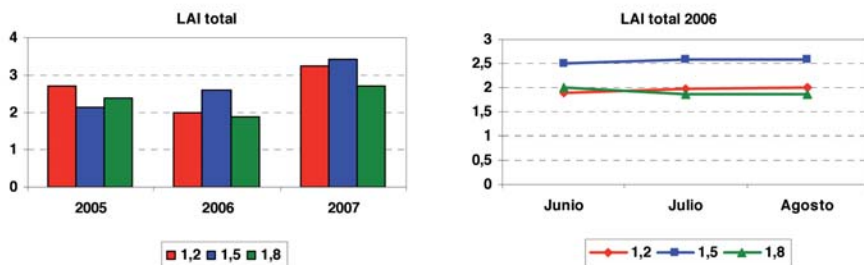


Figura III.3. Superficie foliar total (LAI) en $m^2.m^{-2}$ (izquierda) en el estado fenológico de enero en los años 2005, 2006 y 2007, y evolución estacional (derecha) en 2006 de la superficie foliar total (LAI), en $m^2.m^{-2}$, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) del ensayo experimental de **Pollos**.

Tabla III.7. Índice de área foliar (LAI), de principal (LAI p) y de anticipados (LAI n), porcentaje de superficie de principal (% p) y de anticipados (% n) en los años 2005, 2006 y 2007 de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Rodilana**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Año	Mes	Tratamiento	LAI	LAI p	LAI n	% p	% n	
2005	Julio	1,2	1,68	1,07	0,61 ^a	63,6	36,4	
		1,5	1,37	0,96	0,41 ^b	69,9	30,1	
		1,8	1,33	0,95	0,38 ^b	71,6	28,4	
		Sig	ns	ns	*			
	Octubre	1,2	0,98	0,59	0,39	60,0	40,0	
		1,5	0,75	0,56	0,19	74,5	25,5	
		1,8	0,89	0,54	0,35	60,5	39,5	
		Sig	ns	ns	ns			
	2006	Junio	1,2	1,57	0,86	0,71	54,9	45,1
			1,5	1,39	0,79	0,60	56,6	43,4
			1,8	1,38	0,82	0,56	59,3	40,7
			Sig	ns	ns	ns		
Julio		1,2	2,11	1,14	0,97	54,1	45,9	
		1,5	1,88	0,99	0,89	52,7	47,3	
		1,8	1,79	1,04	0,75	58,3	41,7	
		Sig	ns	ns	ns			
Agosto		1,2	2,20 ^a	1,10	1,10 ^a	50,1	49,9	
		1,5	1,88 ^b	1,05	0,83 ^{ab}	55,8	44,2	
		1,8	1,66 ^b	1,00	0,66 ^b	60,4	39,6	
		Sig	**	ns	*			
2007	Agosto	1,2	2,91	1,46	1,45	50,1	49,9	
		1,5	2,71	1,46	1,25	53,9	46,1	
		1,8	2,68	1,39	1,29	51,9	48,1	
		Sig	ns	ns	ns			
	Septiembre	1,2	2,69	1,28	1,41	47,6	52,4	
		1,5	2,51	1,19	1,32	47,5	52,5	
		1,8	2,58	1,28	1,30	49,7	50,3	
		Sig	ns	ns	ns			

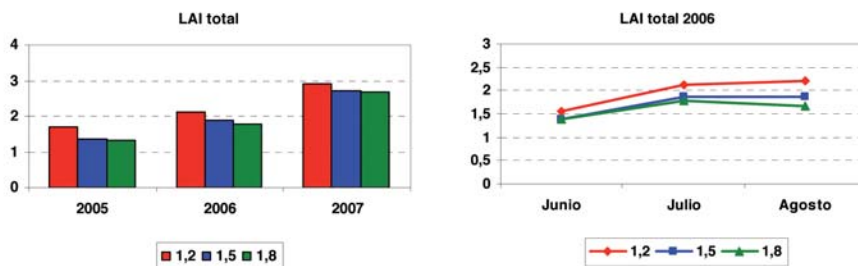


Figura III.4. Superficie foliar total (LAI) en $m^2 \cdot m^{-2}$ (izquierda) en el estado fenológico de enero en los años 2005, 2006 y 2007, y evolución estacional (derecha) en 2006 de la superficie foliar total (LAI), en $m^2 \cdot m^{-2}$, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) del ensayo de **Rodilana**.

Tabla III.8. Índice de área foliar (LAI), de principal (LAI p) y de anticipados (LAI n), porcentaje de superficie de principal (% p) y de anticipados (% n) en los años 2005, 2006 y 2007 de los tratamientos 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo de **Toro**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Año	Mes	Tratamiento	LAI	LAI p	LAI n	% p	% n
2005	Julio	1,2	1,54	0,98	0,56	63,5	36,5
		1,5	1,51	0,98	0,53	64,9	35,1
		1,8	1,49	0,99	0,50	66,4	33,6
		Sig	ns	ns	ns		
2006	Junio	1,2	1,35	0,78	0,57	57,7	42,3
		1,5	1,50	0,84	0,66	55,8	44,2
		1,8	1,21	0,77	0,44	63,8	36,2
		Sig	ns	ns	ns		
2006	Julio	1,2	1,89	1,05	0,84	55,5	44,5
		1,5	1,80	1,05	0,75	58,4	41,6
		1,8	1,64	0,96	0,68	58,7	41,3
		Sig	ns	ns	ns		
2006	Septiembre	1,2	1,85	0,97	0,88	52,5	47,5
		1,5	1,74	0,99	0,75	56,8	43,2
		1,8	1,57	0,92	0,65	58,6	41,4
		Sig	ns	ns	ns		
2007	Agosto	1,2	3,19	1,05	2,14	33,0	67,0
		1,5	2,51	0,89	1,62	35,4	64,6
		1,8	2,39	0,91	1,48	38,0	62,0
		Sig	ns	ns	ns		
2007	Septiembre	1,2	2,58	0,90	1,68	34,8	65,2
		1,5	1,83	0,74	1,09	40,2	59,8
		1,8	1,98	0,73	1,25	36,9	63,1
		Sig	ns	ns	ns		

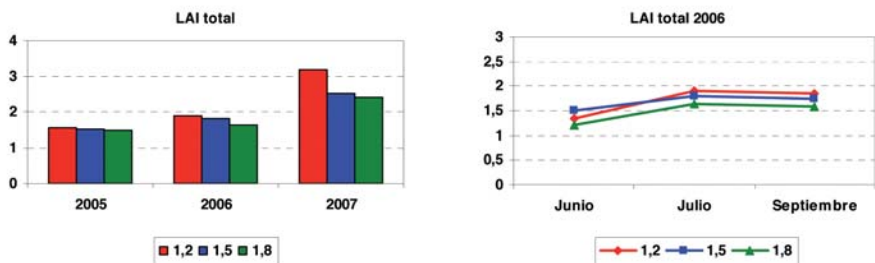


Figura III.5. Superficie foliar total (LAI) en $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ (izquierda) en el estado fenológico de envero en los años 2005, 2006 y 2007, y evolución estacional (derecha) en 2006 de la superficie foliar total (LAI), en $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) del ensayo experimental de **Toro**.

En el ensayo experimental de **Castrillo de Duero** no se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ni en el desarrollo foliar (LAI) total, ni en el de principales, ni en el de anticipados en ningún momento del periodo de estudio. Se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar mayor superficie foliar en la época de envero en los años 2006 y 2007. Belvini *et al.* (1986) y Carbonneau (1993) observaron una tendencia parecida trabajando con otras variedades, al desarrollar mayor superficie foliar las densidades de plantación más elevadas. En cambio, en el año 2005 el desarrollo foliar fue más similar entre tratamientos en dicho momento fenológico. En este sentido, Nadal y Lampreave (1999) encontraron que viñas con diferentes densidades de plantación presentaron un vigor parecido y pocas variaciones en los parámetros vegetativos.

La evolución estacional del desarrollo foliar en 2006 ha experimentado un aumento hasta el envero y posteriormente, en maduración, dicha superficie foliar apenas experimenta variaciones, mientras que en 2007 disminuye en maduración respecto al estado fenológico de envero en los tres tratamientos debido a la pérdida de hojas basales y de los anticipados de los primeros rangos dentro del brote principal. El desarrollo foliar durante el periodo de estudio ha aumentado en los tres tratamientos del 2005 al 2007, circunstancia relacionada directamente con el aumento creciente de precipitaciones durante el periodo de desarrollo vegetativo de la vid a lo largo de estos años, que permitió compensar el agua evaporada y sustraída del perfil del suelo por el sistema radicular, ocasionando una recuperación fisiológica que se tradujo en un mayor desarrollo foliar en la medida en que había más agua en el perfil de suelo. Resultados parecidos obtuvieron

Bartolomé (1993) y Yuste (1995) observando que los aportes de agua mediante riego provocaban mayor actividad fisiológica y mayor desarrollo foliar que el cultivo de seco.

El aumento de superficie foliar mostrado del año 2005 al año 2007 en los tres tratamientos es debido, principalmente, al aumento de superficie foliar de anticipados, ya que en el año 2005 ésta representa en torno al 40%, en el año 2006 en torno al 47% y en el año 2007 en torno al 60% de la superficie total desarrollada. De la misma forma, Rubio (2002) observó valores de LAI de anticipados mayores en las cepas con mayor disponibilidad hídrica.

En el ensayo de **Pollos**, en 2005 no se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, si bien el tratamiento 1,2 mostró mayor desarrollo foliar en enero, aunque en maduración, al igual que el tratamiento 1,8, perdió masa foliar (hojas de principal y de anticipados) debido a las adversas condiciones meteorológicas de los meses de agosto y septiembre, caracterizadas por altas temperaturas y escasas precipitaciones. De la misma forma, Gómez del Campo (1998) y Cuevas (2001), trabajando con la variedad Tempranillo, observaron pérdida de masa foliar por senescencia al final del ciclo, que llegó a ser del 29% en hojas de principal en condiciones de cultivo en seco.

En el año 2006 se han observado diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en el LAI total a favor del tratamiento 1,5 en las tres fechas de medida, con valores de LAI en enero y maduración de 2,59. De igual forma, se han observado diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento 1,5 en el LAI de anticipados en las tres fechas de medida. En cambio, el LAI de hojas principales no ha mostrado grandes diferencias entre tratamientos. Esta misma tendencia se ha observado en el año 2007, aunque sin que las diferencias fueran estadísticamente significativas.

La evolución estacional del desarrollo foliar en el año 2006 ha mostrado unos valores muy parecidos en las tres fechas de medida en los tratamientos 1,2 y 1,5, mientras que el tratamiento 1,8 ha mostrado un ligero descenso del desarrollo foliar al final del ciclo. En los años 2005 y 2006, la superficie foliar ha disminuido ligeramente al final del ciclo, excepto en el tratamiento 1,5 en el año 2005 y en el tratamiento 1,8 en el año 2007 en los que los valores de LAI se han mantenido hasta maduración.

En el ensayo experimental de **Rodilana** se ha observado un aumento de la superficie foliar total a medida que disminuye la distancia entre cepas,

debido al mejor aprovechamiento de los recursos hídrico-edáficos del suelo por el sistema radicular del tratamiento 1,2. Esta tendencia se ha observado en los tres años de estudio en el estado fenológico de envero. Slavtcheva (1996) e Intrieri *et al.* (1999) observaron tendencias parecidas al aumentar el desarrollo foliar con altas densidades de plantación.

La superficie foliar decrece hacia maduración en los años 2005 y 2007, mientras que experimenta pocos cambios en el año 2006. De la misma forma, Sommer y Clingeffer (1996) encontraron en torno al estado fenológico de envero el mayor desarrollo foliar en el ciclo.

En el año 2005, el descenso del LAI fue considerable de envero a maduración, llegando a observarse una pérdida de área foliar superior al 40% en los tratamientos 1,2 y 1,5. Este fuerte descenso fue debido al fuerte estrés hídrico sufrido a final del ciclo como consecuencia de las severas condiciones meteorológicas de agosto y septiembre, caracterizados por elevadas temperaturas y ausencia de precipitaciones. En este año se han observado diferencias estadísticamente significativas en el LAI de anticipados a favor del 1,2 en el mes de julio. Al final del ciclo se observó un descenso brusco de la superficie foliar de anticipados en el 1,2 y 1,5. En este sentido, Poni *et al.* (1993) encontraron en vides estresadas un porcentaje muy alto de nudos deshojados y menor área foliar que en las vides de referencia.

La evolución estacional del LAI en 2006 ha mostrado un aumento hasta el envero (30 de julio) y al final del ciclo (29 de agosto) ha mantenido valores similares en los tres tratamientos estudiados. En cambio, en esta última medida (29 de agosto), el LAI ha mostrado diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) entre tratamientos a favor del tratamiento 1,2, con un valor de LAI de $2,2 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$.

En el ensayo de **Toro** el índice de área foliar no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ningún momento del ciclo en los tres años de estudio. En general, se ha observado una tendencia del tratamiento 1,2 a desarrollar mayor superficie foliar que los otros dos tratamientos en los tres años de estudio, al igual que en los ensayos de Castrillo de Duero y de Rodilana.

En el año 2007, el desarrollo foliar presenta un mayor porcentaje de anticipados que en 2005 y 2006, debido principalmente a una granizada ocurrida a final de mayo que rompió muchos brotes a la altura de los primeros rangos y favoreció el desarrollo de anticipados en las primeras fases de crecimiento, representando el área foliar de éstos más de un 60% de la superficie foliar total.

La evolución estacional del LAI en 2006 muestra su máximo desarrollo en el estado fenológico de envero y posteriormente decrece ligeramente hacia maduración. En el año 2007 el LAI decrece en mayor proporción en maduración debido a la senescencia de las hojas basales del brote principal y a la rotura de brotes anticipados. Este descenso de la superficie foliar es más acusado en el 1,2 y 1,5 que en el 1,8.

1.3 Superficie foliar externa (SA) y relación SA/LAI (IF)

La superficie foliar externa representa el área foliar que puede recibir la radiación solar de forma directa (Carbonneau 1980). Se considera que está constituida por las caras laterales y la parte superior del *canopy* en los viñedos conducidos con formas verticales. La contribución de la cara inferior, aunque ésta puede absorber radiación reflejada por el suelo, es muy pequeña y puede despreciarse (Smart 1985). El índice SA se expresa en m² de superficie foliar externa por cada m² de superficie de suelo.

En las tablas III.9, III.10, III.11 y III.12 se recogen los valores de los índices SA, LAI y la relación SA/LAI de los años 2005, 2006 y 2007, estimados después del envero en los ensayos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro respectivamente.

Tabla III.9. Superficie foliar externa (SA) en m².m⁻² de suelo, índice de área foliar (LAI) en m².m⁻² de suelo y relación entre ellos (SA/LAI), en el estado fenológico de envero en los años 2005, 2006 y 2007 de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	2005			2006			2007		
	SA	LAI	SA/LAI	SA	LAI	SA/LAI	SA	LAI	SA/LAI
1,2	0,90	1,64	0,56	0,95	2,43	0,40	0,91	3,09	0,30
1,5	0,88	1,76	0,50	0,96	2,09	0,47	0,92	2,85	0,33
1,8	0,91	1,75	0,54	0,93	2,29	0,41	0,91	3,03	0,30
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.10. Superficie foliar externa (**SA**) en $m^2.m^{-2}$ de suelo, índice de área foliar (**LAI**) en $m^2.m^{-2}$ de suelo y relación entre ellos (**SA/LAI**), en el estado fenológico de envero en los años 2005, 2006 y 2007 de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$.

Tratamiento	2005			2006			2007		
	SA	LAI	SA/LAI	SA	LAI	SA/LAI	SA	LAI	SA/LAI
1,2	1,08	2,70	0,40	1,01	1,98 ^b	0,51	0,98	3,24	0,31 ^b
1,5	1,06	2,14	0,50	0,99	2,59 ^a	0,39	0,99	3,43	0,29 ^b
1,8	1,03	2,39	0,47	0,93	1,87 ^b	0,52	0,97	2,69	0,36 ^a
Sig	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*

Tabla III.11. Superficie foliar externa (**SA**) en $m^2.m^{-2}$ de suelo, índice de área foliar (**LAI**) en $m^2.m^{-2}$ de suelo y relación entre ellos (**SA/LAI**), en el estado fenológico de envero en los años 2005, 2006 y 2007 de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Rodilana**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$.

Tratamiento	2005			2006			2007		
	SA	LAI	SA/LAI	SA	LAI	SA/LAI	SA	LAI	SA/LAI
1,2	0,80	1,68	0,48	0,90 ^a	2,11	0,43	1,01	2,91	0,36
1,5	0,76	1,37	0,56	0,81 ^b	1,88	0,44	0,99	2,71	0,37
1,8	0,80	1,33	0,61	0,79 ^b	1,79	0,45	0,99	2,68	0,37
Sig	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.12. Superficie foliar externa (**SA**) en $m^2.m^{-2}$ de suelo, índice de área foliar (**LAI**) en $m^2.m^{-2}$ de suelo y relación entre ellos (**SA/LAI**), en el estado fenológico de envero en los años 2005, 2006 y 2007 de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Toro**. Significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$.

Tratamiento	2005			2006			2007		
	SA	LAI	SA/LAI	SA	LAI	SA/LAI	SA	LAI	SA/LAI
1,2	0,86	1,54	0,56	0,88	1,89	0,50	0,87	3,19	0,28
1,5	0,86	1,51	0,58	0,85	1,80	0,49	0,82	2,51	0,37
1,8	0,84	1,49	0,58	0,81	1,64	0,51	0,79	2,39	0,33
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

En **Castrillo de Duero**, la superficie foliar externa no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en los tres años. Los valores del índice SA no se han visto afectados por las condiciones particulares de cada año, siendo similares los tres años. Estos resultados muestran que las características y el manejo del sistema de conducción favorecen la disposición de la superficie foliar externa de modo semejante en los diferentes tratamientos, aunque no tengan el mismo potencial de desarrollo, presentando valores muy similares los diferentes tratamientos en los distintos ensayos.

El índice SA/LAI ó IF no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ningún año de estudio. Los valores obtenidos son muy similares entre tratamientos, sin observarse una tendencia clara entre ellos en los tres años de estudio. Se ha observado que el IF del año 2005 es el más alto del periodo de estudio, con valores aproximadamente de 0,5 en los tres tratamientos estudiados, lo que supone que dicho año hubo una mejor distribución espacial del follaje que pudo proporcionar una mejor exposición foliar a la luz solar (Pérez 2002). Lissarrague *et al.* (1991) indican que los valores de SA/LAI que más se aproximen a 1 reflejan una mejor exposición de la vegetación a la radiación solar. En los años 2006 y 2007 el índice IF ha sido menor, con valores de 0,4 y de 0,3 respectivamente, debido a que la mayor superficie foliar desarrollada ocupaba el mismo espacio de la espaldera, lo que ha podido redundar en una menor eficiencia del conjunto de la superficie foliar derivada de un mayor número de hojas sombreadas.

Los valores medios del índice IF observados en los tres años de estudio son similares a los obtenidos por Pérez (2002) trabajando con la misma variedad en regadío y con una superficie asignada de suelo a cada planta de 3,78 m² (similar al tratamiento 1,2=3,6 m².planta⁻¹) y a los obtenidos por Yuste (1995) trabajando con la misma variedad en regadío y con una superficie asignada de suelo de 4,8 m².planta⁻¹ (similar al tratamiento 1,5=4,5 m².planta⁻¹).

Por otro lado, en uno de los diversos estudios sobre área foliar en vid llevados a cabo por Smart (1985) se indicó que el valor óptimo para la relación inversa al IF (LAI/SA) se encontraba en torno a 1,5. En el presente trabajo, esta relación se encuentra entre 3,39 del valor más alto (tratamiento 1,2 en 2007) y 1,82 del más bajo (tratamiento 1,2 en 2005). En general, exceptuando el año 2005, este índice es bastante mayor al propuesto por Smart. Por tanto, en los años 2006 y 2007 el desarrollo foliar de los tres tratamientos se caracterizó por un alto grado de amontonamiento de las hojas, lo que pudo suponer una pérdida de eficiencia en la actividad fotosintética (Sánchez 2007).

En el ensayo experimental de **Pollos**, el índice SA no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ningún año de estudio. Sin embargo, se observa una ligera tendencia a aumentar dicho índice a medida que se acorta la distancia entre cepas. Los valores de SA han experimentado pocas variaciones en los tres años de estudio ya que las características y el manejo del sistema de conducción han atenuado las posibles diferencias de desarrollo de superficie foliar externa entre tratamientos experimentales.

Los valores de SA obtenidos, en torno a 1, son similares a los observados por Sipiora (2005) en envero trabajando con la misma variedad en secano y en regadío, y con una carga de pámpanos por metro de cordón de 8 brotes, similar a la de los tratamientos estudiados (10 brotes por metro de cordón).

El índice IF no ha mostrado ninguna tendencia clara entre tratamientos aunque se han observado diferencias estadísticamente significativas en el año 2007 a favor del tratamiento 1,8. En dicho año el índice IF fue sensiblemente menor que en 2005 y 2006, debido al mayor desarrollo foliar (LAI) observado en los tres tratamientos, producido por el aumento de precipitaciones en la fase vegetativa de la vid en dicho año, que permitió compensar el agua evaporada y sustraída del perfil del suelo por el sistema radicular, ocasionando una recuperación fisiológica de las plantas que se tradujo en un mayor desarrollo foliar. El inverso de IF refleja un alto grado de amontonamiento de la vegetación en los tres tratamientos (Smart 1985) y, por tanto, una posible pérdida de eficiencia fotosintética, al estar muchas hojas sombreadas por otras.

En el ensayo experimental de **Rodilana** se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar mayor superficie foliar externa en los tres años de estudio. Sin embargo, sólo se han observado diferencias estadísticamente significativas a favor de dicho tratamiento en el año 2006. En general, los valores de SA han aumentado ligeramente del año 2005, con valores de 0,8, al año 2007, con valores en torno a 1, debido principalmente al mayor desarrollo foliar producido por el aumento anual de precipitaciones en los meses estivales durante el periodo de estudio.

El índice SA/LAI presenta, en general, valores similares entre tratamientos, aunque se observa una ligera tendencia del tratamiento 1,8 a presentar mayores valores y, por tanto, mejor exposición foliar a la radiación solar (Lissarrage *et al.* 1991). Este índice decrece del año 2005 al 2007, debido al incremento de desarrollo de brotes anticipados que presentaron los tres tratamientos del año 2005 al año 2007. Según Smart (1985), el valor óptimo del inverso de IF está en torno a 1,5. En el presente estudio los valores obtenidos oscilan desde 1,66 del tratamiento 1,8 en el año 2005 a 2,88 del tratamiento 1,2 en el año 2007. Los valores que más se aproximan en los tres tratamientos estudiados al valor sugerido por Smart son los del año 2005.

En el ensayo experimental de **Toro**, el factor distancia entre cepas no tuvo influencia estadísticamente significativa en el índice SA, si bien se ha observado una ligera tendencia a aumentar el índice SA cuanto menor es la

distancia entre cepas en los tres años de estudio. Los valores obtenidos en cada tratamiento son muy similares en los tres años de estudio, observándose pocas variaciones, situándose en torno a 0,85.

El índice IF no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, siendo los valores obtenidos muy similares en todos ellos. En el año 2007 el IF muestra valores sensiblemente más bajos que en los años 2005 y 2006, debido al aumento de superficie foliar, principalmente de brotes anticipados, observado en dicho año, ocasionado por las condiciones meteorológicas menos severas que las de los años anteriores. El inverso de IF muestra una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar mayores valores que los otros tratamientos, con lo que la superficie foliar podría ser unitariamente menos eficiente al encontrarse muchas hojas sombreadas en dicho tratamiento. Al igual que en los otros ensayos experimentales, el año 2007 presenta los valores más altos de esta relación en los tres tratamientos estudiados, poniendo de manifiesto las condiciones meteorológicas menos limitantes de este año.

1.4 Superficie foliar y Longitud

Se han determinado las relaciones existentes entre la superficie foliar y la longitud del sarmiento a través de ecuaciones de regresión para cada tratamiento experimental de distancia entre cepas, por un lado, y para el conjunto de ellos por otro. Estas relaciones se han obtenido para el conjunto de los cuatro ensayos experimentales estudiados. Las ecuaciones de regresión obtenidas son Superficie foliar del principal-Longitud del principal, Superficie foliar total de anticipados-Longitud total de anticipados, Superficie foliar total-Longitud total del sarmiento (principal y anticipados) y Superficie foliar total-Longitud del principal.

Se ha caracterizado la longitud de los brotes anticipados en función del rango para cada tratamiento y para el conjunto de ellos, de cara a valorar la superficie foliar que aportan los distintos anticipados según el rango que ocupan al conjunto del sarmiento en las condiciones planteadas.

1.4.1 Superficie foliar del principal – Longitud del principal

Se ha establecido la relación entre la superficie de las hojas principales del sarmiento y la longitud del sarmiento medida desde la inserción en el pulgar hasta el ápice (Tabla III.13, Figura III.6). Los resultados obtenidos para cada tratamiento han mostrado una relación estadísticamente significativa entre

las variables relacionadas para un nivel de confianza del 99%, presentando valores R^2 superiores a 0,56 en los tres tratamientos estudiados. El tratamiento 1,2 ha mostrado un valor R^2 de 0,69, más alto que el resto de tratamientos. De manera similar, la recta de regresión obtenida entre estos parámetros para el conjunto de tratamientos, es decir, sin hacer distinción entre las diferentes distancias entre cepas, presenta un valor R^2 alto, explicando un 62% de la variabilidad de la superficie foliar del principal a partir de su longitud. Dicha relación entre las dos variables ha sido estadísticamente significativa.

Tabla III.13: Ecuaciones de regresión lineal entre **Superficie foliar de principal** y **Longitud de principal** en 2006, correspondientes a los tratamientos de 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), y al conjunto global de tratamientos (G) para el conjunto de los ensayos de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana** y **Toro**. Ecuación de la recta, coeficiente de determinación (R^2) y significación estadística. Análisis estadístico de las rectas de regresión para un nivel de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamiento	Recta de regresión	R^2	Sig
1,2	$y = 19,6341 x + 46,6609$	0,692	**
1,5	$y = 17,2819 x + 527,525$	0,582	**
1,8	$y = 17,3201 x + 400,248$	0,569	**
G	$y = 18,2613 x + 298,803$	0,622	**

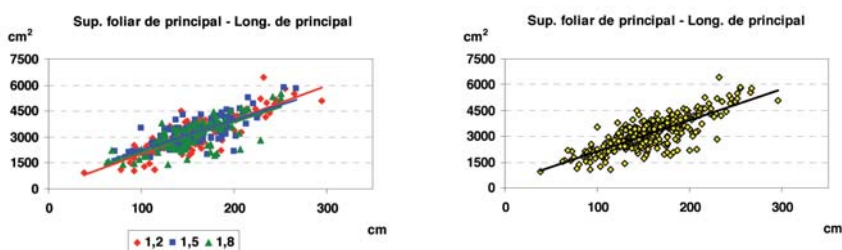


Figura III.6. Rectas de regresión lineal entre **Superficie foliar de principal** y **Longitud de principal** en 2006, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), y al conjunto global de tratamientos para el conjunto de los ensayos de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana** y **Toro**.

1.4.2 Superficie foliar de anticipados – Longitud de anticipados

Se ha relacionado la superficie foliar de todos los anticipados del sarmiento y la suma de sus longitudes (Tabla III.14, Figura III.7), obteniéndose una

relación estadísticamente significativa entre variables para un nivel de confianza del 99%, con valores de R^2 altos en los tres tratamientos estudiados. El tratamiento 1,2 ha mostrado un valor R^2 de 0,9, mayor que el resto de tratamientos. La recta de regresión obtenida para el conjunto de tratamientos ha presentado un valor R^2 de 0,85.

Tabla III.14: Ecuaciones de regresión lineal entre **Superficie foliar de anticipados** del sarmiento y **Longitud total de anticipados** del sarmiento en **2006**, correspondientes a los tratamientos de 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), y al conjunto global de tratamientos (G) para el conjunto de los ensayos de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**. Ecuación de la recta, coeficiente de determinación (R^2) y significación estadística. Análisis estadístico de las rectas de regresión para un nivel de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamiento	Recta de regresión	R^2	Sig
1,2	$y = 17,0324 x + 354,894$	0,904	**
1,5	$y = 14,9992 x + 727,826$	0,841	**
1,8	$y = 16,8882 x + 458,087$	0,798	**
G	$y = 16,1017 x + 536,57$	0,847	**

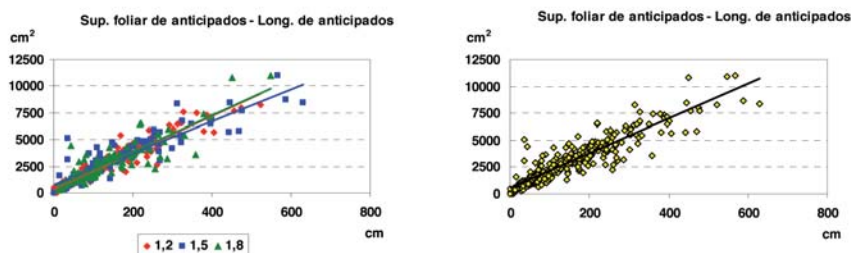


Figura III.7. Rectas de regresión lineal entre **Superficie foliar de anticipados** del sarmiento y **Longitud total de anticipados** del sarmiento en **2006**, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), y al conjunto global de tratamientos para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**.

1.4.3 Superficie foliar total – Longitud total del sarmiento

Se ha relacionado la superficie foliar total del sarmiento (principal y anticipados) con la longitud total del sarmiento, sumando las longitudes del principal y de todos los anticipados del sarmiento (Tabla III.15, Figura III.8). Esta relación entre variables ha resultado estadísticamente significativa para

un nivel de confianza del 99%, con valores R^2 elevados para los tres tratamientos estudiados, superiores a 0,77. El tratamiento 1,2 ha mostrado un valor R^2 de 0,88, mayor que el resto de tratamientos. Igualmente, la recta de regresión obtenida para el conjunto de tratamientos ha presentado un elevado valor R^2 , de 0,85.

Tabla III.15: Ecuaciones de regresión lineal entre **Superficie foliar total** (principal y anticipados) y **Longitud total** del sarmiento (principal y anticipados) en **2006**, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), y al conjunto global de tratamientos (G) para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana** y **Toro**. Ecuación de la recta, coeficiente de determinación (R^2) y significación estadística. Análisis estadístico de las rectas de regresión para un nivel de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamiento	Recta de regresión	R^2	Sig
1,2	$y = 18,3459 x + 403,331$	0,889	**
1,5	$y = 16,0676 x + 1273,73$	0,820	**
1,8	$y = 17,3396 x + 797,132$	0,777	**
G	$y = 17,1873 x + 842,363$	0,832	**

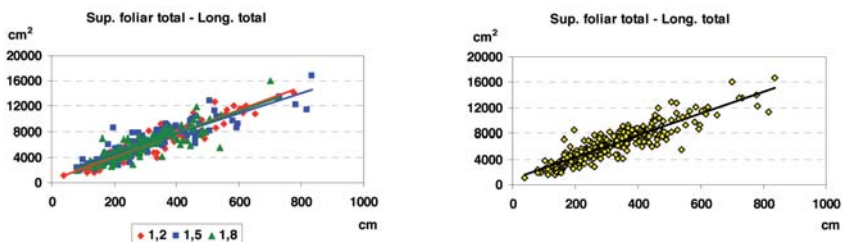


Figura III.8. Rectas de regresión lineal entre **Superficie foliar total** (principal y anticipados) y **Longitud total** del sarmiento (principal y anticipados) en 2006, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), y al conjunto global de tratamientos para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana** y **Toro**.

1.4.4 Superficie foliar total – Longitud del principal

La relación entre la superficie foliar total del sarmiento y la longitud del principal (Tabla III.16, Figura III.9) se ha mostrado estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 99%, aunque los valores R^2 obtenidos son más bajos que los obtenidos en las relaciones anteriores,

inferiores a 0,5, tanto para cada una de las distancias entre cepas por separado como para el conjunto de tratamientos.

Tabla III.16: Ecuaciones de regresión lineal entre **Superficie foliar total** (principal y anticipados) y **Longitud de principal** en **2006**, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), y al conjunto global de tratamientos (G) para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**. Ecuación de la recta, coeficiente de determinación (R^2) y significación estadística. Análisis estadístico de las rectas de regresión para un nivel de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamiento	Recta de regresión	R^2	Sig
1,2	$y = 43,1113 x - 700,44$	0,460	**
1,5	$y = 44,7504 x - 628,297$	0,359	**
1,8	$y = 37,7995 x - 94,165$	0,357	**
G	$y = 42,0782 x - 498,524$	0,394	**

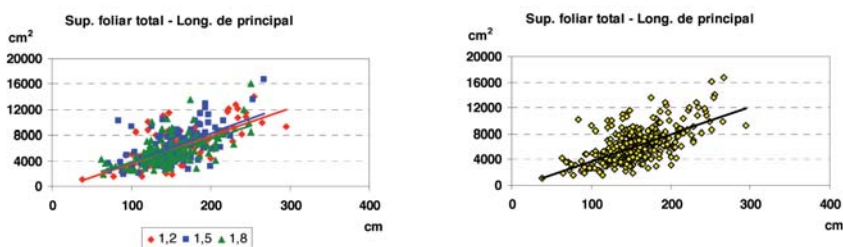


Figura III.9. Rectas de regresión lineal entre **Superficie foliar total** (principal y anticipados) y **Longitud de principal** en **2006**, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), y al conjunto global de tratamientos para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**.

1.4.5 Superficie foliar y Longitud del sarmiento

Ni la superficie foliar desarrollada en el brote principal, ni en los brotes anticipados, ni el área foliar total del sarmiento han mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de distancia entre cepas en 2006 (Tabla III.17). Tampoco se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en la longitud del brote principal, ni de los brotes anticipados ni en la longitud total de sarmiento, si bien se ha observado que el tratamiento 1,8 presenta un sarmiento medio más corto, con menor longitud de brote principal y, sobre todo, de brotes

anticipados, y consecuentemente menor superficie foliar total que los otros dos tratamientos.

Tabla III.17. Valores medios de Superficie foliar (cm²) del sarmiento, de principal, de anticipados y total, y Longitudes (cm) del sarmiento, de principal, de anticipados y total, en **2006**, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	Superficie Foliar			Longitudes		
	Principal	Anticipados	Total	Principal	Anticipados	Total
1,2	3.158	2.978	6.136	158	154	312
1,5	3.212	3.165	6.377	155	163	319
1,8	3.015	2.606	5.621	151	128	279
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1.4.6 Longitud de brotes anticipados según su rango

Se ha estudiado el crecimiento en longitud de los brotes anticipados según su rango de inserción en el sarmiento en las tres distancias entre cepas estudiadas y en el conjunto de ellas (Figura III.10). En ambos casos, el desarrollo alcanzado por los brotes anticipados presenta un modelo similar, aumentado drásticamente desde el rango 1 al 2 y decreciendo progresivamente hacia los nudos más próximos al ápice. Se ha calculado el porcentaje en longitud que representa cada anticipado dentro del sarmiento, observándose que la acumulación de longitud hasta el rango 7 representa el 59% del total de la longitud de los anticipados, mientras que la longitud acumulada hasta el rango 13 representa el 81%, lo que resulta importante de cara a la estimación de la superficie foliar de anticipados a partir de su longitud. Los anticipados que mayor desarrollo presentan en el sarmiento corresponden a los rangos 2 y 3, representando entre ambos el 22% del total del crecimiento en longitud de todos los anticipados del sarmiento.

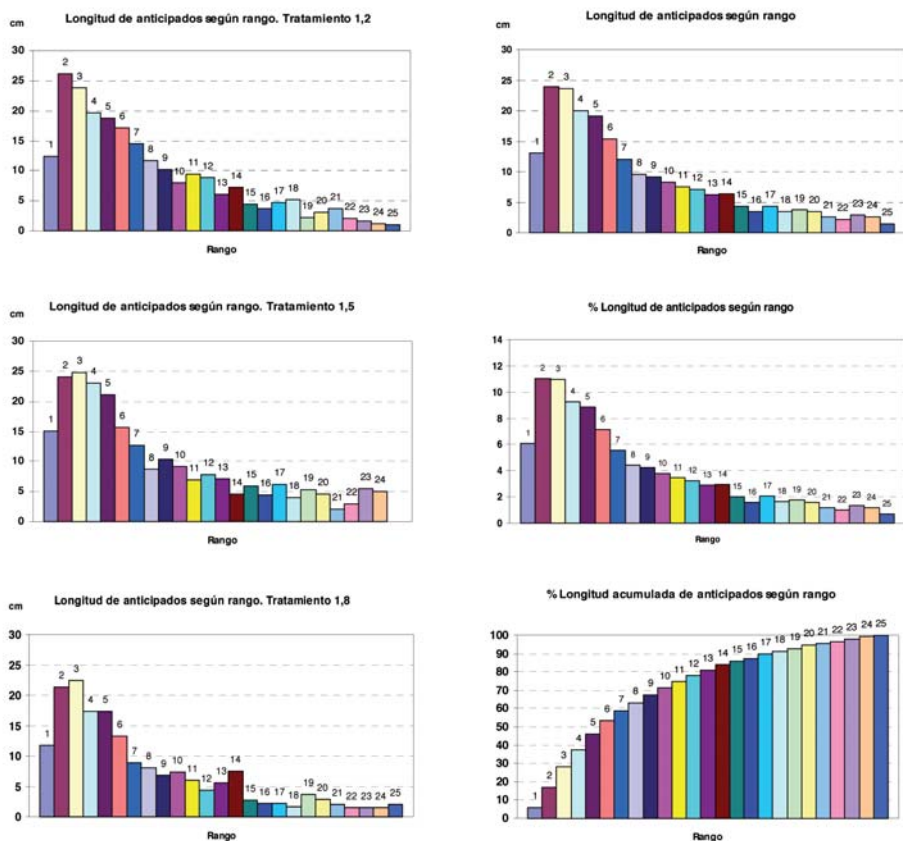


Figura III.10. Valores medios de **longitud de anticipados (cm)** según su rango en el sarmiento, en **2006**, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), y al conjunto global de tratamientos para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**; **porcentaje de longitud** de cada anticipado respecto al total de la longitud de los anticipados; y **porcentaje acumulado de longitud** de anticipados a lo largo del sarmiento.

1.5 Determinación de la superficie foliar y la materia seca de hojas a partir de su peso fresco

Se ha desarrollado y evaluado una metodología para la determinación de la superficie foliar y la materia seca acumulada en las hojas de la variedad Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) a partir del peso fresco de las hojas de un número determinado de sarmientos en los tres tratamientos experimentales estudiados, en la época de maduración, con medidas realizadas en los años 2005 y 2006. Esta metodología propuesta aparece descrita detalladamente en el apartado 3.5 de Material y Métodos.

1.5.1 Peso seco-Peso fresco

En primer lugar se obtuvo la relación de regresión entre el peso seco y el peso fresco de las hojas de un sarmiento por repetición (4 sarmientos por tratamiento). Tal y como se observa en la tabla III.18 y en la figura III.11, en el año 2005 en Pollos, dicha relación presenta un buen grado de correlación entre el peso seco y el peso fresco de las hojas, con valores R² muy altos en cada tratamiento, superiores a 0,9. De igual forma, se muestra la recta de regresión obtenida entre estos parámetros para el conjunto de los tratamientos, es decir, sin hacer distinción entre diferentes distancias entre cepas, presentando un valor R² muy elevado, de 0,98.

Tabla III.18: Ecuación de regresión lineal entre peso seco (g) y peso fresco (g) de hojas en **2005**, correspondiente a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) y al conjunto de tratamientos (G) en el ensayo experimental de **Pollos**. Ecuación de la recta, coeficiente de determinación (R²) y significación estadística. Niveles de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	Recta de regresión	R ²	Sig
1,2	$y = 0,2899x - 0,2416$	0,9828	**
1,5	$y = 0,2832x + 1,5025$	0,9911	**
1,8	$y = 0,3004x - 1,1083$	0,9733	*
G	$y = 0,2883x + 0,4398$	0,9835	**

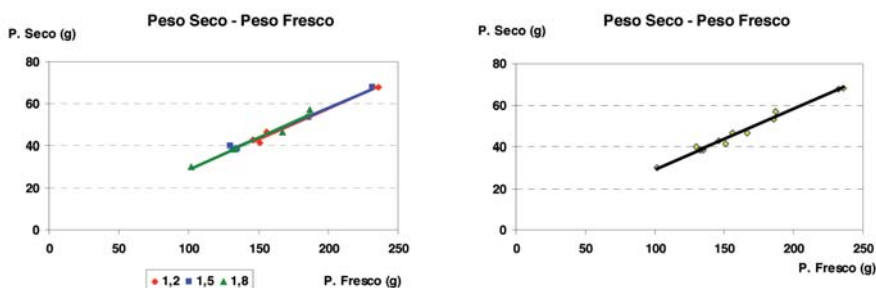


Figura III.11. Rectas de regresión de la relación Peso seco-Peso fresco en **2005** correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas de 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) (izquierda) y recta de regresión general (sin distinción entre distancias entre cepas) (derecha) en el ensayo experimental de **Pollos**.

La tabla III.19 y la figura III.12 recogen los resultados obtenidos en el año 2006 en el conjunto de los ensayos experimentales. Se puede observar que la relación de regresión presenta una estrecha correlación entre parámetros,

con valores de R^2 muy altos en cada tratamiento, superiores a 0,9. De igual forma, la recta de regresión obtenida entre estos parámetros para el conjunto de los tratamientos presenta un R^2 muy elevado, superior a 0,98.

Tabla III.19. Ecuación de regresión lineal entre peso seco (g) y peso fresco (g) de hojas en **2006**, correspondiente a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) y al conjunto de tratamientos (G) para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**. Ecuación de la recta, coeficiente de determinación (R^2) y significación estadística. Niveles de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamiento	Recta de regresión	R^2	Sig
1,2	$y = 0,278x - 0,8858$	0,9857	**
1,5	$y = 0,3419x - 7,8103$	0,9915	**
1,8	$y = 0,3004x - 0,9909$	0,9626	*
G	$y = 0,2908x - 0,1928$	0,9817	**

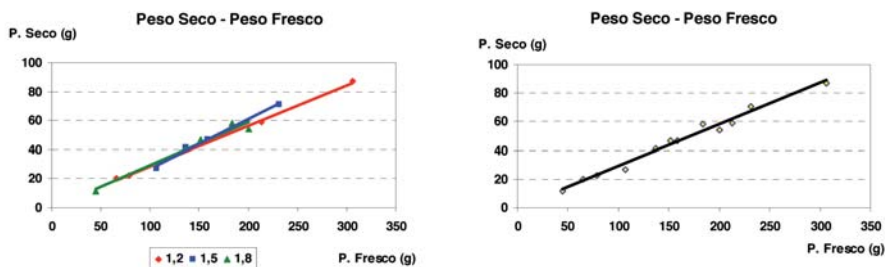


Figura III.12. Rectas de regresión de la relación peso seco-peso fresco en **2006** correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas de 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) (izquierda) y recta de regresión general (sin distinción entre distancias entre cepas) (derecha) para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**.

1.5.2 Superficie foliar-Peso fresco

En segundo lugar se estableció la relación entre la superficie foliar y el peso fresco de las hojas del sarmiento. Las rectas de regresión obtenidas son estadísticamente significativas. En el año 2005 se encontraron valores R^2 muy altos en los tres tratamientos de distancia entre cepas estudiados (Tabla III.20, Figura III.13). El tratamiento 1,2 presentó un valor R^2 ligeramente más bajo que los otros dos tratamientos, pero en todo caso superior a 0,95. La recta de regresión conjunta de los tres tratamientos presenta un coeficiente

R² más bajo que cada una de las rectas de los tratamientos estudiados, siendo aún así bastante elevado, con un valor de 0,89.

Tabla III.20. Ecuación de regresión lineal entre superficie foliar (cm²) y peso fresco (g) de hojas en **2005**, correspondiente a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) y al conjunto de tratamientos (G) en el ensayo experimental de **Pollos**. Ecuación de la recta, coeficiente de determinación (R²) y significación estadística. Niveles de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	Recta de regresión	R ²	Sig
1,2	$y = 54,293x - 3314,4$	0,9597	*
1,5	$y = 39,09x - 219,34$	0,9817	**
1,8	$y = 32,145x - 999,1$	0,975	*
G	$y = 40,428x - 531,5$	0,898	**

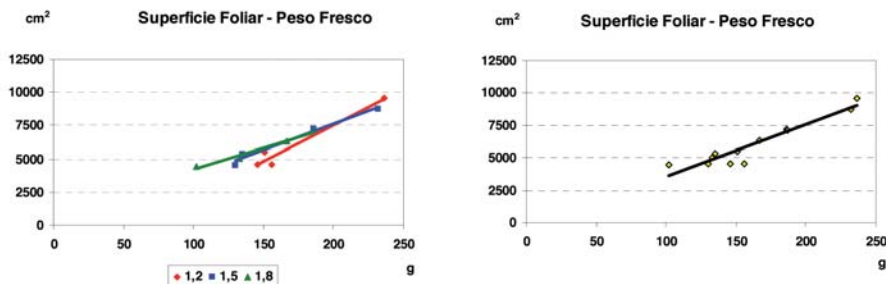


Figura III.13. Rectas de regresión de la relación superficie foliar-peso fresco en **2005** correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas de 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) (izquierda), y recta de regresión general (sin distinción entre distancias entre cepas) (derecha) en el ensayo experimental de **Pollos**.

Del análisis de la tabla III.21 y la figura III.14 se desprende que en el año 2006 la relación entre la superficie foliar y el peso fresco de las hojas del sarmiento ha mostrado igualmente valores de R² altos en los tres tratamientos de distancia entre cepas estudiados. El tratamiento 1,8 presenta un valor de R² ligeramente más bajo que los otros dos tratamientos, pero en todo caso superior a 0,91. Las rectas obtenidas son altamente significativas para todos los tratamientos. De la misma forma, la recta de regresión conjunta de los tres tratamientos resulta estadísticamente significativa y presenta un coeficiente R² muy elevado, superior a 0,93.

Tabla III.21. Ecuación de regresión lineal entre superficie foliar (cm²) y peso fresco (g) de hojas en **2006**, correspondiente a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) y al conjunto global de tratamientos (G) para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**. Ecuación de la recta, coeficiente de determinación (R²) y significación estadística. Niveles de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	Recta de regresión	R ²	Sig
1,2	y = 36,312x + 321,46	0,9656	*
1,5	y = 26,547x + 2529,9	0,9726	*
1,8	y = 34,783x + 1227,1	0,9175	*
G	y = 34,252x + 1092	0,9325	**

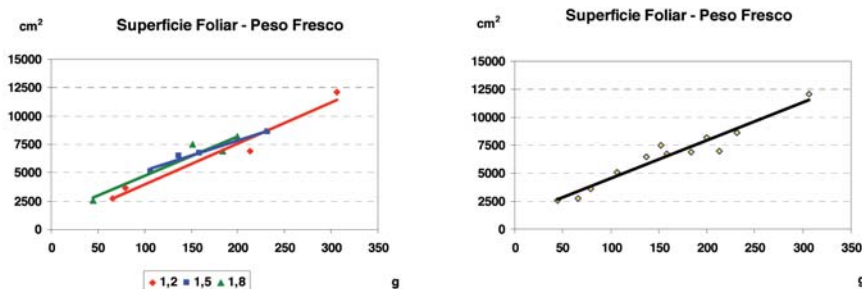


Figura III.14. Rectas de regresión de la relación superficie foliar-peso fresco en **2006** correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas de 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) (izquierda) y recta de regresión general (sin distinción entre distancias entre cepas) (derecha) para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**.

1.5.3 Peso seco-Superficie foliar

En el año 2005 se relacionaron, de la misma manera, el peso seco y la superficie foliar de las hojas del sarmiento en cada tratamiento de distancia entre cepas (Tabla III.22, Figura III.15). Se obtuvieron valores R² elevados en los tres tratamientos estudiados. Las rectas de regresión obtenidas para los tratamientos 1,5 y 1,8 son estadísticamente significativas para una probabilidad estadística de p<0,05. La recta de regresión del tratamiento 1,2 muestra un valor R² más bajo que los otros dos tratamientos, de 0,89. La recta de regresión conjunta de los tres tratamientos presenta un valor R² más bajo que cada una de las rectas de los tratamientos estudiados, siendo aún así bastante elevado, de 0,87.

Tabla III.22. Ecuación de regresión lineal entre peso seco (g) y superficie foliar (cm²) de hojas en **2005**, correspondiente a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) y al conjunto de tratamientos (G) en el ensayo experimental de **Pollos**. Ecuación de la recta, coeficiente de determinación (R²) y significación estadística. Niveles de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	Recta de regresión	R ²	Sig
1,2	$y = 0,005x + 19,583$	0,8935	ns
1,5	$y = 0,007x + 4,5387$	0,9480	*
1,8	$y = 0,0092x - 9,6934$	0,9705	*
G	$y = 0,0063x + 9,0359$	0,8658	ns

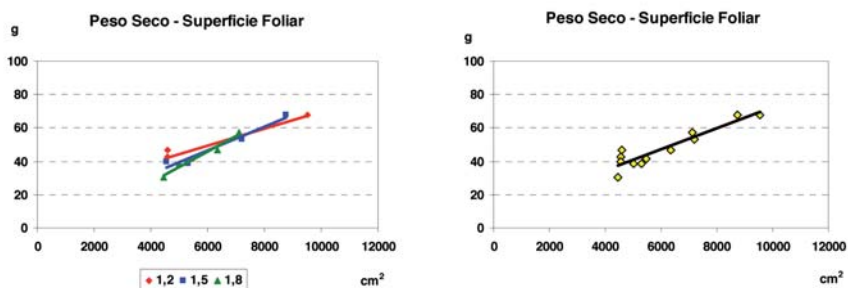


Figura III.15. Rectas de regresión de la relación peso seco-superficie foliar en **2005** correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas de 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) (izquierda) y recta de regresión general (sin distinción entre distancias entre cepas) (derecha) en el ensayo experimental de **Pollos**.

En la figura III.16 aparece representada gráficamente la relación obtenida en el año 2006, la cual se ha establecido de forma inversa, es decir la variable independiente ha sido el peso seco, ya que en dicho año se estimó la superficie foliar únicamente. De esta forma, la relación entre la superficie foliar y el peso seco de las hojas del sarmiento ha mostrado valores de R² elevados en los tres tratamientos de distancia entre cepas, tal y como se observa en la tabla III.23. No obstante, el tratamiento 1,8 presentó un valor de R² ligeramente menor que los otros dos tratamientos, de 0,87, para una recta que no llegó al 95% de probabilidad de significación estadística. De igual forma, la recta de regresión obtenida para el conjunto de los tres tratamientos muestra un coeficiente R² muy elevado, superior a 0,91.

Tabla III.23. Ecuación de regresión lineal entre superficie foliar (cm²) y peso seco (g) de hojas en **2006**, correspondiente a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) y al conjunto global de tratamientos (G) para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**. Ecuación de la recta, coeficiente de determinación (R²) y significación estadística. Niveles de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	Recta de regresión	R ²	Sig
1,2	$y = 131,12x + 182,65$	0,9742	*
1,5	$y = 78,1947x + 3111,5$	0,9945	**
1,8	$y = 110,98x + 1547,5$	0,8752	ns
G	$y = 115,79x + 1204,5$	0,9182	ns

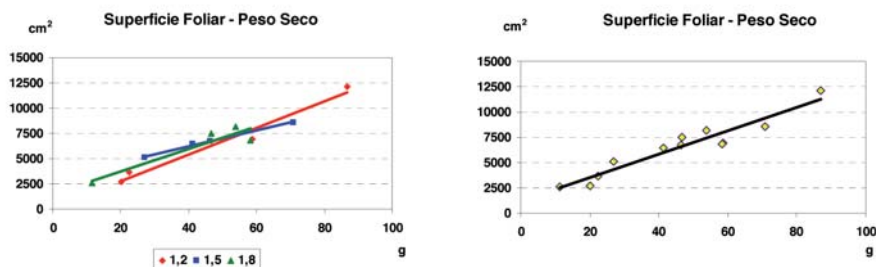


Figura III.16. Rectas de regresión de la relación superficie foliar-peso seco en **2006** correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas de 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) (izquierda) y recta de regresión general (sin distinción entre distancias entre cepas) (derecha) para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**.

1.5.4 Validación del método

El conjunto de los resultados, reflejados en las tablas y figuras mostradas en el apartado 1.5 de la presente Tesis, permite deducir que las rectas de regresión obtenidas muestran una estrecha relación lineal entre el peso seco y el peso fresco, entre la superficie foliar y el peso fresco, y entre la superficie foliar y el peso seco de las hojas del sarmiento en los tres tratamientos experimentales de distancia entre cepas estudiados, dados los altos valores de R² de las correspondientes ecuaciones de regresión obtenidas para cada tratamiento, así como para el conjunto de tratamientos en los dos años de estudio de los citados parámetros.

A continuación se describe el procedimiento de validación seguido en cada año de aplicación de la citada metodología.

Año 2005

A partir del peso fresco de las hojas medido en una muestra amplia de sarmientos se halló el valor de la superficie foliar a través de la recta de regresión. Los tratamientos de distancia entre cepas no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí ni en el valor de superficie foliar estimado de esta forma ni en el medido en la muestra más reducida (Tabla III.24). En el mismo sentido, el valor de superficie foliar estimado y el medido tampoco han mostrado diferencias estadísticamente significativas para el conjunto de tratamientos (Tabla III.25).

En cuanto a la materia seca, se procedió de la misma manera, observándose que los tratamientos de distancia entre cepas no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí ni en el valor de materia seca estimado ni en el medido (Tabla III.24). El valor de materia seca estimado y el valor medido tampoco han mostrado diferencias estadísticamente significativas para el conjunto de tratamientos (Tabla III.25).

Asimismo se ha estimado la materia seca de una muestra amplia de sarmientos a través de la recta de regresión que relaciona el peso seco y la superficie foliar de las hojas, a partir del valor de superficie foliar obtenido por regresión del valor de peso fresco medido en dicha muestra. Los tratamientos de distancia entre cepas no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí en el valor de materia seca estimado de esta forma (Tabla III.24). El valor de materia seca estimado de esta forma y el medido en la muestra reducida tampoco han mostrado diferencias estadísticamente significativas para el conjunto de tratamientos (Tabla III.25).

En cuanto al comportamiento de los distintos tratamientos de distancia entre cepas, se ha observado que el tratamiento 1,2 presentó mayor diferencia que los otros dos tratamientos entre el valor medido y el estimado a través de las tres relaciones de regresión establecidas. Por otro lado, se ha observado que en conjunto los valores estimados a través de dichas relaciones son ligeramente más bajos que los valores medidos para los parámetros analizados de superficie foliar y materia seca de hojas, aunque en todo caso sin diferencias estadísticamente significativas.

Tabla III.24. Datos medios de sarmiento en **2005** de PSr: peso seco real, PSe: peso seco estimado, PSe (sf): peso seco estimado de hojas a través de la ecuación de regresión peso seco-superficie foliar, SFr: superficie foliar real, SFe: superficie foliar estimada; correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	PSr (g)	PSe (g)	PSe (sf) (g)	SFr (cm ²)	SFe (cm ²)
1,2	49,70	42,98	43,49	6.037	4.782
1,5	49,86	53,40	53,15	6.455	6.943
1,8	43,13	36,59	36,61	5.732	5.033
Sig	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.25. Datos medios de sarmiento en **2005** de PS: peso seco de hojas, PSe (sf): peso seco de hojas estimado a través de la ecuación de regresión peso seco-superficie foliar, SF: superficie foliar, correspondientes a medidas reales y medidas estimadas a partir de la ecuación de regresión general (sin distinción entre tratamientos de distancia entre cepas) en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	PS (g)	PSe (sf) (g)	SF (cm ²)
Real	47,56	-	6.075
Estimado	44,32	44,42	5.586
Sig	ns	ns	ns

Año 2006

A partir del peso fresco de las hojas medido sobre una muestra mayor de sarmientos se calculó, a través de la recta de regresión correspondiente, el valor de la superficie foliar, la cual fue comparada con la superficie foliar realmente medida sobre dichos sarmientos. Dicha comparación muestra valores muy similares entre la superficie foliar medida y la calculada a partir del peso fresco, sin existir diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los tratamientos de distancia entre cepas estudiados ni para el conjunto de tratamientos (Tabla III.26).

Asimismo, se ha calculado la superficie foliar del sarmiento sobre una muestra mayor de sarmientos a través de las ecuaciones de regresión entre la superficie foliar y el peso seco, habiendo calculado previamente los valores de peso seco de hojas del sarmiento a través de las ecuaciones de regresión entre el peso seco y el peso fresco de hojas del sarmiento. En la tabla III.26 se puede apreciar que la comparación entre los valores calculados de superficie foliar por esta vía y los valores de superficie foliar medidos

realmente son muy similares, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los tratamientos de distancia entre cepas estudiados ni para el conjunto de tratamientos.

Tabla III.26. Superficie foliar (cm²) del sarmiento en **2006** correspondiente a valores medios para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**, de medidas reales (SF Real), medidas calculadas a partir de las ecuaciones de regresión “superficie foliar-peso fresco” (SF Cal. PF) y medidas calculadas a partir de las ecuaciones de regresión “superficie foliar-peso seco” (SF Cal. PS), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) y del conjunto global (sin distinción entre tratamientos de distancia entre cepas). Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05, **: p<0,01.

	1,2	1,5	1,8	Global
SF Real	6.220	6.433	5.418	6.024
SF (Cal. PF)	6.013	6.665	5.614	6.182
SF (Cal. PS)	6.008	6.665	5.642	6.105
Sig	ns	ns	ns	ns

2 Procesos Fisiológicos

Las medidas de potencial hídrico foliar y de parámetros fisiológicos, como la fotosíntesis, la conductancia estomática y la transpiración, se han realizado en días totalmente despejados a lo largo del ciclo vegetativo. El seguimiento fisiológico realizado ha variado según el ensayo experimental y el año. Se ha medido el potencial hídrico antes del amanecer (ψ_{aa}), a las 9:00 hora solar (ψ_9) y a las 12:00 hora solar (ψ_{12}). En los años 2006 y 2007, se ha realizado además una medida a las 15:00 hora solar (ψ_{15}) en fase de maduración en los ensayos experimentales de Pollos y Rodilana. Los parámetros fisiológicos (fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración) se han determinado a las 9:00 hora solar y a las 12:00 hora solar, y además a las 15:00 hora solar en 2006 y 2007, en fase de maduración, en los ensayos de Pollos y Rodilana. Las medidas realizadas para los seguimientos diarios y estacionales en los cuatro ensayos experimentales quedan recogidas en la tablas II.24 (Castrillo de Duero), II.25 (Pollos), II.26 (Rodilana) y II.27 (Toro) del apartado de Material y Métodos de esta Tesis Doctoral.

2.1 Potencial hídrico foliar

Los valores de potencial hídrico foliar medido antes del amanecer (ψ_{aa}), a las 9:00 hora solar (ψ_9), a las 12:00 hora solar (ψ_{12}) y a las 15:00 horas solar (ψ_{15}) en los años 2005, 2006 y 2007 en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro quedan recogidos en las tablas III.27, III.28, III.29 y III.30 respectivamente.

Tabla III.27. Ensayo experimental de **Castrillo de Duero**: valores de potencial hídrico foliar (MPa) medido antes del amanecer (ψ_{aa}), a las 9:00 hora solar (ψ_9) y a las 12:00 hora solar (ψ_{12}) de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los años 2005, 2006 y 2007. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

2005									
Tratamiento	19-Julio			16-Agosto			14-Septiembre		
	ψ_{12}			ψ_{12}			ψ_{12}		
1,2	-1,39			-1,56			-1,42		
1,5	-1,42			-1,54			-1,30		
1,8	-1,33			-1,49			-1,30		
Sig	ns			ns			ns		
2006									
Tratamiento	22-Junio		26-Julio		25-Agosto		19-Septiembre		
	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{12}	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}
1,2	-0,58	-0,27	-1,04	-1,10	-1,31	-1,31	-0,31	-1,18	-1,46
1,5	-0,58	-0,29	-1,03	-1,10	-1,35	-1,35	-0,28	-1,54	-1,46
1,8	-0,63	-0,29	-1,07	-1,15	-1,28	-1,28	-0,27	-1,09	-1,36
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007									
Tratamiento	26-Junio		25-Julio		28-Agosto		20-Septiembre		
	ψ_9	ψ_{12}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{12}
1,2	-0,57 ^b	-0,57	-0,65	-0,74	-1,25	-1,20	-0,78	-1,24	-1,24
1,5	-0,57 ^b	-0,57	-0,65	-0,85	-1,15	-1,18	-0,83	-1,17	-1,17
1,8	-0,50 ^a	-0,55	-0,72	-0,84	-1,28	-1,28	-0,90	-1,34	-1,34
Sig	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.28. Ensayo experimental de **Pollos**: valores de potencial hídrico foliar (MPa) medido antes del amanecer (ψ_{aa}), a las 9:00 hora solar (ψ_9), a las 12:00 hora solar (ψ_{12}) y a las 15:00 hora solar (ψ_{15}) de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los años 2005, 2006 y 2007. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

2005												
T	26-Junio		12-Julio			9-Agosto			9-Septiembre			
	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}		
1,2	-0,95	-0,34	-0,93 ^b	-1,19	-0,55 ^b	-1,39	-1,46 ^b	-0,25 ^b	-0,75	-1,30 ^b		
1,5	-0,97	-0,37	-0,80 ^a	-1,07	-0,44 ^a	-1,37	-1,37 ^a	-0,24 ^b	-0,65	-1,05 ^a		
1,8	-0,99	-0,38	-0,93 ^b	-1,08	-0,53 ^b	-1,41	-1,44 ^b	-0,17 ^a	-0,65	-1,11 ^a		
Sig	ns	ns	**	ns	*	ns	**	**	ns	*		

2006													
T	12-Junio			21-Julio			22-Agosto			18-Septiembre			
	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{15}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}
1,2	-0,14 ^b	-0,58	-0,64	-0,40	-1,23	-1,30	-0,32	-1,01	-1,54	-1,42	-0,31	-1,00	-1,47
1,5	-0,16 ^b	-0,58	-0,64	-0,33	-1,15	-1,30	-0,33	-1,11	-1,51	-1,45	-0,30	-0,97	-1,48
1,8	-0,10 ^a	-0,55	-0,62	-0,36	-1,17	-1,27	-0,30	-1,03	-1,48	-1,45	-0,32	-0,98	-1,47
Sig	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

2007													
T	21-Junio			19-Julio			17-Agosto			19-Septiembre			
	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{15}
1,2	-0,08 ^a	-0,38	-0,53	-0,16	-0,47	-0,72	-0,62	-1,25	-1,48	-0,27	-0,56	-0,97	-1,07
1,5	-0,11 ^b	-0,40	-0,55	-0,16	-0,50	-0,74	-0,57	-1,16	-1,46	-0,35	-0,57	-0,90	-1,03
1,8	-0,08 ^a	-0,37	-0,54	-0,17	-0,50	-0,77	-0,58	-1,24	-1,48	-0,29	-0,50	-0,99	-1,05
Sig	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.29. Ensayo experimental de **Rodilana**: valores de potencial hídrico foliar (MPa) medido antes del amanecer (ψ_{aa}), a las 9:00 hora solar (ψ_9), a las 12:00 hora solar (ψ_{12}) y a las 15:00 hora solar (ψ_{15}) de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los años 2005, 2006 y 2007. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

2005												
T	6-Junio		14-Julio			13-Agosto			13-Septiembre			
	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}		
1,2	-1,14	-0,68 ^b	-1,34	-1,39	-0,99	-1,79	-1,79	-1,28	-1,75	-1,94		
1,5	-1,13	-0,61 ^a	-1,35	-1,32	-0,96	-1,75	-1,76	-1,15	-1,76	-1,86		
1,8	-1,12	-0,59 ^a	-1,30	-1,30	-1,00	-1,71	-1,72	-1,23	-1,77	-1,87		
Sig	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		

2006													
T	19-Junio			17-Julio			21-Agosto			19-Septiembre			
	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{15}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}
1,2	-0,07	-0,52	-0,67	-0,40	-1,19	-1,21	-0,45	-1,04	-1,53	-1,59	-0,92 ^b	-1,85	-1,84
1,5	-0,07	-0,53	-0,66	-0,33	-1,12	-1,21	-0,42	-0,92	-1,36	-1,48	-0,78 ^a	-1,77	-1,76
1,8	-0,07	-0,53	-0,68	-0,38	-1,18	-1,22	-0,40	-0,96	-1,42	-1,55	-0,78 ^a	-1,77	-1,79
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns

2007													
T	22-Junio			20-Julio			13-Agosto			11-Septiembre			
	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{15}
1,2	-0,12	-0,47	-0,60	-0,20	-0,67	-0,77	-0,62 ^b	-1,37	-1,38	-0,67	-1,44	-1,62	-1,62
1,5	-0,14	-0,51	-0,57	-0,20	-0,61	-0,74	-0,55 ^a	-1,39	-1,36	-0,62	-1,44	-1,60	-1,63
1,8	-0,13	-0,52	-0,61	-0,16	-0,68	-0,76	-0,55 ^a	-1,39	-1,38	-0,72	-1,47	-1,65	-1,63
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.30. Ensayo experimental de **Toro**: valores de potencial hídrico foliar (MPa) medido antes del amanecer (ψ_{aa}), a las 9:00 hora solar (ψ_9) y a las 12:00 hora solar (ψ_{12}) de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de Toro. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

2005								
Tratamiento	20-Junio		21-Julio		16-Agosto		8-Septiembre	
	ψ_{12}		ψ_{12}		ψ_{12}		ψ_{12}	
1,2	-0,85		-1,32		-1,81		-1,63	
1,5	-0,84		-1,34		-1,79		-1,60	
1,8	-0,78		-1,36		-1,78		-1,64	
Sig	ns		ns		ns		ns	
2006								
Tratamiento	19-Junio		28-Julio		22-Agosto		13-Septiembre	
	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_{12}	ψ_{aa}	ψ_9	ψ_{12}
1,2	-0,59	-0,47	-1,22	-1,34	-1,17	-0,57	-1,31	-1,54
1,5	-0,68	-0,48	-1,23	-1,34	-1,13	-0,63	-1,35	-1,52
1,8	-0,68	-0,48	-1,24	-1,27	-1,13	-0,62	-1,28	-1,55
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007								
Tratamiento	27-Junio		26-Julio		20-Agosto		19-Septiembre	
	ψ_9	ψ_{12}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_9	ψ_{12}	ψ_9	ψ_{12}
1,2	-0,53	-0,58	-0,69	-0,73	-1,05	-1,06	-0,62	-0,87
1,5	-0,52	-0,64	-0,71	-0,74	-1,04	-1,04	-0,64	-0,88
1,8	-0,48	-0,61	-0,68	-0,71	-1,07	-1,07	-0,60	-0,87
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

CASTRILLO DE DUERO

En el año **2005**, la evolución estacional del potencial hídrico foliar medido a las **12:00** hs (ψ_{12}) (figura III.18) no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en las tres fechas de medida. Se ha observado un descenso de los valores de Ψ en el mes de agosto, hacia el estado fenológico de envero, y una posterior recuperación en septiembre, en maduración, cuyas condiciones meteorológicas no fueron tan severas como en el mes de agosto, caracterizado por temperaturas muy elevadas. Este comportamiento fisiológico es explicado por Naor *et al.* (1993), quienes afirman que los cambios estacionales de Ψ no sólo son debidos a las variaciones en la disponibilidad de agua del suelo sino que también son atribuibles a las variaciones temporales de los parámetros meteorológicos. Estos cambios temporales en la demanda evapotranspirativa son principalmente causados por el déficit de presión de vapor.

En el año **2006**, el potencial hídrico foliar medido **antes del amanecer** (ψ_{aa}) no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas (tabla III.27), con valores similares entre tratamientos en las dos fechas de medida, alrededor de $-0,3$ MPa.

El potencial hídrico foliar medido a las **9:00** hs (ψ_9) tampoco ha mostrado diferencias con significación estadística entre tratamientos en las dos fechas de medida (fase herbácea de la baya y maduración), observándose un descenso de los valores de julio a septiembre, como en los valores de ψ_{12} .

De igual forma, la evolución estacional del ψ_{12} (figura III.18) no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. No se ha observado ninguna tendencia clara entre tratamientos, con valores muy similares entre estos en las cuatro fechas de medida. Se ha observado un descenso de los valores de potencial hídrico hasta el final del ciclo, a medida que las reservas hídricas del suelo fueron disminuyendo. Yuste (1995) observó este mismo comportamiento, con valores de ψ más negativos a lo largo del ciclo a medida que las plantas estaban más estresadas y agotaban las reservas de agua del suelo.

En el año **2007**, en la evolución estacional del ψ_9 (figura III.18) se han observado diferencias significativas al principio del ciclo (junio) a favor del tratamiento 1,8, estando menos estresado hídricamente, con valores de -0,50 MPa frente a -0,57 MPa de los tratamientos 1,2 y 1,5. Posteriormente, aunque no se han observado diferencias con significación estadística, el tratamiento 1,8 ha presentado valores más negativos que los otros dos tratamientos en los meses de julio, agosto y septiembre. La evolución del ψ_{12} (figura III.18) ha experimentado un descenso de los valores hasta el enero, para posteriormente, en maduración, mantener el mismo nivel de estrés hídrico, con valores similares de ψ_{12} entre tratamientos. No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ninguna fecha de medida, aunque el tratamiento 1,8 presentó valores ligeramente más bajos que 1,2 y 1,8 tanto en agosto como septiembre. El ψ_{12} , a diferencia del ψ_9 , no se ha recuperado al final del ciclo (septiembre) en ninguno de los distintos tratamientos.

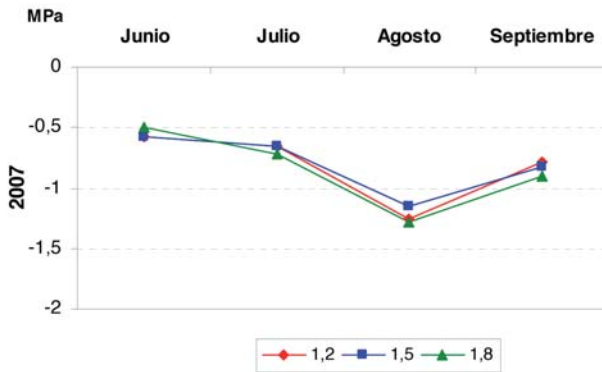


Figura III.17. Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) medido a las **9:00** hora solar (ψ_g) en el año 2007 en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**.

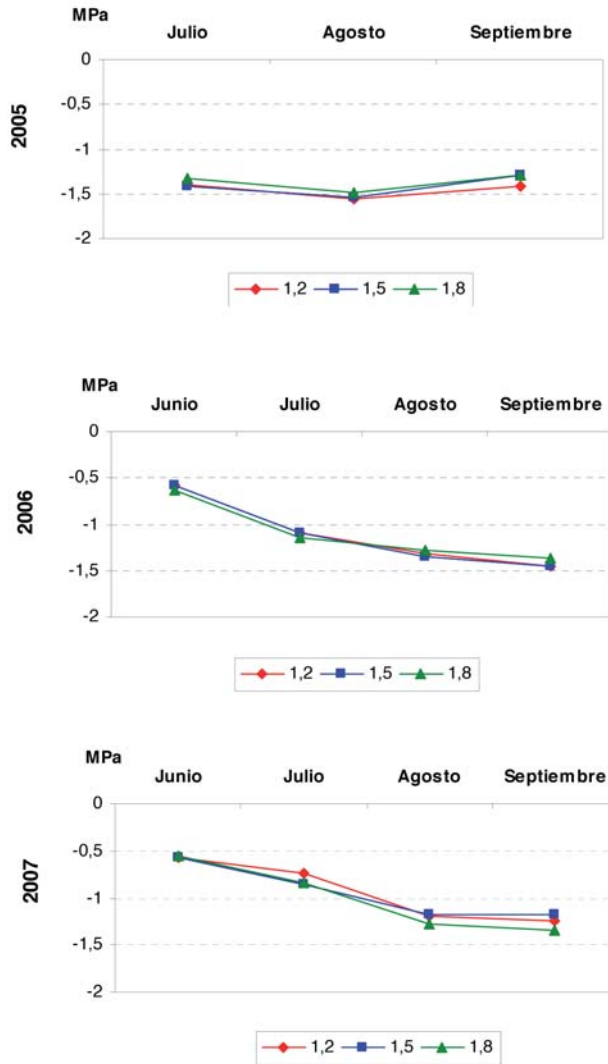


Figura III.18. Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) medido a las 12:00 hora solar (ψ_{12}) en los años 2005, 2006 y 2007, en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**.

POLLOS

En el año **2005**, la evolución estacional del potencial hídrico foliar medido **antes del amanecer** (ψ_{aa}) (figura III.20) ha experimentado un descenso de valores hacia el estado fenológico de envero y una posterior recuperación hídrica de las plantas en maduración, cuando las condiciones ambientales no fueron tan adversas. Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en agosto, a favor del tratamiento 1,5, y en maduración a favor del tratamiento 1,8, que reflejan una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar valores más negativos. Esta misma situación fue observada por Pérez (2002) trabajando con la variedad Tempranillo y por Archer y Strauss (1990) trabajando con la variedad Pinot noir, con plantas menos estresadas al principio del ciclo, pero según avanzó el periodo vegetativo, las densidades de plantación más altas presentaron valores más negativos, ya que la mayor superficie foliar por m² de suelo desarrollada por los espaciamientos más cortos suponen mayor consumo de agua y un peor estado hídrico a nivel de hoja individual (Pérez 2002).

El potencial hídrico foliar medido a las **9:00 hs** (ψ_9) no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, ya que únicamente se han encontrado diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento 1,5 en el mes de julio. La evolución de ψ_9 (figura III.21) ha mostrado una tendencia parecida a ψ_{aa} , descendiendo hacia el envero, cuando la demanda evapotranspirativa fue máxima, y recuperándose al final del ciclo, cuando las condiciones meteorológicas no fueron tan severas.

El seguimiento estacional del ψ_{12} ha mostrado tendencias parecidas al ψ_9 (figura III.22). Cuando la demanda evapotranspirativa fue muy grande, en agosto, hacia el estado fenológico de envero, los valores de ψ_{12} han sido más negativos que en fases anteriores del ciclo, y cuando las condiciones meteorológicas han sido menos limitantes, el ψ_{12} se ha recuperado y las plantas no han estado tan estresadas, como también encontraron Naor *et al.* (1993). Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en agosto, a favor del tratamiento 1,5, y en maduración en perjuicio del tratamiento 1,2. Se ha observado una tendencia general del tratamiento 1,2 a presentar valores más bajos desde julio. Esta circunstancia está relacionada con la mayor superficie foliar desarrollada por este tratamiento, y por lo tanto, con una mayor pérdida de agua por transpiración y con plantas más estresadas hídricamente.

En el año **2006**, el ψ_{aa} únicamente mostró diferencias estadísticamente

significativas al principio del ciclo, en el mes de junio a favor del tratamiento 1,8, siendo los valores de ψ_{aa} muy similares entre tratamientos en las diferentes fechas de medida a lo largo del periodo vegetativo (figura III.20). La falta de diferencias en los valores de ψ entre tratamientos y entre fechas de medida fue debida, en gran medida, a los 75 mm aportados mediante riego durante el ciclo, que atenuaron el ligero estrés soportado por las cepas a lo largo de dicho ciclo vegetativo.

De igual forma, el potencial hídrico foliar medido a las **9:00** hs (ψ_9) tampoco ha mostrado ninguna tendencia clara entre las distancias entre cepas (figura III.21). A diferencia del año anterior, en 2006 la evolución estacional del ψ_9 presentó los valores más bajos en el mes de julio, mientras que hacia el envero los valores se recuperaron ligeramente y se mantuvieron hasta el final del ciclo.

La evolución estacional del potencial hídrico foliar medido a las **12:00** hs (ψ_{12}) no ha mostrado ninguna tendencia clara entre tratamientos, con valores de ψ_{12} muy similares entre los mismos (figura III.22), dentro de una tendencia descendente hasta el envero, que mantuvo su nivel hasta madurez.

La **evolución diaria** del potencial hídrico (ψ) de hojas bien iluminadas, realizada el día **22 de agosto de 2006**, queda recogida en la figura III.19, donde están representados los valores obtenidos que reflejan la variación del potencial hídrico foliar de los distintos tratamientos a lo largo del día. La evolución diaria del potencial hídrico foliar sigue un modelo general derivado de las variaciones de radiación solar y temperatura ocurridas durante el día. Este comportamiento ha sido descrito por muchos investigadores, como Smart (1974 a), Williams y Matthews (1990), Baeza (1994) y Deloire *et al.* (2006). El potencial hídrico empieza a decrecer en las primeras horas de la mañana, asociado con la abertura estomática, a la vez que se produce un incremento de la luz interceptada, y continúa descendiendo hasta el mediodía solar o hasta las 15:00 hs. Luego empieza a recuperarse al avanzar la tarde y acercarse la noche, hasta alcanzar el equilibrio con el suelo, antes del amanecer, momento de mayor valor de ψ (Pérez 2002).

El seguimiento diario del ψ realizado el 22 de agosto no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, observándose valores muy similares. El ψ desciende hasta el mediodía solar y se recupera ligeramente a las 15:00 hs. En este sentido, Yuste (1995) observó que la recuperación de las plantas en el mes de julio, con días más largos, se producía a partir de las 18:00 hs, mientras que en el mes de septiembre, con

días más cortos, esta recuperación se producía a partir de las 15:00 hs. El ψ_{aa} , de partida, ha sido de -0,3 MPa en los tres tratamientos y ha descendido hasta -1,5 MPa al mediodía, para posteriormente recuperarse, relacionado con el nivel de turgencia de las plantas, a partir de las 15:00 hs. Van Zyl (1986) y Matthews *et al.* (1987) consideran que los cambios existentes en el potencial hídrico foliar a lo largo del día son debidos fundamentalmente a las condiciones climáticas.

En el año **2007**, el potencial hídrico foliar medido **antes del amanecer** (ψ_{aa}) no ha mostrado una tendencia clara, con valores similares entre tratamientos durante todo el ciclo, a pesar de encontrarse diferencias con significación estadística en junio en perjuicio del tratamiento 1,5. La evolución estacional del ψ_{aa} muestra un descenso hasta el envero y una posterior recuperación al final del ciclo (figura III.20). En envero se llegaron a alcanzar valores de -0,6 MPa antes del amanecer. Diversos investigadores afirman que valores más negativos de ψ_{aa} de -0,6 MPa a partir de envero son perjudiciales por la excesiva restricción hídrica a la que se ven sometidas las plantas (Carbonneau 1998), así el peso de la baya se ve disminuido significativamente y la biosíntesis de algunos polifenoles como los taninos se ve afectada (Ojeda 2007), dando lugar a una excesiva concentración tánica y una pérdida del carácter afrutado de los vinos (Ojeda *et al.* 2004, Delorie *et al.* 2006).

De igual forma, el seguimiento estacional de ψ_g ha mostrado un descenso de valores hasta el envero, para recuperarse al final del ciclo, con valores de ψ_g cercanos a -0,6 MPa (figura III.21). Los tratamientos experimentales no han mostrado ninguna tendencia clara en ningún momento del ciclo.

El seguimiento estacional del potencial hídrico foliar medido a las **12:00** hs (ψ_{12}) no ha mostrado una tendencia clara, con valores de ψ_{12} muy similares (figura III.22). No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, dentro de una evolución descendente de valores de potencial hasta la época en torno al envero que se recuperan al final del ciclo, en maduración.

La **evolución diaria** del potencial hídrico (ψ) de hojas bien iluminadas, realizada el día **19 de septiembre de 2007**, queda reflejada en la figura III.19. En dicho seguimiento se ha observado que el ψ es similar en todos los tratamientos, descendiendo los valores hasta las 15:00 hs, sin mostrar ninguna recuperación similar a la observada por la tarde en agosto de 2006. El seguimiento realizado en septiembre de 2007 no muestra valores tan negativos como los observados en agosto de 2006. Los valores mínimos de

ψ observados en septiembre de 2007 son de -1 MPa, mientras que en agosto de 2006 fueron de -1,5 MPa. Smart (1974 a) afirma que el potencial hídrico foliar a partir del cual se produce el cierre de los estomas es de -1,3 MPa, por lo que en el mes de septiembre de 2007, con condiciones meteorológicas menos adversas, no se habría llegado al cierre estomático, mientras que sí se pudo alcanzar en el mes de agosto de 2006, cuando las condiciones ambientales fueron más limitantes, de ahí la ligera rehidratación mostrada por las plantas a partir de las 15:00 hs en agosto de 2006.

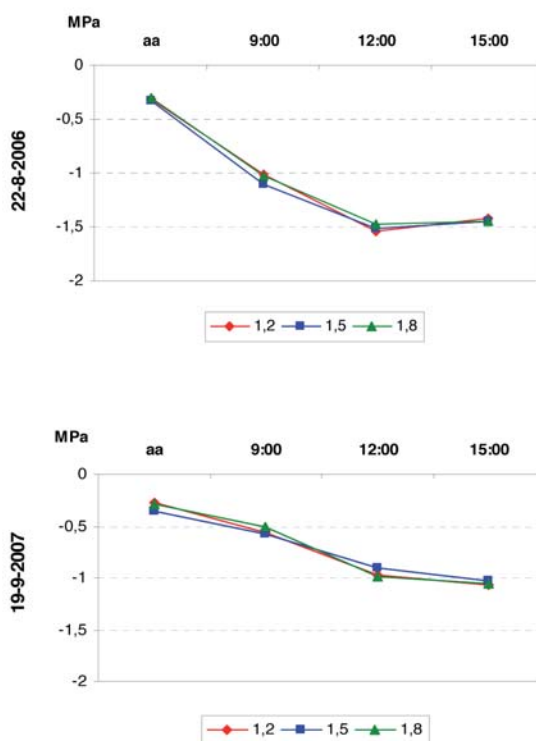


Figura III.19. Evolución diaria del potencial hídrico foliar (MPa) desde antes del amanecer (aa) en agosto de 2006 y septiembre de 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**.

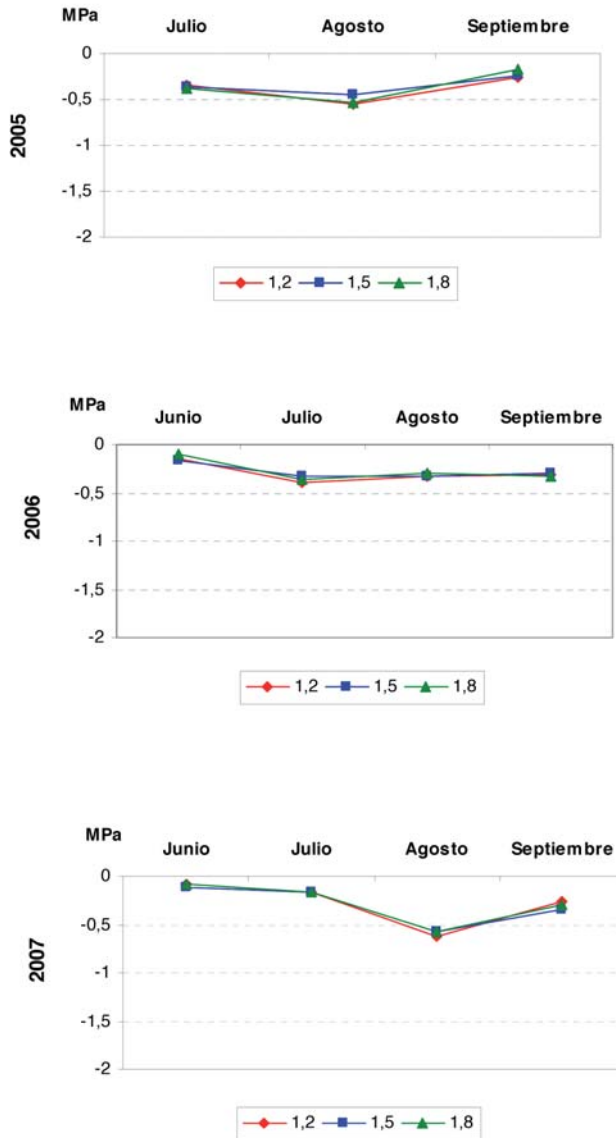


Figura III.20. Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) medido **antes del amanecer** (ψ_{aa}) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**.

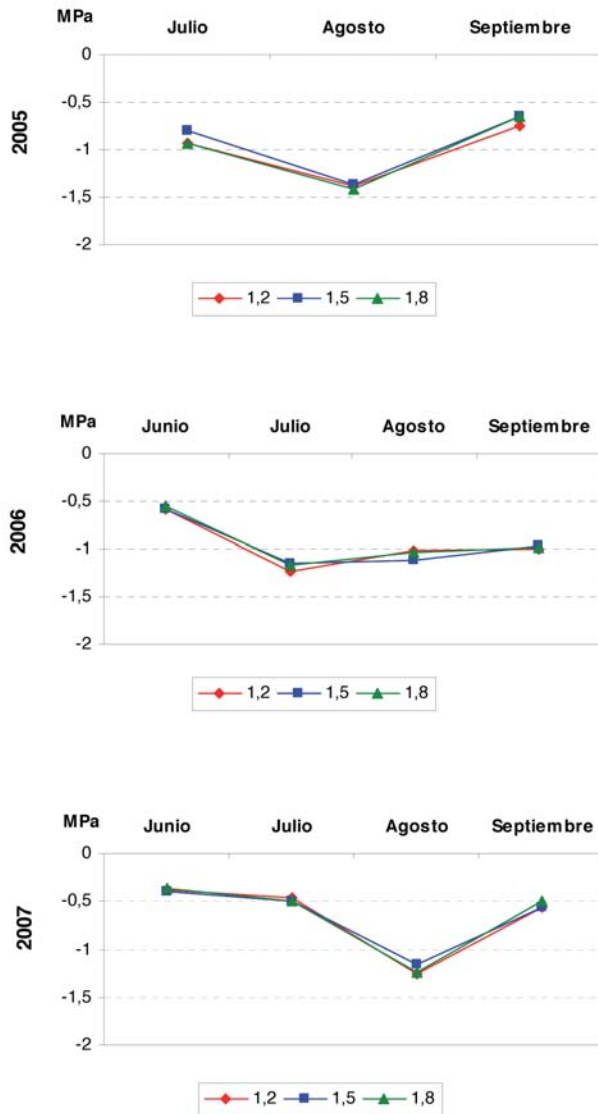


Figura III.21. Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) medido a las **9:00** hora solar (ψ_9) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**.

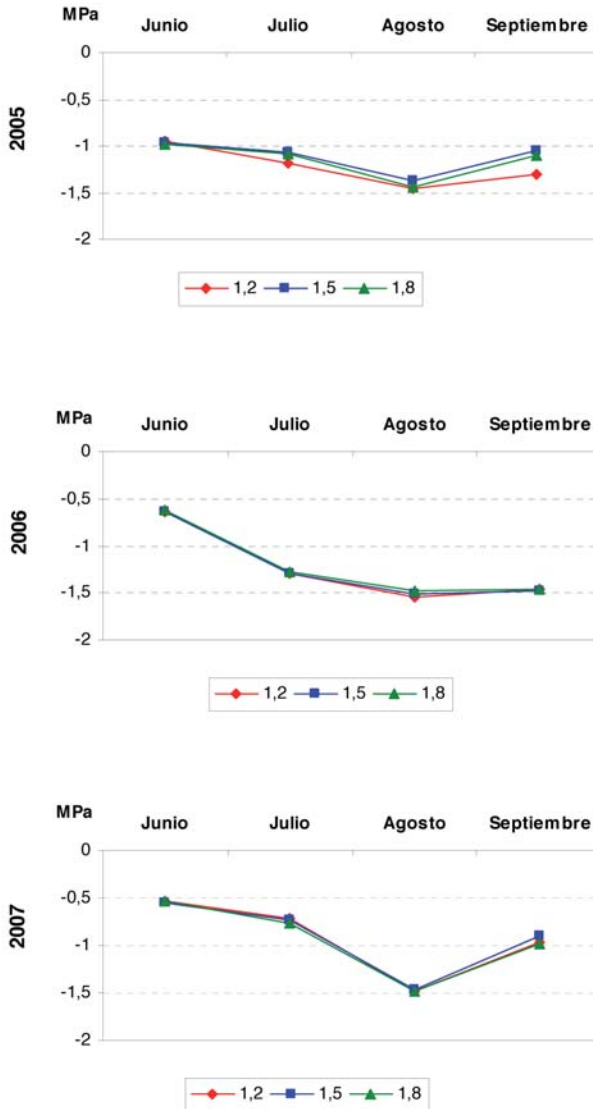


Figura III.22. Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) medido a las **12:00** hora solar (ψ_{12}) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**.

RODILANA

En el año **2005**, la evolución estacional del potencial hídrico foliar medido **antes del amanecer** (ψ_{aa}) ha mostrado un descenso a lo largo del ciclo (figura III.24), encontrándose diferencias con significación estadística en julio en perjuicio del 1,2. Se ha observado una ligera tendencia del 1,2 a presentar valores más bajos, excepto en agosto, en que se observaron valores de ψ_{aa} muy similares entre tratamientos. En julio el tratamiento 1,2 presentó valores cercanos a -0,70 MPa y en septiembre de -1,28 MPa, sufriendo dichas plantas, con menor espaciamiento, un mayor estrés hídrico, próximas al valor de potencial fijado por Smart (1974 a), de -1,3 MPa, para el cierre de estomas. Hay que considerar que Carbonneau (1998) afirma que valores de ψ_{aa} por debajo de -0,6 MPa a partir de enero son perjudiciales por la excesiva restricción hídrica a la que se ven sometidas las plantas. Estos valores de ψ_{aa} tan negativos están relacionados con las condiciones meteorológicas tan adversas de 2005, año caracterizado por temperaturas estivales muy elevadas y muy pocas precipitaciones a lo largo del ciclo vegetativo.

El seguimiento estacional del potencial hídrico foliar medido a las **9:00 hs** (ψ_9) (figura III.25) no ha mostrado diferencias con significación estadística, observándose un descenso de los valores hacia enero, que se mantuvieron en maduración, en torno a -1,75 MPa en todos los tratamientos.

El potencial hídrico foliar medido a las **12:00 hs** (ψ_{12}) no ha mostrado diferencias con significación estadística entre tratamientos en ningún momento del ciclo (figura III.26). Se ha observado un descenso progresivo del ψ_{12} hasta el final del ciclo, a medida que se agotaban las reservas hídricas del suelo. Al final del ciclo se alcanzaron valores muy negativos de ψ_{12} , llegando el tratamiento 1,2 a alcanzar un valor de -1,94 MPa. Diversos autores afirman que la calidad de la uva se ve perjudicada por el excesivo estrés hídrico que sufren las plantas con valores de ψ tan negativos (Ojeda 2007), dando lugar a vinos con demasiada concentración tánica y con una pérdida del carácter afrutado (Deloire *et al.* 2006).

En el año **2006**, la evolución del potencial hídrico foliar medido **antes del amanecer** (ψ_{aa}), descendente a lo largo del ciclo, ha mostrado una tendencia del tratamiento 1,2 a presentar valores más bajos de ψ_{aa} que los otros tratamientos durante todo el ciclo, siendo las diferencias estadísticamente significativas al final de dicho ciclo en perjuicio de este tratamiento (figura III.24). En este sentido, Archer y Strauss (1990) trabajando con la variedad Pinot noir y 6 densidades de plantación, afirman que los ψ son muy similares

entre tratamientos al principio del ciclo y que a medida que avanza éste, se observan mayores diferencias, mostrando las densidades de plantación más altas mayor estrés hídrico.

La evolución del potencial hídrico medido a las **9:00** hs (ψ_9) ha mostrado un descenso hasta julio, con valores cercanos a $-1,2$ MPa (figura III.25). Posteriormente, se ha observado una ligera recuperación en enero, con valores en torno a -1 MPa, debido a las precipitaciones recogidas en esta época en la zona, que fueron de 27 mm. Al final del ciclo el ψ_9 volvió a descender, alcanzando el tratamiento 1,2 valores de $-1,85$ MPa. No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, que han mostrado valores de ψ_9 muy similares entre ellos a lo largo de todo el ciclo, con alguna tendencia del tratamiento 1,2 a presentar valores algo más negativos.

La evolución del potencial hídrico medido a **mediodía** (ψ_{12}) ha mostrado una tendencia similar a la de 2005 (figura III.26), aunque en agosto no se llegaron a alcanzar valores tan negativos debido a las precipitaciones recogidas durante dicho mes en esta zona, que atenuaron ligeramente el estrés hídrico soportado por la plantas, aunque el tratamiento 1,2 mostró un valor más negativo de $-1,53$ MPa. No se han observado diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales, los cuales han mostrado en general valores muy similares entre sí a lo largo de todo el ciclo vegetativo.

El **seguimiento diario** del ψ realizado el día **21 de agosto de 2006** (figura III.23) muestra un descenso progresivo de los valores de ψ hasta las 12:00 hs, con valores de $-1,4$ MPa en el 1,5 y 1,8, y de $-1,5$ MPa en el 1,2. Posteriormente, los valores siguen decreciendo ligeramente a las 15:00 hs, con valores de $-1,59$, $-1,48$ y $-1,55$ MPa en el 1,2, 1,5 y 1,8 respectivamente. Aunque no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, se ha observado una tendencia del tratamiento 1,2 a presentar valores de ψ más negativos a lo largo del día. El ψ_{aa} es similar en los tres tratamientos antes del amanecer ($-0,4$ MPa), pero a medida que aumenta la radiación solar las diferencias entre tratamientos aumentan (Van Zyl 1986). Esta circunstancia está relacionada con el mayor desarrollo foliar presentado por el tratamiento 1,2 durante todo el periodo de estudio, lo que supone mayor transpiración y agotamiento más temprano del agua contenida en el perfil de suelo explorado por las raíces, y por lo tanto mayor estrés hídrico. De igual forma, Pérez (2002) trabajando con la misma variedad, observó que las densidades de plantación más altas mostraban valores de ψ ligeramente más negativos.

En el año **2007**, la evolución estacional del potencial hídrico foliar medido **antes del amanecer** (ψ_{aa}) ha mostrado el mismo comportamiento que en los años anteriores (figura III.24), con un descenso continuado de los valores hasta el final del ciclo. Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en agosto en perjuicio del 1,2. Este ensayo no ha recibido ningún aporte hídrico mediante riego durante el periodo de estudio de manera que el descenso de ψ_{aa} a lo largo del ciclo se produce directamente a medida que las reservas hídricas del suelo se agotan. Investigadores como Lopes (1994), Yuste (1995) y Cuevas (2001) observaron que el ψ_{aa} va siendo progresivamente más negativo a lo largo del ciclo debido al agotamiento de las reservas hídricas del suelo y a los cambios producidos en la anatomía de las hojas.

La evolución estacional del potencial hídrico foliar medido a las **9:00 hs** (ψ_9) (figura III.25), ha mostrado un descenso progresivo de valores de potencial hasta el final del ciclo, a medida que se van agotando las reservas hídricas del suelo, llegándose a alcanzar valores cercanos a $-1,5$ MPa en los tres tratamientos estudiados. No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, con valores muy similares entre ellos durante todo el ciclo.

La tendencia del potencial hídrico foliar medida a las **12:00 hs** (ψ_{12}) fue parecida a la de 2006 (figura III.26), con un descenso progresivo de valores de ψ_{12} a medida que las reservas hídricas del suelo se agotaban. En ambos años, el factor distancia entre cepas no ha provocado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el valor de potencial hídrico foliar a mediodía.

En general, los valores de ψ_{12} fueron muy similares entre tratamientos durante todo el ciclo, observándose valores más negativos en maduración. Pérez (2002), trabajando con la misma variedad, y Archer y Strauss (1990), trabajando con la variedad Pinot noir, afirman que la densidad de plantación influye en el ψ en los estados fenológicos de floración, tamaño guisante, envero y maduración.

En el **seguimiento diario** de ψ realizado el día **11 de septiembre de 2007** (figura III.23) se ha observado un comportamiento parecido al seguimiento realizado en 2006, aunque el descenso brusco de valores de ψ se produce desde el amanecer a las 9:00 hs. A las 12:00 hs el ψ de todos los tratamientos estudiados mostró valores ligeramente más negativos que a las 9:00 hs, para posteriormente, a las 15:00 hs, mantenerse en valores similares ($-1,6$ MPa), sin observarse diferencias con significación estadística entre tratamientos en ningún momento de medida del día.

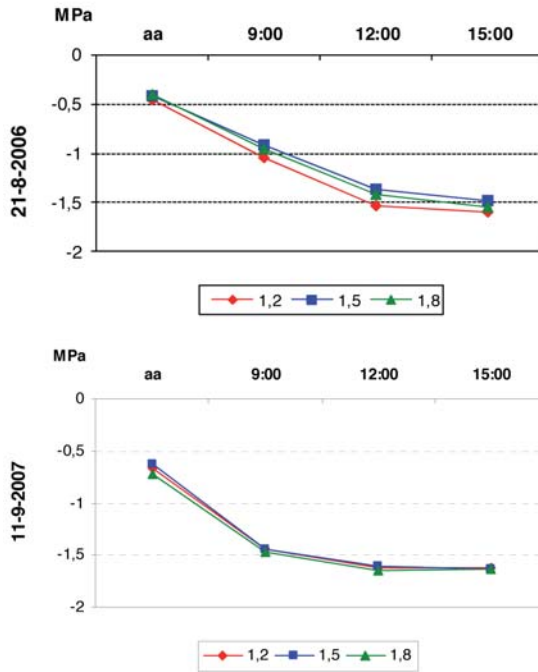


Figura III.23. Evolución diaria del potencial hídrico foliar (MPa) desde antes del amanecer (aa) en agosto de 2006 y septiembre de 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**.

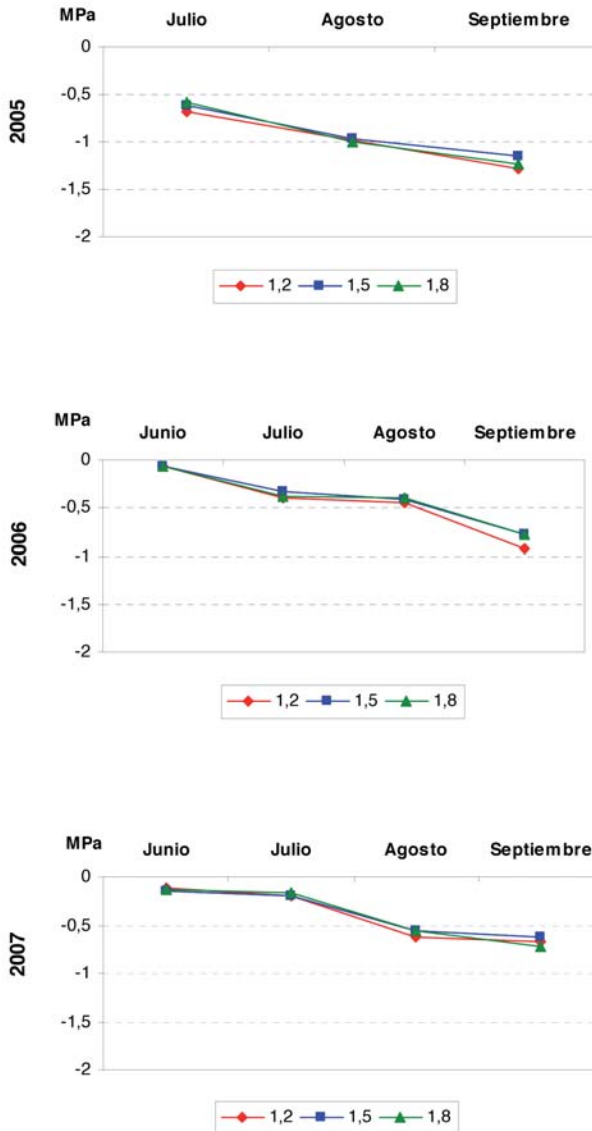


Figura III.24. Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) medido **antes del amanecer** (ψ_{aa}) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**.

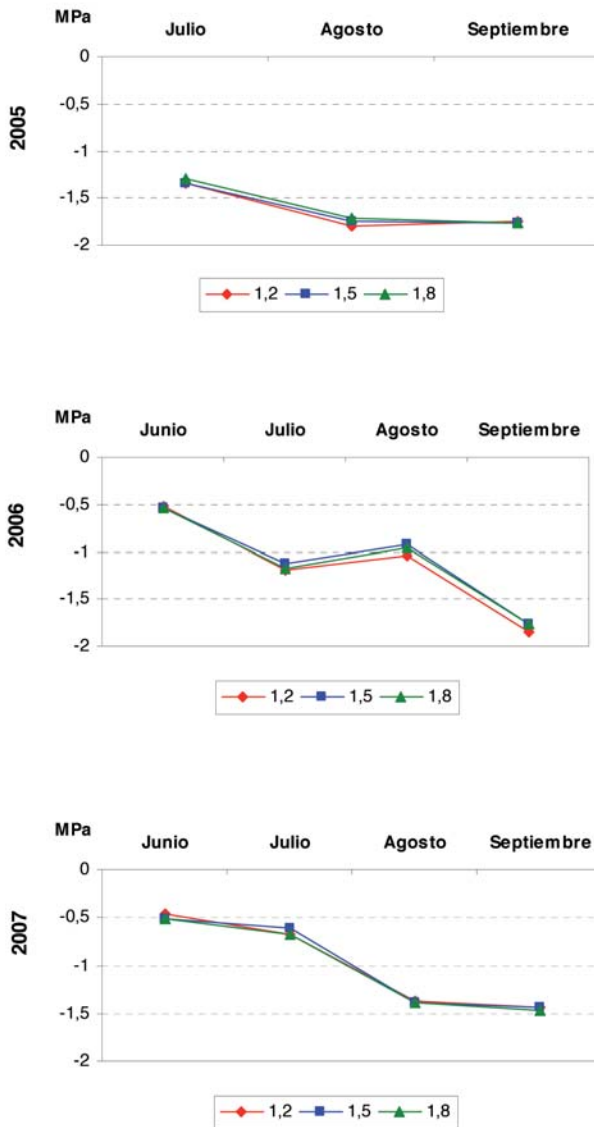


Figura III.25. Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) medido a las 9:00 hora solar (ψ_g) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**.

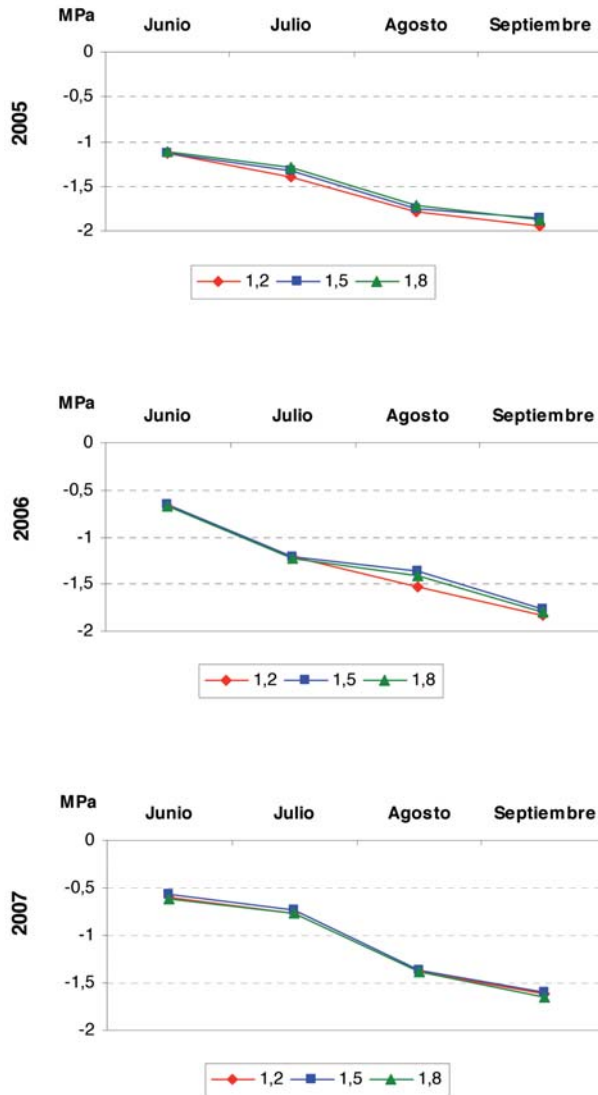


Figura III.26. Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) medido a las **12:00** hora solar (ψ_{12}) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**.

TORO

En el año **2005**, la evolución estacional del potencial hídrico foliar medido a las **12:00** hs (ψ_{12}) no ha mostrado diferencias con significación estadística entre tratamientos, con valores similares en todos ellos a lo largo del ciclo (figura III.27). Se ha observado un descenso progresivo de ψ_{12} hasta el mes de agosto, llegándose a alcanzar valores de $-1,8$ MPa. Posteriormente, al final del ciclo, cuando las condiciones meteorológicas no fueron tan adversas, las plantas se recuperaron ligeramente ($-1,6$ MPa). En este sentido, Smart (1974 a) afirma que valores de ψ por debajo de $-1,3$ MPa suponen el cierre de estomas y que la planta disminuya su actividad fisiológica. Según Ojeda (2007) un estrés hídrico severo de envero a maduración puede producir vinos tintos excesivamente tánicos, duros, astringentes y alcohólicos. El periodo de cuajado a envero en 2005 estuvo marcado por unas condiciones meteorológicas muy severas, con altas temperaturas y ausencia de precipitaciones, lo que provocó un estrés hídrico severo en las plantas de los tres tratamientos de distancia entre cepas estudiados.

En el año **2006**, los valores de ψ_{aa} observados entre cuajado y envero no han mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, con valores cercanos a $-0,5$ MPa (tabla III.30). McCarthy (1997) y Ojeda (2007) afirman que el estado hídrico tiene una fuerte influencia en el periodo comprendido entre el cuajado y el envero sobre el rendimiento del viñedo a través del efecto que ejerce sobre el tamaño de la baya. Durante este periodo la restricción hídrica no afecta a la división celular pero disminuye el volumen celular (Ojeda *et al.* 2001). Una restricción hídrica moderada en este periodo (ψ_{aa} entre $-0,3$ y $-0,4$ MPa) reduce el tamaño de la baya, aumentando la concentración final de polifenoles y aromas (Ojeda *et al.* 2004). Sin embargo, si la restricción hídrica es excesiva durante dicho período ($\psi_{aa} \leq -0,6$ MPa), el peso de la baya disminuye significativamente y la cosecha puede verse reducida en un 30% a 50%, con el agravante de una pérdida importante de calidad (Ojeda 2007). El ψ_{aa} observado en maduración es similar en los tres tratamientos, con valores de $-0,6$ MPa, sin observarse diferencias estadísticamente significativas. Ojeda *et al.* (2004) afirman que viñedos con un estado hídrico marcado por valores de ψ_{aa} entre $-0,3$ y $-0,7$ MPa entre envero y maduración darán lugar a vinos equilibrados, dando desde perfiles con mucha expresión frutal hasta vinos más concentrados y tánicos.

Los valores de potencial hídrico foliar medido a las **9:00** hs (ψ_9) observados en las mismas fechas que el ψ_{aa} (entre cuajado y envero, y en maduración) no han mostrado diferencias con significación estadística entre tratamientos, con valores de $-1,2$ MPa en julio y $-1,3$ MPa en septiembre (tabla III.30).

La evolución estacional del potencial hídrico foliar medido a **mediodía** solar (ψ_{12}) no ha mostrado diferencias con significación estadística entre tratamientos en ningún momento del ciclo (figura III.27). El estrés hídrico de las plantas aumentó en el mes de julio, con valores de ψ_{12} en torno a -1,3 MPa. En agosto el potencial hídrico experimentó una ligera mejoría debida, principalmente, a las precipitaciones recogidas en este ensayo durante dicho periodo. Posteriormente, en maduración el estrés hídrico volvió a aumentar, llegando a valores de ψ_{12} de -1,5 MPa en los tres tratamientos estudiados.

En el año **2007**, la evolución estacional del potencial hídrico foliar medido a las **9:00** hs (ψ_9) no ha mostrado ninguna diferencia estadísticamente significativa, con valores muy similares entre tratamientos en las cuatro fechas de medida (figura III.28). El ψ_9 descendió hasta agosto, alcanzando valores cercanos a -1,1 MPa, y se recuperó ligeramente en septiembre con valores próximos a -0,9 MPa, cuando las condiciones meteorológicas no fueron tan limitantes.

En la evolución estacional del potencial hídrico foliar medido a las **12:00** hs (ψ_{12}) se observó una tendencia similar a la de 2005 (figura III.27), aunque sin llegar a alcanzar valores tan negativos. Los valores más negativos se observaron en agosto, cercanos a -1,1 MPa. Posteriormente, en maduración, las plantas recuperaron ligeramente los valores de potencial indicadores de un mejor estado hídrico que en agosto, mostrando valores cercanos a -0,9 MPa en todos los tratamientos estudiados.

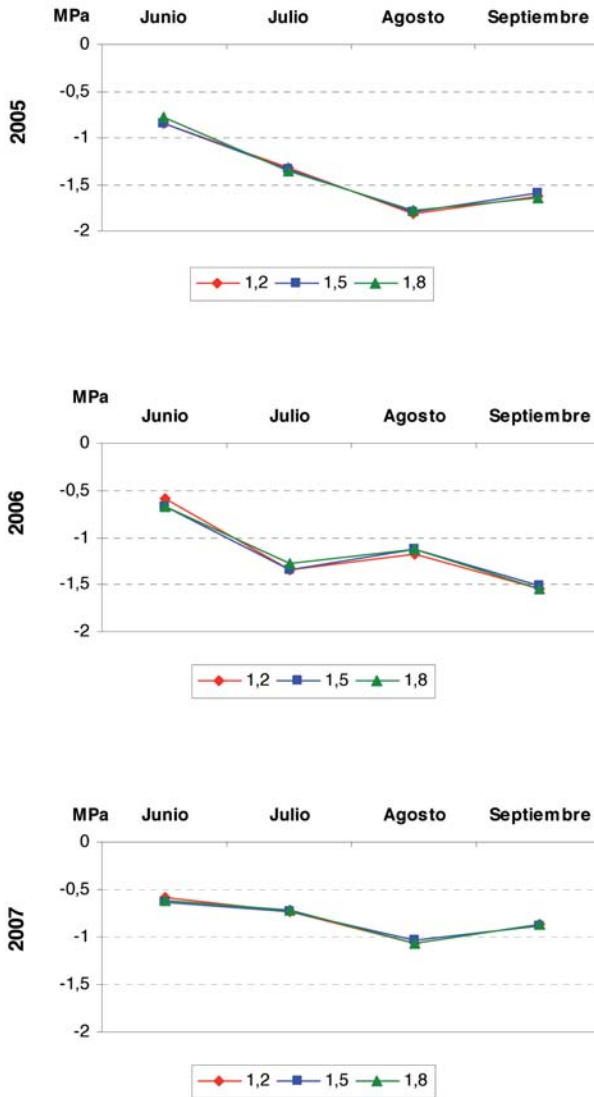


Figura III.27. Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) medido a las **12:00** hora solar (ψ_{12}) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Toro**.

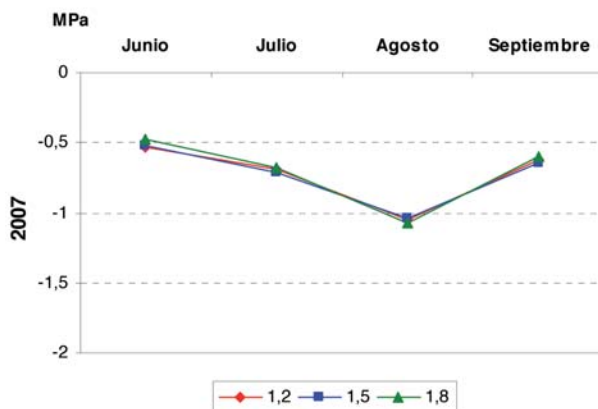


Figura III.28. Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) medido a las 9:00 hora solar (ψ_g) en el año 2007 en el ensayo experimental de **Toro**.

2.2 Conductancia estomática

La evolución diaria de la conductancia estomática (g_s) estudiada en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero y Toro corresponde a medidas realizadas a las 9:00 y las 12:00 hs en los meses de julio y septiembre en el año 2006. En los ensayos de Pollos y Rodilana la evolución diaria estudiada corresponde a las 9:00 y a las 12:00 hs en los meses de julio, agosto y septiembre en los años 2005, 2006 y 2007, habiendo sido ampliada al mes de junio en 2006 y 2007. De igual forma, el seguimiento diario se amplió a las 15:00 hs en agosto de 2006 y septiembre de 2007. Los resultados de cada día de medida en los ensayos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro están reflejados en las tablas III.31, III.32, III.33 y III.34 respectivamente.

Tabla III. 31. Ensayo experimental de **Castrillo de Duero**: valores de conductancia estomática (g_s) ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medidos a las 9:00 hora solar y a las 12:00 hora solar de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los días 26 de julio y 19 de septiembre de 2006. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamientos	2006			
	26-Julio		19-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00
1,2	277	80	121	96
1,5	227	84	176	122
1,8	243	131	105	86
Sig	ns	ns	ns	ns

Tabla III. 32. Ensayo experimental de **Pollos**: valores de conductancia estomáca (g_s) (mmol $H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) medidos a las 9:00 hora solar, a las 12:00 hora solar y a las 15:00 hora solar de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los años 2005, 2006 y 2007. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

2005									
T	12-Julio		9-Agosto		9-Septiembre				
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00			
1,2	171	80	59 ^b	49	188	256			
1,5	206	108	109 ^a	53	219	318			
1,8	170	100	76 ^{ab}	47	195	344			
Sig	ns	ns	*	ns	ns	ns			
2006									
T	12-Junio		21-Julio		22-Agosto			18-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00
1,2	308	267	119	52	188 ^a	64	48	233	146
1,5	250	244	132	68	130 ^b	75	53	243	150
1,8	270	247	104	78	185 ^a	83	66	219	138
Sig	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
2007									
T	21-Junio		19-Julio		17-Agosto		19-Septiembre		
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00
1,2	382	324	260	341	102	81	187	253	199
1,5	365	317	215	319	144	106	233	282	259
1,8	362	314	299	364	142	101	230	243	205
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III. 33. Ensayo experimental de **Rodilana**: valores de conductancia estomática (g_s) ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medidos a las 9:00 hora solar, a las 12:00 hora solar y a las 15:00 hora solar de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los años 2005, 2006 y 2007. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$.

T	2005								
	14-Julio		13-Agosto		13-Septiembre				
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	
1,2	51	36	38	25	60	24			
1,5	66	39	51	38	58	25			
1,8	66	32	37	32	48	25			
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

T	2006									
	19-Junio		17-Julio		21-Agosto			19-Septiembre		
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	
1,2	215	190	156	156	196	114	69	32	27	
1,5	209	184	199	121	226	138	101	37	16	
1,8	197	180	207	148	209	155	102	37	29	
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

T	2007									
	22-Junio		20-Julio		13-Agosto		11-Septiembre			
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00	
1,2	318	254	321	253	91	54	73	38	23	
1,5	302	265	295	228	113	51	75	46	28	
1,8	258	230	292	284	104	56	70	48	32	
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

Tabla III. 34. Ensayo experimental de **Toro**: valores de conductancia estomática (g_s) ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medidos a las 9:00 hora solar y a las 12:00 hora solar de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los días 28 de julio y 13 de septiembre de 2006. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$.

Tratamientos	2006			
	28-Julio		13-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00
1,2	54	38	78 ^a	34
1,5	48	41	56 ^b	29
1,8	61	42	74 ^a	32
Sig	ns	ns	*	ns

CASTRILLO DE DUERO

En los meses de julio y septiembre de **2006** no se han observado diferencias estadísticamente significativas en los valores de conductancia estomática (g_s) entre tratamientos en las medidas de las **9:00** hs y las **12:00** hs (tabla III.31). Se han observado valores de g_s más altos a las 9:00 hs que a las 12:00 hs en ambos meses de medida. Esta tendencia es similar a la observada por

Düring y Loveys (1982), Kliewer *et al.* (1985) y Pérez (2002), con un valor máximo de g_s a las 9:00 hs, lo que puede ser debido a que en condiciones de cultivo de secano o con riego deficitario la apertura estomática es alta a las 9:00 hs de la mañana y a medida que aumenta la temperatura en la hoja dicha apertura estomática es menor (Sepúlveda y Kliewer 1986).

En las medidas de conductancia estomática realizadas a las **9:00** hs se ha observado un descenso de los valores de julio a septiembre, pasando de 277 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en julio a 121 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ al final de la estación en el tratamiento 1,2. Dicha situación puede ser debida a que los estomas muestran mayor apertura cuando el perfil del suelo tiene mayor contenido hídrico, pero a medida que transcurre el ciclo el suelo reduce su contenido de agua y la apertura estomática es menor. Salisbury y Ross (1994) observaron un comportamiento estomático similar en plantas con poca disponibilidad hídrica.

La conductancia estomática medida a las **12:00** hs se ha mantenido en valores bajos en ambas fechas de medida, si bien en los tratamientos 1,2 y 1,5 se ha observado una ligera recuperación al final de la estación, llegando el tratamiento 1,5 a alcanzar valores de 122 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Fanizza *et al.* (1989) obtuvieron resultados parecidos al observar una ligera recuperación de la conductividad estomática al final del ciclo. En cambio, el tratamiento 1,8 ha mostrado un descenso en la conductancia al final de la estación, llegando a situarse con un valor mínimo de 86 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

POLLOS

En el año **2005**, el seguimiento estacional de la conductancia estomática (g_s) medida a las **9:00** hs ha mostrado un descenso de julio a agosto y una recuperación en septiembre (figura III.29). Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en el mes de agosto entre el tratamiento 1,5 y el 1,2, con un valor de 109 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ frente a 59 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivamente. De igual forma, se ha observado una tendencia del tratamiento 1,5 a presentar mayor valor de g_s que los otros dos tratamientos durante todo el ciclo.

El seguimiento estacional de la conductancia estomática medida a las **12:00** hs muestra valores más bajos que los medidos a las 9:00 hs, excepto en el mes de septiembre, cuando los estomas estuvieron más abiertos a las 12:00 hs, probablemente con condiciones ambientales más favorables en el día de la medida (figura III.29). En este sentido, Rubio (2002) afirma que la

conductancia estomática se ve influenciada por las condiciones particulares del día de medida. No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en dicha hora de medida, mostrando valores similares de conductancia estomática los distintos tratamientos durante todo el ciclo, excepto al final del mismo, en que el tratamiento 1,2 presentó una apertura de estomas sensiblemente menor a los otros dos tratamientos, con un valor de $256 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ frente a valores superiores a $300 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

En el año **2006**, la evolución estacional de la conductancia estomática medida a las **9:00** hs no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos experimentales (figura III.29). En junio se observaron los valores más altos de g_s , llegando a alcanzar el tratamiento 1,2 un valor máximo de $308 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Posteriormente, en julio se observaron los valores mínimos del ciclo en los tres tratamientos experimentales, con un valor mínimo de $104 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ del tratamiento 1,8. En agosto, la apertura de los estomas aumentó ligeramente, observándose diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, con valores de 188 y $185 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de los tratamientos 1,2 y 1,8 respectivamente, y de $130 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ del tratamiento 1,5. Al final del ciclo la conductancia estomática aumentó en los tres tratamientos experimentales, con valores muy similares entre ellos, sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas.

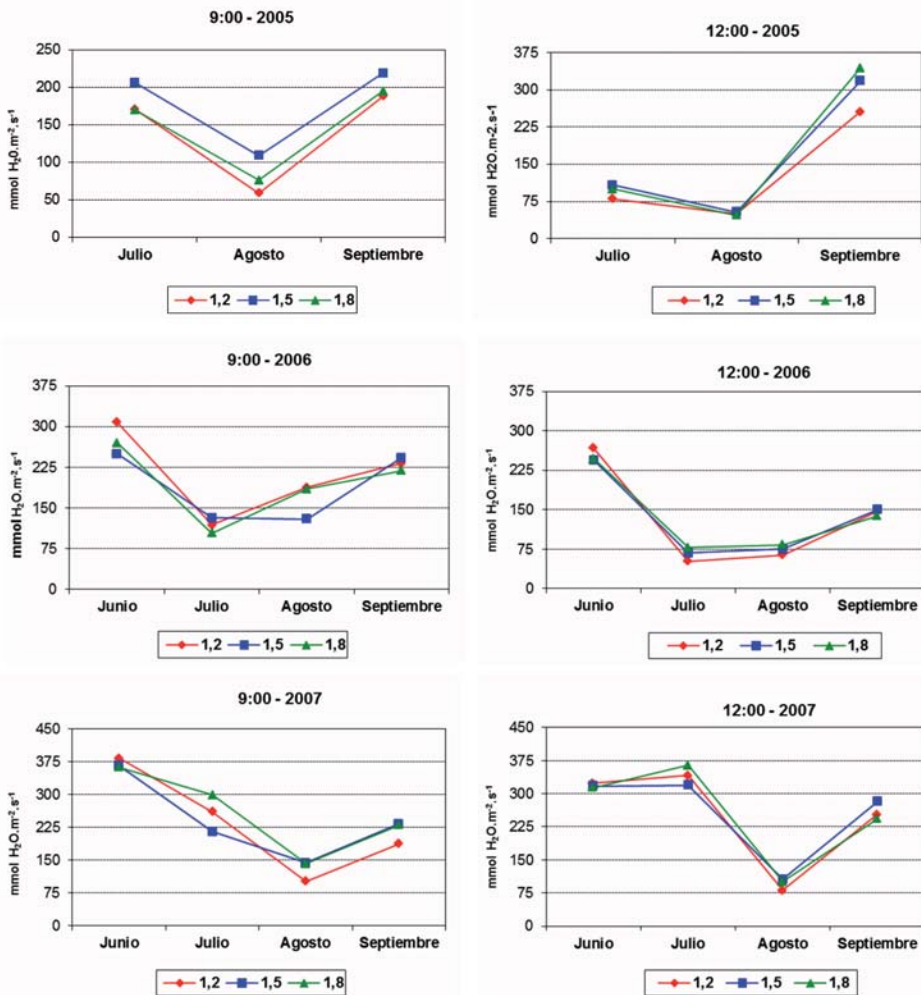


Figura III.29. Evolución de la conductancia estomática ($\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) medida a las **9:00** hora solar (izquierda) y alas **12:00** hora solar (derecha) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**.

La evolución estacional de g_s a las **12:00** hs ha mostrado el mismo patrón que a las 9:00 hs (figura III.29). Se ha observado un máximo de los valores de conductancia estomática en junio, posteriormente un descenso en julio, manteniéndose los valores en agosto y mostrando una ligera recuperación al final del ciclo en los tres tratamientos estudiados. De igual forma, Fanizza *et al.* (1989) observaron un descenso de los valores de conductancia estomática a lo largo del ciclo y una ligera recuperación hacia el final del mismo. No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ningún momento del ciclo, con valores muy similares entre ellos.

El **seguimiento diario** de la conductancia estomática realizado el **22 de agosto de 2006** ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en la medida realizada a las 9:00 hs como ya se ha indicado (figura III.30). La apertura estomática ha mostrado un máximo a las 9:00 hs, posteriormente una reducción a las 12:00 hs y finalmente un mantenimiento de valores a las 15:00 hs, próximos a $55 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. De la misma forma, investigadores como Düring y Loveys (1982) y Kliewer *et al.* (1985) observaron únicamente un máximo en los valores de conductancia estomática a las 9:00 hs. Posteriormente, cuando la temperatura y el déficit de presión de vapor suben hacia el mediodía, se produce el cierre estomático, que puede estar controlado por el ambiente externo, principalmente por la humedad relativa del aire y, en cierto modo, por la temperatura

En el año **2007**, la evolución estacional de la conductancia estomática medida a las **9:00** hs no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas ni tendencias definidas entre tratamientos aunque el tratamiento 1,2 mostró valores inferiores tanto en agosto como en septiembre (figura III.29). Los valores máximos se han observado al principio del ciclo, cuando las plantas tenían mayor disponibilidad hídrica, llegando a alcanzarse valores de conductancia estomática de $382 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Posteriormente, la apertura estomática descendió progresivamente en julio y agosto, llegando a un mínimo en agosto, con un valor de $102 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ del tratamiento 1,2. Por último, al final del ciclo la conductancia estomática mostró valores más altos que en el mes anterior.

La evolución estacional de la conductancia estomática medida a las **12:00** hs no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas, con valores similares en todos los tratamientos (figura III.29). La evolución de g_s presentó un máximo en julio, llegando a alcanzar un valor de $364 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ el tratamiento 1,8, con una apertura de estomas mayor a las 12:00 hs que a las 9:00 hs. En el mes de agosto se observó un marcado descenso de g_s y posteriormente una notable recuperación al final del ciclo.

El **seguimiento diario** realizado el **19 de septiembre de 2007** no ha mostrado diferencias estadísticamente entre tratamientos (figura III.30), pero se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,5 a presentar valores más altos de g_s en los tres momentos de medida. Se ha observado poca variación en la apertura estomática durante el seguimiento, aunque los valores más altos se ecogieron al mediodía. Según Salisbury y Ross (1994), estos valores de g_s corresponden a cepas bien alimentadas hídricamente. En

este ensayo se aplicó un riego de 20 mm algunos días antes de la medida, lo que permitió que los estomas estuvieran adecuadamente abiertos durante todo el seguimiento efectuado. En este sentido, Smart y Robinson (1991) afirman que a partir de 200 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ se considera que los estomas están completamente abiertos. Por otro lado, investigadores como Koundouras *et al.* (1999) y Sipiora y Lissarrague (1999) afirman que el estrés hídrico causa una reducción importante en la conductancia estomática y Pereira y Chaves (1993) aseguran que el comportamiento de la conductancia estomática es muy distinto con distinta disponibilidad hídrica mientras el potencial hídrico foliar puede ser similar.

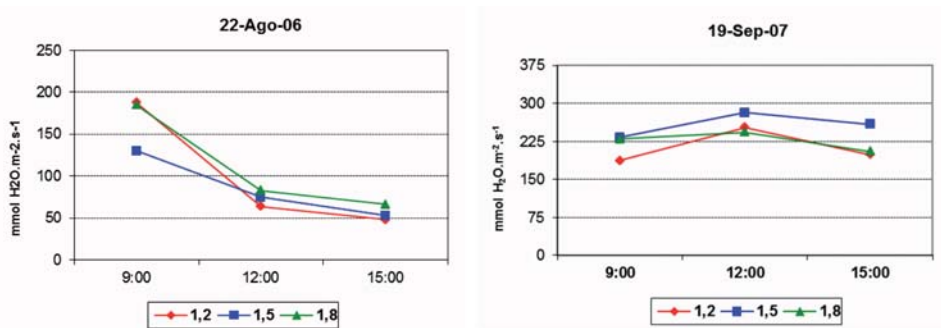


Figura III.30. Evolución diaria de la conductancia estomática ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en agosto de 2006 y septiembre de 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**.

RODILANA

En el año **2005**, las medidas de conductancia estomática realizadas tanto a las **9:00** hs como a las **12:00** hs (figura III.31) no han mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales. La conductancia estomática presentó valores muy bajos a ambas horas de medida durante todo el ciclo, caracterizado por unas condiciones meteorológicas muy adversas, con ausencia de precipitaciones y elevadas temperaturas que favorecieron el cierre estomático de las plantas. No se ha observado ninguna tendencia constante entre tratamientos, aunque de forma variable con valores más altos del tratamiento 1,5, en particular en agosto. En este sentido, Pereira y Chaves (1993) afirman que las plantas con escasa disponibilidad hídrica marcan mayores diferencias en los valores de conductancia estomática que las plantas con mayor disponibilidad de agua en el perfil del suelo, en cambio el potencial hídrico foliar muestra valores más similares en ambas situaciones de cultivo.

En el año **2006**, el seguimiento estacional de la conductancia estomática

medida a las **9:00** hs (figura III.31) no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. La evolución de g_s ha mostrado valores similares, en torno a $200 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, en los meses de junio, julio y agosto, mientras que al final del ciclo, en septiembre, ha descendido hasta valores próximos a $30 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en los tres tratamientos experimentales estudiados. En este sentido, Cuevas (2001) afirma que un fuerte estrés hídrico, marcado principalmente por el agotamiento de las reservas de agua del suelo, causa una reducción de la conductancia estomática importante, provocando el cierre de los estomas. El tratamiento 1,2 ha presentado menor apertura estomática que los otros dos tratamientos en el mes de julio, con un valor de $156 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

En el seguimiento estacional de la conductancia estomática medida a las **12:00** hs (figura III.31) tampoco se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. A lo largo de los meses de junio, julio y agosto la conductancia estomática ha presentado pocas variaciones, con valores entre 100 y $200 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, pero en septiembre ha descendido hasta situarse en valores menores de $30 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en los tres tratamientos experimentales estudiados. En julio el tratamiento 1,5 mostró valores inferiores a los otros tratamientos, mientras que en agosto fue el tratamiento 1,2 el que mostró los valores más bajos.

El **seguimiento diario** de la conductancia estomática realizado el día **21 de agosto de 2006** (figura III.32) no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque se ha observado una tendencia del tratamiento 1,2 a presentar menor apertura estomática. La evolución de g_s presentó el máximo a las 9:00 hs y el mínimo a las 15:00 hs, mostrando el tratamiento 1,2 un valor de sólo $69 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Pérez (2002), trabajando con la variedad Tempranillo y con dos densidades de plantación y dos regímenes hídricos, observó un máximo a las 9:00 hs y un mínimo a las 15:00 hs. De igual forma, este investigador encontró mayores diferencias estadísticamente significativas debidas al factor régimen hídrico que a la densidad de plantación y observó que las densidades de plantación estudiadas presentaban valores de conductancia estomática muy similares en todo el periodo de estudio. En general, las plantas en este ensayo han seguido el modelo de comportamiento de la conductancia estomática observado por Salisbury y Ross (1994), con un único máximo a las 9.00 hs y un descenso de los valores a lo largo del día. Estos autores afirman que dicho comportamiento corresponde a plantas con poca disponibilidad hídrica.

En el año **2007**, el seguimiento estacional de la conductancia estomática

medida a las **9:00** hs (figura III.31) no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales. En junio y julio, la apertura estomática fue alta, llegando el tratamiento 1,2 a alcanzar valores de $321 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, mientras que en agosto y septiembre descendió bruscamente, llegando los distintos tratamientos a situarse en torno a $70 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. En este sentido, Williams *et al.* (1994) afirman que a medida que la disponibilidad hídrica es menor la conductancia estomática desciende y llega a provocar el cierre de los estomas.

El seguimiento estacional de la conductancia estomática realizado a las **12:00** hs (figura III.31) ha seguido la misma tendencia que a las 9:00 hs, con valores altos de conductancia en junio y julio, y un descenso drástico de los mismos en agosto y septiembre. No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, en ninguna fecha de medida, pero los valores fueron mucho más parecidos entre sí en agosto y septiembre.

El **seguimiento diario** de g_s realizado el día **11 de septiembre de 2007** (figura III.32) no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, si bien se ha observado, al igual que en el seguimiento diario realizado en 2006, una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar valores de g_s más bajos que los otros dos tratamientos a las 12:00 hs y a las 15:00 hs. El valor máximo de apertura de estomas se observó a las 9:00 hs y el mínimo a las 15:00 hs, como también observaron los investigadores Düring y Loveys (1982), Kliewer *et al.* (1985) y Pérez (2002). Los valores de g_s observados en el seguimiento diario realizado en 2007 fueron claramente menores que los observados en 2006 en cada hora de medida. El máximo observado en 2007 a las 9:00 hs corresponde a valores en torno a $70 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ mientras que el observado en 2006 se sitúa en valores cercanos a $200 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

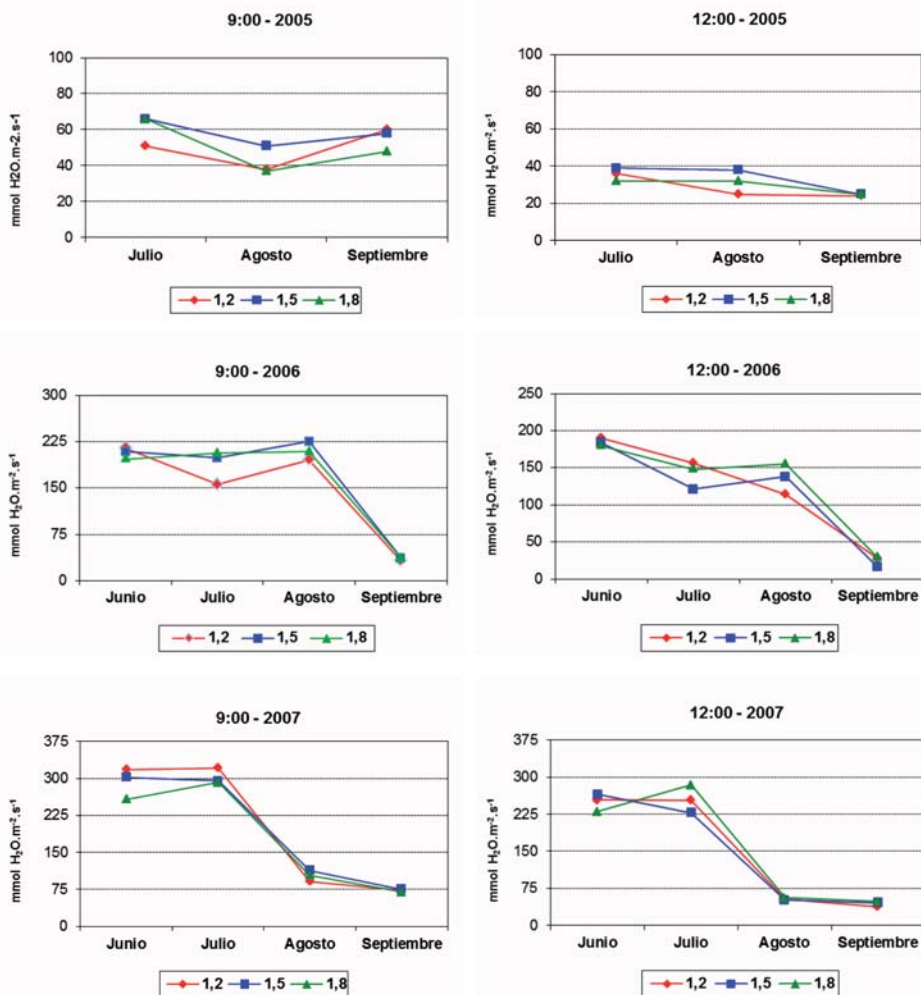


Figura III.31. Evolución de la conductancia estomáca (mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) medida a las **9:00** hora solar (izquierda) y a las **12:00** hs (derecha) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**.

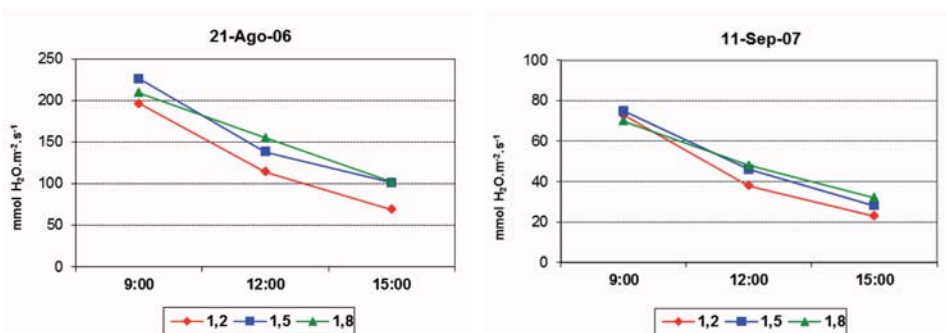


Figura III.32. Evolución diaria de la conductancia estomática ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en agosto de 2006 y septiembre de 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**.

TORO

En las medidas de conductancia estomática realizadas en **2006**, únicamente se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en la medida realizada en el mes de septiembre a las **9:00** hs, en perjuicio del tratamiento 1,5, que mostró un valor de $56 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, inferior a los otros dos tratamientos. En el resto de medidas los valores fueron muy similares entre tratamientos, aunque se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,5 a presentar menor valor de g_s en las dos medidas realizadas en 2006. Los valores observados a las **12:00** hs fueron ligeramente más bajos que a las 9:00, aunque los valores observados a dicha hora en los meses de julio y septiembre ya fueron bajos de por sí. En este ensayo, los estomas no llegaron abrirse totalmente en los días de medida según indican Smart y Robinson (1991), que afirman que a partir de $200 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ los estomas están completamente abiertos.

2.3 Transpiración

La evolución diaria de la transpiración (E) estudiada en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero y Toro corresponde a medidas realizadas a las 9:00 y las 12:00 hs en julio y septiembre en el año 2006. En los ensayos de Pollos y Rodilana la evolución diaria estudiada corresponde a las 9:00 y a las 12:00 hs en los meses de julio, agosto y septiembre en los años 2005, 2006 y 2007, habiendo sido ampliada al mes de junio en 2006 y 2007. De igual forma, el seguimiento diario se amplió a las 15:00 hs en agosto de 2006 y en septiembre de 2007. Los resultados medios de cada día de medida en los ensayos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro están reflejados en las tablas III.35, III.36, III.37 y III.38 respectivamente.

Tabla III. 35. Ensayo experimental de **Castrillo de Duero**: valores de transpiración (E) (mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) medidos a las 9:00 hora solar y a las 12:00 hora solar de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los días 26 de julio y 19 de septiembre de 2006. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamientos	2006			
	26-Julio		19-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00
1,2	7,50	4,55	1,82	2,46
1,5	6,57	4,72	2,32	3,38
1,8	6,88	6,82	1,68	2,33
Sig	ns	ns	ns	ns

Tabla III. 36. Ensayo experimental de **Pollos**: valores de transpiración (E) (mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) medidos a las 9:00 hora solar, a las 12:00 hora solar y a las 15:00 hora solar de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los años 2005, 2006 y 2007. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

T	2005					
	12-Julio		9-Agosto		9-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00
1,2	4,23	3,85	2,35	2,55	2,19	4,30 ^b
1,5	4,81	5,00	4,03	2,67	2,54	5,48 ^a
1,8	4,28	5,84	2,99	2,36	2,52	6,03 ^a
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	*

T	2006								
	12-Junio		21-Julio		22-Agosto			18-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00
1,2	6,47	9,61	4,44	2,86	3,77	3,62	3,45	4,03	3,71
1,5	5,56	9,11	4,92	3,56	2,91	4,14	3,44	4,06	3,77
1,8	6,04	9,12	4,11	3,96	3,77	4,32	4,44	3,84	3,59
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

T	2007								
	21-Junio		19-Julio		17-Agosto		19-Septiembre		
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00
1,2	3,65	5,17	3,40	6,06	1,76	2,44	1,46	3,79	4,81
1,5	3,64	5,09	3,41	5,88	2,54	3,14	1,76	4,23	5,93
1,8	3,48	4,91	3,80	6,18	2,43	2,97	1,71	3,81	5,03
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III. 37. Ensayo experimental de **Rodilana**: valores de transpiración (E) (mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) medidos a las 9:00 hora solar, a las 12:00 hora solar y a las 15:00 hora solar de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los años 2005, 2006 y 2007. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05, **: p<0,01.

2005									
T	14-Julio		13-Agosto		13-Septiembre				
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00			
1,2	1,91	2,39	1,03 ^b	0,94 ^b	1,11	0,76			
1,5	2,49	2,59	1,35 ^a	1,48 ^a	1,09	0,77			
1,8	2,55	2,20	1,00 ^b	1,31 ^a	0,94	0,73			
Sig	ns	ns	*	*	ns	ns			
2006									
T	19-Junio		17-Julio		21-Agosto			19-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00
1,2	5,24	6,42	4,42	6,89	3,18	3,67	2,89	0,90	0,77
1,5	5,12	6,30	5,43	5,77	3,57	4,35	3,93	0,94	0,44
1,8	4,92	6,20	5,55	6,78	3,24	4,77	4,02	0,89	0,85
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007									
T	22-Junio		20-Julio		13-Agosto		11-Septiembre		
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00
1,2	3,87	4,65	3,33	5,02	2,10	2,44	1,17	1,25	1,26
1,5	3,73	4,82	3,26	4,70	2,45	2,28	1,19	1,41	1,45
1,8	3,34	4,57	3,08	5,57	2,31	2,50	1,29	1,50	1,71
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III. 38. Ensayo experimental de **Toro**: valores de transpiración (E) (mmol H₂O.m⁻².s⁻¹) medidos a las 9:00 hora solar y a las 12:00 hora solar de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los días 28 de julio y 13 de septiembre de 2006. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

2006				
Tratamientos	28-Julio		13-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00
1,2	1,68	1,68	1,34	0,95
1,5	1,55	1,84	1,02	0,79
1,8	1,95	1,91	1,28	0,89
Sig	ns	ns	ns	ns

CASTRILLO DE DUERO

En el año **2006**, las medidas de transpiración (E) realizadas en julio y septiembre a las **9:00** hs y a las **12:00** hs no han mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de distancia entre cepas (tabla III.35). En el mes de julio el valor de transpiración más alto se ha observado a las 9:00 hs, presentando el tratamiento 1,2 una transpiración algo mayor que el resto de tratamientos, con un valor de $7,50 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. En cambio, en septiembre los valores más altos fueron observados a las 12:00 hs, presentando el tratamiento 1,5 el valor más alto, de $3,38 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. En este mes, la transpiración sigue un modelo parecido al observado por Baeza (1994), con un incremento de la transpiración desde por la mañana hasta el mediodía, al que seguiría una disminución de la misma por la tarde. Según este investigador, este comportamiento corresponde a una situación de cultivo en la que las reservas hídricas en el suelo son adecuadas para las plantas.

La tasa de transpiración medida a las **9:00** hs y a las **12:00** hs muestra un descenso de valores de julio a septiembre en ambos casos. En este sentido, Pérez (2002), trabajando con la misma variedad, observó un máximo de transpiración en julio y un descenso hasta el final de ciclo, debido a una menor demanda evaporativa en el periodo que va de tamaño guisante a maduración (Archer y Strauss 1990). Bartolomé (1993) y Baeza (1994) observaron que la transpiración en hojas soleadas experimenta una gran variación desde el estado fenológico de tamaño guisante hasta maduración.

POLLOS

En el año **2005**, el seguimiento estacional de la transpiración (E) realizado a las **9:00** hs ha mostrado un descenso de valores a lo largo del ciclo en los tres tratamientos experimentales estudiados (figura III.33). Se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,5 a presentar mayor transpiración durante todo el ciclo, llegando a alcanzar un valor máximo de $4,81 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en julio y un mínimo de $2,54 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en septiembre. No se han observado diferencias con significación estadística entre tratamientos a dicha hora de medida en ninguna fecha. De igual forma, Archer y Strauss (1990), trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación diferentes, observaron que la transpiración aumentaba de floración a tamaño guisante y decrecía de tamaño guisante a maduración. Estos investigadores no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los seis espaciamientos estudiados, aunque observaron que los valores más bajos de

transpiración los presentaban las densidades de plantación más altas ($1 \times 0,5$ m y 1×1 m) y el valor más alto la densidad de plantación más baja (3×3 m).

El seguimiento estacional de la transpiración realizado a las **12:00** hs ha mostrado un descenso de la transpiración en agosto y un aumento en septiembre, al final del ciclo (figura III.33). Se han observado diferencias estadísticamente significativas en septiembre a favor de los tratamientos 1,5 y 1,8, que han presentado una tasa de transpiración mayor que el tratamiento 1,2, con valores de $5,48 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ y $6,03 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ respectivamente frente a $4,30 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Del mismo modo, el tratamiento 1,2 ha presentado en julio un valor menor de transpiración, aunque sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas respecto a los otros tratamientos, mientras que en agosto la tasa de transpiración fue muy similar en los tres tratamientos experimentales. En este sentido, González (2003) afirma que la intensidad de la transpiración depende de las diferencias de presión de vapor de agua entre la atmósfera y la cámara subestomática. Así, el viento moderado aumenta la transpiración al renovar el aire en las proximidades de las hojas.

En el año **2006**, el seguimiento estacional de la transpiración realizado a las **9:00** hs no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales (figura III.33). Se ha observado una tendencia decreciente desde junio hasta agosto, con un valor mínimo de $2,9 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ del tratamiento 1,5. Posteriormente se observó un ligero aumento de la tasa de transpiración de dicho tratamiento al final del ciclo, para igualarse con los otros dos tratamientos en un nivel similar al de agosto. Esta tendencia ha sido similar a las tendencias observadas en la evolución estacional de la conductancia estomática. En este sentido, Pérez (2002) y Rubio (2002) afirman que el comportamiento de la transpiración es similar al de la conductancia estomática. Düring y Klingenmeyer (1987) sostienen que una conductancia estomática alta provoca un aumento de los valores de transpiración.

En la evolución estacional de la transpiración medida a las **12:00** hs no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos (figura III.33). Se ha observado un fuerte descenso de los valores de junio a julio, pero posteriormente la transpiración no experimentó grandes cambios en ningún tratamiento. En junio, cuando se observó la tasa de transpiración más alta, los valores fueron cercanos a $10 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en los tres tratamientos experimentales. No se ha observado una tendencia clara entre tratamientos, aunque el 1,2 presentó los valores más bajos en julio y agosto.

En este ensayo se aportó un riego de 29 mm a mediados de mayo, recargando parte del perfil de suelo explorado por las raíces. En este sentido, Rubio (2002) y Pérez (2002) observaron que las tasas de transpiración y conductancia estomática aumentaban cuando la disponibilidad hídrica para las plantas era abundante.

El seguimiento diario de la transpiración realizado el día **22 de agosto de 2006** no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en ningún momento del día (figura III.34). La tasa de transpiración de los tres tratamientos se ha mantenido en valores entre 3,4 y 4,4 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ a lo largo del día, excepto la del tratamiento 1,5, que mostró una tasa de sólo 2,9 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ a las 9:00 hs. En este sentido, Pérez (2002), trabajando con la misma variedad, observó que la evolución diaria de la transpiración respondía a una línea recta decreciente al final del ciclo, debido a que el bajo contenido de agua en el suelo ocasionó situaciones de mayor estrés hídrico y provocó el cierre de los estomas en la mayor parte del día, reduciendo la transpiración. En cambio, Archer y Strauss (1990), trabajando con la variedad Pinot noir y 6 densidades de plantación, encontraron que la tasa de transpiración fue relativamente baja al amanecer, al mediodía y al atardecer, y que alcanzó valores máximos a mitad de la mañana y a mitad de la tarde.

En el año **2007**, la evolución estacional de la transpiración medida a las **9:00** hs no ha mostrado diferencias con significación estadística entre tratamientos de distancia entre cepas (figura III.33). La tasa de transpiración presentó valores muy similares en los tres tratamientos en los meses de junio y julio. Posteriormente, en agosto y septiembre, la tasa decreció, llegando el tratamiento 1,2 a mostrar un valor de tan sólo 1,46 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ al final del ciclo. Se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar una tasa de transpiración menor que los otros tratamientos, sobre todo a partir del enero. Resultados parecidos obtuvieron Archer y Strauss (1990) con la variedad Pinot noir al observar menores tasas de transpiración en las densidades de plantación más elevadas (1×0,5 m y 1×1 m) y una tasa mayor en la densidad más baja (3×3 m).

La evolución estacional de la tasa de transpiración medida a las **12:00** hs no ha mostrado diferencias con significación estadística entre tratamientos (figura III.33). No se ha observado una tendencia clara en los tratamientos estudiados durante el ciclo, con valores muy similares entre ellos. La tasa de transpiración presentó valores cercanos a 5,2 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ en junio. Posteriormente, en julio, dicha tasa alcanzó el máximo del ciclo, llegando el

tratamiento 1,8 a una tasa de transpiración de $6,18 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. En agosto, cuando el perfil del suelo explorado por las raíces fue agotando las reservas hídricas, la transpiración decreció claramente, presentando el tratamiento 1,2 un valor mínimo de $2,4 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Por último, la tasa de transpiración se recuperó ligeramente en los tres tratamientos experimentales al final del ciclo. En este sentido, Magriso (1987) sostiene que cuando la reserva hídrica del suelo se agota, la tasa de transpiración puede descender 5 veces respecto a una situación de cultivo con agua abundante en el perfil del suelo.

El seguimiento diario de la tasa de transpiración realizado el **19 de septiembre de 2007** no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales, si bien se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,5 a presentar mayor tasa de transpiración a medida que avanzó el día (figura III.34). La transpiración aumentó a lo largo del día en todos los tratamientos, llegando a alcanzar el máximo a las 15:00 hs, presentando el tratamiento 1,5 valores cercanos a $6 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Pérez (2002), trabajando con la misma variedad y dos densidades de plantación ($2,2\times 1,15 \text{ m}$ y $2,7\times 1,4 \text{ m}$), observó resultados parecidos al presentar una menor tasa de transpiración la densidad de plantación más alta ($2,2\times 1,15 \text{ m}$). Este investigador sostiene que las diferencias observadas entre densidades de plantación son debidas al aumento del gradiente de presión de vapor entre la superficie foliar y el aire, siendo más acusado en las plantas situadas a mayor distancia.

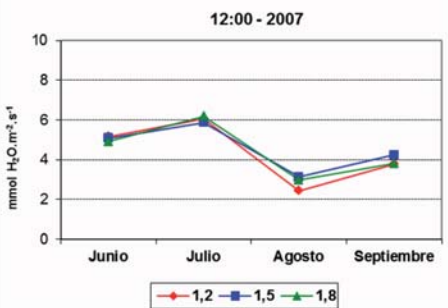
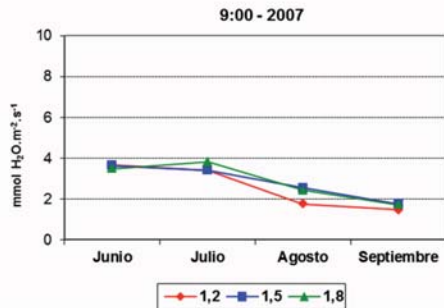
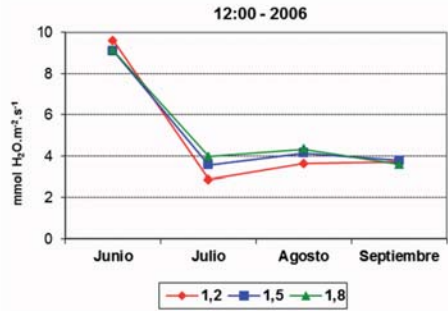
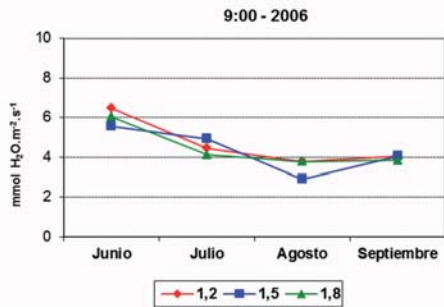
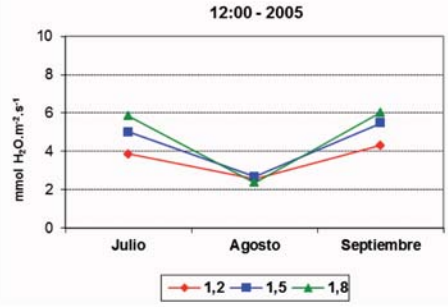
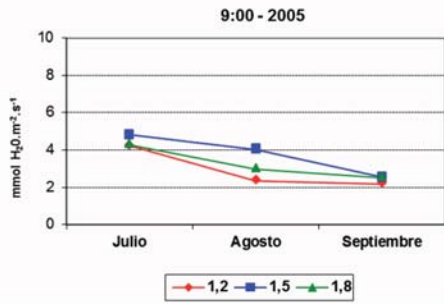


Figura III.33. Evolución de la transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medida a las **9:00** hora solar (izquierda) y a las **12:00** hora solar (derecha) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**.

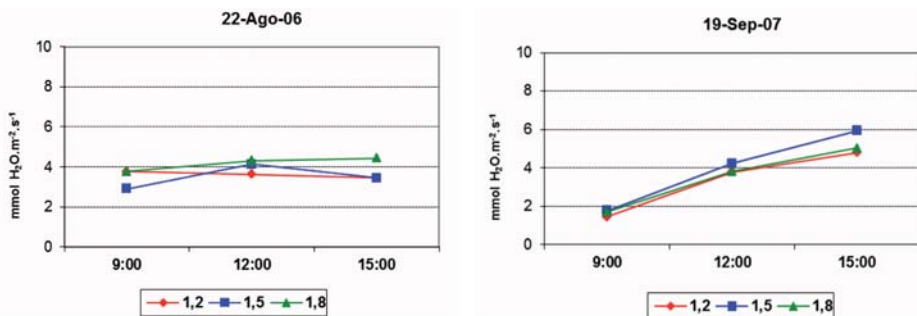


Figura III.34. Evolución diaria de la transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) en agosto de 2006 y septiembre de 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**.

RODILANA

En el año **2005**, el seguimiento estacional de la transpiración realizado a las **9:00** hs ha presentado valores muy bajos durante todo el ciclo, mostrando un mayor descenso hacia envero que desde envero hasta maduración (figura III.36). Se han observado diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento 1,5 en agosto, que ha presentado un valor de $1,34 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. En este sentido, Boselli y Scienza (1980) sostienen que en condiciones de estrés hídrico severo se da una tendencia de la vid a conservar la mayor cantidad de agua posible contenida en los tejidos, reduciendo la transpiración a través del cierre estomático, con valores de transpiración muy bajos.

El seguimiento estacional de la transpiración realizado a las **12:00** hs (figura III.36) ha mostrado un comportamiento similar al de las 9:00 hs. Los valores de transpiración descienden ligeramente hasta el final del ciclo, observándose diferencias estadísticamente significativas en agosto, en perjuicio del tratamiento 1,2, que presentó una tasa de sólo $0,94 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Los valores tan bajos de transpiración observados en este ensayo son debidos, principalmente, a las restrictivas condiciones meteorológicas del año, caracterizado por ausencia de precipitaciones y altas temperaturas, que originaron un severo estrés hídrico a las plantas. El bajo contenido de agua en el suelo ocasionó el cierre de los estomas en la mayor parte del ciclo reduciendo la tasa de transpiración (Boselli y Scienza 1980).

En el año **2006**, el seguimiento estacional realizado a las **9:00** hs no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales (figura III.36). La tasa de transpiración experimenta pocas variaciones de junio a julio, excepto en el tratamiento 1,2, que en julio

presentó menor tasa que los otros dos tratamientos, con un valor de 4,42 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ frente a 5,43 y 5,55 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ de los tratamientos 1,5 y 1,8 respectivamente. Posteriormente, la tasa de transpiración decreció decididamente hasta el final del ciclo, con valores similares en todos los tratamientos, acercándose a 0,95 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Magriso (1987) afirma que la transpiración disminuye a medida que el agua contenida en el perfil del suelo se va agotando a lo largo del ciclo.

El seguimiento estacional de la transpiración realizado a las **12:00** hs (figura III.36) ha mostrado la misma tendencia que a las 9:00 hs. La tasa de transpiración se mantiene en valores similares en junio y julio, decreciendo posteriormente a medida que los recursos hídricos del suelo se van agotando. Al final del ciclo, los tres tratamientos estudiados muestran valores de transpiración muy bajos, cercanos a 0,4 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. No se han observado diferencias con significación estadística entre tratamientos en ningún momento del ciclo.

El seguimiento diario de la transpiración realizado el **21 de agosto de 2006** ha mostrado un ligero aumento de la tasa de transpiración a las 12:00 hs en todos los tratamientos estudiados. No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, con valores de transpiración similares entre ellos (figura III.35), aunque el tratamiento 1,2 ha mostrado cierta tendencia a presentar menor tasa de transpiración a lo largo del día que los otros tratamientos. Resultados parecidos obtuvieron Pérez (2002), con la misma variedad, y Archer y Strauss (1990), con la variedad Pinot noir, observando menor tasa de transpiración en las densidades de plantación más elevadas.

En el año **2007**, el seguimiento estacional de la transpiración medida a las **9:00** hs no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (figura III.36). La evolución respondió a una recta decreciente hasta el final del ciclo, debido a que el contenido de agua en el suelo, a medida que avanza el periodo vegetativo, va descendiendo progresivamente. Esta situación provocó que la tasa de transpiración llegase a ser muy baja, al cerrar estomas las plantas para evitar una pérdida mayor de agua. La transpiración al final del ciclo presentó unos valores en torno a sólo 1,2 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹. Resultados parecidos fueron observados por Baeza (1994), trabajando con la misma variedad, al observar la misma tendencia decreciente a lo largo del ciclo y valores de transpiración cercanos a 1,1 mmol H₂O.m⁻².s⁻¹ a las 8:00 hs.

La evolución estacional de la transpiración medida a las **12:00** hs no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, presentando una tendencia similar a la de 2006 (figura III.36). La tasa de transpiración muestra valores similares en junio y julio. Posteriormente, cuando existe una menor demanda evaporativa (agosto y septiembre), dicha tasa decrece hasta el final del ciclo, presentando valores cercanos a $1,2 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

El seguimiento diario de la transpiración realizado el **11 de septiembre de 2007** ha mostrado durante todo el día valores muy similares en los tres tratamientos estudiados (figura III.35). No se han observado diferencias con significación estadística entre tratamientos. Los valores de transpiración observados durante el seguimiento han sido muy bajos, debido principalmente a las escasas reservas hídricas restantes en el suelo al final del ciclo, lo que provoca el cierre estomático y la consiguiente reducción de la tasa de transpiración (Boselli y Scienza 1980, Novello y Cravero 1987).

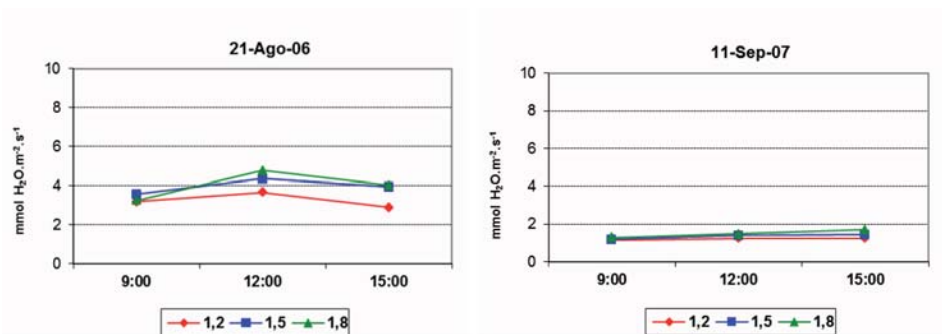


Figura III.35. Evolución diaria de la transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) en agosto de 2006 y septiembre de 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**.

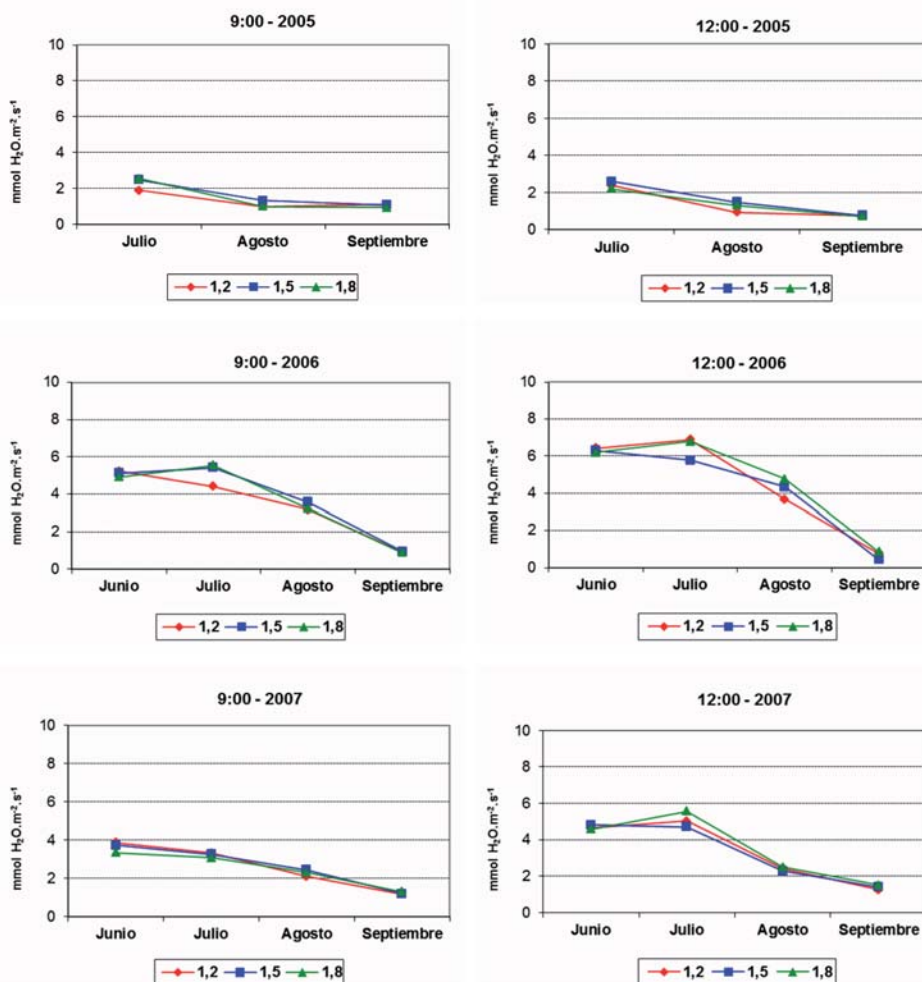


Figura III.36. Evolución de la transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medida a las 9:00 hora solar (izquierda) y a las 12:00 hora solar (derecha) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**.

TORO

Las medidas de transpiración realizadas en **2006** a las **9:00** hs y a las **12:00** hs no han mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (tabla III.38), y no han mostrado una tendencia definida entre ellos. Se ha observado un descenso de la tasa de transpiración de julio a septiembre en todos los tratamientos experimentales. Este descenso ha sido más acusado a las 12:00 hs, observándose valores de transpiración cercanos a sólo $0,75 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ al final del ciclo. En este sentido, Pérez (2002),

trabajando con la misma variedad, observó un descenso de la transpiración hasta final de ciclo, debido a una menor demanda evaporativa en el periodo que va de tamaño guisante a maduración (Archer y Strauss 1990, Baeza 1994).

2.4 Fotosíntesis

La evolución diaria de la fotosíntesis (A) estudiada corresponde a medidas realizadas a las 9:00 y 12:00 hs en julio y septiembre del año 2006 en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero y Toro. En los ensayos de Pollos y Rodilana la evolución diaria estudiada corresponde a las 9:00 y a las 12:00 hs en los meses de julio, agosto y septiembre en los años 2005, 2006 y 2007, habiendo sido ampliada al mes de junio en 2006 y 2007. De igual forma, el seguimiento diario se amplió a las 15:00 hs en agosto de 2006 y septiembre de 2007. Los resultados medios de cada día de medida en los ensayos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro están reflejados en las tablas III.39, III.40, III.41 y III.42 respectivamente.

Tabla III. 39. Ensayo experimental de **Castrillo de Duero**: valores de fotosíntesis (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) medidos a las 9:00 hora solar y a las 12:00 hora solar de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los días 26 de julio y 19 de septiembre del año 2006. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamientos	2006			
	26-Julio		19-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00
1,2	18,71	8,28	9,47	8,41
1,5	18,13	8,49	11,13	10,04
1,8	17,41	11,54	9,22	7,91
Sig	ns	ns	ns	ns

Tabla III. 40. Ensayo experimental de **Pollos**: valores de fotosíntesis (A) ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medidos a las 9:00 hora solar, a las 12:00 hora solar y a las 15:00 hora solar de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los años 2005, 2006 y 2007. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$.

T	2005									
	12-Julio		9-Agosto				9-Septiembre			
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00		
1,2	12,76	7,61	5,77 ^b	5,08	12,29	13,73				
1,5	14,18	9,66	10,29 ^a	4,65	14,14	14,98				
1,8	13,20	8,91	7,37 ^{ab}	4,65	13,99	15,88				
Sig	ns	ns	*	ns	ns	ns				

T	2006									
	12-Junio		21-Julio		22-Agosto			18-Septiembre		
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	
1,2	19,65	18,84 ^a	9,85	4,67 ^b	12,37 ^a	6,63	4,03	13,53	10,22	
1,5	18,99	16,61 ^b	10,55	6,16 ^{ab}	9,16 ^b	6,05	3,92	13,11	10,09	
1,8	18,63	16,00 ^b	8,52	6,90 ^a	12,19 ^a	6,47	5,15	12,63	10,23	
Sig	ns	**	ns	*	**	ns	ns	ns	ns	

T	2007									
	21-Junio		19-Julio		17-Agosto		19-Septiembre			
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00	
1,2	17,21	17,54	15,03	16,45	7,59	7,01	10,03	10,90	10,94	
1,5	16,99	16,06	13,36	15,41	10,21	7,94	10,92	11,20	12,82	
1,8	16,83	17,80	14,23	16,93	9,56	7,63	10,76	11,19	11,62	
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

Tabla III. 41. Ensayo experimental de **Rodilana**: valores de fotosíntesis (A) ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medidos a las 9:00 hora solar, a las 12:00 hora solar y a las 15:00 hora solar de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los años 2005, 2006 y 2007. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$.

T	2005							
	14-Julio		13-Agosto				13-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00
1,2	5,75	3,29 ^b	4,19	2,63	5,31	3,47		
1,5	6,03	4,46 ^a	5,18	3,58	5,22	4,05		
1,8	6,49	3,37 ^b	4,49	3,69	5,05	3,63		
Sig	ns	*	ns	ns	ns	ns		

T	2006									
	19-Junio		17-Julio		21-Agosto			19-Septiembre		
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	
1,2	18,23	17,08	11,53	12,28	10,55	8,08	5,79	5,30	4,89	
1,5	17,88	16,44	13,54	10,54	11,20	8,83	6,92	6,15	5,57	
1,8	18,51	16,91	14,60	12,09	10,90	9,56	7,73	5,80	5,26	
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

T	2007									
	22-Junio		20-Julio		13-Agosto		11-Septiembre			
	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	9:00	12:00	15:00	
1,2	15,18	14,81	14,49	13,75	8,38	5,19	7,11	3,29	2,32	
1,5	14,96	13,60	14,54	13,63	8,72	4,92	7,03	4,57	2,94	
1,8	13,29	13,16	14,10	15,65	8,19	5,33	7,82	4,47	3,00	
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

Tabla III. 42. Ensayo experimental de **Toro**: valores de fotosíntesis (**A**) ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medidos a las 9:00 hora solar y a las 12:00 hora solar de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los días 28 de julio y 13 de septiembre del año 2006. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamientos	2006			
	28-Julio		13-Septiembre	
	9:00	12:00	9:00	12:00
1,2	7,74	4,85	6,66	4,04
1,5	7,37	5,38	5,46	4,14
1,8	8,42	6,14	6,83	4,09
Sig	ns	ns	ns	ns

CASTRILLO DE DUERO

Las medidas de fotosíntesis (A) realizadas en los meses de julio y septiembre del año **2006** a las **9:00** hs no han mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales (tabla III.39). El tratamiento 1,5 ha mostrado una tasa de fotosíntesis ligeramente mayor que los otros dos tratamientos en la medida realizada en septiembre. Los valores de A decrecen de julio a septiembre en todos los tratamientos. En este sentido, Yuste (1995) trabajando con la variedad Tempranillo y dos sistemas de conducción, observó un comportamiento estacional de la fotosíntesis similar, siendo ésta decreciente hasta el final del ciclo. Kriedemann (1977) justifica este comportamiento a través del aumento de estrés hídrico de la planta, estando estrechamente correlacionado con la conductancia estomática y el potencial hídrico foliar, como ocurrió tanto con la tasa de g_s como con el valor de ψ_g en este ensayo.

En las medidas de fotosíntesis realizadas en julio y septiembre a las **12:00** hs tampoco se han observado diferencias con significación estadística entre tratamientos (tabla III.39). El tratamiento 1,8 presentó el valor de A más alto en julio ($11,54 \mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) mientras que el tratamiento 1,5 fue el más alto en septiembre ($10,04 \mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Del mismo modo, Pérez (2002), trabajando con la misma variedad y dos densidades de plantación ($2,2 \times 1,15$ m y $2,7 \times 1,4$ m), observó que la asimilación de CO_2 a nivel de hoja individual fue más elevada en la baja que en la alta densidad.

Tanto en la medida de la fotosíntesis realizada en julio como en la de septiembre, se ha observado un descenso de valores de las 9:00 hs a las 12:00 hs, siendo este descenso mucho más acusado en la medida de julio, coincidiendo con la fase de crecimiento herbáceo de la baya. Según diversos

investigadores, la evolución diaria de la tasa de fotosíntesis alcanza un máximo en las primeras horas de la mañana y desciende posteriormente durante el resto del día, pudiendo recuperarse ligeramente avanzada la tarde (Bartolomé 1993, Lopes *et al.* 1994, Intriери *et al.* 1998, Gómez del Campo 1998).

POLLOS

En el año **2005**, la evolución estacional realizada a las **9:00** hs ha mostrado un descenso en agosto y una recuperación al final del ciclo (figura III.38). Se ha observado una tendencia del tratamiento 1,5 a presentar mayor tasa de fotosíntesis durante todo el ciclo a las 9:00 hs, al igual que se observó con la conductancia estomática y el potencial hídrico foliar (ψ_0). Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en agosto entre el tratamiento 1,5, que ha mostrado una tasa de asimilación de CO_2 de $10,29 \mu\text{mol}.\text{CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, y el tratamiento 1,2, con una tasa de $5,77 \mu\text{mol}.\text{CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Carbonneau (1992) indica que la fotosíntesis aumenta desde el desborre hasta junio o julio y posteriormente decrece progresivamente. En este ensayo, cuando el estrés hídrico y las condiciones meteorológicas no fueron tan severas, al final del ciclo, las plantas llegaron a rehidratarse por la noche (Van Zyl 1987), volviendo a mostrar valores de asimilación de CO_2 superiores a los observados en agosto.

La evolución estacional medida a las **12:00** hs no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales (figura III.38). Se ha observado un descenso de la tasa de fotosíntesis en agosto y una clara recuperación al final del ciclo, con los valores más altos, llegando el tratamiento 1,8 a alcanzar el máximo valor, $15,88 \mu\text{mol}.\text{CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Estos resultados son similares a los indicados por Pérez (2002), quien observó que la densidad más baja mostraba los valores de fotosíntesis más altos. De igual forma, Archer y Strauss (1990) observaron que la tasa de fotosíntesis era más alta en las densidades de plantación más bajas y más baja en los espaciamientos más estrechos.

En julio y agosto la tasa de fotosíntesis disminuyó ligeramente de las 9:00 hs a las 12:00 hs, ya que las condiciones meteorológicas durante el verano de 2005 fueron muy adversas, con altas temperaturas y escasas precipitaciones. En cambio la tasa en septiembre aumentó ligeramente de las 9:00 a las 12:00 hs, cuando las condiciones meteorológicas no fueron tan limitantes y las plantas lograron rehidratarse bien por la noche. Archer y Strauss (1990) obtuvieron ligeros ascensos de la tasa de fotosíntesis a lo largo del día, siendo estos ascensos menores a medida que avanzaba el ciclo.

En el año **2006**, la evolución estacional de la fotosíntesis medida a las **9:00** hs ha mostrado un descenso brusco de los valores de A de junio a julio. Posteriormente, la tasa ha experimentado un ligero ascenso progresivo hasta maduración (figura III.38). En agosto se han observado diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) entre tratamientos experimentales, en perjuicio del tratamiento 1,5, que ha presentado una tasa de fotosíntesis de $9,16 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, inferior a los otros tratamientos. En otras condiciones de ensayo, Archer y Strauss (1990), trabajando con seis densidades de plantación, observaron que la fotosíntesis aumentaba de floración a tamaño guisante y decrecía de tamaño guisante a maduración en todos los tratamientos experimentales.

El seguimiento estacional de la tasa de fotosíntesis medida a las **12:00** hs ha mostrado una tendencia similar que a las 9:00 hs (figura III.38). Se ha observado un descenso brusco de los valores de fotosíntesis en julio. Posteriormente, la asimilación de CO_2 se mantuvo en agosto, y por último, se recuperó ligeramente al final del ciclo. Se han observado diferencias estadísticamente significativas en junio ($p < 0,01$) a favor del tratamiento 1,2, que mostró un valor de A de $18,84 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, y en julio ($p < 0,05$) en perjuicio del tratamiento 1,2, que mostró un valor de A de sólo $4,67 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Este mismo comportamiento se ha observado en la evolución estacional del potencial hídrico foliar (ψ_{12}) y la conductancia estomática (g_s). Yuste (1995) indica que el potencial hídrico foliar (ψ), la conductancia estomática (g_s) y la fotosíntesis (A) presentan evoluciones estacionales muy similares entre sí. De igual forma, Pérez (2002) observó evoluciones estacionales similares en estos parámetros.

El seguimiento diario de la tasa de fotosíntesis realizado el **22 de agosto de 2006** ha mostrado diferencias estadísticamente significativas a las 9:00 hs en perjuicio del tratamiento 1,5, que ha mostrado un valor de $9,16 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (figura III.37). Posteriormente, la tasa de asimilación de CO_2 presentó valores muy similares en todos los tratamientos a las 12:00 hs y a las 15:00 hs. La evolución de la fotosíntesis muestra una línea decreciente a medida que avanza el día. De igual forma, Pérez (2002) observó un modelo decreciente en el comportamiento de la fotosíntesis a lo largo del día, coincidiendo con un descenso del potencial hídrico foliar (ψ). Pasadas las 12:00 hs, el descenso se atenúa, situándose en valores en torno a $4 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. En cambio, otros autores observaron, en diversas situaciones de cultivo, ligeros ascensos de la tasa de asimilación de CO_2 por la tarde (Lopes *et al.* 1994, Intriari *et al.* 1998, Gómez del Campo 1998). En este sentido, Slavtcheva (1990) indica que los cambios diarios y estacionales

de la tasa de fotosíntesis están en estrecha relación con los cambios medioambientales, principalmente la temperatura y la humedad del aire.

En el año **2007**, la evolución estacional de la fotosíntesis medida a las **9:00** hs ha mostrado un descenso de los valores de A hasta agosto, para posteriormente, mantenerse o experimentar una ligera recuperación al final del ciclo (figura III.38). No se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos. La tasa de fotosíntesis mínima ha sido mostrada por el tratamiento 1,2 en agosto, presentando un valor de $7,59 \mu\text{mol}.\text{CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, sensiblemente menor que la tasa de asimilación de CO_2 mostrada por los tratamientos 1,5 ($10,21 \mu\text{mol}.\text{CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) y 1,8 ($9,56 \mu\text{mol}.\text{CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Pérez (2002) encontró resultados similares, trabajando con la misma variedad, al observar que la tasa de asimilación de CO_2 a nivel de hoja individual era más elevada en la baja que en la alta densidad.

El seguimiento estacional de la fotosíntesis medida a las **12:00** hs ha mostrado un ligero descenso de la tasa de fotosíntesis de junio a julio en los tres tratamientos experimentales (figura III.38). Posteriormente, en agosto se produjo un descenso brusco de la fotosíntesis, observándose los valores mínimos de todo el ciclo, con tasas en torno a $7,5 \mu\text{mol}.\text{CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ en todos los tratamientos. Por último, se observó una ligera recuperación de la tasa de asimilación de CO_2 al final del ciclo, con valores de A en torno a $11 \mu\text{mol}.\text{CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque se ha observado que el tratamiento 1,2 no ha mostrado en ninguna fecha de medida los valores más altos de fotosíntesis. De acuerdo con estos resultados, Archer y Strauss (1990) y Pérez (2002) observaron que las densidades de plantación más elevadas, en sus respectivos estudios, mostraban los valores más bajos de fotosíntesis, aunque sin encontrar diferencias estadísticamente significativas.

El seguimiento diario de la tasa de fotosíntesis realizado el **19 de septiembre de 2007** ha mostrado un ligero ascenso de los valores de fotosíntesis de las 9:00 hs a las 15:00 hs (figura III.37). No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque el tratamiento 1,2 ha mostrado una tendencia a presentar las tasas de fotosíntesis más bajas a lo largo del día. En cambio, en otras condiciones de ensayo, Carbonneau y De Loth (1985) observaron una reducción del potencial fotosintético bastante regular de la mitad de la mañana a la mitad de la tarde.

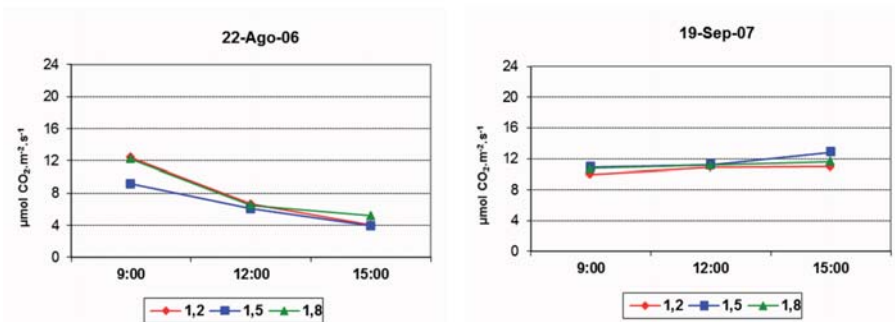


Figura III.37. Evolución diaria de la fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en agosto de 2006 y septiembre de 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**

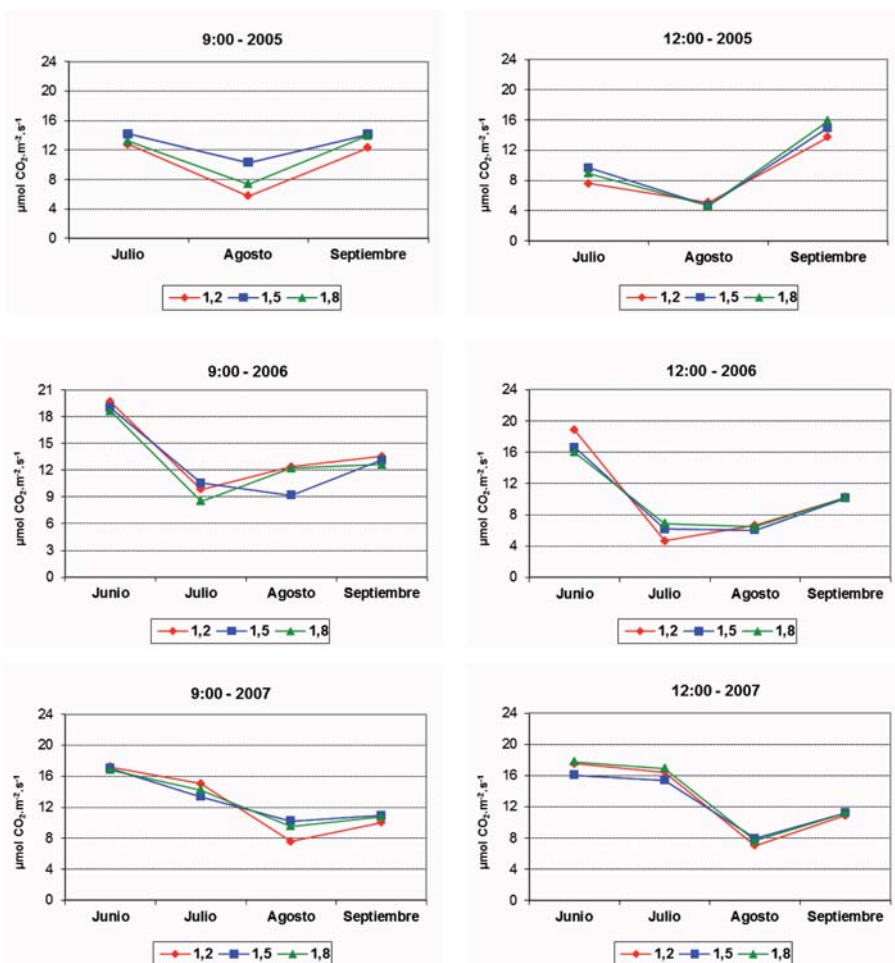


Figura III.38. Evolución de la fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medida a las **9:00** hora solar (izquierda) y alas **12:00** hora solar (derecha) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Pollos**.

RODILANA

En el año **2005**, el seguimiento estacional de la fotosíntesis realizado a las **9:00** hs ha presentado valores bastante bajos muy similares durante todo el ciclo, observándose apenas un mínimo en agosto en todos los tratamientos experimentales (figura III.40). No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales. Este comportamiento ha sido similar al observado en la conductancia estomática. En este sentido, Düring y Klingenmeyer (1987) indican que una mayor apertura estomática incrementa la disponibilidad de CO₂ necesario para la fotosíntesis pero ocasiona al mismo tiempo una inevitable pérdida de agua. De igual forma, Hunter y Visser (1988) y Archer y Strauss (1989) sostienen que la fotosíntesis está estrechamente correlacionada con la conductancia estomática y el potencial hídrico.

El seguimiento estacional de la fotosíntesis medida a las **12:00** hs ha mostrado el mismo comportamiento que a las 9:00 hs, observándose apenas un mínimo en agosto (figura III.40), llegando el tratamiento 1,2 a presentar un valor de tan sólo 2,63 $\mu\text{mol.CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento 1,5 en julio, mostrando un valor de 4,46 $\mu\text{mol.CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar menor tasa de fotosíntesis durante todo el ciclo. De igual forma, esta misma tendencia de los espaciamientos más estrechos a presentar menor tasa de fotosíntesis fue observada por Archer y Strauss (1990) con la variedad Pinot noir, y por Pérez (2002) con la variedad Tempranillo.

En el año **2006**, el seguimiento estacional de la fotosíntesis medida a las **9:00** hs ha mostrado un descenso continuo hasta el final de ciclo (figura III.40). No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ninguna fecha de medida. En general, el 1,2 ha presentado menor tasa de asimilación de CO₂, sobre todo en julio, mientras que el 1,8 ha mostrado cierta tendencia a presentar mayores valores de fotosíntesis que los otros tratamientos. Yuste (1995) observó un comportamiento de la fotosíntesis similar a lo largo del ciclo, mostrando la tasa de fotosíntesis un descenso hasta maduración. En este sentido, Guardiola y García (1990) indican que a medida que avanza el ciclo y la reserva hídrica del suelo se va agotando, la planta cierra parcial o totalmente los estomas, aumentando la resistencia estomática al CO₂ y disminuyendo la tasa de fotosíntesis.

El seguimiento estacional de la fotosíntesis medida a las **12:00** hs ha

mostrado el mismo comportamiento que a las 9:00 hs, con un descenso de la fotosíntesis hasta el final de ciclo (figura III.40). La tasa mínima fue observada en el 1,2 en septiembre, con un valor de fotosíntesis de 4,89 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. No se han observado diferencias con significación estadística entre tratamientos en ningún momento del ciclo. En este sentido, Dettori y Spano (1990) señalan la influencia negativa del estrés hídrico acusado sobre la fisiología de la planta, especialmente sobre la fotosíntesis, que se ve disminuida a medida que avanza el ciclo, acusándose un estrés hídrico mayor en cepas en condiciones de cultivo de secano.

El seguimiento diario de la fotosíntesis realizado el **21 de agosto de 2006** ha mostrado un descenso progresivo de los valores a lo largo del día, observándose el máximo a las 9:00 hs y el mínimo a las 15:00 hs (figura III.39). No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, sin embargo, se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar valores más bajos durante todo el día, que son más acusados a medida que transcurre el día. Este comportamiento es explicado por Van Zyl (1987) al indicar que a medida que el estrés hídrico se va agravando a lo largo del ciclo, y el calor del aire es más intenso, la tasa de fotosíntesis es menor desde muy pronto por la mañana, ya que la rehidratación de la planta por la noche es insuficiente.

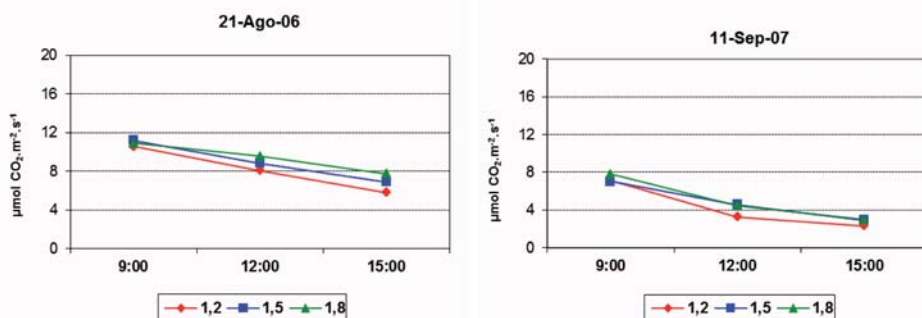


Figura III.39. Evolución diaria de la fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) en agosto de 2006 y septiembre de 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**.

En el año **2007**, la evolución estacional medida las **9:00** hs ha mostrado valores similares en junio y julio (figura III.40), apareciendo el 1,8 con el valor más bajo en ambos meses, 13,29 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, aunque sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ningún momento del ciclo. Posteriormente, la tasa de fotosíntesis descendió considerablemente en agosto, y por último, en septiembre, alcanzó los valores mínimos, en torno a 7

$\mu\text{mol.CO}_2\text{.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$ en los tres tratamientos. En este ensayo no se ha aplicado ningún riego, de manera que a medida que los recursos hídricos del suelo se han ido agotando, el potencial hídrico foliar (ψ) y la tasa de fotosíntesis han ido disminuyendo. De igual forma, esta tendencia ha sido indicada por varios investigadores, al observar que la tasa de fotosíntesis es sensible a los cambios de potencial hídrico foliar (Kriedemann y Smart 1971, Liu *et al.* 1978).

El seguimiento estacional realizado a las **12:00** hs ha mostrado la misma tendencia que a las 9:00 hs, con valores similares en junio y julio (figura III.40). La máxima tasa de asimilación de CO_2 fue observada en el 1,8, con un valor de $15,65 \mu\text{mol.CO}_2\text{.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$ en julio. Posteriormente, la tasa de fotosíntesis decreció considerablemente en agosto, y por último, disminuyó ligeramente en septiembre, mostrando el 1,2 el valor mínimo de tasa de fotosíntesis, $3,29 \mu\text{mol.CO}_2\text{.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$. No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ningún momento del ciclo.

El seguimiento diario realizado el **11 de septiembre de 2007** ha mostrado un descenso continuo de la tasa desde las 9:00 hs hasta las 15:00 hs (figura III.39). No se han observado diferencias con significación estadística. Sin embargo, se ha observado una ligera tendencia del 1,8 a presentar valores algo mayores de fotosíntesis, sobre todo con respecto al 1,2, que ha presentado valores más bajos en general. Archer y Strauss (1990) y Pérez (2002) obtuvieron resultados similares al observar que los espaciamientos más grandes presentaban una tasa unitaria mayor que los espaciamientos más estrechos.

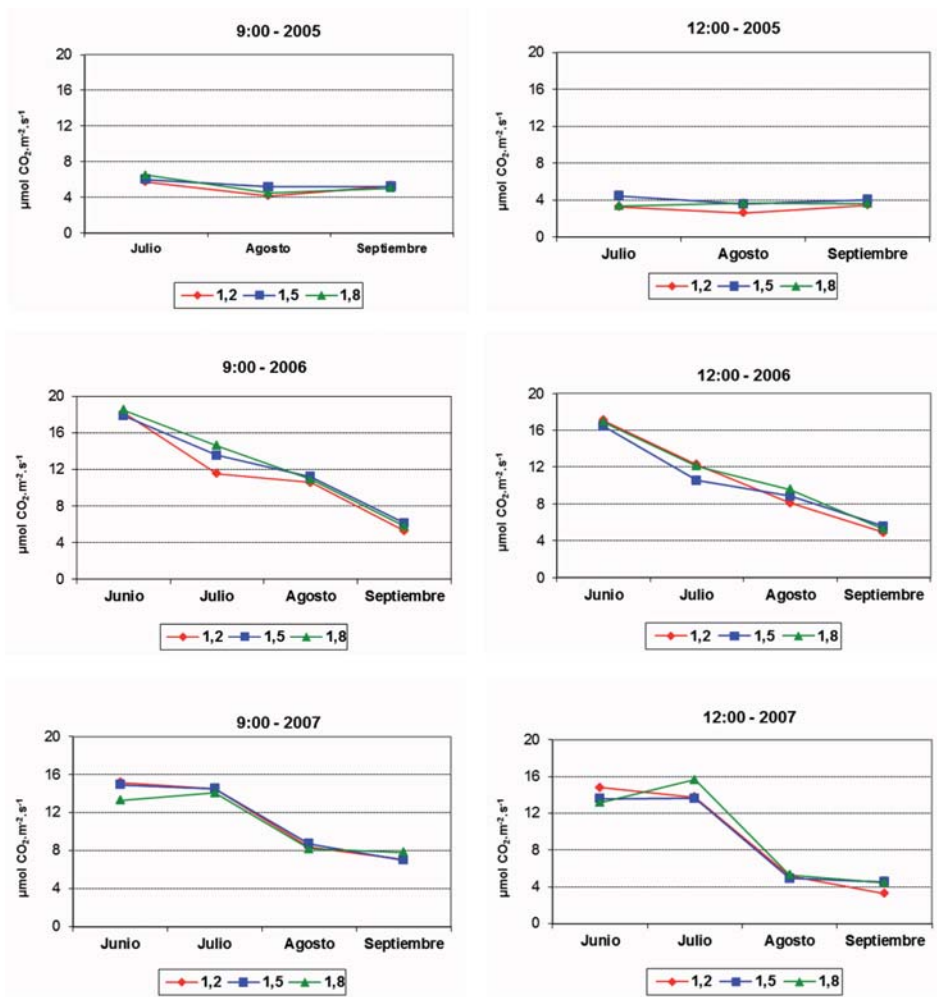


Figura III.40. Evolución de la fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) medida a las **9:00** hora solar (izquierda) y a las **12:00** hora solar (derecha) en los años 2005, 2006 y 2007 en el ensayo experimental de **Rodilana**.

TORO

Las medidas de fotosíntesis realizadas en el año **2006** a las **9:00** hs han mostrado un ligero descenso de julio a septiembre (tabla III.42), observándose una ligera tendencia del tratamiento 1,8 a presentar mayor tasa de fotosíntesis, aunque sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. En este sentido, González (2003) indica que la fotosíntesis aumenta al principio de ciclo para alcanzar un máximo a media estación y posteriormente disminuir hasta la caída de hoja.

Las medidas de fotosíntesis realizadas a las **12:00** hs han mostrado un ligero descenso de julio a septiembre (tabla III.42), observándose valores más bajos que en las realizadas a las 9:00 hs. No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ningún momento del ciclo, aunque el tratamiento 1,8 presentó un valor mayor que los otros dos tratamientos en julio.

3 Productividad Global: Materia Seca

La producción global de materia seca que es capaz de obtener una planta es un índice de la capacidad de un viñedo (Carbonneau y Casteran 1986), estando relacionada con la arquitectura de la cubierta vegetal y con la superficie foliar total y externa (Miller *et al.* 1996 a,b), es decir, con su capacidad para fijar carbono en las condiciones ambientales en las que se desarrolla (Fernández *et al.* 1977 a, Petrie *et al.* 2000 a), sobre todo cuando ésta se evalúa a nivel de planta entera (Miller *et al.* 1997).

Yuste (1995) indica que el análisis de la biomasa de los órganos renovables de la planta, expresada en materia seca, es una forma objetiva de evaluar el crecimiento y el desarrollo y de cuantificar, en unas determinadas condiciones, el potencial productivo de la vid. Dicho análisis, presenta la limitación de que en el balance de biomasa no se incluyen las estructuras permanentes, y sobre todo las radicales de la cepa. En este sentido, Carbonneau y Casteran (1986) indican que existe un equilibrio a nivel de planta entera entre el desarrollo de la parte aérea y el de la parte radicular.

3.1 Producción global de materia seca

La productividad global se mide a través de la acumulación de materia seca en todos los órganos de la cepa. Es la manera de determinar la eficacia y la productividad real de las plantas (Baeza 1994), que también se pone de manifiesto al estudiar la distribución de la materia seca en los distintos órganos renovables de la cepa. La materia seca ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) acumulada de los distintos órganos renovables de la planta en los tratamientos estudiados se ha determinado al final del ciclo vegetativo.

En las tablas III.43, III.44, III.45 y III.46 se expone la producción de materia

seca total por unidad de superficie de suelo, así como su distribución, tanto en valor absoluto como en porcentaje, en las partes renovables de la cepa (hojas, tallos y racimos) en los años 2005, 2006 y 2007, correspondiente a los ensayos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro respectivamente. También aparece reflejada en dichas tablas la significación del análisis estadístico correspondiente tanto a la producción de materia seca como a su reparto porcentual en los distintos órganos renovables de la cepa.

Tabla III.43. Ensayo experimental de **Castrillo de Duero**: Materia seca total, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ de superficie de suelo (MST), y distribución en hojas, tallos y racimos en valor absoluto y porcentual, en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m). Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$.

Año	T	Hojas		Tallos		Racimos		MST
		$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	%	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	%	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	%	
2005	1,2	121	30	79	19	208	51	408
	1,5	93	22	80	19	250	59	423
	1,8	115	30	65	17	200	53	380
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006	1,2	152	27	116	21	286	52	554
	1,5	145	23	112	18	361	59	618
	1,8	142	26	99	19	290	55	531
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007	1,2	189	35	127	24	220	41	536
	1,5	183	33	123	22	255	45	561
	1,8	169	32	114	22	245	46	528
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.44. Ensayo experimental de **Pollo**: Materia seca total, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ de superficie de suelo (MST), y distribución en hojas, tallos y racimos en valor absoluto y porcentual, en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m). Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$.

Año	T	Hojas		Tallos		Racimos		MST
		$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	%	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	%	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	%	
2005	1,2	164	26	142	22	324	52	630
	1,5	163	28	128	22	284	50	575
	1,8	143	26	120	21	299	53	562
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006	1,2	157	22	184	26	375	52	716
	1,5	141	21	169	25	354	54	664
	1,8	140	21	156	24	355	55	651
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007	1,2	225 ^{ab}	33	182	26	284	41	691
	1,5	270 ^a	38	178	25	263	37	711
	1,8	191 ^b	31	158	26	269	43	618
	Sig	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla III.45. Ensayo experimental de **Rodilana**: Materia seca total, g.m^{-2} de superficie de suelo (MST), y distribución en hojas, tallos y racimos en valor absoluto y porcentual, en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m). Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Año	T	Hojas		Tallos		Racimos		MST
		g.m^{-2}	%	g.m^{-2}	%	g.m^{-2}	%	
2005	1,2	92	26	134	38	129	36	355
	1,5	72	22	132	41	118	37	322
	1,8	81	26	111	36	118	38	310
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006	1,2	158	34	111 ^a	24	191	42	460
	1,5	142	35	86 ^b	21	179	44	407
	1,8	140	38	68 ^b	18	165	44	373
	Sig	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
2007	1,2	199	31	173 ^a	27 ^a	272 ^a	42	644 ^a
	1,5	188	34	142 ^b	26 ^{ab}	221 ^b	40	551 ^b
	1,8	181	35	121 ^b	23 ^b	222 ^b	42	524 ^b
	Sig	ns	ns	**	*	*	ns	*

Tabla III.46. Ensayo experimental de **Toro**: Materia seca total, g.m^{-2} de superficie de suelo (MST), y distribución en hojas, tallos y racimos en valor absoluto y porcentual, en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m). Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Año	T	Hojas		Tallos		Racimos		MST
		g.m^{-2}	%	g.m^{-2}	%	g.m^{-2}	%	
2005	1,2	113 ^a	36	74	23	131	41	318
	1,5	60 ^b	26	62	26	113	48	235
	1,8	95 ^a	36	55	20	120	44	270
	Sig	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2006	1,2	156	36	101	23	175	41	432
	1,5	144	26	93	26	153	48	390
	1,8	143	33	89	22	187	45	419
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2007	1,2	190	52	107	30 ^b	66 ^b	18	363
	1,5	101	34	108	39 ^a	73 ^b	27	282
	1,8	134	39	105	31 ^b	101 ^a	30	340
	Sig	ns	ns	ns	*	*	ns	ns

CASTRILLO DE DUERO

Se han obtenido valores más altos de materia seca total, expresada en g.m^{-2} de suelo, en 2006 y 2007 que en 2005, debido a la menor severidad de las condiciones climáticas de 2006 y 2007, que permitió una mayor disponibilidad de agua en el suelo y un aumento considerable de consumo de agua por las cepas con respecto a 2005 y produjo un LAI mayor y una producción más elevada de fotosintatos por hectárea (figura III.41). En este

sentido, Lissarrague (1997) indica que la producción global del viñedo, o materia seca total acumulada por las cepas, depende del consumo de agua por parte de las plantas, y generalmente aumenta al aumentar éste. De igual forma, Petrie *et al.* (2000 b) señalan que el área foliar de cada planta de vid (fuente de abastecimiento de fotosintatos) determina la producción de hidratos de carbono y establece la cantidad de cosecha que puede madurar.

Las diferencias encontradas en la materia seca total entre tratamientos no han sido estadísticamente significativas en ninguno de los años de estudio (tabla III.4.3). Aunque los valores observados son similares en los tres tratamientos, se ha observado una tendencia del 1,5 a presentar mayor cantidad de materia seca total y del 1,8 a presentarla menor en los tres años de estudio.

Estos resultados son diferentes a los observados por Pérez (2002), que encontró valores de materia seca total mayores en la densidad de plantación más alta, tanto en secano como en regadío. Este autor explica dichos resultados a través de la mayor presencia de hojas funcionales por hectárea en la alta densidad (2,2×1,15 m: 3.953 cepas.ha⁻¹) que en la baja densidad (2,7×1,4 m: 2.645 cepas.ha⁻¹). Dichas hojas compensaron la menor tasa de fotosíntesis unitaria de los espaciamientos más cerrados con una mayor producción de fotosintatos por unidad de superficie de suelo.

Hunter (1998 a) trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación (1×0,5 m; 1×1 m; 2×1 m; 2×2 m; 3×1,5 m y 3×3 m) encontró diferencias estadísticamente significativas en la producción de materia seca entre las densidades de plantación que tenían una separación entre cepas igual o superior a 1,5 m y las que tenían una separación entre cepas de 1,0 m o inferior.

POLLOS

Al igual que en el ensayo de Castrillo de Duero, los valores de materia seca total (g.m⁻² de suelo) obtenidos en 2006 y 2007 han sido mayores que en 2005, debido a la mayor severidad de las condiciones climáticas de este año (figura III.4.1). En todo caso, las diferencias entre 2005 y los otros dos años no han sido tan grandes en este ensayo, debido principalmente a los riegos aportados durante el periodo vegetativo, que atenuaron el excesivo estrés hídrico al que se vieron sometidas las plantas en 2005.

En este sentido, Gómez del Campo (1998) indica que el estrés hídrico reduce

la materia seca acumulada en la medida que provoca una disminución del área foliar, y por consiguiente, una menor producción de fotosintatos. De igual forma, Monteith (1977) señala que la conversión de radiación interceptada en materia seca puede verse reducida cuando los cultivos están sometidos a estrés hídrico.

No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales durante el periodo de estudio (tabla III.44). No obstante, se ha podido observar una tendencia a producir más materia seca total a medida que la densidad de plantación aumenta, mostrando el tratamiento 1,2 mayor producción de materia seca total en 2005 (630 g.m^{-2}) y en 2006 (716 g.m^{-2}) que los otros dos tratamientos. Esta tendencia ha sido menos clara en 2007, ya que el tratamiento 1,5 generó una cantidad de materia seca total (711 g.m^{-2}) ligeramente superior a la del tratamiento 1,2 (691 g.m^{-2}).

Estos resultados son similares a los obtenidos por Pérez (2002), trabajando con la misma variedad en dos densidades de plantación ($2,2 \times 1,15 \text{ m}$ y $2,7 \times 1,4 \text{ m}$) y con dos regímenes hídricos (secano y regadío), ya que observó valores mayores de materia seca en la alta densidad que en la baja densidad, tanto en secano como en regadío. De igual forma, Hunter (1998 a), trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación ($1 \times 0,5 \text{ m}$; $1 \times 1 \text{ m}$; $2 \times 1 \text{ m}$; $2 \times 2 \text{ m}$; $3 \times 1,5 \text{ m}$ y $3 \times 3 \text{ m}$), observó mayor producción global de materia seca en los espaciamientos más estrechos.

En general, este ensayo experimental ha presentado mayor producción de materia seca total que el resto de ensayos. Esta circunstancia está relacionada con la mayor disponibilidad hídrica (riego) de las plantas durante el periodo de estudio, que favoreció el incremento del desarrollo foliar y del nivel de asimilación de CO_2 , dando lugar, por consiguiente a una mayor producción de materia seca en los órganos renovables de la planta. En este sentido, Albuquerque (1993) señala que una disponibilidad de agua suficiente para las plantas favorece, en general, la producción de materia seca en sus diversos órganos, puesto que en tal situación el agua no es un factor limitante para la actividad fisiológica de la planta.

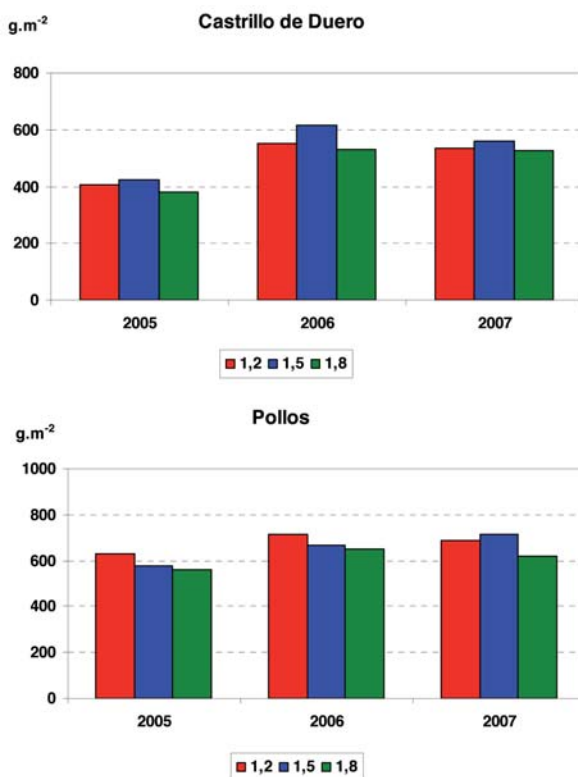


Figura III.41. Materia seca total (g.m⁻² de superficie de suelo) de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en 2005, 2006 y 2007 de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero** (arriba) y **Pollos** (abajo).

RODILANA

La cantidad de materia seca total observada en este ensayo, cultivado en secano, está estrechamente relacionada con la escasa pluviometría recogida en el periodo comprendido entre envero y maduración (agosto y septiembre). Según Downton *et al.* (1987), la parte del ciclo comprendida entre envero y maduración es un periodo en que se produce gran acumulación de materia seca. De esta forma, en 2005 se han observado los valores más bajos de materia seca total, recogiéndose una pluviometría en el citado periodo de tan sólo 9,5 mm. En 2006 y 2007 se recogieron en dicho periodo 44 mm y 63 mm respectivamente. Consecuentemente, se han observado valores de materia seca total crecientes de 2005 a 2007, siendo la cantidad de materia seca en 2007 un 74% mayor que 2005 y un 38% mayor que en 2006 (figura III.42). En este sentido, Lissarrague (1997) señala que la cantidad de materia seca total desarrollada por las cepas depende del consumo de agua por parte de las plantas, y generalmente aumenta cuando dicho consumo es mayor.

En los tres años de estudio se ha observado una tendencia a desarrollar mayor materia seca total a medida que la distancia entre cepas es menor (tabla III.45). De esta forma, el tratamiento 1,2 ha mostrado valores de 355 g.m⁻², 460 g.m⁻² y 644 g.m⁻², y el tratamiento 1,8 de 310 g.m⁻², 373 g.m⁻² y 524 g.m⁻² en 2005, 2006 y 2007 respectivamente. Sin embargo, las diferencias únicamente resultaron estadísticamente significativas en 2007, a favor del tratamiento 1,2.

Estos resultados son similares a la obtenidos por Hunter (1998 a) trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación, donde los espaciamientos más estrechos mostraron mayor acumulación de materia seca. Pérez (2002), trabajando con la variedad Tempranillo en dos densidades de plantación y dos regímenes hídricos, observó esta misma tendencia, al mostrar la alta densidad de plantación mayor producción de materia seca total.

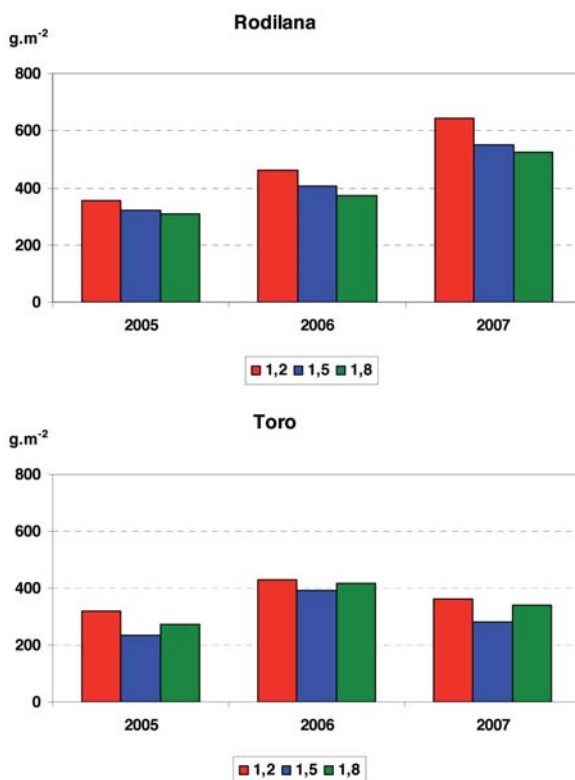


Figura III.42. Materia seca total (g.m⁻² de superficie de suelo) de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en 2005, 2006 y 2007 de los ensayos de **Rodilana** (arriba) y **Toro** (abajo).

TORO

La producción de materia seca total en este ensayo no ha mostrado la misma tendencia creciente a lo largo de los tres años que en los otros ensayos experimentales (figura III.42). Esta circunstancia está estrechamente relacionada con un pedrisco ocurrido al principio del ciclo de 2007, que causó grandes daños en las cepas. Así, el número de racimos por cepa disminuyó notablemente, por lo que tanto la aportación de materia seca de los racimos a la materia seca global se vio disminuida enormemente en comparación con los otros dos años.

En general, este ensayo experimental ha mostrado menor cantidad de materia seca total que los otros tres ensayos. De igual forma, el desarrollo foliar de este ensayo ha sido menor que el de los otros ensayos, ya que no se han aplicado riegos que atenuasen el estrés hídrico soportado por las plantas en los tres años de estudio. Así, la producción de fotosintatos se redujo notablemente al disminuir la superficie foliar, disminuyendo consecuentemente la producción de materia seca global. En este sentido, Heath y Hebblethwaite (1987) indican que el cultivo convierte la radiación interceptada en materia seca con eficiencia constante durante todo el ciclo si no existen limitaciones, en cambio en condiciones de estrés hídrico severo, la eficiencia fotosintética se ve reducida notablemente.

En los tres años de estudio se ha observado la tendencia del tratamiento 1,2 a presentar mayor cantidad de materia seca que los otros tratamientos, mostrando valores de 318 g.m^{-2} , 432 g.m^{-2} y 363 g.m^{-2} en 2005, 2006 y 2007 respectivamente (tabla III.46). Sin embargo, no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos en el periodo de estudio. Esta tendencia es similar a la observada por Hunter (1998 a) y por Pérez (2002) al desarrollar más materia seca los espaciamientos más cortos.

También se ha observado, a diferencia de otros ensayos, una tendencia del 1,5 a desarrollar menos materia seca total que el tratamiento 1,8 con valores de 235 g.m^{-2} , 390 g.m^{-2} y 282 g.m^{-2} en 2005, 2006 y 2007, frente a los valores de 270 g.m^{-2} , 419 g.m^{-2} y 340 g.m^{-2} respectivamente del 1,8.

3.2 Distribución de materia seca en órganos renovables

La contribución porcentual de hojas, tallos y racimos a la materia seca total producida, junto con los valores absolutos, en g.m^{-2} de suelo, de cada uno de los citados órganos, y el análisis estadístico de los ensayos experimentales

de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro en 2005, 2006 y 2007, aparecen reflejados en las tablas III.43, III.44, III.45 y III. 46, respectivamente, y en las figuras III.43, III.44.

Petrie *et al.* (2000 b) señalan que la capacidad de la vid para producir materia seca se gobierna por la interacción entre la disposición innata que tiene la vid para fijar carbono y las condiciones medioambientales en las que se desarrolla, mientras que las prácticas de manejo pueden influir donde se producen los carbohidratos para distribuirlos a las bayas o a las partes vegetativas.

CASTRILLO DE DUERO

Se ha observado que la materia seca de hojas y tallos del tratamiento 1,2 ha presentado valores medios más elevados que los otros dos tratamientos en los tres años de estudio, aunque sin resultar las diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Sin embargo, esta tendencia se invirtió en el caso de los racimos, ya que el tratamiento 1,2 presentó valores medios ligeramente más bajos que los tratamientos 1,5 y 1,8, aunque sin diferencias estadísticamente significativas en el periodo de estudio.

La contribución porcentual de los racimos a la materia seca total ha resultado mayor que la conjunta de hojas y tallos en **2005 y 2006**, en cambio en **2007**, la cantidad porcentual de los racimos fue ligeramente menor, observándose mayor contribución del conjunto de hojas y tallos en dicho año. No se han observado diferencias estadísticamente significativas en valores porcentuales en hojas, tallos y racimos entre los tratamientos de distancia entre cepas.

Los porcentajes de reparto de materia seca hallados en este ensayo entran dentro del rango de los obtenidos por Bartolomé (1993) y por Fregoni (1980), quienes encontraron porcentajes de 42-53% en racimos, de 22-37% en sarmientos y de 19-29% en hojas, en secano y regadío respectivamente.

POLLOS

En **2005 y 2006** los porcentajes de materia seca en hojas, tallos y racimos son similares en todos los tratamientos, no observándose diferencias estadísticamente significativas entre ellos. No se ha observado ninguna tendencia clara entre tratamientos en cuanto a dicho porcentaje de materia seca acumulada en hojas, tallos y racimos, con valores de 21-28% en hojas, 21-26% en tallos y 55-50% en racimos. En cambio, se ha observado una tendencia

a desarrollar más materia seca en valor absoluto en hojas y tallos a medida que se acorta la distancia entre cepas, mientras que en racimos fue menor en el 1,2 pero similar en el 1,5 y 1,8. Sin embargo, dichas diferencias no han resultado estadísticamente significativas. Esta tendencia es similar a la observada por Hunter (1998 a) trabajando con la Pinot noir y seis densidades de plantación (1×0,5 m; 1×1 m; 2×1 m; 2×2 m; 3×1,5 m y 3×3 m), al encontrar diferencias estadísticamente significativas entre las densidades de plantación que tenían una separación entre cepas igual o superior a 1,5 m y las que tenían una separación entre cepas de 1,0 m o inferior.

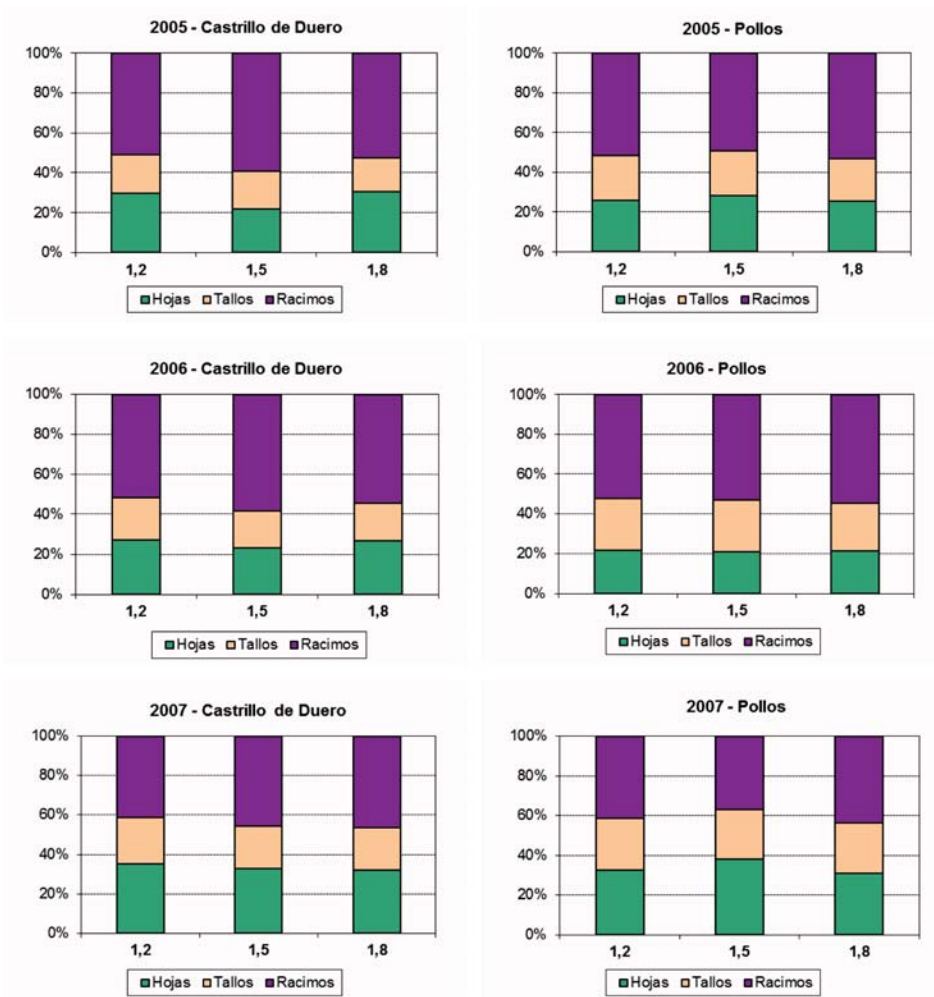


Figura III.43. Distribución en porcentaje de materia seca en hojas, tallos y racimos, en 2005, 2006 y 2007, correspondiente a los tratamientos 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero** (izquierda) y **Pollos** (derecha).

En **2007** se han observado diferencias con significación estadística en la materia seca acumulada en hojas, mostrando el tratamiento 1,5 un valor mayor y el tratamiento 1,8 un valor menor de materia seca en hojas. En cambio, los valores de materia seca en tallos y racimos no han mostrado diferencias estadísticamente significativas, aunque se ha observado la misma tendencia en dichos órganos que en 2005 y 2006, con mayor acumulación de materia seca en el tratamiento de menor distancia entre cepas. Los porcentajes de acumulación de materia seca de los tres tratamientos en hojas, tallos y racimos no han mostrado ninguna tendencia entre ellos, ni se han observado diferencias con significación estadística. Los porcentajes obtenidos en hojas en 2007 (31-38%) son ligeramente superiores a los obtenidos en 2005 (26-28%) y 2006 (21-22%). Estos resultados guardan relación con el mayor desarrollo foliar observado en los tres tratamientos en dicho año. En cambio, los porcentajes de materia seca acumulada en racimos (37-43%) son menores que en los años anteriores (50-55%), gracias a la mayor contribución de las hojas a la materia seca total, siendo la contribución de los tallos similar en los tres años de estudio (21-26%).

RODILANA

En **2005** no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ni en los valores porcentuales ni en los valores absolutos de materia seca acumulada en hojas, tallos y racimos. Se ha observado una tendencia a presentar mayor cantidad de materia seca en todos los órganos vegetativos de la vid estudiados (hojas, tallos y racimos) a medida que se reduce la distancia entre cepas. Esta misma tendencia fue observada por Hunter (1998 a) con la variedad Pinot noir y por Pérez (2002) con la variedad Tempranillo. Los porcentajes de reparto de materia seca observados son de 22-26% en hojas, 36-41% en tallos y 36-38% en racimos.

En **2006** el reparto de materia seca en hojas, tallos y racimos sigue la misma tendencia que en 2005, siendo mayor la materia seca acumulada en dichos órganos a medida que aumenta la densidad de plantación. Sin embargo, únicamente se han encontrado diferencias estadísticamente significativas, a favor del tratamiento 1,2, en la materia seca de tallos, mostrando dicho tratamiento un valor de 111 g.m^{-2} , sensiblemente mayor a los valores mostrados por los tratamientos 1,5 y 1,8. Los porcentajes de reparto de materia seca en hojas, tallos y racimos no han mostrado diferencias con significación estadística, mostrando valores muy similares todos los tratamientos (34-38% en hojas, 18-24% en tallos y 42-44% en racimos).

En **2007** se ha observado la misma tendencia a acumular más materia seca a medida que disminuye la distancia entre cepas en todos los órganos renovables de la planta, encontrándose diferencias estadísticamente significativas en tallos y racimos a favor del tratamiento 1,2. Las diferencias de distribución porcentual en tallos han sido estadísticamente significativas en perjuicio del tratamiento 1,8, que ha mostrado el porcentaje más bajo, del 23%. Los porcentajes de reparto observados son de 31-35% en hojas, 23-27% en tallos y 40-42% en racimos.

Los porcentajes de materia seca en hojas, tallos y racimos observados son similares a los mostrados por Bartolomé (1993). Este autor indica que la contribución de hojas y sarmientos en las vides de secano es mayor que la de los racimos, mientras que ocurre lo contrario en las vides de regadío, en las que los racimos son los que más contribuyen a la materia seca total.

TORO

En **2005**, se ha observado una tendencia del tratamiento 1,2, similar al resto de ensayos, a acumular más materia seca en hojas, tallos y racimos. Únicamente se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en la materia seca acumulada en hojas en perjuicio del tratamiento 1,5, que mostró una menor acumulación, 60 g.m⁻². De igual forma, el porcentaje de acumulación de materia seca en hojas de este tratamiento (26%) ha sido sensiblemente menor a los observados en los tratamientos 1,2 (36%) y 1,8 (36%), aunque sin que estas diferencias sean estadísticamente significativas. En general, los porcentajes de acumulación de materia seca han mostrado valores muy similares en los distintos tratamientos, sobre todo en tallos (20-26%) y racimos (41-48%).

En **2006** no se han observado diferencias con significación estadística entre tratamientos ni en valor absoluto ni en porcentaje de materia seca acumulada en hojas, tallos y racimos. El tratamiento 1,2 ha acumulado más materia seca en hojas y en tallos, mientras que en racimos ha sido el tratamiento 1,8 el que ha presentado mayor acumulación, con un valor de 187 g.m⁻². Los porcentajes de acumulación de materia seca han sido muy similares en todos los tratamientos en tallos (22-26%) y en racimos (41-45%), mientras que en hojas se ha observado que el tratamiento 1,5 ha mostrado una menor contribución porcentual (26%) a la materia seca total que los otros dos tratamientos, aunque sin encontrarse diferencias con significación estadística.

En **2007** únicamente se han observado diferencias estadísticamente significativas

en la materia seca acumulada en racimos a favor del tratamiento 1,8. No se ha observado ninguna tendencia entre tratamientos experimentales en materia seca de tallos, mientras que en hojas el valor más alto lo presentó el tratamiento 1,2. La contribución porcentual a la materia seca total sólo ha mostrado diferencias con significación estadística en los tallos a favor del tratamiento 1,5 (39%). En este año los valores de materia seca acumulada en hojas, tallos y racimos, así como su contribución porcentual al total, han mostrado valores notablemente distintos a los mostrados en 2005 y 2006, debido, principalmente, al pedrisco ocurrido al principio del ciclo vegetativo, que afectó, en distinta medida, a todos los órganos vegetativos de la planta (hojas, tallos y racimos). Así, la materia seca acumulada en los racimos sólo aportó a la materia seca total el 18% en el tratamiento 1,2, frente al 27% en el 1,5 y el 30% en el 1,8, mientras que la acumulada en hojas fue del 52% en el 1,2, frente al 34% del 1,5 y el 39% del 1,8

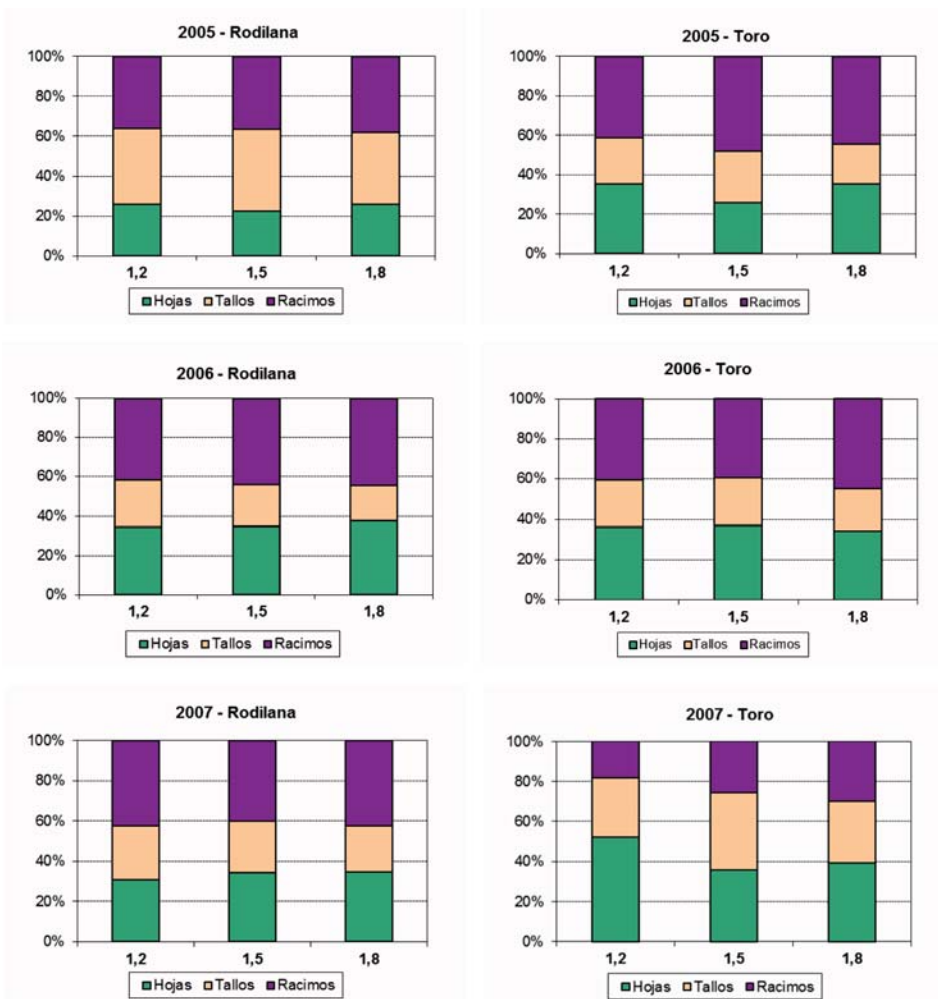


Figura III.44. Distribución en porcentaje de materia seca en hojas, tallos y racimos, en 2005, 2006 y 2007, correspondiente a los tratamientos 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los ensayos experimentales de **Rodilana** izquierda) y **Toro** (derecha).

3.3 Agostamiento y materia seca en el tallo

Todos los brotes de una planta de vid son herbáceos al principio del ciclo y luego se lignifican, es decir se transforman en madera, a través de un proceso llamado agostamiento. El agostamiento es importante para que los órganos puedan pasar la etapa de reposo invernal sin sufrir daños por bajas temperaturas.

En 2006 se realizó el estudio de la influencia de la distancia entre cepas en

la materia seca acumulada en tallos en función del agostamiento de los mismos en la época de vendimia. Este estudio se efectuó de manera global, de forma que cada ensayo experimental (Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro) constituyó una repetición de cada tratamiento experimental.

Por un lado, se ha estudiado en cada tratamiento experimental, el porcentaje de materia seca, respecto a su peso fresco, de un tallo medio, distinguiendo las siguientes fracciones de tallo en función del agostamiento:

- Fracción agostada de tallo principal (Ppal. Agost.)
- Fracción agostada de tallos de anticipados o nietos (Nieto Agost.)
- Fracción no agostada de tallo principal (Ppal. No Agost.)
- Fracción no agostada de tallos de anticipados o nietos (Nieto No Agost.)

Por otro lado, se ha estudiado la distribución porcentual de materia seca acumulada en cada fracción del tallo citada anteriormente sobre la materia seca total acumulada en dicho tallo en función de la distancia entre cepas.

3.3.1 Porcentaje de materia seca en cada fracción del tallo en función del agostamiento

En la tabla III.47 aparecen reflejados los porcentajes medios de materia seca en la fracción agostada de tallo principal (Ppal. Agost.), en la fracción agostada de tallos anticipados o nietos (Nieto Agost.), en la fracción sin agostar de tallo principal (Ppal. No Agost.) y en la fracción sin agostar de tallos de anticipados o nietos (Nieto No Agost.), correspondientes a la media de los tallos medidos en cada tratamiento experimental en los ensayos de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**.

Tabla III.47. Porcentaje medio de materia seca en la fracción **agostada** de tallo principal (Ppal. Agost.), en la fracción **agostada** de tallos de anticipados o nietos (Nieto Agost.), en la fracción **no agostada** de tallo principal (Ppal. No Agost.) y en la fracción **no agostada** de tallos anticipados o nietos (Nieto No Agost.), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en la época de vendimia en 2006. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamiento	Agostado		No Agostado	
	Ppal. Agost.	Nieto Agost.	Ppal. No Agost.	Nieto No Agost.
1,2	44,0	36,9	35,2	28,4
1,5	44,9	24,0	37,5	27,9
1,8	44,5	16,3	40,0	29,1
Sig	ns	ns	ns	ns

En ninguna de las cuatro fracciones de tallo estudiadas se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales. Los porcentajes calculados en la fracción agostada del tallo principal son muy similares (44,5%) en los tres tratamientos. Sin embargo, en la fracción agostada de los tallos de anticipados o nietos se ha observado una tendencia a aumentar el porcentaje de materia seca a medida que la densidad de plantación es mayor. Así, el tratamiento 1,2 ha mostrado un porcentaje del 36,9%, el 1,5 del 24,0% y el 1,8 del 16,3% de materia seca acumulada en la fracción agostada de tallos anticipados.

En la fracción no agostada de tallo principal, los porcentajes observados son menores que en la parte agostada de tallo principal, observándose una ligera tendencia a presentar mayor porcentaje de materia seca a medida que disminuye la densidad de plantación, entre 35% y 40%. En la fracción no agostada de tallos de anticipados o nietos se han observado porcentajes similares en todos los tratamientos experimentales, variando entre 27,9% del tratamiento 1,5 y el 29,1% del tratamiento 1,8, la materia seca acumulada en dicha fracción.

En general, se ha observado que la fracción de tallo principal (agostada o no agostada) presenta un porcentaje de materia seca mayor que la fracción de tallos anticipados o nietos (agostada o no agostada). De igual forma, los porcentajes de la fracción agostada de cada parte del tallo son mayores a los de la no agostada, tanto en la parte de tallo principal como en la de tallos anticipados o nietos.

3.3.2 Distribución porcentual de materia seca en las distintas fracciones del tallo

En la tabla III.48 y en la figura III.45 aparece reflejada la distribución porcentual de materia seca acumulada en cada fracción del tallo, en función del agostamiento, respecto a la materia seca total acumulada en el tallo medio. Las partes del tallo estudiadas según el agostamiento son la fracción agostada de tallo principal (Ppal. Agost.), la fracción agostada de tallos anticipados o nietos (Nieto Agost.), la fracción sin agostar de tallo principal (Ppal No Agost.) y la fracción sin agostar de tallos de anticipados o nietos (Nieto No Agost.), correspondientes a la media de los tallos medidos en cada tratamiento experimental en los ensayos de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro**.

Tabla III.48. Distribución en porcentaje de materia seca acumulada respecto del conjunto del sarmiento en la fracción **agostada** de tallo principal (Ppal. Agost.), en la fracción **agostada** de tallos de anticipados o nietos (Nieto Agost.), en la fracción **no agostada** de tallo principal (Ppal. No Agost.) y en la fracción **no agostada** de tallos anticipados o nietos (Nieto No Agost.), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en la época de vendimia en 2006. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tratamiento	Agostado		No Agostado	
	Ppal. Agost.	Nieto Agost.	Ppal. No Agost.	Nieto No Agost.
1,2	67,8 ^b	10,4	12,3	9,6 ^a
1,5	68,4 ^b	10,9	10,6	10,1 ^a
1,8	81,4 ^a	7,0	7,1	4,1 ^b
Sig.	*	ns	ns	**

La fracción de tallo que mayor cantidad de materia seca acumula es la agostada del tallo principal. Se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en esta fracción a favor del tratamiento 1,8, que ha mostrado un porcentaje del 81,4%. Se ha observado una tendencia a que los tallos de las densidades de plantación más bajas acumulen más materia seca, quizás debido al mayor agostamiento de los sarmientos por ser estos ligeramente menos vigorosos unitariamente.

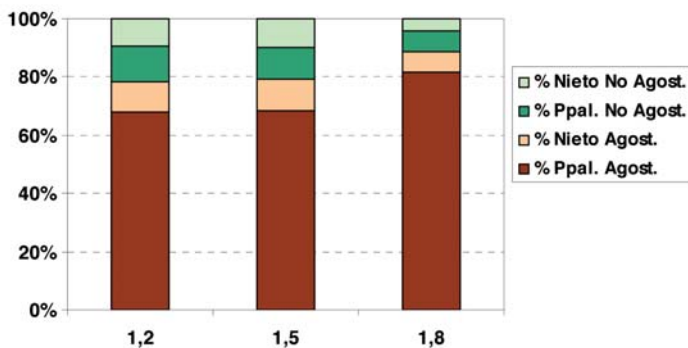


Figura III.45. Distribución en porcentaje de materia seca acumulada en la fracción **agostada** de tallo principal (Ppal. Agost.), en la fracción **agostada** de tallos de anticipados o nietos (Nieto Agost.), en la fracción **no agostada** de tallo principal (Ppal. No Agost.) y en la fracción **no agostada** de tallos anticipados o nietos (Nieto No Agost.) de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en la época de vendimia en 2006.

La fracción agostada de tallos anticipados o nietos no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales. Sin embargo, el tratamiento 1,8 ha mostrado un menor porcentaje (7%) de materia seca en dicha parte respecto a la materia seca total acumulada que los otros dos tratamientos (10,6%).

La fracción no agostada de tallo principal ha mostrado una tendencia contraria a la de la parte agostada, ya que el porcentaje de materia seca en dicha fracción respecto a la materia seca total acumulada en el tallo es mayor a medida que la distancia entre cepas se reduce. No obstante, las diferencias encontradas entre tratamientos no han sido estadísticamente significativas.

En cambio, se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en la fracción no agostada de tallos anticipados o nietos en perjuicio del tratamiento 1,8, que ha presentado un porcentaje de materia seca en dicha fracción respecto a la materia seca total acumulada en el tallo de 4,1%, frente al 9,6% y el 10,1% presentados por los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente.

4 Comportamiento Agronómico

El rendimiento de la planta depende, en general, de la riqueza en nutrientes del suelo, del régimen hídrico, de la superficie de suelo disponible y de las técnicas de cultivo (Pérez 2002). Aleixandre (1997) señala que el aumento de rendimiento se traduce en una disminución de color, azúcares y taninos, y que por el contrario, los rendimientos bajos permiten exteriorizar mejor los caracteres de cada variedad.

Los resultados agronómicos se han evaluado fundamentalmente a través del rendimiento en cosecha desglosado en sus componentes, a través de la madera de poda, a través de la relación entre ambos (producción y madera de poda) y a través del crecimiento en grosor del tronco. Para una mejor comprensión también se han representado los valores del conjunto de los tres años (2005-07) de distintos parámetros agronómicos. Por último, se presentan, para cada tratamiento y año de estudio, las relaciones entre la producción y la superficie foliar total (LAI) y externa (SA).

Los resultados agronómicos del ensayo experimental de Castrillo de Duero aparecen reflejados en las tablas III.49, III.50 y III.51 y en la figura III.46, los del ensayo experimental de Pollos aparecen en las tablas III.52, III.53 y III.54 y en la figura III.47, los del ensayo experimental de Rodilana en las tablas III.55, III.56 y III.57 y en la figura III.48, y por último, los resultados agronómicos del ensayo experimental de Toro aparecen reflejados en las tablas III.58, III.59 y III.60 y en la figura III.49.

El periodo de estudio ha incluido un año (2005) muy seco, caracterizado por altas temperaturas estivales y escasas precipitaciones, sobre todo durante el ciclo vegetativo. En los ensayos de Castrillo de Duero y Pollos, la escasez de precipitaciones durante el ciclo vegetativo fue atenuada mediante la aplicación de riego. En cambio, en Toro y sobre todo en Rodilana, la escasez de precipitaciones durante el desarrollo vegetativo de la vid provocó un descenso considerable de la producción.

Los años 2006 y 2007 se caracterizaron por unas condiciones meteorológicas menos adversas que las de 2005, con mayor precipitación durante el ciclo vegetativo y temperaturas estivales más suaves. En 2007, en el ensayo de Toro cayó un pedrisco en mayo que afectó a muchos de los racimos, ocasionando un descenso considerable de la producción en los tres tratamientos experimentales.

Tabla III.49. Datos medios en **2005** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	1,06	1,25	1,05	ns
Producción (kg.cep ⁻¹)	3,81	5,64	5,67	ns
Producción (t.ha ⁻¹)	10,57	12,53	10,50	ns
Nº de racimos por metro lineal	15,06	15,96	15,02	ns
Peso del racimo (g)	206	231	209	ns
Nº de bayas por racimo	164,1	173,9	173,4	ns
Peso de la baya (g)	1,24	1,33	1,21	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,187	0,185	0,157	ns
Madera de poda (kg.cep ⁻¹)	0,673	0,832	0,846	ns
Peso del sarmiento (g)	57,8	56,8	48,2	ns
Índice de Ravaz	5,56	6,72	6,70	ns

Tabla III.50. Datos medios en **2006** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g), crecimiento anual del diámetro (Ø) del tronco (mm) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	1,46	1,81	1,52	ns
Producción (kg.cep ⁻¹)	5,25	8,16	8,19	ns
Producción (t.ha ⁻¹)	14,58	18,13	15,17	ns
Nº de racimos por metro lineal	14,19	15,83	14,89	ns
Peso del racimo (g)	296	332	296	ns
Nº de bayas por racimo	143,8	160,3	140,3	ns
Peso de la baya (g)	2,06	2,07	2,11	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,273	0,260	0,238	ns
Madera de poda (kg.cep ⁻¹)	0,983	1,170	1,286	ns
Peso del sarmiento (g)	82,8	78,0	71,3	ns
Crecimiento del Ø del tronco (mm)	5,47	5,54	5,67	ns
Índice de Ravaz	5,26	6,98	6,39	ns

Tabla III.51. Datos medios en **2007** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g), crecimiento anual del diámetro (Ø) del tronco (mm) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	1,12	1,28	1,28	ns
Producción (kg. cepa ⁻¹)	4,04 ^b	5,77 ^a	6,92 ^a	**
Producción (t.ha ⁻¹)	11,21	12,82	12,82	ns
Nº de racimos por metro lineal	12,79	13,59	13,48	ns
Peso del racimo (g)	264	282	283	ns
Nº de bayas por racimo	124,5	126,6	128,6	ns
Peso de la baya (g)	2,12	2,23	2,20	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,299	0,285	0,275	ns
Madera de poda (kg . cepa ⁻¹)	1,076 ^b	1,282 ^{ab}	1,488 ^a	*
Peso del sarmiento (g)	89,5	84,1	81,4	ns
Crecimiento del Ø del tronco (mm)	4,13	3,56	4,47	ns
Índice de Ravaz	3,76 ^b	4,51 ^a	4,64 ^a	*

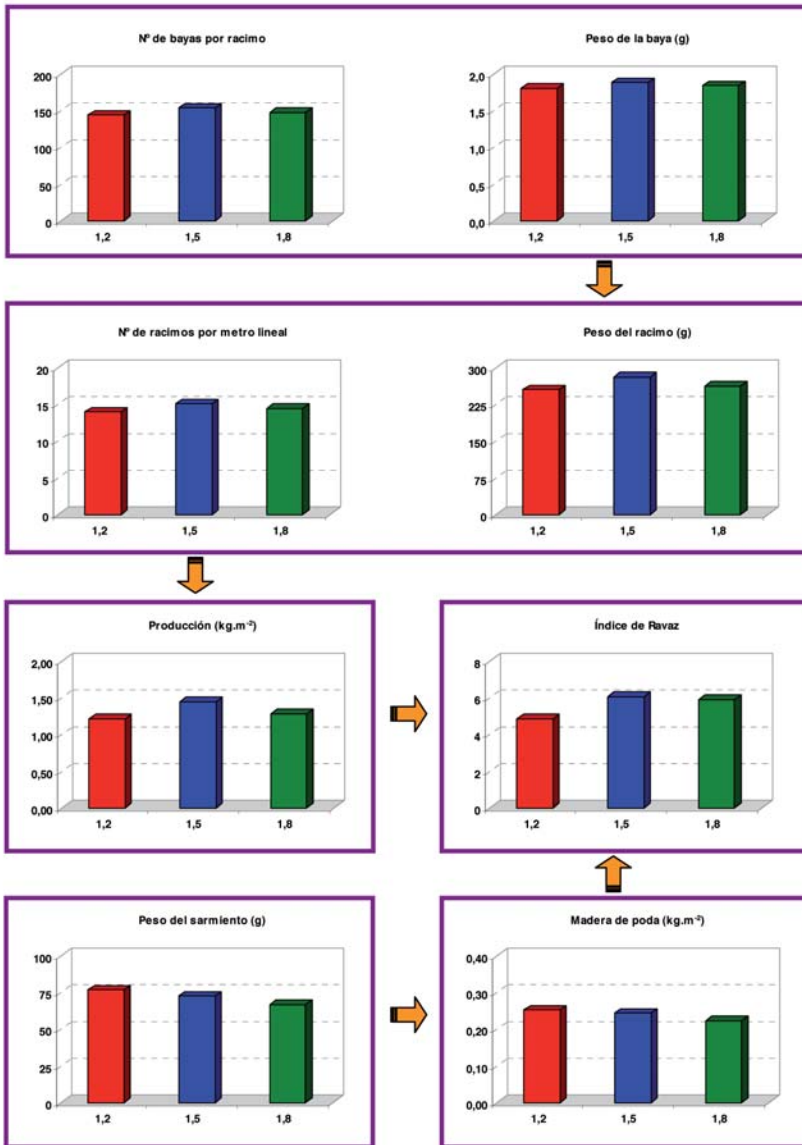


Figura III.46. Representación gráfica de los principales parámetros agronómicos del conjunto de los 3 años (2005-2007), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**.

Tabla III.52. Datos medios en **2005** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	1,62	1,45	1,58	ns
Producción (kg.cepas ⁻¹)	5,83 ^b	6,53 ^b	8,54 ^a	**
Producción (t.ha ⁻¹)	16,19	14,50	15,81	ns
Nº de racimos por metro lineal	17,55	16,50	17,41	ns
Peso del racimo (g)	277	263	271	ns
Nº de bayas por racimo	144,0	131,3	144,5	ns
Peso de la baya (g)	1,92	2,00	1,89	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,308	0,276	0,265	ns
Madera de poda (kg.cepas ⁻¹)	1,109 ^b	1,244 ^b	1,430 ^a	**
Peso del sarmiento (g)	93,7	84,6	80,4	ns
Índice de Ravaz	5,25	5,22	5,97	ns

Tabla III.53. Datos medios en **2006** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g), crecimiento anual del diámetro (Ø) del tronco (mm) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m ⁻²)	1,87	1,81	1,88	ns
Producción (kg.cepas ⁻¹)	6,75 ^b	8,15 ^{ab}	10,13 ^a	*
Producción (t.ha ⁻¹)	18,75	18,11	18,75	ns
Nº de racimos por metro lineal	16,41	16,45	17,08	ns
Peso del racimo (g)	341	325	322	ns
Nº de bayas por racimo	144,2	136,9	137,9	ns
Peso de la baya (g)	2,36	2,37	2,33	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,398	0,365	0,344	ns
Madera de poda (kg.cepas ⁻¹)	1,434 ^b	1,643 ^{ab}	1,856 ^a	**
Peso del sarmiento (g)	119,3	111,6	104,1	ns
Crecimiento del Ø del tronco (mm)	4,70	5,11	4,84	ns
Índice de Ravaz	4,73	4,94	5,44	ns

Tabla III.54. Datos medios en **2007** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g), crecimiento anual del diámetro (Ø) del tronco (mm) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	1,42	1,35	1,42	ns
Producción (kg.cep ⁻¹)	5,10 ^b	6,06 ^b	7,68 ^a	**
Producción (t.ha ⁻¹)	14,15	13,46	14,23	ns
Nº de racimos por metro lineal	13,85	13,75	14,54	ns
Peso del racimo (g)	303	286	288	ns
Nº de bayas por racimo	135,4	125,6	129,5	ns
Peso de la baya (g)	2,24	2,27	2,23	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,394	0,385	0,350	ns
Madera de poda (kg.cep ⁻¹)	1,419 ^b	1,733 ^a	1,890 ^a	**
Peso del sarmiento (g)	118,8	115,8	104,7	ns
Crecimiento del Ø del tronco (mm)	3,46	3,99	3,97	ns
Índice de Ravaz	3,62	3,51	4,06	ns

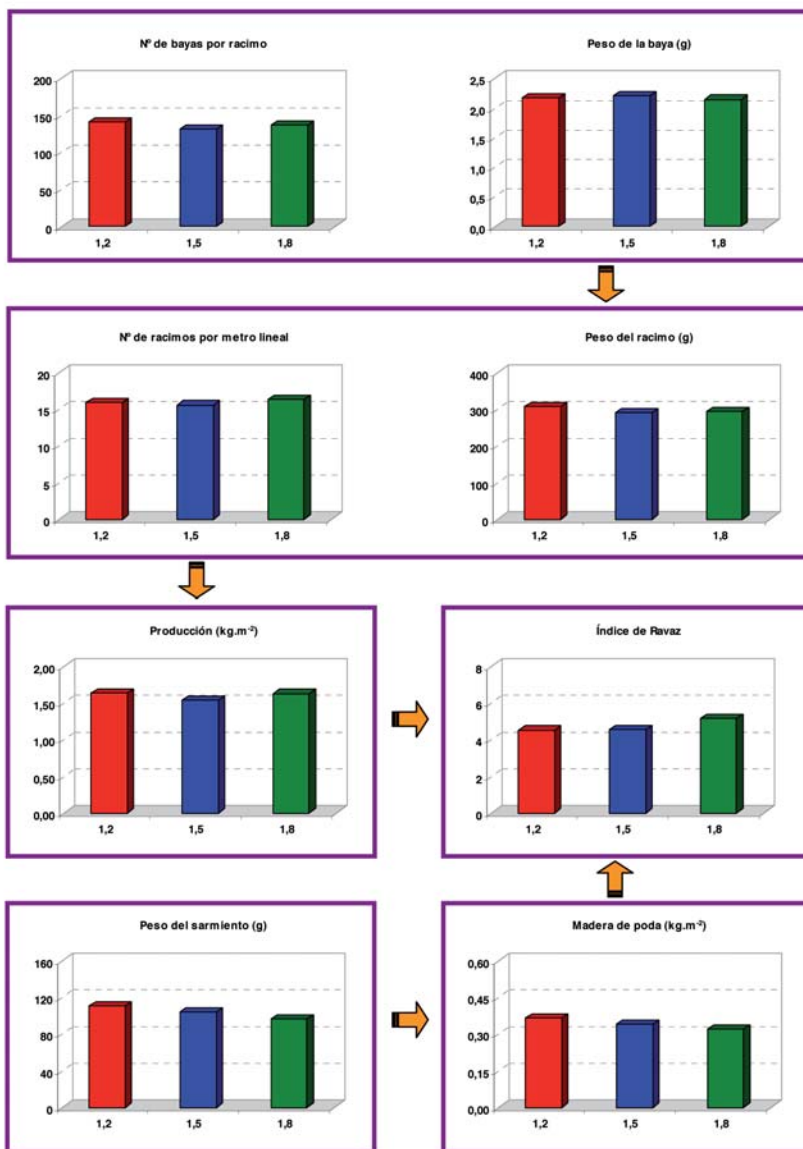


Figura III.47. Representación gráfica de los principales parámetros agronómicos del conjunto de los 3 años (2005-2007), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Pollos**.

Tabla III.55. Datos medios en **2005** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	0,56	0,52	0,51	ns
Producción (kg.cep ⁻¹)	2,03 ^b	2,33 ^{ab}	2,74 ^a	*
Producción (t.ha ⁻¹)	5,63	5,18	5,08	ns
Nº de racimos por metro lineal	11,10	11,14	11,26	ns
Peso del racimo (g)	153	139	132	ns
Nº de bayas por racimo	124,1	105,2	109,9	ns
Peso de la baya (g)	1,25	1,32	1,21	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,264	0,284	0,239	ns
Madera de poda (kg.cep ⁻¹)	0,952 ^b	1,277 ^a	1,289 ^a	*
Peso del sarmiento (g)	79,3	85,2	71,6	ns
Índice de Ravaz	2,15	1,86	2,13	ns

Tabla III.56. Datos medios en **2006** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g), crecimiento anual del diámetro (Ø) del tronco (mm) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	0,84	0,79	0,71	ns
Producción (kg.cep ⁻¹)	3,02	3,55	3,82	ns
Producción (t.ha ⁻¹)	8,38	7,89	7,07	ns
Nº de racimos por metro lineal	13,29	14,14	13,10	ns
Peso del racimo (g)	188	166	159	ns
Nº de bayas por racimo	104,9	96,8	94,0	ns
Peso de la baya (g)	1,78	1,71	1,70	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,218^a	0,185^{ab}	0,145^b	*
Madera de poda (kg.cep ⁻¹)	0,786	0,830	0,782	ns
Peso del sarmiento (g)	64,5^a	55,9^{ab}	44,2^b	*
Crecimiento del Ø del tronco (mm)	4,64	4,97	5,20	ns
Índice de Ravaz	3,88	4,30	5,01	ns

Tabla III.57. Datos medios en **2007** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g), crecimiento anual del diámetro (Ø) del tronco (mm) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	1,19^a	0,97^b	0,95^b	*
Producción (kg.cepas ⁻¹)	4,28	4,39	5,15	ns
Producción (t.ha ⁻¹)	11,89 ^a	9,75 ^b	9,54 ^b	*
Nº de racimos por metro lineal	12,77	12,63	12,26	ns
Peso del racimo (g)	280^a	232^b	229^b	*
Nº de bayas por racimo	122,9 ^a	104,2 ^{ab}	96,2 ^b	*
Peso de la baya (g)	2,28	2,23	2,38	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,341^a	0,305^{ab}	0,259^b	*
Madera de poda (kg.cepas ⁻¹)	1,227	1,374	1,400	ns
Peso del sarmiento (g)	104,4^a	92,7^{ab}	78,4^b	*
Crecimiento del Ø del tronco (mm)	3,93	4,04	4,65	ns
Índice de Ravaz	3,51	3,22	3,69	ns

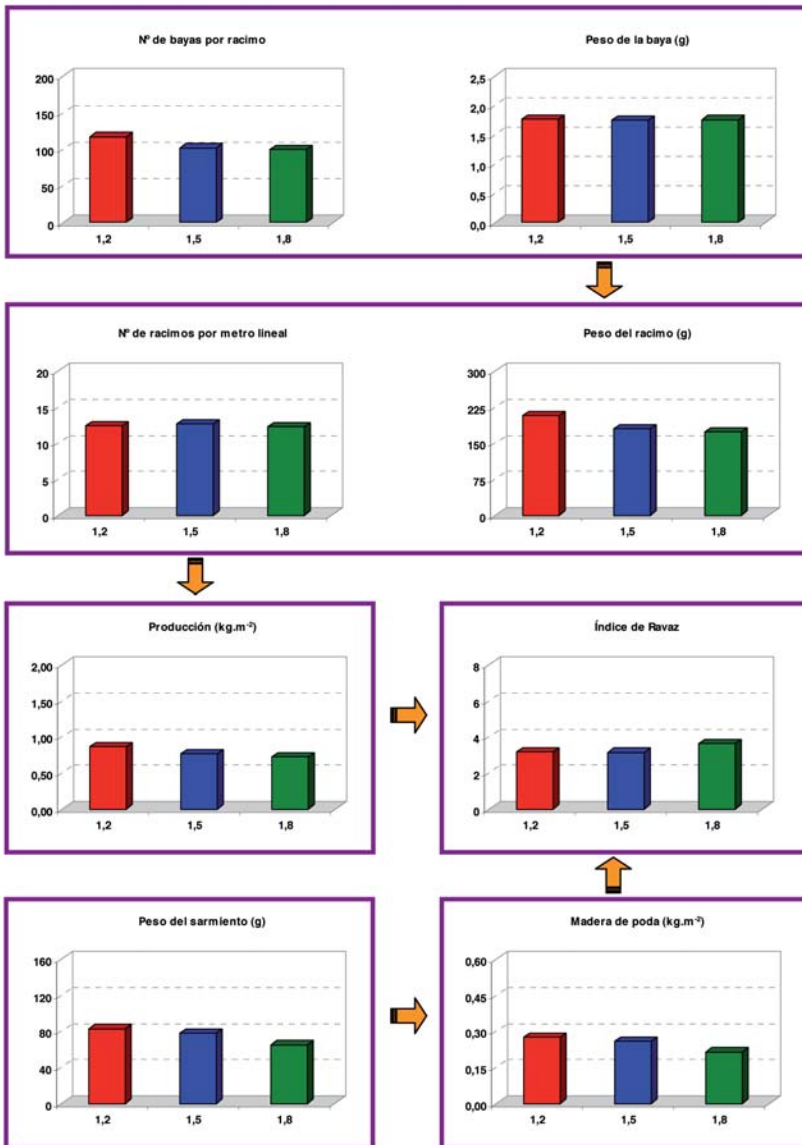


Figura III.48. Representación gráfica de los principales parámetros agronómicos del conjunto de los 3 años (2005-2007), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Rodilana**.

Tabla III.58. Datos medios en **2005** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	0,69	0,56	0,56	ns
Producción (kg.cep ⁻¹)	2,48	2,52	3,03	ns
Producción (t.ha ⁻¹)	6,88	5,61	5,61	ns
Nº de racimos por metro lineal	13,74	12,11	13,52	ns
Peso del racimo (g)	148	139	123	ns
Nº de bayas por racimo	121,3	121,2	105,3	ns
Peso de la baya (g)	1,22	1,15	1,17	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,177^a	0,139^{ab}	0,122^b	*
Madera de poda (kg.cep ⁻¹)	0,636	0,627	0,657	ns
Peso del sarmiento (g)	55,3^a	42,8^{ab}	37,4^b	*
Índice de Ravaz	3,88	4,03	4,66	ns

Tabla III.59. Datos medios en **2006** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g), crecimiento anual del diámetro (Ø) del tronco (mm) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	0,92	0,76	0,87	ns
Producción (kg.cep ⁻¹)	3,30 ^b	3,43 ^b	4,71 ^a	*
Producción (t.ha ⁻¹)	9,16	7,62	8,73	ns
Nº de racimos por metro lineal	12,42	11,91	12,81	ns
Peso del racimo (g)	215	193	206	ns
Nº de bayas por racimo	108,7	99,9	106,3	ns
Peso de la baya (g)	1,98	1,93	1,94	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,241	0,210	0,197	ns
Madera de poda (kg.cep ⁻¹)	0,868	0,943	1,065	ns
Peso del sarmiento (g)	70,8	63,2	58,6	ns
Crecimiento del tronco (mm)	3,92	4,23	4,74	ns
Índice de Ravaz	3,78	3,67	4,42	ns

Tabla III.60. Datos medios en **2007** de producción unitaria de uva (kg por m² de suelo, kg por cepa y t por ha); número de racimos por m lineal, peso del racimo (g), número de bayas por racimo, peso de la baya (g); madera de poda unitaria (kg por m² de suelo y kg por cepa), peso del sarmiento (g), crecimiento anual del diámetro (Ø) del tronco (mm) e índice de Ravaz de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

Tratamiento	1,2	1,5	1,8	Sig
Producción (kg.m⁻²)	0,35	0,36	0,47	ns
Producción (kg.cepas ⁻¹)	1,24 ^b	1,62 ^b	2,55 ^a	**
Producción (t.ha ⁻¹)	3,46	3,61	4,72	ns
Nº de racimos por metro lineal	5,89 ^b	6,80 ^b	8,28 ^a	**
Peso del racimo (g)	168	169	173	ns
Nº de bayas por racimo	88,5	87,0	89,9	ns
Peso de la baya (g)	1,90	1,94	1,92	ns
Madera de poda (kg.m⁻²)	0,256	0,245	0,231	ns
Madera de poda (kg.cepas ⁻¹)	0,923	1,104	1,247	ns
Peso del sarmiento (g)	80,4	76,0	70,1	ns
Crecimiento del tronco (mm)	2,73	2,92	2,91	ns
Índice de Ravaz	1,34	1,50	2,14	ns

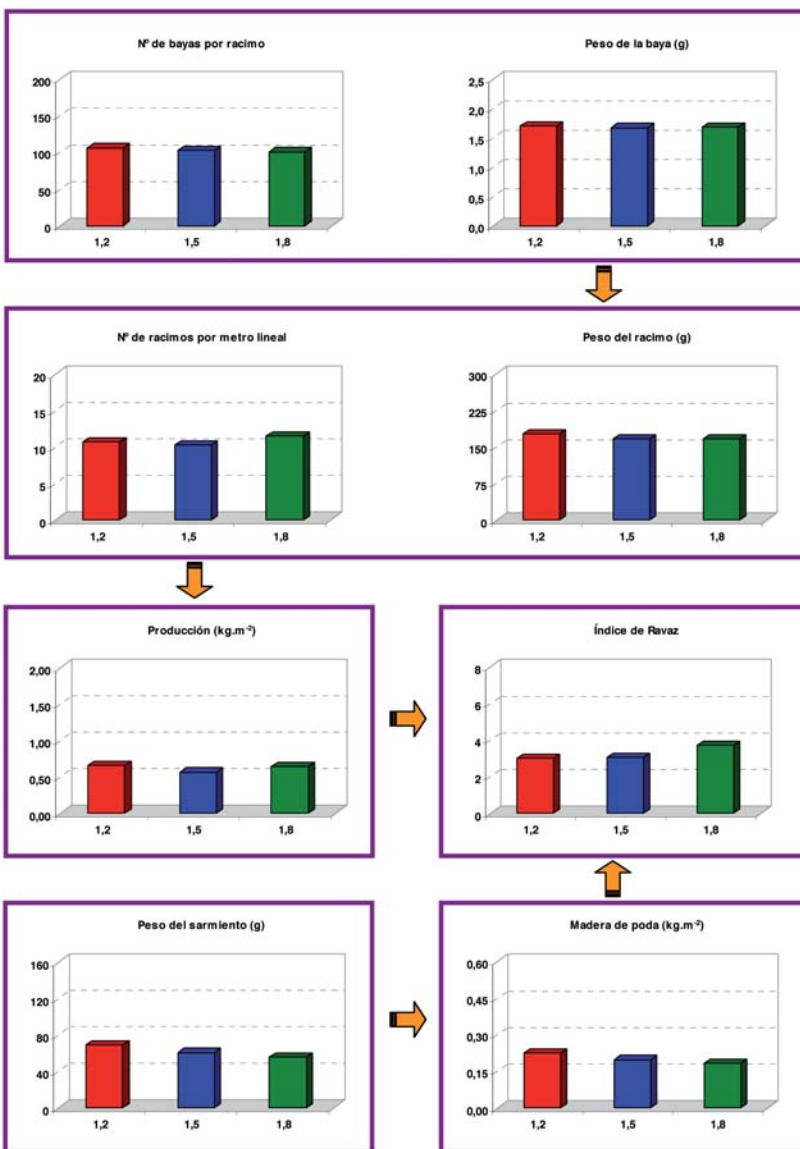


Figura III.49. Representación gráfica de los principales parámetros agronómicos del conjunto de los 3 años (2005-2007), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Toro**.

4.1 Rendimiento y sus componentes

CASTRILLO DE DUERO

En las tablas III.49, III.50 y III.51 se presentan los valores medios de producción de uva por m², producción de uva por cepa, producción de uva por hectárea, número de racimos por metro lineal, peso del racimo, número de bayas por racimo y peso de baya de los años 2005, 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente. En la figura III.46 aparecen representados los valores medios de los tres años de estudio de los siguientes parámetros: número de bayas por racimo, peso de la baya, número de racimos por metro lineal, peso del racimo y producción de uva por m².

El producción de uva por planta media de los tres años de estudio aumentó al incrementar la distancia entre cepas, lo que se atribuye al mayor número de yemas por cepa dejadas en la poda en la medida que aumenta la distancia entre cepas, con el fin de mantener el mismo número de yemas por metro de cordón o por hectárea en los tres tratamientos experimentales estudiados. De esta manera, el efecto de competencia entre plantas disminuyó y se incrementó la capacidad de producción individual en las cepas situadas a mayor distancia. En este sentido, Brar y Brinda (1986) observaron que al acortar la distancia entre cepas la producción por planta disminuyó, pero el rendimiento por m² de suelo aumentó.

Se ha observado un peso de baya y un número de bayas por racimo ligeramente mayores en el tratamiento 1,5, lo que ha producido un mayor peso del racimo (figura III.46). De igual forma, se han observado más racimos por metro lineal en este tratamiento que en los otros dos. Debido al mayor peso de la baya, al mayor número de bayas por racimo y al mayor número de racimos por metro lineal del tratamiento, la producción por m² de suelo media de los tres años de estudio ha mostrado un valor ligeramente más elevado de este tratamiento con respecto a los tratamientos 1,2 y 1,8. En este sentido, Pérez (2002) observó que el incremento del peso de racimo fue debido al mayor peso de la baya, al aumentar el espacio entre vides. Sin embargo, Williams y Arnold (1999) sostienen que este incremento del peso del racimo al disminuir la densidad de plantación es debido al mayor número de bayas por racimo.

En **2005**, no se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en los parámetros de rendimiento y sus componentes (tabla III.49). Se ha observado un mayor peso del racimo del

tratamiento 1,5, debido principalmente al mayor peso de la baya mostrado por dicho tratamiento, con un valor de 1,33 g frente a 1,24 g y 1,21 g de los tratamientos 1,2 y 1,8 respectivamente. Archer (1991), trabajando con la variedad Pinot noir, en condiciones de secano, observó pesos de baya similares en las densidades de plantación más bajas (3×3 y 3×1,5). El número de bayas por racimo observado ha sido ligeramente más bajo en el tratamiento 1,2, en cambio el número de racimos por metro lineal observado ha presentado valores similares (15 racimos) en los tres tratamientos experimentales.

El tratamiento 1,2 ha presentado una producción por cepa sensiblemente menor que el resto de tratamientos, en cambio la producción por m² de suelo ha sido muy similar entre tratamientos experimentales, presentando valores mayores de 1 kg.m⁻². En este sentido, Chauvet y Reynier (1974) afirman que al aumentar la densidad de plantación las cepas entran en mayor competencia, induciendo una disminución del potencial individual de la planta, que se manifiesta en una reducción del rendimiento en uva.

En **2006**, no se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en los parámetros de rendimiento y sus componentes (tabla III.50). El peso de la baya ha presentado valores similares en los tres tratamientos, en torno a 2,1 g. En cambio, el peso del racimo ha mostrado un valor más elevado en el tratamiento 1,5, debido al mayor número de bayas por racimo de este tratamiento con respecto a los de 1,2 y 1,8. En este sentido, Archer y Strauss (1991) observaron que al aumentar el espaciamiento entre cepas, el peso del racimo tendía a aumentar, mientras que no encontraron diferencias en el peso de la baya. Esto fue debido al mayor número de bayas por racimo, que estuvo relacionado con un mejor cuajado.

El tratamiento 1,5 ha mostrado un número de racimos por metro lineal ligeramente superior a los otros dos tratamientos. Sin embargo, los tratamientos 1,5 y 1,8 han mostrado niveles similares de producción por cepa, con valores superiores a 8 kg.cepas⁻¹, mientras que el tratamiento 1,2 ha mostrado un valor sensiblemente inferior, de 5,25 kg.cepas⁻¹. La producción por m² ha mostrado valores similares en los tratamientos 1,2 y 1,8, sensiblemente inferiores al del tratamiento 1,5, aunque sin que las diferencias observadas tuvieran significación estadística. En este sentido, Peterlunger *et al.* (2003), trabajando con la variedad Sauvignon blanc y cuatro distancias entre cepas diferentes (0,8×2,9 m; 1×2,9 m; 1,2×2,9 m y 1,4×2,9 m), obtuvo mayores rendimientos por m² en las densidades de plantación intermedias aunque sin observar diferencias estadísticamente significativas.

En **2007**, se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en la producción de uva por cepa en perjuicio del tratamiento 1,2, que ha mostrado una menor producción por cepa (4,04 kg.cep^a⁻¹) que los otros dos tratamientos (tabla III.51). Resultados parecidos fueron observados por Pérez (2002), obteniendo mayor rendimiento por planta al disminuir la densidad de plantación. Este resultado se atribuye a que en la poda se dejó un mayor número de yemas por cepa en la medida en que aumentaba la distancia entre cepas, con el fin de mantener el mismo número de brotes por metro lineal en todos los tratamientos experimentales. De esta manera, el efecto de competencia entre plantas disminuyó y se incrementó la capacidad de producción individual en las cepas situadas a mayor distancia. En cambio, en la producción de uva por m² de suelo no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque el tratamiento 1,2 ha mostrado un valor menor (1,12 kg.m⁻²) que los tratamientos 1,5 y 1,8 (1,28 kg.m⁻²).

El número de racimos por metro lineal no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, observándose valores similares en todos ellos, en torno a 13 racimos por metro lineal. No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en los diversos componentes del rendimiento. Tanto el peso de la baya como el peso del racimo han mostrado la misma tendencia entre tratamientos, presentando el tratamiento 1,2 un menor valor que los de 1,5 y 1,8, que han mostrado valores similares en ambos parámetros. El número de bayas por racimo ha mostrado valores similares en los tres tratamientos, si bien se ha observado una ligera tendencia a aumentar el número de bayas por racimo a medida que aumenta el espaciamiento entre cepas. En este sentido, Murisier y Ferretti (1996) observaron que al modificar el espaciamiento entre cepas dentro de la línea, el peso de la baya sufrió muy poca variación.

POLLOS

En las tablas III.52, III.53 y III.54 se presentan los valores medios de producción de uva por m², producción de uva por cepa, producción de uva por hectárea, número de racimos por metro lineal, peso del racimo, número de bayas por racimo y peso de baya de los años 2005, 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente. En la figura III.47 aparecen representados los valores medios de los tres años de estudio de los siguientes parámetros: número de bayas por racimo, peso de la baya, número de racimos por metro lineal, peso del racimo y producción de uva por m².

El valor medio de los tres años de la producción de uva por cepa ha mostrado un aumento a medida que la distancia entre cepas es mayor, correspondiente al aumento del número de yemas dejadas en la poda. Sin embargo, el valor medio de los tres años de estudio del rendimiento, expresado en kg de uva por m², ha mostrado valores similares en los tratamientos 1,2 y 1,8 (en torno a 1,6 kg.m⁻²), ligeramente superiores al tratamiento 1,5 (figura III.47). El tratamiento 1,2 ha mostrado un valor medio del peso del racimo ligeramente mayor que el resto de tratamientos, debido al mayor número de bayas por racimo observado en este tratamiento, ya que el valor medio del peso de la baya ha sido muy similar en los tres tratamientos experimentales. De igual forma, el número medio de racimos por metro lineal ha mostrado valores similares, en torno a 16, en los tres tratamientos estudiados. Shaulis y Kimball (1955) sostienen que las cepas con espaciamientos mayores presentan niveles productivos por m² de suelo iguales o superiores que las vides con espaciamientos menores. En este sentido, Turkington *et al.* (1980) afirman que las diferencias productivas entre densidades de plantación son probablemente el resultado de las variaciones en los cultivares, el sistema radicular, la composición y la preparación del suelo, y los tipos de poda y la severidad de la misma.

En **2005**, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento 1,8 en la producción de uva por cepa, mostrando un valor de 8,54 kg, frente a 5,83 kg y 6,53 kg mostrados por los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente (tabla III.52). El rendimiento por m² de suelo no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, aunque los tratamientos 1,2 y 1,8 han presentado valores más elevados (1,62 y 1,58 kg.m⁻²) que el tratamiento 1,5 (1,45 kg.m⁻²).

El peso del racimo no ha mostrado ninguna tendencia clara entre tratamientos, aunque el tratamiento 1,5 ha presentado un valor más bajo (263 g) que los otros tratamientos. De igual forma, el tratamiento 1,5 ha presentado el valor más bajo en el número de bayas por racimo y en el número de racimos por metro lineal, mostrando un valor de 16,5 racimos frente a 17,5 y 17,4 racimos de los tratamientos 1,2 y 1,8 respectivamente. El peso de la baya no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, observándose valores de 1,92 g, 2,00 g y 1,89 g en los tratamientos 1,2, 1,5 y 1,8 respectivamente, es decir, ligeramente superior en el tratamiento 1,5.

En **2006**, al igual que en el año anterior, únicamente se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en la producción de uva por cepa,

a favor del tratamiento 1,8 y en perjuicio del tratamiento 1,2, observándose mayor rendimiento a medida que disminuye la densidad de plantación (tabla III.53). El rendimiento por m² de suelo ha mostrado valores muy similares en los tres tratamientos experimentales, superiores a 1,8 kg.m⁻². En este sentido, Pérez (2002) observó que al disminuir la densidad de plantación la producción de uva por m² aumentó entre un 17% y un 30% dependiendo del año.

El peso del racimo ha mostrado una ligera tendencia a disminuir a medida que se incrementa la distancia entre cepas. El número de bayas por racimo no ha presentado ninguna tendencia clara entre tratamientos, mostrando el tratamiento 1,2 el valor mayor, con 144 bayas por racimo. El peso de la baya ha mostrado valores muy similares en las tres distancias entre cepas, con valores superiores a 2,3 g. De igual forma, el número de racimos por metro lineal ha presentado valores muy similares en los tres tratamientos experimentales estudiados, entre 16,4 y 17,1.

En **2007**, únicamente se han encontrado diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento 1,8 en la producción de uva por cepa, observándose nuevamente mayor rendimiento a medida que aumenta la distancia entre cepas (tabla III.54). Esta misma tendencia fue observada por Vázquez *et al.* (2006), trabajando con la variedad Loureira y tres densidades de plantación (2,25×1 m; 2,25×1,2 m y 2,25×1,4 m), al obtener mayor rendimiento por cepa a medida que aumentaba la distancia entre cepas. Sin embargo, la producción de uva por m² de suelo no ha mostrado ninguna tendencia clara, observándose valores similares en las tres distancias entre cepas, en torno a 1,4 kg.m⁻².

El peso de la baya observado ha sido similar en las tres distancias entre cepas, con valores ligeramente superiores a 2,2 g. El tratamiento 1,2 ha mostrado mayor número de bayas por racimo que los otros dos tratamientos, y por tanto mayor peso del racimo (303 g), aunque sin observarse diferencias con significación estadística ($p < 0,05$). Williams y Arnold (1999) observaron que al aumentar el espaciamiento entre plantas se tendía a aumentar el peso del racimo, con tamaños de baya similares. Esto fue debido al mayor número de bayas por racimo, que estuvo relacionado con el mejor cuajado en las densidades de plantación más bajas.

El número de racimos por metro lineal no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos de distancia entre cepas, presentando el tratamiento 1,8 un valor ligeramente superior (14,5 racimos) a los tratamientos 1,2 (13,8 racimos) y 1,5 (13,7 racimos).

RODILANA

En las tablas III.55, III.56 y III.57 se presentan los valores medios de producción de uva por m², producción de uva por cepa, producción de uva por hectárea, número de racimos por metro lineal, peso del racimo, número de bayas por racimo y peso de baya de los años 2005, 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente. En la figura III.48 aparecen representados los valores medios de los tres años de estudio de los siguientes parámetros: número de bayas por racimo, peso de la baya, número de racimos por metro lineal, peso del racimo y producción de uva por m².

El valor medio de los tres años de estudio del rendimiento (kg.m⁻²) ha disminuido a medida que aumenta la distancia entre cepas (figura III.48). Esta misma tendencia ha sido observada en el peso medio del racimo del periodo de estudio, mostrando un racimo más grande, con mayor número de bayas por racimo, el tratamiento 1,2. Resultados parecidos obtuvieron Gal *et al.* (1996) al observar una disminución del peso del racimo con el aumento del número de pámpanos por cepa. Sin embargo, Bartolomé *et al.* (1996) no encontraron ninguna diferencia en el peso del racimo con cargas de pámpanos que variaban entre 10 y 16 pámpanos por cepa.

El peso medio de la baya de los tres años ha sido similar en los tres tratamientos experimentales, con valores en torno a 1,7 g. De igual forma, el número de racimos por metro lineal medio del periodo de estudio no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, con valores similares entre ellos.

En **2005**, únicamente se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en la producción de uva por cepa a favor del tratamiento 1,8, que ha mostrado un valor de 2,74 kg por cepa frente a 2,03 y 2,33 kg por cepa mostrados por los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente (tabla III.55). En cambio, la producción de uva por m² no ha mostrado ninguna tendencia clara entre tratamientos, observándose valores muy similares en los tres tratamientos, superiores a 0,5 kg.m⁻². Intrieri *et al.* (2003 a), trabajando con la variedad Pignoletto y cuatro densidades de plantación (0,75×4,0 m; 1,0×4,0 m; 1,25×4,0 m y 1,5×4,0 m), no encontraron diferencias entre tratamientos experimentales en la producción de uva por m², mostrando valores similares las cuatro densidades de plantación.

El número de racimos por metro lineal ha mostrado valores similares en los

tres tratamientos estudiados. El peso del racimo ha mostrado una ligera tendencia a ser mayor a medida que se acorta la distancia entre cepas, aunque sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas. El tratamiento 1,2 ha mostrado mayor peso del racimo (153 g) debido al mayor número de bayas por racimo observado en este tratamiento (124). Los tratamientos 1,5 y 1,8 han mostrado valores similares en el peso del racimo y en el número de bayas por racimo (105,2 y 109,9 respectivamente). El peso de la baya no ha mostrado ninguna tendencia entre tratamientos, observándose valores de 1,25 g, 1,32 g y 1,21 g en los tratamientos 1,2, 1,5 y 1,8 respectivamente.

En **2006**, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en ningún parámetro del rendimiento o sus componentes (tabla III.56). Se ha observado la tendencia a presentar mayor producción de uva por cepa a medida que la distancia entre cepas se alarga. Esta tendencia es contraria en la producción de uva por m², observándose mayor rendimiento a medida que se acorta la distancia entre cepas. Resultados parecidos obtuvo Muñoz (1989), trabajando con la variedad Cabernet sauvignon, al observar que la producción de uva por planta disminuye a medida que se acorta la distancia entre cepas, pero el rendimiento por m² de suelo aumenta.

El peso de la baya, el peso del racimo y el número de bayas por racimo han mostrado la misma tendencia, al aumentar a medida que disminuye la distancia entre cepas, aunque no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. En este sentido, Vázquez *et al.* (2006), trabajando con la variedad Loureira y 3 densidades de plantación, observaron tendencias parecidas al aumentar la distancia entre cepas.

En **2007**, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en la producción de uva por m² a favor del tratamiento 1,2, que ha mostrado un valor de 1,19 kg.m⁻² frente a 0,97 y 0,95 kg.m⁻² mostrados por los tratamientos 1,5 y 1,8 respectivamente (tabla III.57). La tendencia observada en la producción de uva por cepa fue más bien la contraria, con mayor valor en el tratamiento 1,8 que en el 1,2 y 1,5, aunque sin encontrarse diferencias con significación estadística entre tratamientos. Estas mismas tendencias fueron observadas por otros investigadores, como Archer y Strauss (1991) trabajando con la variedad Pinot noir, Hunter (1998 b) trabajando con la variedad Pinot noir, y Nadal y Lampreave (1999) trabajando con las variedades Cabernet sauvignon y Chardonnay.

El peso de la baya no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, mostrando el tratamiento 1,8 el mayor peso, con 2,38 g frente a 2,28 g y 2,23 g de los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente. En el peso del racimo se han encontrado diferencias con significación estadística ($p < 0,05$) a favor del tratamiento 1,2, lo que refleja una ligera tendencia a obtener mayor peso de racimo a medida que se acorta la distancia entre cepas. Esta tendencia es contraria a la observada por Pérez (2002), trabajando con la variedad Tempranillo, al observar un incremento del peso del racimo al aumentar el espaciamiento entre cepas.

Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en el número de bayas por racimo a favor del tratamiento 1,2 y en perjuicio del tratamiento 1,8, observándose la misma tendencia que en el peso del racimo, con un aumento del número de bayas por racimo a medida que se acorta la distancia entre cepas. En cambio, el número de racimos por metro lineal ha mostrado valores muy similares en los tres tratamientos estudiados, aunque se ha observado una ligera tendencia a aumentar dicho número con el aumento de la densidad de plantación.

TORO

En las tablas III.58, III.59 y III.60 se presentan los valores medios de producción de uva por m^2 , producción de uva por cepa, producción de uva por hectárea, número de racimos por metro lineal, peso del racimo, número de bayas por racimo y peso de baya de los años 2005, 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente. En la figura III.49 aparecen representados los valores medios de los tres años de estudio de los siguientes parámetros: número de bayas por racimo, peso de la baya, número de racimos por metro lineal, peso del racimo y producción de uva por m^2 .

El valor medio de los tres años de estudio de la producción de uva por m^2 no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, observándose el menor valor en el tratamiento 1,5 (figura III.49). De igual forma, el número de racimos por metro lineal ha mostrado el menor valor en el tratamiento 1,5 y el mayor en el 1,8. En cambio, el tratamiento 1,2 ha mostrado un peso del racimo algo mayor que los otros dos tratamientos. El peso medio de baya de los tres años ha mostrado valores muy similares en las tres distancias entre cepas estudiadas, en torno a 1,7 g. De igual forma, el número de bayas por racimo ha mostrado valores similares entre tratamientos, aunque se ha observado una ligera tendencia a presentar mayor número de bayas por racimo a medida que aumenta la densidad de plantación.

En **2005**, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en el rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y $\text{kg}\cdot\text{cepa}^{-1}$) ni en sus componentes (tabla III.58). La producción de uva por cepa ha mostrado una tendencia a aumentar a medida que la distancia entre cepas aumenta. Esta misma tendencia fue observada por Pérez (2002) trabajando con la misma variedad y dos densidades de plantación. En cambio, la producción de uva por m^2 de suelo ha presentado valores similares en los tratamientos 1,5 y 1,8 ($0,56 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$), inferiores al del tratamiento 1,2 ($0,69 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$).

El número de racimos por metro lineal no ha mostrado ninguna tendencia clara entre tratamientos, aunque el tratamiento 1,5 ha presentado un valor sensiblemente menor que los otros dos tratamientos, de 12,1 racimos por metro lineal. En cambio, el peso del racimo ha mostrado una tendencia a aumentar a medida que la distancia entre cepas se acorta. El peso de baya no ha mostrado ninguna tendencia clara entre tratamientos, siendo el tratamiento 1,2 el que ha presentado un valor ligeramente superior, de 1,22 g frente a 1,15 g y 1,17 g presentados por los tratamientos 1,5 y 1,8. Por último, el número de bayas por racimo ha mostrado valores similares en los tratamientos 1,2 y 1,5, ligeramente superiores al del tratamiento 1,8, aunque sin observarse diferencias estadísticamente significativas.

En **2006**, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en la producción de uva por cepa a favor del tratamiento 1,8, que ha mostrado un valor de 4,71 kg frente a 3,30 y 3,43 $\text{kg}\cdot\text{cepa}^{-1}$ mostrados por los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente (tabla III.59). En cambio, en la producción de uva por m^2 de suelo no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas, a pesar de que el tratamiento 1,5 haya mostrado un valor más bajo, de 0,76 kg frente a 0,92 y 0,87 kg de los tratamientos 1,2 y 1,8, respectivamente.

En el resto de componentes del rendimiento las diferencias encontradas no han resultado estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales. El número de racimos por metro lineal no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, siendo el 1,8 el tratamiento que ha presentado un valor ligeramente superior, de 12,8 racimos, y el 1,5 un valor inferior, de 11,9 racimos. El peso del racimo, el número de bayas por racimo y el peso de la baya han mostrado tendencias similares, al presentar el tratamiento 1,5 un valor ligeramente más bajo y el tratamiento 1,2 un valor ligeramente más alto que los otros tratamientos, aunque sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos

experimentales. Turkington *et al.* (1980) sostienen que las diferencias productivas entre diferentes densidades de plantación son probablemente el resultado de las variaciones en los cultivares, el sistema radicular, la composición y preparación del suelo y los tipos de poda y la severidad de la misma.

En **2007**, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) en la producción de uva por cepa a favor del tratamiento 1,8, que ha mostrado un valor de 2,55 kg frente a 1,24 y 1,62 kg.cepas⁻¹ mostrados por los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente (tabla III.60). Esta tendencia fue observada por otros investigadores, como Archer y Strauss (1991) trabajando con la variedad Pinot noir, Hunter (1998 b) trabajando con la variedad Pinot noir, y Nadal y Lampreave (1999) trabajando con las variedades Cabernet sauvignon y Chardonnay.

La producción de uva por m² ha mostrado la misma tendencia, correspondiendo la más alta a la mayor distancia entre cepas, aunque sin encontrarse diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales. En cambio, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en el número de racimos por metro lineal a favor del tratamiento 1,8, con un valor de 8,28 racimos frente a 5,89 y 6,80 racimos mostrados por los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente. En este año, el número de racimos fue sensiblemente menor que en 2005 y 2007, debido principalmente a un pedrisco ocurrido en mayo, que ocasionó que muchos de los racimos ya visibles quedasen eliminados. De igual forma, muchas de las bayas del racimo quedaron eliminadas, como demuestran los valores tan bajos del número de bayas por racimo, que resultaron muy similares en todos los tratamientos experimentales, en torno a 88 bayas por racimo.

El peso de baya y el peso del racimo no han mostrado diferencias con significación estadística, observándose valores similares en los tres tratamientos experimentales. El peso de baya observado en los tres tratamientos ha estado alrededor de 1,9 g y el peso del racimo en torno a 170 g. En este sentido, Sánchez (2007) sostiene que en el peso de la baya, el efecto de las condiciones del año y el riego resulta fundamental para el resultado final.

4.2 Madera de poda

CASTRILLO DE DUERO

En las tablas III.49, III.50 y III.51 aparecen reflejados los valores medios de peso de madera de poda por m², peso de madera de poda por cepa y peso del sarmiento de los años 2005, 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados de los análisis estadísticos correspondientes. En la figura III.46 se presentan los valores medios de los tres años de estudio de peso de madera de poda por m² y peso del sarmiento.

El peso medio de madera de poda por m² de los tres años de estudio ha mostrado valores similares en los distintos tratamientos experimentales, si bien se ha observado una tendencia al aumento a medida que se acorta la distancia entre cepas (figura III.46). De igual forma, el peso medio del sarmiento de los tres años ha presentado la misma tendencia al aumento a medida que la densidad de plantación se incrementa.

En **2005**, no se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ni en el peso de madera de poda y ni en el vigor del sarmiento (tabla III.49). No obstante, se ha observado una ligera tendencia al aumento del peso de madera de poda por m² a medida que la densidad de plantación es mayor. Archer y Strauss (1991), trabajando con la variedad Pinot noir y 6 densidades de plantación, obtuvieron resultados parecidos al observar mayor peso de madera de poda (kg.m⁻²) a medida que la distancia entre cepas era menor. Al aumentar la distancia entre cepas, se ha observado que el peso de madera de poda por cepa aumenta, debido al número creciente de sarmientos por planta existente a medida que aumenta el espaciamiento y consecuentemente, a que el efecto de competencia entre plantas disminuyó y se incrementó la capacidad individual de las cepas situadas a mayor distancia. Por el contrario, el sarmiento ha mostrado una tendencia a reducir su peso a medida que la densidad de plantación disminuyese, ya que cada planta desarrolla más sarmientos de menor peso individual. Resultados parecidos han sido observados por varios investigadores: Archer y Strauss (1991) y Hunter (1998 b) trabajando con la variedad Pinot noir, Pérez (2002) con la variedad Tempranillo, Silvestroni *et al.* (2003) con las variedades Verdicchio y Montepulciano, y Murisier y Zufferey (2003, 2004) con la variedad Chasselas.

En **2006** y **2007**, se han observado las mismas tendencias que en el año anterior, presentando los diversos tratamientos mayor peso de madera de poda

por m², menor peso de madera de poda por cepa y mayor peso de sarmiento a medida que se incrementa la densidad de plantación (tablas III.50 y III.51). Únicamente se han observado diferencias estadísticamente significativas en el peso de madera de poda por cepa en el año 2007, a favor del tratamiento 1,8, que ha mostrado un valor de 1,49 kg.cepas⁻¹ frente a 1,08 kg.cepas⁻¹ y 1,28 kg.cepas⁻¹ de los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente. En este sentido, Silvestroni *et al.* (2003), trabajando con las variedades Verdicchio y Montepulciano, observaron que al aumentar la distancia entre cepas disminuyó el peso de madera de poda por metro lineal en ambas variedades.

POLLOS

En las tablas III.52, III.53 y III.54 aparecen reflejados los valores medios de peso de madera de poda por m², peso de madera de poda por cepa y peso del sarmiento de los años 2005, 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados de los análisis estadísticos correspondientes. En la figura III.47 se presentan los valores medios de los tres años de estudio de peso de madera de poda por m² y peso del sarmiento.

El peso medio de madera de poda por m² de los tres años de estudio ha mostrado una tendencia a presentar valores más bajos a medida que la distancia entre cepas aumenta (figura III.47). Lo mismo ocurre con el vigor del sarmiento medio de los tres años de estudio, que disminuye a medida que el espaciamiento entre plantas aumenta.

En **2005**, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) en el peso de madera de poda por cepa a favor del tratamiento 1,8, que ha mostrado un valor de 1,43 kg (tabla III.52). Este efecto fue debido al número creciente de sarmientos por planta a medida que aumenta el espaciamiento y consecuentemente, a que el efecto de competencia entre plantas disminuyó y se incrementó la capacidad individual de cada cepa situada a mayor distancia. Por el contrario, el sarmiento ha mostrado una tendencia a reducir su peso a medida que la densidad de plantación es menor, aunque sin encontrarse diferencias con significación estadística, ya que cada cepa desarrolla más sarmientos de menor peso individual, en la medida en que se encuentra más separada de las cepas adyacentes. El peso de madera de poda por m² de suelo ha mostrado una ligera tendencia al aumento a medida que se acorta la distancia entre cepas, aunque sin significación estadística. De igual forma, resultados similares fueron observados por Vázquez *et al.* (2006), trabajando con la variedad Loureira y tres densidades de plantación (2,25×1 m; 2,25×1,2 m y 2,25×1,4 m).

En **2006**, se han encontrado diferencias con significación estadística ($p < 0,01$) en el peso de madera de poda por cepa, a favor del tratamiento 1,8 y en perjuicio del tratamiento 1,2, observándose una tendencia al incremento de la madera de poda a medida que aumenta la distancia entre cepas (tabla III.53). El peso de madera de poda por m^2 de suelo ha mostrado valores próximos en los tres tratamientos, sin embargo, se ha observado una ligera tendencia al aumento de madera de poda por m^2 de suelo a medida que la distancia entre cepas se acorta. Esta misma tendencia se ha observado en el peso del sarmiento, mostrando valores de 119,3 g, 111,6 g y 104,1 g los tratamientos 1,2, 1,5 y 1,8 respectivamente.

En **2007**, al igual que los dos años anteriores, únicamente se han encontrado diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) en el peso de madera de poda por cepa, en perjuicio del tratamiento 1,2, que ha mostrado un valor de 1,42 kg, frente a 1,73 kg y 1,89 $kg \cdot cepa^{-1}$ mostrados por los tratamientos 1,5 y 1,8 respectivamente (tabla III.54). El peso del sarmiento y el peso de madera de poda por m^2 de suelo han mostrado la misma tendencia que en años anteriores, al aumentar el valor a medida que aumenta la densidad de plantación. Resultados parecidos han sido observados por varios investigadores: Archer y Strauss (1991) y Hunter (1998 b) trabajando con la variedad Pinot noir, Pérez (2002) con la variedad Tempranillo, Silvestroni *et al.* (2003) con las variedades Verdicchio y Montepulciano, y Murisier y Zufferey (2003) con la variedad Chasselas.

RODILANA

En las tablas III.55, III.56 y III.57 aparecen reflejados los valores medios de peso de madera de poda por m^2 , peso de madera de poda por cepa y peso del sarmiento de los años 2005, 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados de los análisis estadísticos correspondientes. En la figura III.48 se presentan los valores medios de los tres años de estudio de peso de madera de poda por m^2 y peso del sarmiento.

El peso de madera de poda ($kg \cdot m^{-2}$) medio de los tres años de estudio ha mostrado una tendencia a disminuir a medida que aumenta la distancia entre cepas (figura III.48). De igual forma, el vigor del sarmiento ha mostrado la misma tendencia, presentando mayor valor a medida que se acorta la distancia entre cepas.

En **2005**, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el peso de madera de poda por cepa en perjuicio del

tratamiento 1,2, observándose mayor valor a medida que se incrementa la distancia entre cepas (tabla III.55). Esto se debe al número creciente de yemas dejadas en la poda a medida que se incrementa la distancia entre cepas. En cambio, el peso de madera de poda por m² no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, presentado el tratamiento 1,5 un valor de 0,284 kg, mayor que el resto de tratamientos. De igual forma, el peso del sarmiento ha sido mayor en el tratamiento 1,5, con un valor de 85,2 g, frente a 79,3 g y 71,6 g de los tratamientos 1,2 y 1,8 respectivamente, aunque sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

En **2006**, el peso de madera poda por cepa no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, presentado el tratamiento 1,5 un valor de 0,830 kg, mayor que el resto de tratamientos (tabla III.56). En cambio, el peso de madera de poda por m² ha mostrado una tendencia al aumento a medida que se acorta la distancia entre cepas, habiendo resultado las diferencias entre los tratamientos 1,2 y 1,8 estadísticamente significativas. En este sentido, Silvestroni *et al.* (2003), trabajando con las variedades Verdicchio y Montepulciano, observaron que al aumentar la distancia entre cepas disminuyó el peso de madera de poda por metro lineal en ambas variedades.

El vigor del sarmiento ha mostrado la misma tendencia a presentar mayor valor a medida que la distancia entre cepas se reduce, observándose diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento 1,2 (64,5 g) y el tratamiento 1,8 (44,2 g).

En **2007**, el peso de madera de poda por cepa ha mostrado una tendencia a presentar mayor valor a medida que aumenta la distancia entre cepas, aunque sin observarse diferencias con significación estadística (tabla III.57). Este resultado fue debido al número creciente de sarmientos por planta a medida que aumenta el espaciamiento y consecuentemente, a que el efecto de competencia entre plantas disminuyó y se incrementó la capacidad individual de las cepas situadas a mayor distancia.

Tanto el peso de madera de poda por m² como el vigor del sarmiento han mostrado la misma tendencia, aumentando a medida que la distancia entre cepas disminuye. Las diferencias encontradas han resultado estadísticamente significativas en ambos parámetros, entre los tratamientos 1,2 y 1,8. De igual forma, estas tendencias fueron observadas por Archer y Strauss (1991) y Hunter (1998 b) trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación.

TORO

En las tablas III.58, III.59 y III.60 aparecen reflejados los valores medios de peso de madera de poda por m², peso de madera de poda por cepa y peso del sarmiento de los años 2005, 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados de los análisis estadísticos correspondientes. En la figura III.49 se presentan los valores medios de los tres años de estudio de peso de madera de poda por m² y peso del sarmiento.

El peso de madera de poda (kg.m⁻²) medio de los tres años de estudio ha presentado una tendencia a disminuir a medida que la distancia entre cepas aumenta (figura III.49). Esta misma tendencia ha sido observada en el peso medio del sarmiento de los tres años de estudio. Archer y Strauss (1991), trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación (1×0,5 m; 1×1 m; 2×1 m; 2×2 m; 3×1,5 m y 3×3 m), observaron la misma tendencia en el peso de madera de poda (kg.ha⁻¹).

En **2005**, se han observado diferencias estadísticamente significativas en el peso de madera de poda por m² a favor del tratamiento 1,2 y en perjuicio del tratamiento 1,8 (tabla III.58). Se ha observado una tendencia a aumentar la madera de poda (kg.m⁻²) a medida que se acorta la distancia entre cepas. Sin embargo, el peso de madera de poda por cepa no ha mostrado diferencias con significación estadística, ya que los tres tratamientos presentaron valores muy similares, en torno a 0,64 kg por cepa. El peso medio del sarmiento ha mostrado la misma tendencia que el peso de madera de poda por m², al aumentar a medida que se eleva la densidad de plantación, observándose diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento 1,2 y en perjuicio del tratamiento 1,8.

En **2006** y **2007** no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en los parámetros de madera de poda (kg.m⁻² y kg.cep⁻¹) y peso del sarmiento (tablas III.59 y III.60). Sin embargo, en ambos años se ha observado una tendencia al aumento del peso de madera de poda por cepa a medida que disminuye la densidad de plantación, debido al aumento del número de yemas dejadas en la poda a medida que se incrementa la distancia entre cepas. La tendencia es contraria en el peso de madera de poda por m², que disminuye a medida que la densidad de plantación es más baja, como ocurre con el peso del sarmiento. Estas tendencias también fueron observadas por Silvestroni *et al.* (2003) con las variedades Verdicchio y Montepulciano, y Murisier y Zufferey (2003) con la variedad Chasselas.

4.3 Crecimiento del diámetro del tronco

CASTRILLO DE DUERO

En las tablas III.50 y III.51 se presentan los valores medios del crecimiento en grosor (diámetro) del tronco de la planta en 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente.

En **2006**, el crecimiento en grosor del tronco ha mostrado una ligera tendencia al aumento a medida que el espaciamiento entre cepas es mayor, aunque sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales (tabla III.50). En este sentido, Chauvet y Reynier (1974) afirman que al aumentar la densidad de plantación las cepas entran en competencia, induciendo una disminución del potencial de la vid, que se manifiesta en una pérdida de rendimiento en uva, de madera de poda, de crecimiento en grosor del tronco, etc.

En **2007**, se ha observado un menor crecimiento medio del tronco en los tres tratamientos experimentales que en el año anterior. No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales, ni se ha observado una tendencia clara entre tratamientos (tabla III.51). El tratamiento 1,8 ha mostrado nuevamente un mayor crecimiento medio del tronco (4,13 mm), mientras que el tratamiento 1,5 ha sido el que ha mostrado un menor crecimiento medio (3,56 mm).

POLLOS

En las tablas III.53 y III.54 se presentan los valores medios del crecimiento en grosor (diámetro) del tronco de la planta en 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente.

En **2006**, el crecimiento en grosor del tronco no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (tabla III.53). El tratamiento 1,5 ha presentado mayor crecimiento en grosor del tronco, al mostrar un valor de 5,11 mm frente a 4,70 mm y 4,84 mm mostrados por los tratamientos 1,2 y 1,8 respectivamente.

En **2007**, el crecimiento en grosor del tronco ha sido menor que en 2006. Nuevamente, el tratamiento 1,2 ha presentado menor valor de incremento que los otros dos tratamientos, al mostrar un valor de 3,46 mm frente a 3,99 mm y 3,97 mm de los tratamientos 1,5 y 1,8 respectivamente (tabla III.54).

Sin embargo, no se han observado diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

RODILANA

En las tablas III.56 y III.57 se presentan los valores medios del crecimiento en grosor (diámetro) del tronco de la planta en 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente.

En **2006**, el crecimiento en grosor del tronco ha mostrado una tendencia a aumento a medida que se incrementa la distancia entre cepas, aunque sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (tabla III.56).

En **2007**, el crecimiento en grosor del tronco ha mostrado la misma tendencia del año anterior, al aumentar a medida que disminuye la densidad de plantación (tabla III.57). En este año, el crecimiento en grosor del tronco ha sido ligeramente menor en cada tratamiento que en el año anterior. En todo caso, no se ha observado que las diferencias entre tratamientos experimentales resultasen estadísticamente significativas.

TORO

En las tablas III.59 y III.60 se presentan los valores medios del crecimiento en grosor (diámetro) del tronco de la planta en 2006 y 2007. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente.

En **2006**, el crecimiento en grosor del tronco ha presentado valores crecientes con el aumento de la distancia entre cepas, aunque sin observarse diferencias con significación estadística entre tratamientos (tabla III.59). En este sentido, Chauvet y Reynier (1974) afirman que al aumentar la densidad de plantación las cepas entran en competencia, induciendo una disminución del potencial de la vid, que se manifiesta en una reducción del crecimiento en grosor del tronco entre otros aspectos.

En **2007**, se han obtenido valores de crecimiento del tronco similares en los diversos tratamientos, aunque se ha observado una tendencia parecida a la de 2006, ya que el incremento del grosor del tronco fue menor en el tratamiento de menor distancia entre cepas (tabla III.60).

4.4 Índice de Ravaz

CASTRILLO DE DUERO

En las tablas III.49, III.50 y III.51 se presentan los valores medios de la relación entre producción de uva y madera de poda, denominada índice de Ravaz, de los años 2005, 2006 y 2007 respectivamente. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente. En la figura III.46 se presenta el valor medio de los tres años de estudio del índice de Ravaz.

Los valores del índice de Ravaz obtenidos muestran ligeras variaciones según el año estudiado, así en 2007 se ha observado un valor menor que en 2006 y 2005 en los tres tratamientos estudiados. El valor medio de los tres años ha mostrado un índice sensiblemente menor del tratamiento 1,2, de 4,86, respecto a los tratamientos 1,5 y 1,8 que han mostrado valores similares, de 6,07 y 5,91 respectivamente (figura III.46). Este índice fue evaluado por primera vez por Ravaz (1906, en Sánchez 2007), quien propuso un ratio entre los pesos de vendimia y de madera de poda para estimar el balance entre el crecimiento vegetativo y la productividad de la cepa, utilizando el peso de madera de poda por estar directamente relacionado con el área foliar y por ser un índice más sencillo que el que relaciona el área foliar y el rendimiento.

En **2005**, el índice de Ravaz de los tratamientos 1,5 y 1,8 ha mostrado valores similares, en torno a 6,71, frente al tratamiento 1,2, que ha mostrado un valor sensiblemente menor, de 5,56, aunque sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos experimentales (tabla III.49). Nadal y Lampreave (1999) observaron que el aumento de la densidad de plantación reducía el índice de Ravaz.

En **2006**, el índice de Ravaz no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, con un valor superior del tratamiento 1,5, de 6,98, y uno inferior del tratamiento 1,2, de 5,26, pero sin llegar a observarse que dichas diferencias resultasen con significación estadística (tabla III.50). En este sentido, Reynolds *et al.* (1994) indican que el índice de Ravaz debe ser cuidadoso para situaciones de cargas altas o bajas.

En **2007**, se han observado los valores más bajos de este índice en el periodo de los tres años de estudio, resultando diferencias estadísticamente significativas en perjuicio del tratamiento 1,2, que ha presentado el menor valor, de 3,76, frente a valores de 4,51 y 4,64 de los tratamientos 1,5 y 1,8 respectivamente (tabla III.51). Estos valores mínimos, consecuencia de un

menor rendimiento y un mayor peso de madera de poda en dicho año en los tres tratamientos experimentales, reflejaron probablemente un excesivo amontonamiento de la vegetación en el tratamiento 1,2. En este sentido, Peterlunger *et al.* (2003), trabajando con la variedad Sauvignon blanc y cuatro densidades de plantación (0,8×2,9 m; 1×2,9 m; 1,2×2,9 m y 1,4×2,9 m), obtuvieron valores de índice de Ravaz de 4,5 en las bajas densidades de plantación y de 3,3 en la densidad más alta.

POLLOS

En las tablas III.52, III.53 y III.54 se presentan los valores medios de la relación entre producción de uva y madera de poda, ó índice de Ravaz, de los años 2005, 2006 y 2007 respectivamente. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente. En la figura III.47 se presenta el valor medio de los tres años de estudio del índice de Ravaz.

El índice de Ravaz medio de los tres años de estudio ha mostrado valores similares en los tres tratamientos estudiados, aunque se ha observado una ligera tendencia al aumento de dicho índice a medida que aumenta la distancia entre cepas (figura III.47). Cavallo (2001, en Sánchez 2007) obtuvo índices de Ravaz similares para tratamientos experimentales con composiciones de mosto muy diferentes. En este sentido, Poni *et al.* (2006) afirman que esta situación es debida a la pérdida de sensibilidad del peso de madera de poda como indicador de la funcionalidad del *canopy* y de su eficiencia.

En **2005**, el tratamiento 1,8 ha mostrado un índice de Ravaz de 5,97, ligeramente superior a 5,25 y 5,22 de los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente, aunque sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (tabla III.52).

En **2006**, el índice de Ravaz no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales (tabla III.53), sin embargo, se ha podido observar una tendencia al incremento de dicho índice a medida que aumenta la distancia entre cepas. Esta misma tendencia fue observada por Nadal y Lampreave (1999) al recoger valores más bajos del índice de Ravaz a medida que aumenta la densidad de plantación.

En **2007**, se han observado los valores más bajos de este índice en el periodo de estudio, lo que ha podido reflejar un mayor desarrollo foliar (LAI) y, probablemente, un mayor amontonamiento de la vegetación (tabla III.54).

No se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales. Los valores del índice observados han sido similares en los tratamientos 1,2 y 1,5, de 3,62 y 3,51 respectivamente, mientras que en el tratamiento 1,8 fue más elevado, de 4,06. Dichos valores son similares a los observados por Peterlunger *et al.* (2003), trabajando con la variedad Sauvignon blanc y 4 distancias entre cepas diferentes.

RODILANA

En las tablas III.55, III.56 y III.57 se presentan los valores medios de la relación entre producción de uva y madera de poda, ó índice de Ravaz, de los años 2005, 2006 y 2007 respectivamente. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente. En la figura III.48 se presenta el valor medio de los tres años de estudio del índice de Ravaz.

El valor medio de los tres años del índice de Ravaz no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos experimentales (figura III.48), aunque el tratamiento 1,8 ha mostrado un valor del índice ligeramente superior a los otros dos tratamientos.

En **2005**, los tratamientos 1,2 y 1,8 han mostrado valores similares mientras que el tratamiento 1,5 ha mostrado un índice de Ravaz sensiblemente menor (1,86) a dichos tratamientos (2,1), aunque sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre ellos (tabla III.55). En general, el índice de Ravaz ha sido muy bajo, sensiblemente menor al de 2006 y 2007, debido al menor rendimiento obtenido en 2005, año marcado por las altas temperaturas estivales y la ausencia de precipitaciones durante todo el ciclo vegetativo de la vid.

En **2006**, el índice de Ravaz ha mostrado un índice más elevado a medida que se incrementa la distancia entre cepas, observándose valores de 3,88, 4,30 y 5,01 en los tratamientos 1,2, 1,5 y 1,8 respectivamente (tabla III.56). Sin embargo, no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales. Esta misma tendencia fue observada por Nadal y Lampreave (1999) al recoger valores más bajos del índice de Ravaz a medida que aumentaba la densidad de plantación.

En **2007**, no se ha observado ninguna tendencia entre tratamientos, siendo el 1,8 el que ha mostrado mayor índice de Ravaz, con un valor de 3,69, frente a 3,51 y 3,22 de los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente (tabla III.57).

TORO

En las tablas III.58, III.59 y III.60 se presentan los valores medios de la relación entre producción de uva y madera de poda, ó índice de Ravaz, de los años 2005, 2006 y 2007 respectivamente. En dichas tablas se recogen los resultados del análisis estadístico correspondiente. En la figura III.49 se presenta el valor medio de los tres años de estudio del índice de Ravaz.

El índice de Ravaz medio de los tres años ha mostrado una ligera tendencia a aumentar con la distancia entre cepas (figura III.49). El tratamiento 1,8 ha presentado mayor diferencia con respecto al 1,5, que este tratamiento con respecto al 1,2.

En **2005**, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque se ha observado una tendencia a aumentar ligeramente la relación producción de uva – madera de poda a medida que aumenta la distancia entre cepas (tabla III.58).

En **2006**, el índice de Ravaz no ha presentado una tendencia clara entre tratamientos, mostrando valores de 3,78 y 3,67 correspondientes a los tratamientos 1,2 y 1,5, respectivamente, frente a 4,42 del tratamiento 1,8, pero sin encontrarse diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales (tabla III.59). Valores similares de este índice fueron obtenidos por Peterlunger *et al.* (2003), trabajando con la variedad Sauvignon blanc y 4 distancias entre cepas diferentes.

En **2007**, aunque no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, se ha observado una tendencia al incremento del índice de Ravaz a medida que aumenta la distancia entre cepas (tabla III.60). Este año se han obtenido los valores más bajos de dicho índice debido, principalmente, a un pedrisco caído en mayo que ocasionó graves daños en la uva, lo que condujo a valores más bajos en la relación entre producción de uva y de madera de poda.

4.5 Relación entre rendimiento y superficie foliar

En la tabla III.61 se pueden observar los valores de la relación entre producción de uva y superficie foliar obtenida en el momento de máximo desarrollo (finales de julio) en 2005, 2006 y 2007 en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como los niveles de significación estadística del análisis de varianza de los tratamientos de distancia entre cepas.

Tabla III.61. Datos medios en 2005, 2006 y 2007 de la relación entre **producción de uva**, Prod ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), y superficie foliar total, **LAI** ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$), y superficie foliar externa, **SA** ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$), de los tratamientos (T) de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero**, **Pollos**, **Rodilana** y **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

T	<i>Castrillo de Duero</i>					
	2005		2006		2007	
	Prod / LAI	Prod / SA	Prod / LAI	Prod / SA	Prod / LAI	Prod / SA
1,2	0,64	1,17	0,64	1,54	0,37	1,23
1,5	0,73	1,43	0,90	1,89	0,46	1,39
1,8	0,62	1,16	0,68	1,62	0,43	1,41
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Pollos</i>					
1,2	0,60	1,50	0,96 ^a	1,86	0,44	1,45
1,5	0,70	1,37	0,70 ^b	1,83	0,40	1,36
1,8	0,73	1,54	1,02 ^a	2,02	0,53	1,47
Sig	ns	ns	*	ns	ns	ns
	<i>Rodilana</i>					
1,2	0,34	0,71	0,40	0,93	0,42	1,18 ^a
1,5	0,39	0,69	0,43	0,97	0,36	0,99 ^b
1,8	0,39	0,63	0,40	0,91	0,36	0,96 ^b
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	*
	<i>Toro</i>					
1,2	0,45	0,80	0,51	1,03	0,11	0,40
1,5	0,37	0,66	0,45	0,90	0,16	0,44
1,8	0,40	0,67	0,55	1,09	0,21	0,62
Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns

En la tabla III.62 se pueden observar las ecuaciones de regresión lineal de las relaciones entre producción de uva ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y superficie foliar total LAI ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$) (figura III.50), y entre producción de uva ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y superficie foliar externa ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$) (figura III.51) en el conjunto de los tres años de estudio (2005-07), para el conjunto de ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como los niveles de significación estadística del análisis de varianza de las rectas de regresión de los tratamientos de distancia entre cepas.

Tabla III.62. Ecuaciones de regresión lineal entre **producción de uva** ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y superficie foliar, **LAI** ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$), y superficie foliar externa, **SA** ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$), coeficiente de determinación (R^2), en el conjunto de los tres años de estudio, 2005-2007, correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) y al conjunto global de tratamientos (G) para el conjunto de los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana** y

LAI	Recta de regresión	R^2	Sig
1,2	$y = 0,0971 x + 0,8609$	0,0204	ns
1,5	$y = 0,2116 x + 0,6073$	0,0784	ns
1,8	$y = 0,2523 x + 0,5343$	0,1096	*
G	$y = 0,1799 x + 0,6765$	0,062	**
SA	Recta de regresión	R^2	Sig
1,2	$y = 3,7737 x - 2,4177$	0,4646	**
1,5	$y = 3,3782 x - 1,9905$	0,3972	**
1,8	$y = 2,8328 x - 1,4566$	0,3525	**
G	$y = 3,2079 x - 1,8395$	0,3925	**

Toro. Análisis estadístico de las rectas de regresión para un nivel de significación estadística (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

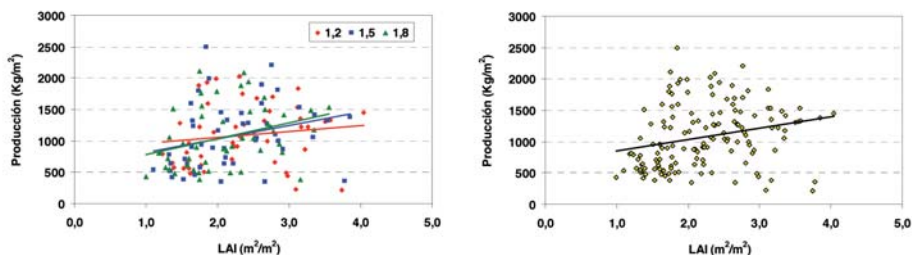


Figura III.50. Rectas de regresión correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) (izquierda) y recta de regresión general (sin distinción entre distancias entre cepas) (derecha) de la relación entre **producción de uva** ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y superficie foliar total, **LAI** ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$), en el conjunto de los tres años de estudio, 2005-07.

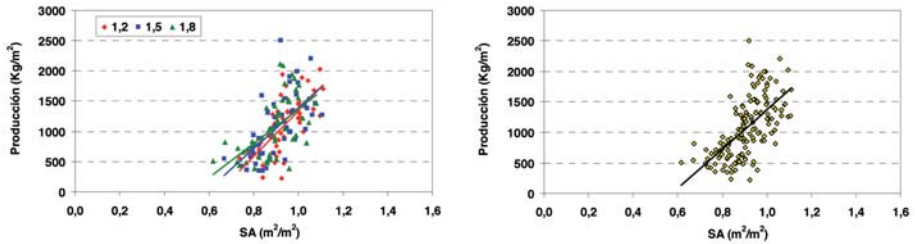


Figura III.51. Rectas de regresión correspondientes a los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) (izquierda) y recta de regresión general (sin distinción entre distancias entre cepas) (derecha) de la relación entre **producción de uva** ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y superficie foliar externa, **SA** ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$), en el conjunto de los tres años de estudio, 2005-07.

En el ensayo de **Castrillo de Duero** los rendimientos obtenidos por unidad de área foliar total no han mostrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en los tres años de estudio. Se ha observado una tendencia general del tratamiento 1,5 a presentar mayor rendimiento por unidad de superficie foliar total en el periodo de estudio. En 2006 y 2007, el tratamiento 1,2 ha presentado menor relación producción/LAI que los otros dos tratamientos, mostrando valores de $0,64 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y $0,37 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ respectivamente.

La relación producción/SA ha mostrado la misma tendencia que la relación citada anteriormente, al presentar el tratamiento 1,5 mayores valores que los otros dos tratamientos, aunque sin observarse diferencias con significación estadística. En este sentido, Pérez (2002), trabajando con la variedad Tempranillo, encontró diferencias estadísticamente significativas en ambas relaciones entre las dos densidades de plantación que estudió.

En el ensayo de **Pollos** se ha observado una tendencia del tratamiento 1,8 a presentar mayores rendimientos por unidad de área foliar total que los otros dos tratamientos en los tres años de estudio, aunque sólo se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en 2006, en perjuicio del tratamiento 1,5, que presentó un valor sensiblemente menor al 1,2 y al 1,8.

La relación producción/SA ha mostrado la misma tendencia, al presentar el tratamiento 1,8 los valores más altos de rendimiento por unidad de superficie foliar externa en los tres años de estudio, aunque sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales. Contrariamente, el tratamiento 1,5 ha presentado los valores más bajos de esta relación en el periodo de estudio. Según Hunter y Visser

(1990 a,b), se requieren generalmente de 10 a 12 cm² de hoja por cada gramo de fruta para obtener una adecuada maduración, o lo que es lo mismo, se pueden madurar entre 0,83 kg y 1,0 kg de uva por cada m² de superficie foliar externa. Así, los valores encontrados en este ensayo están por encima de las recomendaciones de estos autores.

En el ensayo de **Rodilana** no se ha observado una tendencia clara entre tratamientos en la relación producción/LAI a lo largo del periodo de estudio, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Los tratamientos 1,2 (0,42 kg.m⁻²), 1,5 (0,43 kg.m⁻²) y 1,8 (0,39 kg.m⁻²) han mostrado los valores máximos en los años 2007, 2006 y 2005 respectivamente, con respecto al resto de tratamientos.

En la relación producción/SA se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a favor del tratamiento 1,2 en 2007, que ha mostrado un valor de 1,18 kg.m⁻², superior al de los tratamientos 1,5 y 1,8. Se ha observado una tendencia del tratamiento 1,8 a presentar los valores más bajos en los tres años de estudio. Los valores observados en este ensayo son similares, excepto en 2005, a los valores recomendados por Hunter y Visser (1990 a,b).

En el ensayo de **Toro** no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos en el periodo de estudio en la relación producción/LAI. En 2005, el tratamiento 1,2 ha mostrado mayor producción de uva por unidad de superficie foliar total, en cambio en 2006 y 2007 el tratamiento 1,8 mostró los valores más altos.

La relación producción/SA ha mostrado la misma tendencia que la relación producción/LAI, mostrando el tratamiento 1,8 el valor máximo en 2006 y 2007, con valores de 1,09 kg.m⁻² y 0,62 kg.m⁻² respectivamente. En 2007, la relación producción/SA ha mostrado los valores mínimos del periodo de estudio debido a la reducción del rendimiento en uva ocasionada por un pedrisco caído en mayo en el ensayo, que mermó considerablemente la producción de uva.

Paralelamente, se han representado las relaciones entre producción de uva y superficie foliar total y externa del conjunto de datos obtenidos en el periodo 2005-2007 para el conjunto de los cuatro ensayos experimentales (figuras III.50 y III.51). También se han obtenido las rectas de regresión, los coeficientes de determinación y los niveles de significación estadística correspondientes al conjunto de los tres años y al conjunto de los cuatro

ensayos experimentales para los tres tratamientos de distancia entre cepas y para el conjunto de tratamientos (tabla III.62).

Las rectas que relacionan la producción de uva y el valor de LAI correspondientes a los tratamientos 1,2 y 1,5 han resultado no significativas, mostrando coeficientes R^2 muy bajos, de 0,02 y 0,07 respectivamente. La recta del tratamiento 1,8 ha resultado ser significativa ($p < 0,05$), aunque el coeficiente de determinación ha sido bajo (0,1). Igualmente, la recta de regresión para el conjunto de tratamientos ha resultado altamente significativa ($p < 0,01$) con un coeficiente de determinación bajo (0,06). Los valores bajos del coeficiente de determinación pueden haber sido debidos a que existen otros parámetros medioambientales y de manejo de cultivo que también han influido en el rendimiento por unidad de superficie foliar total (Pérez 2002).

Las rectas de regresión obtenidas de la relación entre producción de uva y superficie foliar externa han resultado altamente significativas ($p < 0,01$) tanto para cada tratamiento de distancia entre cepas como para el conjunto de ellos, lo que demuestra una estrecha relación entre ambas variables. Los coeficientes de determinación obtenidos han sido más elevados que los obtenidos en la relación producción/LAI. Se ha observado una ligera tendencia a presentar pendientes más positivas y coeficientes de determinación ligeramente más elevados a medida que se acorta la distancia entre cepas, lo que puede significar que las cepas situadas más próximas alcanzan un nivel de producción de uva ligeramente más bajo que las cepas situadas a mayor distancia, con una superficie foliar externa parecida y de menor eficacia productiva, como también observó Pérez (2002) trabajando con la misma variedad y dos densidades de plantación.

La relación entre producción de uva y el valor del LAI presenta mayor variabilidad interanual que la relación entre producción de uva y superficie foliar externa, con coeficientes de determinación mucho mayores en esta última.

5 Composición de la Uva

El análisis de los componentes básicos del mosto (azúcares y ácidos) constituye una información muy valiosa para conocer el estado de madurez de la uva (Pérez 2002), siendo, en particular, el contenido de sólidos solubles,

un parámetro decisivo y un reflejo de la actividad fisiológica, el crecimiento vegetativo y el rendimiento en uva a nivel de planta y de cultivo (Yuste 1995; Rubio 2002). Peynaud (1989) destaca su importancia práctica como indicador de la calidad de la vendimia, y en las relaciones con otros parámetros, en particular para estimar la fecha de vendimia adecuada.

Para el estudio de la calidad de la uva se ha determinado la composición básica del mosto a través del contenido de sólidos solubles totales (expresado como grado alcohólico probable en % volumen), acidez total (en g.L^{-1} de ácido tartárico), pH, ácido tartárico (en g.L^{-1}), ácido málico (en g.L^{-1}), potasio (en ppm), intensidad de color y tonalidad de color, índice de polifenoles totales, antocianos fácilmente extraíbles (mg.L^{-1}), antocianos totales (mg.L^{-1}), índice de extractibilidad celular (%) y madurez fenólica de las pepitas (%), correspondientes a los distintos tratamientos en 2005, 2006 y 2007.

Las diferencias encontradas entre un año y otro responden en gran medida a los niveles de rendimiento y de desarrollo vegetativo y a las condiciones climáticas de cada año, que han influido decisivamente en los parámetros analíticos señalados.

5.1 Grado alcohólico probable

El grado alcohólico probable se corresponde con la concentración de azúcares (principalmente glucosa y fructosa) que se acumulan en las bayas procedentes de la actividad fotosintética de las hojas. De igual forma, las bayas también pueden recibir azúcares a partir de reservas acumuladas en otras partes de la planta, como las raíces, el tronco o los pámpanos (Pérez 2002).

Los resultados relativos al grado alcohólico probable (en % en volumen a 20 °C) en el mosto de vendimia de los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados en las tablas III.63, III.64, III.65 y III.66, respectivamente. De igual forma, en las figuras III.52, III.53, III.54 y III.55 aparece representado el valor medio del grado alcohólico probable (en % en volumen a 20 °C) del mosto de vendimia para el conjunto de los tres años en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente.

En el ensayo de **Castrillo de Duero** no se han encontrado diferencias

estadísticamente significativas entre tratamientos en el periodo de estudio (tabla III.63). En 2005 el tratamiento 1,2 ha presentado una diferencia favorable de más de 0,5° respecto a los otros dos tratamientos. En cambio, en 2006, los tres tratamientos presentaron valores muy similares, en torno a 14°, siendo el año que más concentración de azúcares acumularon las bayas en el periodo de estudio. De igual forma, este año se observó una mayor producción que en 2005 y 2007. En 2007 el tratamiento 1,8 presentó el menor grado alcohólico, con un valor de 12,98°, frente a 13,78°, el valor más alto del tratamiento 1,5. No se ha observado ninguna tendencia clara entre tratamientos en los tres años estudio, aunque el grado alcohólico medio de los tres años ha mostrado una ligera tendencia a aumentar a medida que la distancia entre cepas se acorta, aunque con diferencias entre tratamientos de escasa magnitud (figura III.52).

En este sentido, Di Lorenzo *et al.* (2003) trabajando con las densidades de plantación 1×2 m, 1×2,25 m y 1×2,5 m en las variedades Nero d'Avola, Merlot e Inzolia por un lado, y con las densidades de plantación 0,8×2,2 m, 0,8×2,4 m, 1×2,2 m y 1×2,4 m en las variedades Nero d'Avola, Merlot y Cabernet Sauvignon por otro, no observaron diferencias significativas en los parámetros de calidad de la uva en ninguno de los ensayos planteados en ninguna de las variedades estudiadas.

Tabla III.63. Grado alcohólico probable (% volumen) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	13,09	14,03	13,41
1,5	12,39	14,12	13,78
1,8	12,51	14,10	12,98
Sig	ns	ns	ns

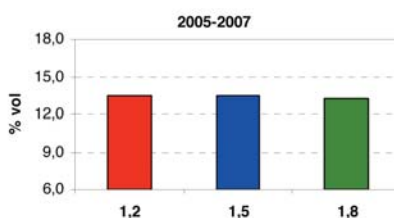


Figura III.52. Grado alcohólico probable (% volumen) medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**.

En el ensayo de **Pollos** no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales en el periodo de estudio (tabla III.64). En 2005, las tres distancias entre cepas estudiadas mostraron una concentración de sólidos solubles equivalente a 13,4° de alcohol probable.

En cambio, en 2006 y 2007 se observó una ligera tendencia a presentar mayor concentración de sólidos solubles a medida que la distancia entre cepas es menor. En este sentido, Naor *et al.* (1993) sostienen que una mayor carga de uva podría explicar la concentración de azúcar más baja en el mosto, y a la inversa.

En 2006 se observó mayor grado alcohólico probable que en 2005 y 2007 en todos los tratamientos. De igual forma que en el ensayo de Castrillo de Duero, en dicho año se obtuvo mayor rendimiento en las tres densidades de plantación estudiadas que en los otros dos años de estudio.

El grado alcohólico medio de los tres años ha mostrado una ligera tendencia a presentar mayor valor a medida que se acorta la distancia entre cepas (figura III.53), como en 2006 y 2007. Resultados similares observaron Archer y Strauss (1991), trabajando con Pinot noir y seis densidades de plantación.

Tabla III.64. Grado alcohólico probable (% volumen) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	13,36	14,28	13,64
1,5	13,37	14,20	13,46
1,8	13,37	14,12	13,42
Sig	ns	ns	ns

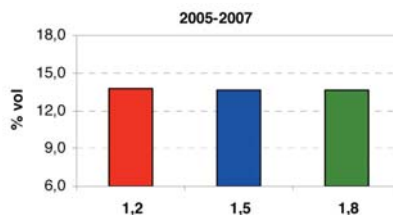


Figura III.53. Grado alcohólico probable (% volumen) medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Pollos**.

En el ensayo de **Rodilana** no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el periodo de estudio (tabla III.65). De igual forma, Murisier y Ferretti (1996), trabajando con Merlot en Suiza, tampoco encontraron influencia de la densidad en el contenido de azúcar del mosto.

En 2005 se ha observado que al aumentar la densidad de plantación aumenta ligeramente el contenido de sólidos solubles, en cambio en 2006 y 2007 no se ha observado una tendencia definida entre tratamientos. En este sentido, Hunter (1998 b) trabajando con la variedad Pinot noir, observó mayor contenido de azúcar en el mosto de las densidades de plantación más altas.

En 2006 el grado alcohólico probable ha presentado los mayores valores durante el periodo de estudio, en torno a 16,2°. En 2007 se observaron valores de grado alcohólico probable en torno a 13,8°, siendo el tratamiento 1,5 el que mayor concentración de azúcar presentó (13,93°). La concentración de azúcar media de los tres años de estudio presentó valores muy similares en los tres tratamientos experimentales, en torno a 14,5° (figura III.54).

Tabla III.65. Grado alcohólico probable (% volumen) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	13,90	16,23	13,66
1,5	13,51	16,18	13,93
1,8	13,31	16,38	13,83
Sig	ns	ns	ns

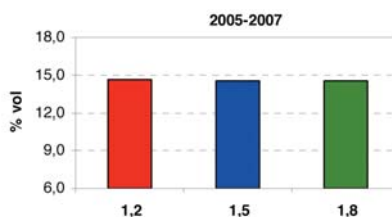


Figura III.54. Grado alcohólico probable (% volumen) medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Rodilana**.

En el ensayo experimental de **Toro** no se ha observado una tendencia clara entre tratamientos experimentales durante el periodo de estudio, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre ellos (tabla III.66). En 2005 el tratamiento 1,2 mostró mayor grado alcohólico probable (11,80°) que el 1,5 (10,89°) y el 1,8 (11,31°), obteniéndose este año los valores más bajos de concentración de sólidos solubles en los tres tratamientos experimentales. En 2006 se observaron concentraciones de azúcar similares en los diversos tratamientos, aunque el 1,8 mostró un grado alcohólico probable ligeramente superior (14,61°) que el 1,2 (14,47°) y el 1,5 (14,44°). En 2007, año marcado por un pedrisco ocurrido a últimos de mayo que mermó cuantiosamente la producción, se observaron concentraciones de sólidos solubles con valores de 13,52°, 14,01° y 13,80° en los tratamientos 1,2, 1,5 y 1,8 respectivamente.

El grado alcohólico probable medio de los tres años de estudio ha mostrado valores muy similares de los tres tratamientos experimentales, aunque el 1,2 ha presentado una concentración de azúcar en el mosto ligeramente mayor, correspondiente a 13,27° de alcohol probable (figura III.55). En este sentido,

Peterlunger *et al.* (2003) trabajando con la variedad Cabernet sauvignon y cuatro densidades de plantación (2,9×0,8 m; 2,9×1 m; 2,9×1,2 m y 2,9×1,4 m) no observaron diferencias estadísticamente significativas entre los 4 tratamientos experimentales estudiados en la concentración de sólidos solubles, aunque observaron una ligera tendencia a aumentar la concentración de azúcar en el mosto a medida que disminuye la distancia entre cepas. Estos autores sostienen que esta tendencia está relacionada con la mayor superficie foliar por kg de uva observada en la distancia entre cepas más reducida.

Tabla III.66. Grado alcohólico probable (% volumen) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	11,80	14,47	13,52
1,5	10,89	14,44	14,01
1,8	11,31	14,61	13,80
Sig	ns	ns	ns

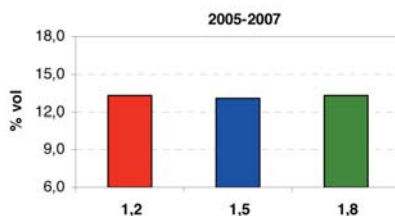


Figura III.55. Grado alcohólico probable (% volumen) medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Toro**.

En general, la distancia entre cepas no ha resultado un factor determinante en los resultados de grado alcohólico probable obtenidos en los cuatro ensayos experimentales. Se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar mayor grado alcohólico probable que los otros dos tratamientos.

5.2 Acidez total

Los resultados relativos a la acidez total titulable media en el mosto de vendimia de los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados en las tablas III.67, III.68, III.69 y III.70, respectivamente. De igual forma, en las figuras III.56, III.57, III.58 y III.59 aparece representado el valor medio de la acidez total titulable en el mosto de vendimia para el conjunto de los tres años en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente.

En el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**, la acidez total no ha mostrado diferencias con significación estadística en los tres años de estudio. Se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,8 a presentar una acidez total ligeramente inferior a los otros dos tratamientos en el periodo de estudio (tabla III.67).

En 2005, la acidez total no ha mostrado diferencias debidas a la variación de la distancia entre cepas, observándose valores muy similares en los tres tratamientos estudiados, en torno a 4,6 g.L⁻¹. De igual forma, los valores observados en 2006 y 2007 fueron similares en las tres distancias entre cepas, con valores en torno a 5,5 g.L⁻¹ en 2006 y a 6 g.L⁻¹ en 2007. En estos años, el tratamiento 1,8 mostró una acidez total ligeramente menor que los otros dos tratamientos, aunque sin que las diferencias fueran estadísticamente significativas. La acidez total media de los tres años ha sido similar en los tres tratamientos estudiados, siendo la distancia entre cepas de 1,8 m la que ha presentado un valor de acidez total, 5,28 g.L⁻¹, ligeramente inferior al de 1,2 m y 1,5 m, que mostraron valores de 5,39 g.L⁻¹ y 5,42 g.L⁻¹ respectivamente (figura III.56).

Vazquez *et al.* (2006) obtuvieron resultados similares trabajando con la variedad Loureira y tres distancias entre cepas (2,25×1,0 m; 2,25×1,2 m y 2,25×1,4 m), ya que no observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos experimentales estudiados, a pesar de que la distancia entre cepas de 1,4 m mostró una ligera tendencia a presentar un menor valor medio de acidez total en los tres años de su estudio (2003-05).

Tabla III.67. Acidez total titulable (g.L⁻¹ de ácido tartárico) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	4,59	5,56	6,03
1,5	4,63	5,56	6,08
1,8	4,55	5,39	5,90
Sig	ns	ns	ns

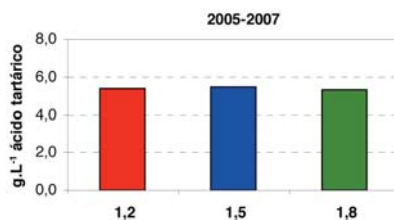


Figura III.56. Acidez total titulable (g.L⁻¹ de ácido tartárico) media del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**.

En el ensayo experimental de **Pollos**, en 2005, no se ha observado una tendencia clara entre tratamientos, presentando el tratamiento 1,8 la mayor acidez total, con un valor de 5,62 g.L⁻¹, aunque sin encontrarse diferencias con significación estadística (tabla III.68). Tampoco en 2006 se encontraron diferencias estadísticamente significativas, presentando los tres tratamientos una acidez total muy similar, en torno a un valor de 5,5 g.L⁻¹. En cambio, en 2007 se encontraron diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento 1,2, que presentó una acidez total de 5,93 g.L⁻¹ frente a la de los tratamientos 1,5 y 1,8 que mostraron valores de 5,43 g.L⁻¹ y 5,28 g.L⁻¹, respectivamente.

Los valores medios de la acidez total de los tres años de estudio han resultado similares en los tres tratamientos de distancia entre cepas estudiados, mostrando el tratamiento 1,2 una acidez total en conjunto ligeramente superior a la de los otros dos tratamientos (figura III.57).

En este sentido, Hunter (1998 b), trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación, encontró valores de acidez total ligeramente superiores en los espaciamientos más estrechos, al igual que Vazquez *et al.* (2006) con la variedad Loureira.

Tabla III.68. Acidez total titulable (g.L⁻¹ de ácido tartárico) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	5,54	5,49	5,93 ^a
1,5	5,42	5,56	5,43 ^b
1,8	5,62	5,52	5,28 ^b
Sig	ns	ns	*

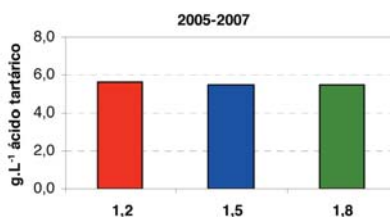


Figura III.57. Acidez total titulable (g.L⁻¹ de ácido tartárico) media del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Pollos**.

En el ensayo experimental de **Rodilana**, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de distancia entre cepas en el periodo de estudio (tabla III.69). En 2005, no se ha observado una tendencia clara entre las tres distancias entre cepas estudiadas, mostrando el tratamiento 1,8 mayor acidez total, con un valor de 5,62 g.L⁻¹. En 2006, la

acidez total observada es muy similar en los tres tratamientos estudiados, con valores en torno 6,9 g.L⁻¹. En cambio en 2007, el tratamiento 1,2 ha mostrado una acidez total ligeramente superior (6,40 g.L⁻¹) a la de los tratamientos 1,5 (5,98 g.L⁻¹) y 1,8 (6,00 g.L⁻¹), aunque sin que estas diferencias fueran estadísticamente significativas.

La acidez total media de los tres años de estudio ha mostrado un valor ligeramente superior en el tratamiento 1,2, de 6,28 g.L⁻¹, frente a 6,18 g.L⁻¹ del tratamiento 1,8 y a 6,03 g.L⁻¹, el valor medido más bajo, del tratamiento 1,5 (figura III.58). Esta misma tendencia del tratamiento con menor distancia entre cepas a presentar mayor acidez total, también fue observada por Hunter (1998 b) en la variedad Pinot noir y por Vazquez *et al.* (2006) en la variedad Loureira. En cambio, Archer y Strauss (1991), trabajando con la variedad Pinot noir y seis densidades de plantación, encontraron valores de acidez total menores en las densidades de plantación más elevadas.

Tabla III.69. Acidez total titulable (g.L⁻¹ de ácido tartárico) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	5,49	6,94	6,40
1,5	5,27	6,86	5,98
1,8	5,62	6,93	6,00
Sig	ns	ns	ns

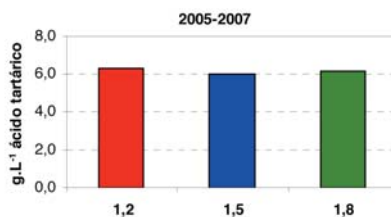


Figura III.58. Acidez total titulable (g.L⁻¹ de ácido tartárico) media del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Rodilana**.

En el ensayo experimental de **Toro**, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en el periodo de estudio (tabla III.70). En 2005 y 2006 no se ha observado ninguna tendencia clara entre tratamientos, variando los valores entre 5,76 g.L⁻¹ (tratamiento 1,5) y 6,11 g.L⁻¹ (tratamientos 1,2 y 1,8). En 2007, año marcado por una pérdida importante de cosecha debido a un pedrisco que mermó cuantiosamente la producción, la acidez total aumentó a medida que la distancia entre cepas se acortaba. La acidez total media de los tres años de estudio mostró un valor ligeramente mayor en el tratamiento 1,2, de 6,47 g.L⁻¹, que en los tratamientos 1,5 y 1,8 de 6,18 g.L⁻¹ (figura III.59).

Esta tendencia fue observada de forma similar en los trabajos de Hunter (1998 b) y Vazquez *et al.* (2006) ya citados.

Tabla III.70. Acidez total titulable (g.L⁻¹ de ácido tartárico) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	6,02	6,11	7,27
1,5	5,76	5,81	6,97
1,8	6,11	5,91	6,51
Sig	ns	ns	ns

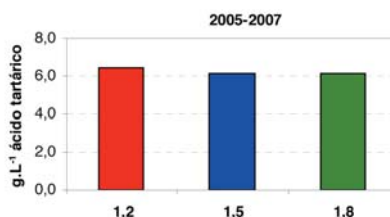


Figura III.59. Acidez total titulable (g.L⁻¹ de ácido tartárico) media del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Toro**.

En general, la acidez total ha mostrado mayores valores en los ensayos experimentales en los que no se aplicó ningún riego durante el periodo de crecimiento de la baya. Estos resultados son aparentemente contrarios a los observados por Lissarrague (1986), Yuste (1995), García-Escudero *et al.* (1997) y Rubio (2002), que encontraron mayor acidez total en cepas regadas que en cepas no regadas situadas dentro de un mismo ensayo experimental. Dichos autores indican que la influencia del riego se produce a través del microclima más fresco y sombreado ocasionado por el mayor área foliar derivado de un vigor y de un desarrollo vegetativo más altos, así como a través de los mayores rendimientos que provoca. Morlat *et al.* (1992) indican que el menor sombreado de los racimos de las cepas sin riego frente a los racimos de las cepas regadas influye para que haya mayor degradación del ácido málico en las primeras. Las pequeñas diferencias observadas entre los ensayos con riego y los ensayos sin riego estival, encontradas en nuestro trabajo, pueden ser explicadas a partir de las diferentes condiciones edáficas y climatológicas en las que se encuentran ubicados los ensayos, en definitiva a la influencia que ejerce el *terroir* de cada ensayo experimental.

5.3 pH

El pH juega un papel directo como factor estabilizador y bactericida en la vinificación, y posibilita la extracción de color de los pigmentos antocianos en el proceso de elaboración del vino (Pérez 2002).

Los resultados relativos al pH del mosto de vendimia de los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados en las tablas III.71, III.72, III.73 y III.74, respectivamente. De igual forma, en las figuras III.60, III.61, III.62 y III.63 aparece representado el valor medio del pH del mosto de vendimia para el conjunto de los tres años en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente.

En el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**, en 2005 y 2007, el pH, habiendo sido similar en los tres tratamientos experimentales estudiados, se situó en valores en torno a 3,4. En 2006, el pH experimentó cierto ascenso con respecto a los otros dos años, mostrando valores cercanos a 3,7, también similares en los tres tratamientos. En ningún año de estudio se observaron diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales. El valor medio de pH del mosto en vendimia para el conjunto de años del estudio no ha mostrado diferencias entre las distancias entre cepas estudiadas, observándose valores próximos a 3,5 (figura III.60). Estos valores son parecidos a los obtenidos por Pérez (2002) trabajando con la misma variedad, dos densidades de plantación y dos regímenes hídricos (secano y regadío). Este autor encontró mayores diferencias en el pH debidas al factor régimen hídrico que al factor densidad de plantación.

Tabla III.71. pH del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	3,47	3,73	3,43
1,5	3,43	3,72	3,39
1,8	3,44	3,68	3,40
Sig	ns	ns	ns

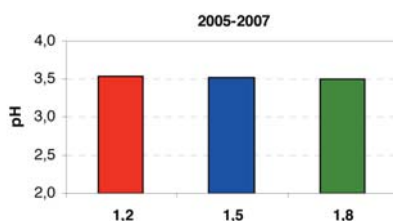


Figura III.60. pH medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**.

En el ensayo experimental de **Pollos**, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en el periodo de estudio (tabla III.72). La variación de la distancia entre cepas no ha mostrado ninguna tendencia clara entre tratamientos, mostrando los

distintos tratamientos experimentales valores de pH similares. Como en el ensayo de Castrillo de Duero, en 2006 se ha observado un nivel más elevado de pH que los otros dos años, con valores en torno a 3,75. En general, este resultado puede estar relacionado con los valores más altos de K⁺ observados en dicho año. En 2005 y 2007, los valores de pH en los tres tratamientos experimentales se situaron en 3,3 y 3,4, respectivamente. El pH medio de los tres años de estudio ha mostrado un valor de aproximadamente 3,5 en las tres distancias entre cepas estudiadas (figura III.61). En relación con esto, Archer y Strauss (1991), trabajando con la variedad Pinot noir, obtuvieron un pH medio de 3,0-3,1 en las seis densidades que estudiaron.

Tabla III.72. pH del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

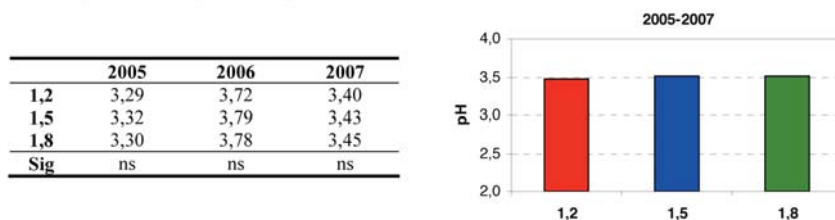


Figura III.61. pH medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Pollos**.

En el ensayo de **Rodilana**, el pH observado ha mostrado valores similares en los tres tratamientos en los tres años, de 3,45-3,65, no encontrándose diferencias con significación estadística en el periodo de estudio (tabla III.73). El pH medio de los tres años ha mostrado un valor de 3,5 en las tres distancias entre cepas estudiadas (figura III.62). Estos valores de pH son similares a los observados por Murisier y Zufferey (2004), trabajando con la variedad Chasselas y 4 densidades de plantación, quienes tampoco encontraron ninguna tendencia clara entre tratamientos en los años de su estudio.

Tabla III.73. pH del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	3,47	3,63	3,55
1,5	3,48	3,65	3,48
1,8	3,46	3,65	3,45
Sig	ns	ns	ns

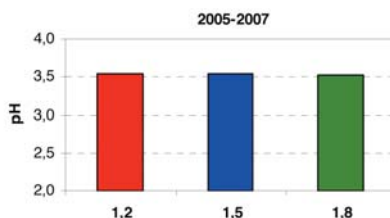


Figura III.62. pH medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Rodilana**.

En el ensayo experimental de **Toro**, no se han observado diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales en el periodo de estudio (tabla III.74), sin observarse una tendencia definida entre tratamientos. En 2005 y 2007 los valores de pH se situaron entre 3,3 y 3,4. En cambio en 2006, el pH fue más elevado, mostrando valores superiores a 3,8. Como en los otros ensayos, el valor medio de pH de los tres años de estudio se ha situado en torno a 3,5 en los tres tratamientos experimentales (figura III.63).

Tabla III.74. pH del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	3,37	3,87	3,35
1,5	3,32	3,84	3,34
1,8	3,35	3,88	3,40
Sig	ns	ns	ns

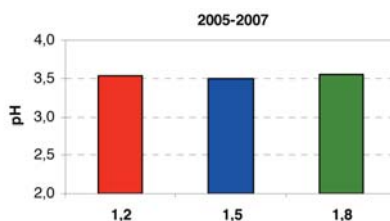


Figura III.63. pH medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Toro**.

En general, la diferente distancia entre cepas no ha resultado un factor determinante en los resultados de pH obtenidos en los cuatro ensayos experimentales. El pH se ha mantenido en niveles similares en todos los tratamientos, observándose mayores diferencias entre años que entre densidades de plantación. En 2006 se

han observado valores de pH más altos que en los otros dos años en los cuatro ensayos experimentales, posiblemente relacionado con que la temperatura durante la fase de maduración en dicho año fue sensiblemente superior a la de 2005 y 2007.

5.4 Ácido tartárico y ácido málico

La acidez de la uva disminuye durante la maduración debido a que los principales ácidos orgánicos son degradados por fenómenos de respiración y combustión. La diferencia en el contenido que existe entre el ácido tartárico y el ácido málico se debe principalmente a que éstos no evolucionan de la misma forma, ya que son sintetizados en la planta por vías diferentes y no son degradados de la misma manera ni con la misma intensidad, de tal forma que la concentración de ácido málico decrece en la fase de maduración más rápidamente que la de ácido tartárico.

Los resultados relativos al ácido tartárico y al ácido málico en el mosto de vendimia de los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados en la tabla III.75. De igual forma, en la figura III.64 aparecen representados los valores medios de ácido tartárico y ácido málico en el mosto de vendimia para el conjunto de los tres años en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro.

Tabla III.75. Ácido tartárico (g.L⁻¹) y ácido málico (g.L⁻¹) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, **Pollos**, **Rodilana** y **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.**

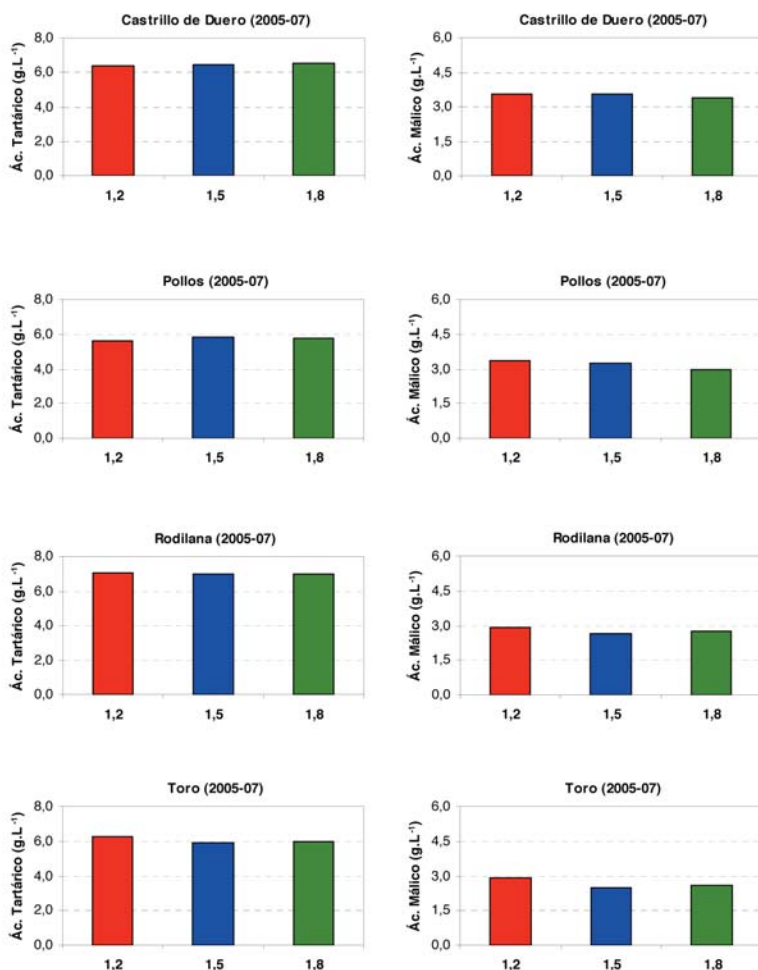
Ensayo experimental	Tratamiento experimental	Ácido Tartárico			Ácido málico		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
Castrillo	1,2	6,65	6,13	6,38 ^b	2,93	3,25	4,52
	1,5	6,60	6,18	6,68 ^{ab}	2,98	3,03	4,65
	1,8	6,68	6,03	6,90 ^a	2,83	3,05	4,35
	Sig	ns	ns	*	ns	ns	ns
Pollos	1,2	4,98	6,08	5,88	3,55 ^a	2,23	4,24
	1,5	5,18	6,55	5,81	3,43 ^a	2,30	3,97
	1,8	4,82	6,63	5,89	2,97 ^b	2,15	3,84
	Sig	ns	ns	ns	**	ns	ns
Rodilana	1,2	7,90	6,83	6,40	2,50	2,43	3,77
	1,5	7,95	6,53	6,38	2,20	2,25	3,55
	1,8	7,93	6,58	6,34	2,38	2,25	3,58
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Toro	1,2	5,95	6,48	6,35	2,25	2,23	4,31
	1,5	5,50	5,83	6,43	1,83	1,88	3,72
	1,8	5,80	5,90	6,25	2,08	2,03	3,76
	Sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns

En el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**, únicamente se han observado diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales en los valores de ácido tartárico en 2007, a favor de la distancia entre cepas de 1,8. Se ha observado una ligera tendencia a presentar mayor concentración de ácido tartárico a medida que la densidad de plantación es menor en dicho año (tabla III.75). La concentración de ácido málico de dicho año no ha mostrado ninguna tendencia clara entre tratamientos experimentales. En 2005 y 2006 la distancia entre cepas no ha resultado determinante, ya que los valores observados, tanto de ácido tartárico como de ácido málico, son similares en todos los tratamientos. Se han observado diferencias de concentración de ambos ácidos entre años, consecuencia de las distintas condiciones climatológicas y, consecuentemente, de las distintas velocidades de degradación de los ácidos de cada año.

Los valores medios de ácido tartárico del conjunto de los tres años de estudio han mostrado una ligera tendencia a aumentar a medida que aumenta la distancia entre cepas. En cambio, la tendencia es inversa en los valores medios de ácido málico, que disminuyen ligeramente con el aumento de la distancia entre cepas (figura III.64).

En el ensayo experimental de **Pollos**, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en los valores de ácido tartárico (tabla III.75). En 2006, el tratamiento 1,2 ha mostrado menor contenido en ácido tartárico que los otros dos tratamientos, en cambio en 2005 y 2007 los valores son similares en los tres tratamientos. Los valores medios de ácido tartárico para el conjunto de los tres años han mostrado una ligera tendencia a disminuir a medida que se acorta la distancia entre cepas (figura III.64).

Figura III.64. Ácido tartárico (g.L⁻¹) (izquierda) y ácido málico (g.L⁻¹) (derecha) medios del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro.**



En 2005, se ha observado una ligera tendencia a la reducción del contenido de ácido málico a medida que disminuye la densidad de plantación, observándose diferencias estadísticamente entre tratamientos en perjuicio del 1,8, que ha mostrado un valor de 2,97 g.L⁻¹ (tabla III.75). En 2006, los niveles de ácido málico observados fueron similares en todos los tratamientos, mostrando valores en torno a 2,2 g.L⁻¹. En cambio, en 2007 se observó la misma tendencia que en 2006, a aumentar la concentración de ácido málico a medida que aumenta la densidad de plantación, aunque sin observarse diferencias con significación estadística entre tratamientos. Esta ligera tendencia se repite en los valores medios del conjunto de los tres años de estudio (figura III.64).

En los ensayos de Castrillo de Duero y Pollos se han aplicado diferentes riegos durante cada ciclo vegetativo del periodo de estudio, observándose que la concentración de ácido málico ha resultado ligeramente superior a la de los ensayos de Rodilana y Toro, los cuales no han recibido ningún riego durante el ciclo vegetativo de cada año. En este sentido, García-Escudero *et al.* (1995) observaron una dinámica similar en el ácido málico, ya que el riego permite una mayor síntesis de ácido málico en las etapas más tempranas del desarrollo de la baya, y una menor combustión de dicho ácido debido al microclima más fresco y sombreado de las plantas.

En el ensayo experimental de **Rodilana**, no se han observado diferencias con significación estadística ni en la concentración de ácido tartárico ni en la de ácido málico entre tratamientos experimentales durante el periodo de estudio (tabla III.75). Los valores de ácido tartárico son similares en los distintos tratamientos cada año, habiéndose observado en 2005 una mayor concentración de este ácido que en los otros dos años, con valores en torno a 8 g.L⁻¹. En 2006 y 2007, la concentración de ácido tartárico se sitúa en torno a 6,5 g.L⁻¹ en las tres distancias entre cepas estudiadas. Los valores medios de los tres años de estudio no han mostrado una tendencia clara entre tratamientos, observándose valores similares entre ellos, próximos a 7 g.L⁻¹ (figura III.64).

La distancia entre cepas tampoco ha resultado determinante en el comportamiento del ácido málico durante el periodo de estudio, mostrando valores muy similares los tres tratamientos cada año, aunque el tratamiento 1,2 siempre ha mostrado valores más altos que los tratamientos 1,5 y 1,8 (tabla III.75). Los valores medios de ácido málico de los tres años de estudio se han situado en torno a 2,8 g.L⁻¹ en los tratamientos de distancia entre cepas 1,5 y 1,8, algo por debajo del tratamiento 1,2 (figura III.64).

En el ensayo experimental de **Toro**, durante el periodo de estudio, en general, el tratamiento 1,2 ha mostrado una concentración mayor tanto de ácido tartárico como de ácido málico que los otros dos tratamientos (tabla III.75). El tratamiento 1,5 ha presentado valores más bajos de ácido málico que los otros tratamientos a lo largo del periodo estudiado, aunque no se han observado diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales en ninguno de los dos ácidos a lo largo del periodo de estudio (figura III.64).

Los ensayos experimentales de Rodilana y de Toro no han recibido ningún riego durante el ciclo vegetativo en los tres años de estudio, mostrando valores de ácido málico más bajos que los ensayos de Castrillo de Duero y Pollos, que sí recibieron algún riego durante el ciclo vegetativo en cada año de estudio. En este sentido, Morlat *et al.* (1992) indican que el menor sombreado de los racimos de las cepas sin riego frente a los racimos de las cepas regadas influye para que haya mayor degradación del ácido málico en las primeras.

En general, la distancia entre cepas no ha resultado un factor determinante en los resultados obtenidos de ácido tartárico y ácido málico. El tratamiento 1,2 ha mostrado menor concentración de ácido tartárico que los otros dos tratamientos en los ensayos que han recibido algún riego estival. En cambio, dicho tratamiento ha mostrado mayor concentración de ácido tartárico que los tratamientos 1,5 y 1,8 en los ensayos que no han recibido riego durante el ciclo. En cuanto al ácido málico, se ha observado una tendencia del tratamiento 1,2 a presentar mayor concentración que los otros dos tratamientos durante todo el periodo de estudio en los cuatro ensayos experimentales.

5.5 Potasio

Los resultados relativos al contenido de potasio en el mosto de vendimia de los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados respectivamente en las tablas III.76, III.77, III.78 y III.79. De igual forma, en las figuras III.65, III.66, III.67 y III.68 aparece representado el valor medio del contenido de potasio en el mosto de vendimia para el conjunto de los tres años en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente.

En el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**, no se han encontrado

diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos durante el periodo de estudio (tabla III.76). Se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar valores mayores de potasio que los otros dos tratamientos en los tres años de estudio. Esta misma tendencia se observó en los valores de pH, ya que las tendencias generales del contenido en potasio están en consonancia con las de pH (Pérez 2002). El aumento del contenido del catión K^+ también está relacionado con el contenido en malato (Mattick *et al.* 1972; Hale 1977; Smart y Robinson 1991). Champagnol (1984) señala que la tendencia observada en el ácido tartárico es inversa a la tendencia observada en el catión K^+ , ya que éste forma sales precipitables con los iones tartrato. En estas circunstancias de presencia de ácido málico y de potasio aumenta el pH, ya que el ácido tartárico se encuentra salificado con el catión potasio.

El contenido en potasio medio de los tres años de estudio del tratamiento 1,2 ha mostrado un valor de 1.835 ppm, sensiblemente mayor que el de los otros dos tratamientos que han estado más próximos entre sí (figura III.65). De igual forma, Pérez (2002) trabajando con la misma variedad y dos densidades de plantación, observó esta tendencia en dos regímenes hídricos (secano y regadío), encontrando diferencias estadísticamente significativas entre densidades de plantación en dos de los tres años de su estudio.

Tabla III.76. Potasio (ppm) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	1.785	2.013	1.708
1,5	1.675	1.843	1.668
1,8	1.670	1.973	1.645
Sig	ns	ns	ns

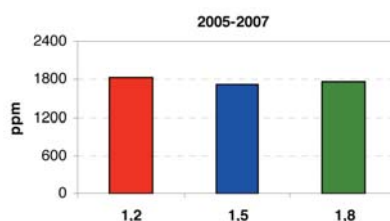


Figura III.65. Potasio (ppm) medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Castrillo de Duero**.

En el ensayo experimental de **Pollos**, no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales en el periodo de estudio (tabla III.77). En 2005 y 2006 se ha observado un contenido en potasio ligeramente superior en el tratamiento 1,5, con valores por encima

de 2000 ppm. En cambio, en 2007 las diferencias entre tratamientos han sido mayores, aún sin llegar a ser estadísticamente significativas, siendo el tratamiento 1,2 el que mayor contenido en potasio ha mostrado. En conjunto, el valor medio de los tres años de estudio ha mostrado mayor contenido en potasio en dicho tratamiento que en los tratamientos 1,5 y 1,8 (figura III.66).

Tabla III.77. Potasio (ppm) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	1.933	1.988	2.003
1,5	2.053	2.035	1.623
1,8	1.870	1.955	1.880
Sig	ns	ns	ns

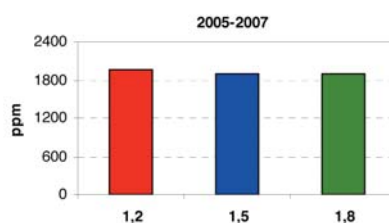


Figura III.66. Potasio (ppm) medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Pollos**.

En el ensayo experimental de **Rodilana**, el contenido en potasio observado en 2005 y 2006 fue algo menor en los tratamientos 1,5 y 1,8, y algo mayor en los tratamientos 1,8 y 1,2, respectivamente. En 2007, en cambio, el contenido en potasio, que mostró valores más bajos que en los dos años anteriores, fue muy similar en los tres tratamientos. No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en todo el periodo de estudio (tabla III.78). El contenido de potasio medio de los tres años de estudio ha mostrado, como en los ensayos de Castrillo y de Pollos, mayor valor en la distancia entre cepas de 1,2 m que en las otras dos distancias (figura III.67).

Tabla III.78. Potasio (ppm) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	2.090	2.003	1.615
1,5	1.948	1.945	1.615
1,8	2.100	1.808	1.623
Sig	ns	ns	ns

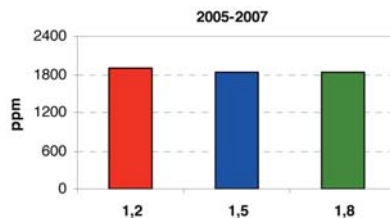


Figura III.67. Potasio (ppm) medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Rodilana**.

En el ensayo experimental de **Toro**, el tratamiento 1,2 ha mostrado mayor contenido en potasio en los tres años de estudio, aunque sin observarse diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales (tabla III.79). El contenido medio de potasio de los tres años de estudio ha resultado mayor a medida que se acorta la distancia entre cepas (figura III.68).

En general, la distancia entre cepas no ha mostrado un efecto determinante en el contenido de potasio en los ensayos experimentales planteados. Sin embargo, el tratamiento 1,2 ha mostrado mayor concentración media de potasio que los tratamientos 1,5 y 1,8 en las cuatro situaciones estudiadas. Este resultado puede haberse debido a una distribución o colonización más intensa de las raíces por parte de este tratamiento, que redundaría en una mayor eficacia del sistema radicular y en una mayor absorción de nutrientes como el potasio.

Tabla III.79. Potasio (ppm) del mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	1.745	1.863	1.723
1,5	1.515	1.660	1.683
1,8	1.610	1.413	1.685
Sig	ns	ns	ns

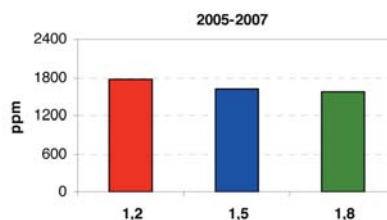


Figura III.68. Potasio (ppm) medio del mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Toro**.

5.6 Índices de color

Se ha determinado la intensidad de color del mosto, el día de vendimia, a partir de la suma de las densidades ópticas a 420 (color amarillo), 520 (color rojo) y 620 nm (color azul) medidas bajo 1 mm de recorrido óptico con relación al agua destilada (Glories 1978). De igual forma, se determinó la tonalidad de color del mosto a partir del cociente entre las densidades ópticas a 420 nm (color amarillo) y a 520 nm (color rojo), medidas bajo 1 mm de recorrido óptico con relación al agua destilada.

Ni la pulpa ni los hollejos han sido sometidos a ningún proceso de maceración especial, por lo que la intensidad y la tonalidad de color determinadas el día de vendimia pretenden ser únicamente un índice de comparación de los mostos obtenidos de la uva mediante un procedimiento común.

Los resultados relativos a la intensidad y a la tonalidad de color en el mosto de vendimia de los años 2006 y 2007, de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados en la tabla III.80. De igual forma, en la figura III.69 aparecen representados los valores medios de ambos índices de color para el conjunto de los dos años en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro.

Tabla III.80. Intensidad y tonalidad de color del mosto en vendimia en 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana** y **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Ensayo experimental	Tratamiento experimental	Intensidad		Tonalidad	
		2006	2007	2006	2007
Castrillo de Duero	1,2	7,3	12,5 ^a	0,77	1,39
	1,5	6,8	10,3 ^b	0,77	1,40
	1,8	6,7	10,5 ^b	0,79	1,41
	Sig	ns	*	ns	ns
Pollos	1,2	6,7	8,4	0,96	1,44
	1,5	6,7	8,0	0,95	1,45
	1,8	7,5	8,2	0,96	1,42
	Sig	ns	ns	ns	ns
Rodilana	1,2	9,6	9,0 ^b	0,93	1,34
	1,5	9,1	10,2 ^a	0,95	1,34
	1,8	9,4	10,0 ^a	0,93	1,32
	Sig	ns	*	ns	ns
Toro	1,2	11	13,3 ^a	0,75	1,35
	1,5	10,2	12,6 ^a	0,83	1,36
	1,8	10,2	11,1 ^b	0,80	1,34
	Sig	ns	*	ns	ns

En el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en la intensidad de color a favor del tratamiento 1,2 en 2007. También, en 2006 el tratamiento 1,2 mostró mayor intensidad de color que los otros dos tratamientos, aunque las diferencias no resultaron estadísticamente significativas. La intensidad de color fue más alta en 2007 que en 2006. La tonalidad de color del mosto ha mostrado valores muy similares en los tres tratamientos en 2006 y 2007. Se ha observado que en 2007 la tonalidad de color de los mostos también fue superior que en 2006, en los cuatro ensayos experimentales estudiados. Esta circunstancia puede estar relacionada con la climatología menos severa (temperaturas más bajas durante el periodo de maduración de la uva) del año 2007 observada en los cuatro ensayos experimentales, que favoreció una mayor síntesis de los compuestos responsables del color de la baya que se vio reflejada en una mayor intensidad y una tonalidad del color de los mostos más alta en dicho año que en 2006.

En el ensayo experimental de **Pollos**, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales en la intensidad ni en la tonalidad de color en los años estudiados. En 2006, el tratamiento 1,8 mostró una intensidad de color ligeramente mayor que los otros dos tratamientos. En cambio, en 2007, la intensidad de color mostró

valores muy similares en los tres tratamientos experimentales. La tonalidad de color del mosto observada ha sido similar en los tres tratamientos experimentales, con valores en torno a 0,95 en 2006 y a 1,45 en 2007, es decir con una tonalidad más elevada este último año.

En el ensayo experimental de **Rodilana**, se han encontrado diferencias con significación estadística en la intensidad de color de 2007 en perjuicio del tratamiento 1,2, que ha mostrado un valor inferior a los otros dos tratamientos. Sin embargo, en 2006 la distancia entre cepas de 1,2 m mostró una mayor intensidad de color del mosto que las otras distancias entre cepas estudiadas, aunque sin observarse diferencias con significación estadística. La tonalidad de color observada, tanto en 2006 como en 2007, ha mostrado valores similares en los tres tratamientos. Cabe reseñar que en 2007 la tonalidad de color ha resultado sensiblemente superior que la de 2006, lo que parece estar relacionado con las condiciones meteorológicas menos severas observadas en 2007 durante la maduración de la uva.

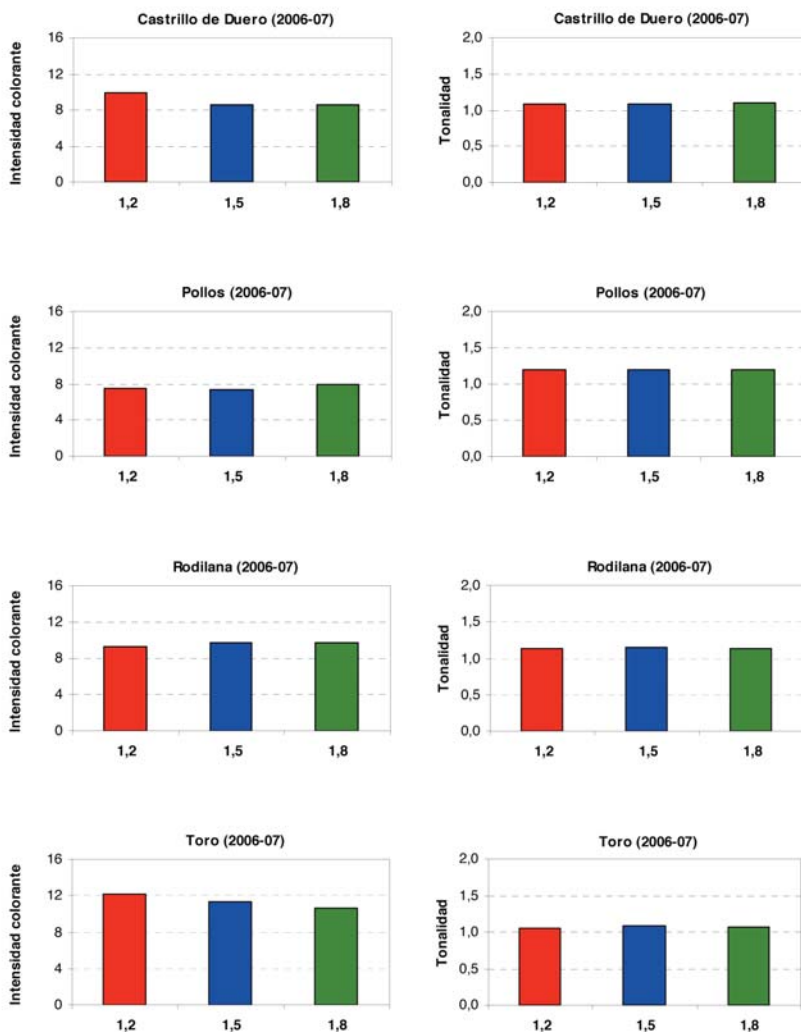


Figura III.69. Intensidad (izquierda) y tonalidad de color (derecha) medias del mosto en vendimia del conjunto de los años 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en los ensayos experimentales de **Castrillo de Duero, **Pollos**, **Rodilana** y **Toro**.**

En el ensayo experimental de **Toro**, el tratamiento 1,2 ha mostrado mayor intensidad de color que los otros dos tratamientos tanto en 2006 como en 2007, aunque las diferencias sólo han sido estadísticamente significativas en 2007, en perjuicio del tratamiento 1,8. En este sentido, Archer y Strauss (1991) encontraron que las vides situadas más próximas (1,0×0,5 m; 1,0×1,0 m y 2,0×1,0 m) obtuvieron mejor color que las vides más separadas (2,0×2,0 m; 3,0×1,5 m y 3,0×3,0 m).

La tonalidad de color observada ha mostrado valores similares en los tres tratamientos experimentales, con valores en torno a 0,8 en 2006 y a 1,3 en 2007, de manera que igual que en los otros tres ensayos experimentales, la tonalidad de color ha resultado superior en 2007 que en 2006.

5.7 Polifenoles

La determinación de los compuestos fenólicos del mosto, obtenida el día de vendimia, de los diferentes tratamientos experimentales se ha realizado a través de la cuantificación del índice de polifenoles totales (IPT), de los antocianos totales, de los antocianos fácilmente extraíbles, del índice de extractibilidad celular (Ea) y del índice de madurez de las pepitas (Mp).

5.7.1 Índice de polifenoles totales

Los resultados relativos al índice de polifenoles totales en el mosto de vendimia de los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados respectivamente en las tablas III.81, III.82, III.83 y III.84. De igual forma, en las figuras III.70, III.71, III.72 y III.73 aparece representado el valor medio del índice de polifenoles totales en el mosto de vendimia para el conjunto de los tres años en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente.

En el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**, no se han observado diferencias estadísticamente significativas en el índice de polifenoles totales entre tratamientos experimentales durante el periodo de estudio (tabla III.81). En 2005 los valores observados han sido similares en las tres distancias estudiadas. En 2006 el tratamiento 1,8 ha mostrado un índice de polifenoles superior a los otros dos tratamientos, sobre todo al 1,5. En cambio en 2007 el tratamiento 1,2 mostró el índice más alto, con un valor de 52 frente a 49 y 47 de los tratamientos 1,5 y 1,8 respectivamente. El índice de polifenoles totales medio de los tres años de estudio ha mostrado valores similares en los tres tratamientos, por lo que puede considerarse que no ha habido un efecto determinante del factor estudiado sobre este índice (figura III.70). Igualmente, Pérez (2002) trabajando con la misma variedad, tampoco observó grandes diferencias entre las dos densidades de plantación que estudió.

Tabla III.81. Índice de polifenoles totales en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	54	47	52
1,5	56	42	49
1,8	56	52	47
Sig	ns	ns	ns

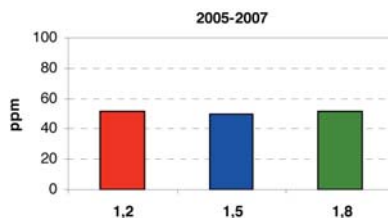


Figura III.70. Índice de polifenoles totales medio en el mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**.

En el ensayo de **Pollos**, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos durante el periodo de estudio (tabla III.82). Sin embargo, se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,8 a presentar mayor índice de polifenoles (2005 y 2007) y del tratamiento 1,2 a presentar menor índice de polifenoles (2005 y 2006). De igual forma, el valor medio de los tres años de estudio del índice de polifenoles ha presentado una ligera tendencia a incrementarse a medida que la distancia de plantación aumenta (figura III.71). Esta tendencia es contraria a la observada por Pérez (2002), que observó en el conjunto de años de su estudio que la alta densidad mostraba un índice de polifenoles ligeramente superior que la baja densidad. Este autor atribuye estas ligeras diferencias a que las plantas con mayor espaciamiento desarrollaron bayas de mayor peso y consecuentemente los fenómenos de dilución fenólica fueron mayores.

Tabla III.82. Índice de polifenoles totales en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	51	40	44
1,5	52	51	43
1,8	56	50	45
Sig	ns	ns	ns

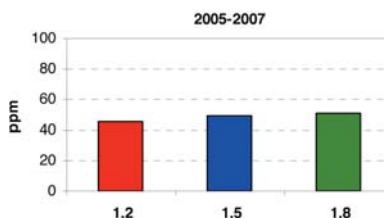


Figura III.71. Índice de polifenoles totales medio en el mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Pollos**.

En el ensayo de **Rodilana**, no se han encontrado diferencias estadísticas entre tratamientos durante el periodo de estudio aunque el 1,8 presentó valores inferiores al 1,2 y 1,5 tanto en 2005 como en 2006 (tabla III.83). Los valores observados cada año fueron similares en las tres las distancias. Se ha observado mayor índice de polifenoles en 2005 que en los otros años, lo que probablemente haya estado relacionado con las severas condiciones meteorológicas del periodo de maduración de dicho año, marcado por altas temperaturas y ninguna precipitación. El valor medio del índice de polifenoles de los tres años ha mostrado valores similares en los tres tratamientos, siendo, no obstante, el tratamiento 1,5 el que ha presentado en conjunto un índice ligeramente superior a los otros dos tratamientos (figura III.72).

Tabla III.83. Índice de polifenoles totales en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	76	66	50
1,5	78	67	52
1,8	74	62	53
Sig	ns	ns	ns

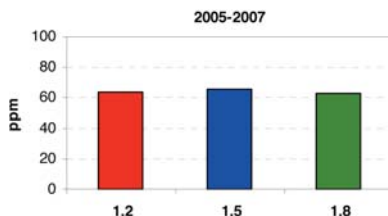


Figura III.72. Índice de polifenoles totales medio en el mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Rodilana**.

En el ensayo de **Toro**, no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos durante el estudio (tabla III.84). Se han observado valores similares entre tratamientos en los tres años. El 1,8 ha mostrado un índice de polifenoles ligeramente superior que los otros dos tratamientos en 2007, mientras que en 2005 fue el 1,2 el que mostró el índice más elevado. En conjunto, el valor medio del índice de polifenoles de los tres años ha resultado similar en los tres tratamientos, aunque ligeramente superior en el 1,8, con un valor de 65, frente a 64 y 63 del 1,2 y 1,5 respectivamente (figura III.73).

Tabla III.84. Índice de polifenoles totales en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	63	65	65
1,5	57	67	65
1,8	59	68	68
Sig	ns	ns	ns

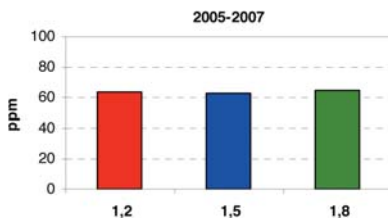


Figura III.73. Índice de polifenoles totales medio en el mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Toro**.

5.7.2 Antocianos totales

Los resultados relativos a la concentración de antocianos totales ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el mosto de vendimia de los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados respectivamente en las tablas III.85, III.86, III.87 y III.88. De igual forma, en las figuras III.74, III.75, III.76 y III.77 aparece representado el valor medio de la concentración de antocianos totales ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el mosto de vendimia para el conjunto de los tres años en los ensayos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente.

En el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**, el tratamiento 1,2 ha mostrado la mayor concentración de antocianos totales en el mosto, mientras que el tratamiento 1,5 ha presentado la menor concentración en los tres años de estudio, aunque sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (tabla III.85). Así, en conjunto, el valor medio de la concentración de antocianos totales de los tres años ha sido de $1.640 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $1.551 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y $1.600 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en los tratamientos 1,2, 1,5 y 1,8 respectivamente (figura III.74).

Tabla III.85. Concentración de **antocianos totales** ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	1.394	2.059	1.466
1,5	1.269	1.956	1.429
1,8	1.336	2.022	1.442
Sig	ns	ns	ns

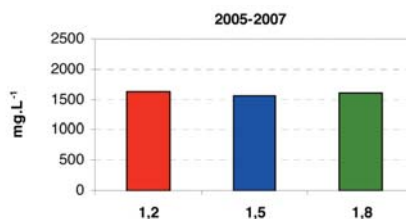


Figura III.74. Concentración de **antocianos totales** media en el mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Castrillo de Duero**.

En el ensayo experimental de **Pollos**, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento 1,8 en 2005, que ha mostrado una concentración de antocianos totales de $1.430 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ frente a $1.236 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y a $1.201 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente (tabla III.86). En 2007 se observó la misma tendencia que en 2005, aunque

sin que las diferencias resultasen estadísticamente significativas. En cambio, en 2006 el tratamiento 1,5 mostró una concentración de antocianos totales ligeramente mayor que los otros dos tratamientos. El valor medio de la concentración de antocianos totales de los tres años de estudio ha mostrado la misma tendencia que en 2005 y 2007, presentando el tratamiento 1,8 la mayor concentración (1.592 mg.L⁻¹) y el tratamiento 1,5 la menor concentración de antocianos totales (1.501 mg.L⁻¹) (figura III.75).

Tabla III.86. Concentración de **antocianos totales** (mg.L⁻¹) en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	1.236 ^b	1.869	1.503
1,5	1.201 ^b	1.873	1.430
1,8	1.430 ^a	1.813	1.532
Sig	*	ns	ns

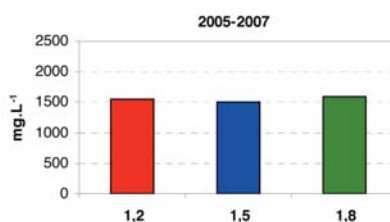


Figura III.75. Concentración de **antocianos totales** media en el mosto en de vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Pollos**.

En el ensayo experimental de **Rodilana**, en 2005 se observó una ligera tendencia al aumento de la concentración de antocianos totales a medida que se incrementa la distancia entre cepas, aunque sin observarse diferencias con significación estadística (tabla III.87). En cambio, en 2007 el tratamiento 1,8 mostró menor concentración de antocianos, presentando un valor de 1.202 mg.L⁻¹ frente a 1.237 mg.L⁻¹ y 1.241 mg.L⁻¹ de los tratamientos 1,2 y 1,5 respectivamente.

El valor medio de concentración de antocianos totales de los años 2005 y 2007 no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, pues la concentración media en los distintos tratamientos ha sido bastante similar (figura III.76).

Tabla III.87. Concentración de **antocianos totales** ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el mosto en vendimia en 2005 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2007
1,2	1.703	1.237
1,5	1.755	1.241
1,8	1.826	1.202
Sig	ns	ns

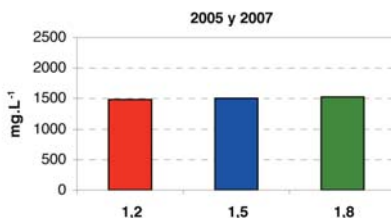


Figura III.76. Concentración de **antocianos totales** media en el mosto en vendimia del conjunto de los años 2005y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Rodilana**.

En el ensayo experimental de **Toro**, se ha observado una tendencia en 2005 y 2007 del tratamiento 1,2 a presentar mayor concentración y del tratamiento 1,5 a presentar menor concentración de antocianos totales, aunque sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos experimentales (tabla III.88). En 2006 la tendencia fue a aumentar la concentración a medida que se aumenta la distancia entre cepas, llegando a alcanzar el tratamiento 1,8 una concentración de antocianos totales de $1.842 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. El valor medio resultante del conjunto de los tres años (figura III.77) ha mostrado la misma tendencia que en 2005 y 2007, con mayor concentración de antocianos totales en el tratamiento 1,2 y menor en el tratamiento 1,5.

Tabla III.88. Concentración de **antocianos totales** ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	1.737	1.600	1.503
1,5	1.344	1.737	1.393
1,8	1.485	1.842	1.457
Sig	ns	ns	ns

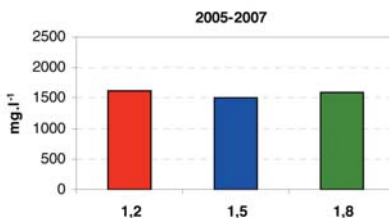


Figura III.77. Concentración de **antocianos totales** media en el mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Toro**.

5.7.3 Antocianos extraíbles

Los resultados relativos a los antocianos extraíbles ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el mosto de vendimia de los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados respectivamente en las tablas III.89, III.90, III.91 y III.92. De igual forma, en las figuras III.78, III.79, III.80 y III.81 aparece representado el valor medio de la concentración de antocianos ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el mosto de vendimia para el conjunto de los tres años en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente.

En el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en 2006 en perjuicio del tratamiento 1,5, que ha mostrado un valor menor de antocianos que los otros dos tratamientos (tabla III.89). En 2005 y 2007, el tratamiento 1,2 ha mostrado una concentración de antocianos más alta que el resto de tratamientos, aunque las diferencias no tuvieron significación estadística. De igual forma, el valor medio de antocianos extraíbles de los tres años de estudio ha resultado mayor en el tratamiento 1,2 que en los otros dos tratamientos (figura III.78).

Tabla III.89. Concentración de **antocianos extraíbles** ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	912	951 ^a	972
1,5	851	807 ^b	932
1,8	866	993 ^a	908
Sig	ns	*	ns

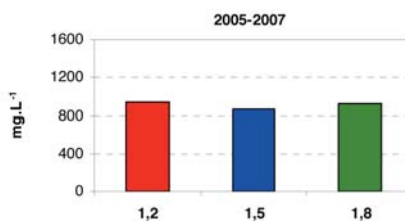


Figura III.78. Concentración de **antocianos extraíbles** media en el mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Castrillo de Duero**.

En el ensayo experimental de **Pollos**, no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos experimentales durante el periodo de estudio (tabla III.90). Se ha observado una ligera tendencia al aumento de la concentración de antocianos extraíbles a medida que la

distancia entre cepas aumenta. Esta tendencia es contraria a la observada por otros investigadores, que obtuvieron mayor concentración de polifenoles (Carbonneau *et al.* 1978, Coombe 1987) y antocianos en las densidades de plantación más elevadas (Kliewer 1970, Carbonneau 1987). Estos investigadores sostienen que la tendencia que observaron fue debida a la mayor masa vegetativa por cepa desarrollada en la baja densidad que aumenta el sombreadamiento en la zona de racimos. El valor medio de la concentración de antocianos de los tres años en conjunto ha mostrado cierta tendencia al aumento de la concentración a medida que aumenta la distancia entre cepas (figura III.79).

Tabla III.90. Concentración de **antocianos extraíbles** ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	735	746	866
1,5	752	899	876
1,8	817	902	875
Sig	ns	ns	ns

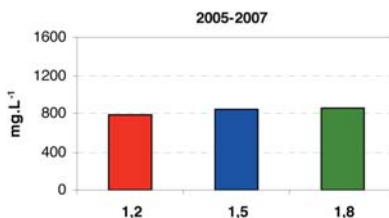


Figura III.79. Concentración de **antocianos extraíbles** media en el mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Pollos**.

En el ensayo experimental de **Rodilana**, ni en 2005 ni en 2007 se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos (tabla III.91). Sin embargo, el tratamiento 1,5 ha mostrado una concentración de antocianos extraíbles superior mientras que el tratamiento 1,2 la ha mostrado ligeramente inferior en dichos años, de manera que el año medio ha mostrado dichas tendencias (figura III.80). En 2005 la concentración de antocianos extraíbles en los tres tratamientos experimentales fue sensiblemente mayor a la observada en 2007. En este sentido, Pérez (2002) afirma que el contenido en polifenoles y antocianos de la uva está muy influenciado por las condiciones externas (clima y suelo), de manera que en años lluviosos el contenido de polifenoles y antocianos puede disminuir notablemente. En el presente ensayo, el año 2005 se caracterizó por unas severas condiciones meteorológicas marcadas por la ausencia de precipitaciones durante el periodo de maduración de la uva, lo que pudo redundar en que la concentración de antocianos extraíbles resultase

sensiblemente superior en dicho año que en 2007, en que el periodo de maduración fue mucho más fresco y lluvioso.

Tabla III.91. Concentración de **antocianos extraíbles** (mg.L^{-1}) en el mosto en vendimia en 2005 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2007
1,2	1.115	727
1,5	1.166	761
1,8	1.121	745
Sig	ns	ns

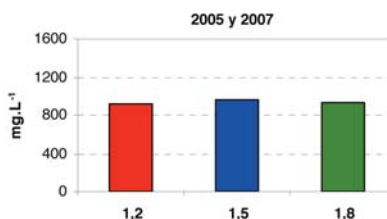


Figura III.80. Concentración de **antocianos extraíbles** media en el mosto en vendimia del conjunto de los años 2005 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Rodilana**.

En el ensayo experimental de **Toro**, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos durante el periodo de estudio (tabla III.92). No obstante, en 2005, el tratamiento 1,2 mostró mayor concentración que el resto, en cambio en 2006 y en 2007 se ha observado una tendencia al aumento de la concentración de antocianos extraíbles a medida que se alarga la distancia entre cepas. El valor medio de la concentración de antocianos extraíbles para el conjunto de los tres años no ha mostrado una tendencia clara entre tratamientos, habiendo presentado el tratamiento 1,5 una menor concentración de antocianos extraíbles, con un valor de 1.027 mg.L^{-1} frente a 1.083 mg.L^{-1} y 1.089 mg.L^{-1} de los tratamientos 1,2 y 1,8 respectivamente (figura III.81).

Tabla III.92. Concentración de **antocianos extraíbles** (mg.L⁻¹) en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01.

	2005	2006	2007
1,2	989	1.240	1.020
1,5	746	1.284	1.052
1,8	806	1.337	1.123
Sig	ns	ns	ns

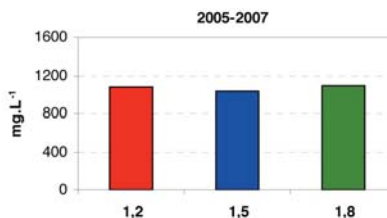


Figura III.81. Concentración de **antocianos extraíbles** media en el mosto en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Toro**.

5.7.4 Extractibilidad celular (Ea)

El índice de extractibilidad celular representa la capacidad de la uva para liberar los antocianos, es decir el porcentaje potencial de cesión al mosto de los antocianos acumulados en la baya (Glories 1999, 2001). Este índice se determina siguiendo el método de extracción establecido por Glories (Saint-Criq *et al.* 1998, 1999).

Los resultados relativos al índice de extractibilidad (%) en el mosto de vendimia de los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados respectivamente en las tablas III.93, III.94, III.95 y III.96. De igual forma, en las figuras III.82, III.83, III.84 y III.85 aparece representado el valor medio del índice de extractibilidad (%) en el mosto de vendimia para el conjunto de los tres años en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente.

En el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas únicamente en 2006, a favor del tratamiento 1,5, que mostró un índice de extractibilidad de 58,9% frente a 53,7% y a 50,5% de los tratamientos 1,2 y 1,8 respectivamente (tabla III.93). En 2005 y 2007, los valores de este índice son similares en los tres tratamientos, observándose una ligera tendencia de la distancia entre cepas de 1,8 m a presentar mayor índice de extractibilidad. El valor medio de este índice para el conjunto de los tres años ha resultado muy similar, en torno al 41%, en los tres tratamientos experimentales (figura III.82).

Tabla III.93. Índice de extractibilidad celular (%) en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	33,3	53,7 ^b	33,4
1,5	32,9	58,9 ^a	34,8
1,8	35,2	50,5 ^b	36,9
Sig	ns	*	ns

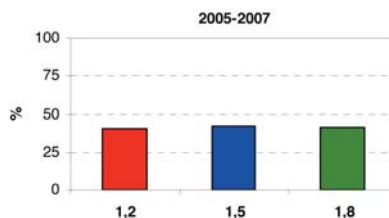


Figura III.82. Índice de extractibilidad celular medio en el mosto (%) en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Castrillo de Duero**.

En el ensayo de **Pollos**, no se han observado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos durante el periodo de estudio (tabla III.94). En 2005 el tratamiento 1,8 mostró el mayor índice de extractibilidad, aunque con diferencias poco notables respecto a los otros tratamientos, mientras que en 2006 el mayor índice de extractibilidad fue observado en la menor distancia entre cepas, 1,2, sin que las diferencias observadas resultasen estadísticamente significativas. El índice medio para los tres años ha mostrado valores similares en las tres distancias entre cepas estudiadas, pero presentando el tratamiento 1,2 un valor ligeramente superior a los otros dos tratamientos (figura III.83).

Tabla III.94. Índice de extractibilidad celular (%) en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	40,4	60,4	42,3
1,5	37,3	51,8	38,6
1,8	42,4	50,1	42,5
Sig	ns	ns	ns

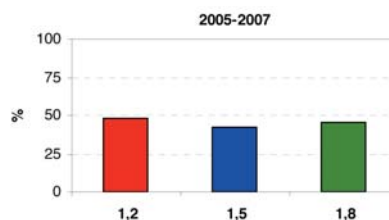


Figura III.83. Índice de extractibilidad celular medio en el mosto (%) en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Pollos**.

En el ensayo de **Rodilana**, en 2005 y 2007, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (tabla III.95). En estos años, el índice de extractibilidad ha mostrado valores similares en las tres distancias entre cepas estudiadas, sin embargo, en 2005 se ha observado un índice más alto en el tratamiento 1,8, mientras que en 2007 el mayor índice fue presentado por el tratamiento 1,2. La tendencia conjunta observada en el índice de extractibilidad medio de los años de estudio ha mostrado un valor menor en el tratamiento 1,5 que en los tratamientos 1,2 y 1,8 (figura III.84).

Tabla III.95. Índice de extractibilidad celular (%) en el mosto en vendimia en 2005 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de Rodilana. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2007
1,2	34,5	41,1
1,5	33,4	37,9
1,8	38,2	37,4
Sig	ns	ns

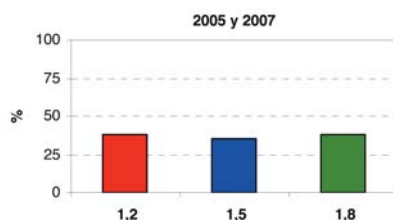


Figura III.84. Índice de extractibilidad celular medio en el mosto (%) en vendimia del conjunto de los años 2005 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de Rodilana.

En el ensayo experimental de **Toro**, no se han observado diferencias con significación estadística a lo largo del periodo de estudio (tabla III.96). En 2005 y 2006 se observó una ligera tendencia a aumentar el índice de extractibilidad a medida que se aumenta la distancia entre cepas. En cambio, en 2007, la tendencia observada fue la contraria, a disminuir con el aumento de la distancia entre cepas. Como consecuencia de los citados resultados, el índice de extractibilidad medio de los tres años de estudio ha mostrado valores muy similares en los tres tratamientos experimentales (figura III.85).

Tabla III.96. Índice de extractibilidad celular (%) en el mosto en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	43,0	21,5	32,1
1,5	43,8	25,2	24,4
1,8	44,8	27,4	22,6
Sig	ns	ns	ns

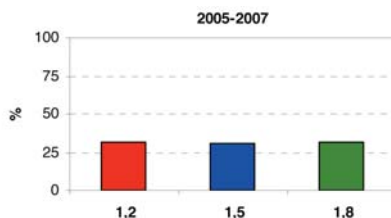


Figura III.85. Índice de extractibilidad celular medio en el mosto (%) en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Toro**.

5.7.5 Madurez fenólica de las pepitas (Mp)

El índice de madurez fenólica de las pepitas puede ser considerado como el porcentaje de la contribución de las pepitas al índice de polifenoles totales. La madurez fenólica de las pepitas permite determinar la contribución potencial de las pepitas en el contenido tánico del vino, lo que constituye una indicación muy útil para la orientación de la vinificación de la uva (Saint-Criq *et al.* 1999).

Los resultados relativos a la madurez fenólica de las pepitas (%) en el mosto de vendimia de los años 2005, 2006 y 2007, de los ensayos de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, así como la significación estadística del análisis de varianza, aparecen reflejados respectivamente en las tablas III.97, III.98, III.99 y III.100. De igual forma, en las figuras III.86, III.87, III.88 y III.89 aparece representado el valor medio de la madurez fenólica de las pepitas (%) en el mosto de vendimia para el conjunto de los tres años en los ensayos experimentales de Castrillo de Duero, Pollos, Rodilana y Toro, respectivamente.

En el ensayo de **Castrillo de Duero**, no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos en el periodo de estudio (tabla III.97). El porcentaje de madurez de las pepitas no ha mostrado ninguna tendencia clara entre las distancias entre cepas estudiadas, observándose porcentajes muy similares en todos los tratamientos cada año de estudio. En 2005, el porcentaje de madurez de las pepitas mostró valores sensiblemente superiores que en 2006 y 2007, lo que pudo ser debido a las

severas condiciones meteorológicas padecidas durante el periodo de maduración de la uva, caracterizado por altas temperaturas y ausencia de precipitaciones. El índice Mp medio de los tres años de estudio ha mostrado valores muy similares en los tres tratamientos, en torno a 64% (figura III.86).

Tabla III.97. Madurez fenólica de las pepitas (%) en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Castrillo de Duero**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	75,2	55,4	59,0
1,5	77,8	58,2	58,6
1,8	77,3	58,1	57,8
Sig	ns	ns	ns

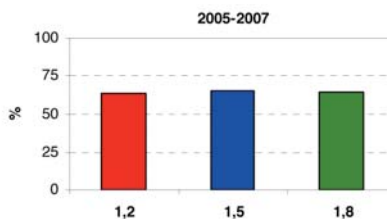


Figura III.86. Madurez fenólica de las pepitas media (%) en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo de **Castrillo de Duero**.

En el ensayo experimental de **Pollos**, no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos durante el periodo de estudio (tabla III.98). Se han obtenido valores similares del índice en las tres distancias entre cepas estudiadas cada año de estudio, que han estado en torno a 74%, 60% y 56% en los años 2005, 2006 y 2007 respectivamente. Consecuentemente, el porcentaje medio de madurez de las pepitas para los tres años de estudio ha mostrado valores muy parecidos en los tres tratamientos, en torno a 64% (figura III.87).

Tabla III.98. Madurez fenológica de las pepitas (%) en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Pollos**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	74,7	59,6	57,1
1,5	74,8	61,1	55,3
1,8	74,4	60,5	57,7
Sig	ns	ns	ns

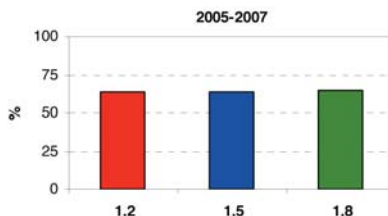


Figura III.87. Madurez fenológica de las pepitas media (%) en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Pollos**.

En el ensayo experimental de **Rodilana**, en 2005 se obtuvieron valores del índice Mp muy similares en los tres tratamientos experimentales, en torno a 78%. En cambio en 2007, se encontraron diferencias estadísticamente significativas a favor del tratamiento 1,2, que mostró un porcentaje del 73%, sensiblemente superior a los mostrados por los otros dos tratamientos en torno a 63% (tabla III.90). El valor medio del índice Mp para el conjunto de los años 2005 y 2007 ha mostrado una ligera tendencia a presentar mayor madurez de las pepitas a medida que aumenta la densidad de plantación (figura III.88).

Tabla III.99. Madurez fenológica de las pepitas (%) en vendimia en 2005 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Rodilana**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2007
1,2	78,5	73,4 ^a
1,5	78,2	62,4 ^b
1,8	77,9	64,0 ^b
Sig	ns	**

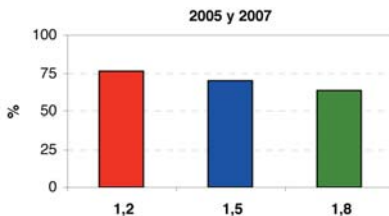


Figura III.88. Madurez fenológica de las pepitas media (%) en vendimia del conjunto de los años 2005 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Rodilana**.

En el ensayo experimental de **Toro**, no se han encontrado diferencias con significación estadística entre tratamientos durante el periodo de estudio (tabla III.100). En 2005, el porcentaje de maduración de las pepitas no mostró una tendencia clara entre tratamientos experimentales derivada del aumento o la reducción de la distancia entre cepas, con mayor valor del tratamiento 1,5 y menor valor del tratamiento 1,2. En cambio, en 2006 y 2007 el porcentaje aumentó ligeramente a medida que la distancia entre cepas se reduce. Al igual que en los otros ensayos experimentales, los porcentajes más altos de madurez de las pepitas se observaron en 2005 en los tres tratamientos estudiados, debido, principalmente, a las severas condiciones meteorológicas del periodo estival de dicho año, caracterizado por altas temperaturas y ausencia de precipitaciones. El porcentaje medio de madurez de las pepitas para el conjunto de los tres años ha mostrado valores muy semejantes, en torno a 64%, en las tres distancias entre cepas estudiadas (figura III.89).

Tabla III.100. Madurez fenólica de las pepitas (%) en vendimia en 2005, 2006 y 2007, de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m), en el ensayo experimental de **Toro**. Análisis de varianza con niveles de significación (Sig) = ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

	2005	2006	2007
1,2	72,5	58,0	59,7
1,5	77,3	57,5	58,4
1,8	75,4	56,5	58,0
Sig	ns	ns	ns

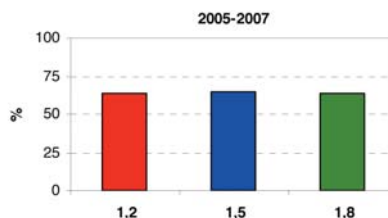


Figura III.89. Madurez fenólica de las pepitas media (%) en vendimia del conjunto de los tres años (2005-07), de los tratamientos de distancia entre cepas 1,2 (1,2 m), 1,5 (1,5 m) y 1,8 (1,8 m) en el ensayo experimental de **Toro**.

Capítulo IV

Conclusiones

La distancia entre cepas no ha resultado un factor decisivo en el **desarrollo foliar** de las plantas. En general, en las situaciones de cultivo con mayor potencial vegetativo (Castrillo de Duero y Pollos) no se ha observado ninguna tendencia clara en el desarrollo foliar total (LAI) entre las distancias entre cepas estudiadas. En cambio, en las situaciones de potencial vegetativo más limitado (Rodilana y Toro) se ha observado una ligera tendencia al aumento del desarrollo foliar a medida que se acorta la distancia entre cepas, debido al mayor aprovechamiento de los recursos hídrico-edáficos por la mayor densidad de plantación. Tampoco la superficie foliar externa (SA) se ha visto afectada notablemente por la variación de la distancia entre cepas, aunque se ha observado una ligera tendencia al incremento de dicha superficie al reducir la distancia entre cepas.

Se ha establecido una **metodología** para la estimación de la superficie foliar, tomando como base las plantas de las tres distancias entre cepas estudiadas, a partir del peso en fresco de las hojas y de la longitud de los sarmientos (principal y anticipados), con un grado de fiabilidad elevado. De igual forma, se ha determinado la materia seca acumulada en las hojas del sarmiento a partir de su peso fresco o de su superficie foliar con alto grado de fiabilidad en las tres distancias entre cepas estudiadas.

En general, la **actividad fisiológica** no se ha visto afectada de forma decisiva por la distancia entre cepas. En las situaciones hídricas más restrictivas (Rodilana) la actividad fisiológica decrece a medida que se va agotando la

reserva hídrica del suelo hasta el final del ciclo vegetativo. En cambio, en las situaciones hídricas menos restrictivas (Pollos), la actividad fisiológica se recupera ligeramente al final del ciclo. Se ha observado una ligera tendencia de la distancia entre cepas de 1,2 m a presentar menor actividad fisiológica por unidad de superficie foliar que las otras dos distancias, siendo más patente esta tendencia a medida que avanza el ciclo vegetativo, sobre todo en las situaciones de cultivo con mayor restricción hídrica.

La producción total de **materia seca** y la materia seca producida en cada órgano renovable de la vid ha mostrado una tendencia a aumentar a medida que se acorta la distancia entre cepas. Este resultado está relacionado con la ligera tendencia observada de desarrollar mayor superficie foliar a medida que disminuye la distancia entre cepas. Dicho aumento de superficie foliar compensa la menor tasa unitaria de fotosíntesis observada a medida que se acorta la distancia entre cepas, mostrando una mayor producción de fotosíntatos por unidad de superficie de suelo.

En general, el **rendimiento** y sus componentes no se han visto condicionados de una forma determinante por la distancia entre cepas. Únicamente se ha observado una ligera tendencia al aumento del rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) a medida que se acorta la distancia entre cepas, siendo más notables las diferencias en la situación hídrica más restrictiva. Igualmente, en esta situación, el peso del racimo ha presentado la misma tendencia. En las situaciones de cultivo con menor restricción hídrica, el rendimiento y sus componentes han mostrado un comportamiento muy similar en las tres distancias entre cepas estudiadas. En cambio, la producción por planta aumenta al incrementar la distancia entre cepas, lo que se atribuye al número creciente de yemas por cepa dejadas en la poda para mantener la misma carga por metro lineal de cordón en los tres tratamientos experimentales, de manera que el efecto de competencia entre plantas disminuyó y se incrementó la capacidad individual en las cepas situadas a mayor distancia.

La distancia ente cepas apenas ha influido en la **madera de poda** ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y el peso del sarmiento. No obstante, se ha observado una ligera tendencia a aumentar el peso de madera de poda ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y el peso del sarmiento a medida que se acorta la distancia entre cepas. La tendencia contraria ha sido observada en el índice de Ravaz, lo que refleja un desplazamiento del equilibrio en perjuicio de la vegetación y en beneficio de la producción de uva a medida que se alarga la distancia entre cepas.

En general, la distancia entre cepas no ha resultado determinante en los

parámetros analizados para determinar la **calidad de la uva**. El grado alcohólico probable no ha mostrado ninguna tendencia entre las tres distancias entre cepas estudiadas. Igualmente, ni la acidez total ni el pH han resultado notablemente afectados por la variación de la distancia entre cepas, aunque se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,8 a presentar mayor acidez total. La concentración de ácido tartárico ha mostrado una ligera tendencia a aumentar a medida que aumenta la distancia entre cepas, en cambio la concentración de ácido málico ha presentado la tendencia contraria, pues disminuye a medida que aumenta la distancia entre cepas. La concentración de potasio no ha sido decisivamente afectada como consecuencia de variar la distancia entre cepas, aunque se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar mayor concentración en todas las situaciones de cultivo estudiadas.

Los **índices de color** (intensidad y tonalidad) no han mostrado modificaciones determinantes por causa de las distancias entre cepas, presentando éstas valores muy similares. Sin embargo, se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,2 a presentar mayor intensidad de color. Asimismo, ni el índice de polifenoles totales ni los antocianos extraíbles o totales han mostrado ningún efecto al variar la distancia entre cepas. Los índices de extractibilidad celular (Ea) y de madurez fenólica de la pepita (Mp) tampoco han mostrado diferencias claras entre las distancias entre cepas estudiadas, aunque se ha observado una ligera tendencia del tratamiento 1,8 a presentar mayor extractibilidad celular. En la situación hídrica más restrictiva se ha observado una ligera tendencia a aumentar el índice de madurez de la pepita a medida que se acorta la distancia entre cepas.

La **elección de la distancia entre cepas** más adecuada dependerá de las particularidades del terreno y de las características medioambientales de la zona, ya que, en general, la variación de dicha distancia no ha mostrado efectos muy definidos en los parámetros estudiados, aunque han sido más notables en las situaciones hídricas más restrictivas que en las menos restrictivas, pues el régimen hídrico más favorable ha atenuado el posible efecto del factor estudiado. Por tanto, para decidir la distancia entre cepas en una plantación, hay que considerar aspectos tales como el tipo de terreno, la disponibilidad hídrica, los condicionantes económicos y los aspectos legales. **En definitiva**, en unas condiciones de cultivo determinadas, con mayor o menor disponibilidad hídrica real y legal, la reducción de la distancia entre cepas podría ser conveniente si el aumento de coste derivado del incremento de número de plantas por hectárea puede ser compensado por el beneficio obtenido a través del ligero aumento de la eficacia productiva con

una calidad de uva similar a la de distancias entre cepas mayores, o en ciertos casos, por el beneficio derivado de la mejoría en determinados parámetros específicos de calidad de la uva. Hay que tener en cuenta que en situaciones de reducida disponibilidad hídrica puede ser aconsejable una distancia entre cepas superior, para evitar un estrés hídrico excesivo y la pérdida de superficie foliar eficaz que puede observarse en los años meteorológicamente más severos. Por último, desde el punto de vista operativo hay que señalar la dificultad en la formación y en el mantenimiento de la estructura permanente del cordón (5 pulgares por brazo) de la distancia de 1,8 m observada durante el periodo de estudio, que puede resultar un inconveniente en su aplicación en explotaciones con gran superficie de viñedo.

Capítulo V

Bibliografía

Agabbio J. 1978. Relazioni acquapianta. Recenti acquisizioni scientifiche e loro possibilità di applicazione. Italia Agricola. 115, 11-12, 119-129.

Albuquerque M. 1993. Réponses des cépages de *Vitis vinifera* L. Aux variations de l'environnement: effets de la contrainte hydrique sur la photosynthèse, la photorespiration et la teneur en acide abscisique des feuilles. Thèse Université de Bordeaux II. 213 p.

Alburquerque M.V., Cascajo C., Vacas R., Barajas E., Yuste J. 2006. Influencia de la distancia entre cepas en la variedad Tempranillo. Vida Rural 226, 34-38.

Aleixandre J.L. 1997. La cultura del vino cata y degustación. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. 361 p.

Alleweldt G., Eiback R., Ruehl E. 1982. Untersuchungen zum Gaswechsel der Rebe I. Einfluss von temperatur, Blattalter und Tageszeit auf netto photosynthese und transpiration. Vitis 21: 93-100.

Amerine M.A. y Winkler J. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. Hilgardia 15: 493-673.

Anthony B.R. y Richardson A.T. 1999. Influence of vine spacing on growth, yield, fruit composition, and wine quality of Barbera in the San Joaquin Valley. 87-91. Vine Spacing Symposium. 29 June. Reno Hilton. Reno, Nevada. U.S.A.

Araujo F.J. y Williams L.E. 1988. Dry matter and nitrogen partitioning and root growth of young field-grown Thompson seedless grapevines. *Vitis* 27: 21-32.

Archer E. 1991. Espacement studies with unirrigated, grafted Pinot noir (*Vitis vinifera* L.). Dept. of Viticulture. University of Stellenbosch. Republic of South Africa. 1-48.

Archer E. 1999. Influence of vine spacing on root development and water utilisation. Vine spacing Symposium. Reno, Nevada, U.S.A. 1-31

Archer E. y Strauss H.C. 1989. The effect of plant spacing on the water status of soil and grapevines. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 6, 25-30.

Archer E. y Strauss H.C. 1990. The effect of vine spacing on some physiological aspects of *Vitis vinifera* L. (cv. Pinot noir). *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 11 (2), 76-87.

Archer E. y Strauss H.C. 1991. The effect of vine spacing on the vegetative and reproductive performance of *Vitis vinifera* L. (cv. Pinot noir). *S. Afr. J. Enol. Vitic.* Vol. 12. Nº 2, 70-76.

Attanassov Y. 1983. Influence de la distance de plantation sur la croissance et la productivité des vignes du cepage Cabernet sauvignon. *Horticultural and Viticultural Sciences* 20: 96-100.

Azcón-Bieto J. y Talón M. 2000. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A.V. 522 p.

Baeza P. 1994. Caracterización ecofisiológica y evaluación agronómica de diferentes sistemas de conducción del viñedo (*Vitis vinifera* L.) en regadío. Tesis doctoral del Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 209 p

Baeza P. y Lissarrague J.R. 2001. Definición y evaluación de los sistemas de conducción del viñedo. *La Semana Vitivinícola* 2889, 4438-4445.

Baillo M. et Baggiolini. 1993. Les stades repères de la vigne. *Rvitic. Arboric. Hortic.* Vol. 25 (1): 7-9.

Barajas E. 2007. Reflexiones para la elección de la densidad de plantación de un viñedo. *Mercados del vino y la distribución*. 17.

Barajas E., Arranz C., Nicolás J., Yuste J. 2007 a. Área foliar, peso fresco y peso

seco de hojas: relaciones y determinación en la variedad Tempranillo cultivada con tres densidades de plantación. XV Internacional Symposium GESCO 2007. Junio, Poréc (Croatia).

Barajas E., de la Iglesia E., Yuste J. 2007 b. Superficie foliar y crecimiento en longitud del sarmiento en la variedad Tempranillo en tres densidades de plantación. XXII Reunión Anual del Grupo de Trabajo de Experimentación en Viticultura y Enología. 14-15 Noviembre. Logroño, España.

Barajas E., San Miguel M.A., Castaño F.J., Yuste J. 2008. Superficie foliar y longitud del sarmiento en la variedad Tempranillo a partir de la variación de la distancia entre cepas en cuatro localizaciones en el valle del Duero. VI Foro Mundial del Vino. Abril, Logroño.

Barbagallo M.G., Lorenzo R.I., Motisi A., Sottile I. 1996. Estimation of Leaf Area Changes along the Primary Shoot in Grapevine. 9th GESCO Meeting. Budapest, Hungary. 245-250.

Barceló J., Nicolás G., Sabater B., Sánchez R. 1987. Fisiología Vegetal. Ed. Pirámide. Madrid. 823 p.

Bartolomé M.C. 1993. Respuestas de la vid (*Vitis vinifera* L.) a condiciones de estrés hídrico: efecto sobre las relaciones agua-planta, el crecimiento, la producción y la calidad (cv. Tempranillo). Tesis doctoral del Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 443 p.

Bartolomé M.C., Auvray A., Gonzalez-Padierna C.M., Benito F., Sotés V. 1996. Charge en bourgeons chez le cépage Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) conduit en gobelet. Pedrosa de Duero (Burgos). 9^{èmes} Journées du Groupe Européen d'étude des Systèmes de Conduite de La Vigne G.E.S.C.O. Agosto. Budapest (Hungary). 79-84.

Bartolomé M.C., Sotés V., Baeza P., Ruiz C., Lissarrague J.R. 1995. Efectos del déficit hídrico sobre el desarrollo vegetativo y fructífero del cultivar Tempranillo de vid (*Vitis vinifera* L.). Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales. Vol. 10 (2): 244-261.

Becker N.J. 1977. The influence of geographical and topographical factors on the quality of the grape crop. In: Proceedings of the OIV Symposium on Quality of the Vintage. Oenological and Viticulture Research Institute, Capetown. pp:181-188.

Becker N.J. 1985. Site selection for viticulture in cooler climates using local climatic information. In: Proceedings of the International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology. D.A. Heatherbell, P.B. Lombard, F.W. Bodyfelt and S.F. Price (Ed.) Eugene, OR. Oregon State University Experiment Station Technical Publication, 7628.

Begg L.M. y Turner N.C. 1976. Crop water deficits. *Adv. Agron.* 28: 161-217.

Belvini P., Dalla Costa L., Bavaresco L., Golfetto W. 1986. Effetti della densità di impianto in viti allevate a doppia spalliera (G.D.C. e Duplex). *Vignevini* 11: 41-49.

Bica D., Novello V. 1995. Photosynthetic activity in grafted and ownrooted Erbaluce grapevines trained to four trellis systems. *Vitis* 34 (3): 141-144.

Bindi M., Miglietta F., Gozzini B., Orlandini S., Seghi L. 1997. A simple model for simulation of growth and development in grapevine (*Vitis vinifera* L.). I. Model description. *Vitis* 36: 67-71.

Boselli M. y Scienza A. 1980. Controllo delle variazioni nutritive di viti allevate in vaso e sottoposte a differenti interventi azotati in relazione allo stress idrico. V Colloquio internazionale sulla nutrizione delle piante. Castelfranco Veneto, 20-25 Agosto.

Branas J. 1974. Viticultura. Impr. Déhan, Montpellier.

Brar S.S. y Bindra A.S. 1986. Effect of plant density on vine growth, yield, fruit quality and nutrient status in Perlette grapevines. *Vitis* 25: 96-106.

Caló A., Giorgessi F., Lavezzi A., Ridomi A. 1991. Risposta produttiva della vite allevata a contropalliera ea cortina semplice e doppia con diverse densità di piantagione in pianura dell'Italia nord-orientale. *Rivista di Viticoltura e di Enologia*. 4: 233-244.

Candolfi-Vasconcelos M.C. y Koblet W. 1990. Yield, fruit quality, bud fertility and starch reserves of the wood as a function of leaf removal in *Vitis vinifera*. Evidence of compensation and stress recovering. *Vitis* 29: 199-221.

Carbonneau A. 1976 a. Principes et méthodes de mesure de la surface foliaire. Essai de caractérisation des types de feuilles dans le genre vitis. *Ann. Amélior. Plantes* 26: 327-343.

Carbonneau A. 1976 b. Analyse de la croissance des feuilles du sarment de vigne: estimation de sa surface foliaire par échantillonnage. *Conn. Vigne et Vin*. 10 (2): 141-159.

Carbonneau A. 1980. Recherche sur les systèmes de conduite de la vigne: essai de maîtrise du microclimat et de la plante entière pour produire économiquement du raisin de qualité. INRA Bourdeaux , INRA: 234

Carbonneau A. 1987. Stress modérés sur feuillage induits par le système de conduite et régulation photosynthétique de la vigne. 378-385. En O.I.V. (ed.) 3^{ème} Symposium international sur la Physiologie de la Vigne. 24-27 Juin 1986. Bordeaux (France).

Carbonneau A. 1989. L'exposition utile du feuillage: définition du potentiel du système de conduite. En: O.I.V. (ed.). Interaction système de conduite de la Vigne et mécanisation, Paris.

Carbonneau A. 1992. Photosynthèse: Influences climatiques et facteurs d'adaptation, p. 45-75. En: Agrométéorologie de la Vigne en France. INRA. Un système d'information agronomique pour la Communauté Européenne. Centre Commun de Recherche. Commission des Communautés Européennes. EUR 13911 FR.

Carbonneau A. 1993. Interpretation ecophysologique des variations des éléments de la qualité des vins selon le climat, le sol, la conduite et la densité de plantation. Critères meso et microclimatiques-importance de l'âge des feuilles. G.E.S.C.O. Compte Rendu 4-16 Avril 1993, Reims, France, 165-170.

Carbonneau A. 1995. La surface foliaire exposée potentielle—guide pour sa mesure. *Le Progrès Agricole et Viticole* 9: 204-212.

Carbonneau A. 1996. General relationship within the whole-plant: Examples of the influence of vigour status, crop load and canopy exposure on the sink "berry maturation" for the grapevine. *Acta Horticulturae* 427: 99-118.

Carbonneau A. 1998. Irrigation, vignoble et produit de la vigne. In: *Traité d'irrigation*. J.R. Tiercelin, coord Paris, Lavoisier Tec & Doc. Chapitre IV: Aspects Qualitatifs. 257-298.

Carbonneau A. 2002. Gestion de l'eau dans le vignoble: théorie et pratique. *Le Progrès Agricole et Viticole* 21: 455-467.

Carbonneau A. y Casteran P. 1986. Optimization of vine performance by the lyre training systems. Proceedings of Sixth Australian Wine Industry Technical Conference. 194-204.

Carbonneau A. y de Loth C. 1985. Influence du régime d'éclairage journalier sur la résistance stomatique et la photosynthèse brute chez *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. *Agronomie* 5 (7): 631-638.

Carbonneau A. y Ollat N. 1991. Instabilité de la réhydratation tardive des feuilles à l'amorce du régime de transpiration en situation de sécheresse. Exemple de *Vitis vinifera* L. cv. Sémillon. *J. Intern Sciences Vigne et Vin* 25 (2): 75-83.

Carbonneau A., Casteran P., Leclair P. 1978. Essai de détermination en biologie de la plante entière, de relations essentielles entre le bioclimat naturel, la physiologie de la vigne et la composition du raisin. *Annual Améliorer Plantes*. 28 (2): 195-221.

Carbonneau A., Deloire A., Costenza P. 2003. Le potentiel hydrique foliaire: sens des différentes modalités de mesure. GESCO XIII^{ème} Journées du groupe européen d'étude des systèmes de conduite de la vigne. Montevideo, Uruguay, 3-7 Février.

Carbonneau A., Riou C., Guyon D., Riou J., Schneider C. 1992. Agrometeorologie de la vigne en France. Cap. Photosynthèse: Influence climatiques et facteurs d'adaptation. Centre Commun de Recherche. INRA. 45-75.

Castel A.M. 1982. Efectos de las condiciones ambientales en el contenido de sustancias de crecimiento en las hojas y su relación con su capacidad fotosintética. *Comunicaciones INIA*. 22p.

Centeno A. 2005. Evaluación del comportamiento de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) en condiciones de déficit hídrico: efectos sobre el estado hídrico, crecimiento, rendimiento, biomasa y composición de la uva. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I.A. Agrónomos. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. 193 p.

Champagnol F. 1979. La densité de plantation en viticulture. *Le Progrès Agricole et Viticole* 8: 185-195.

Champagnol F. 1984. Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale. F. Champagnol (ed.). Saint Gely du Fesc. France. 351 p.

- Chauvet M y Reynier A. 1974. Manual de viticultura. Ed. Mundiprensa. Madrid.
- Chaves, M. 1986. Fotosíntese e repartição dos productos de assimileção en *Vitis vinifera* L. Tesis Doctoral. Universidad Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomía. 221 p.
- Choné X., Van Leeuwen C., Dubourdieu D., Gaudillères J.P. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany* 87: 477-483.
- Cohen S., Striem M.J., Bruner M., Klein I. 2000. Grapevine leaf area index evaluation by gap fraction inversion. *Acta Hort.* 537: 87-94.
- Conradie W.J. 1980. Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture: I Nitrogen. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 1: 59-65.
- Coombe B.G. 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae* 206: 23-33.
- Coombe B.G. 1992. Research on development and ripening of the grape berry. *American Journal of Enology and Viticulture* 43 (1): 101-110.
- Coombe B.G. y Iland P. 1986. Grape berry development. Proceedings of sixth australian wine industry technical conference. Adelaide. T.H. Lee (Ed.).
- Correia M. J., Chaves M. M., Pereira J. S. 1990. Afternoon depression in photosynthesis in grapevine leaves-evidence for a high light stress effect. *Journal of Experimental Botany.* 41 (225): 417-426.
- Costanza P., Tisseyre B., Hunter J.J., Deloire, A. (2004). Shoot development and non destructive determination of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaf area. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 25 (2): 43-47.
- Crippen D.D. y Morrison J.C. 1986. The effects of sun exposure on the compositional development of Caberner sauvignon berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 37: 235-242.
- Cuevas E. 2001. Estudios de mecanismos de adaptación ecofisiológica de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) al déficit hídrico. Evaluación del consumo de agua y de las respuestas agronómicas en diferentes regímenes hídricos. Tesis Doctoral. Dpto. Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 219 p.

Deloire A., Carbonneau A., Federspiel B., Ojeda H., Wang Z., Costanza P. 2003 a. La vigne et l'eau. Le Progrés Agricole et Viticole 4: 79-90.

Deloire A., Silva P., Martin-Pierrat S. 2003 b. Terroirs et état hydrique du Grenache noir. Premiers résultats . Le Progrés Agricole et Viticole 17: 367-373.

Deloire A., Carbonneau A., Wang Z., Ojeda H. 2004. Vine and Water, a short review. J. Int. Sci. Vigne vin 38 (1): 1-13.

Deloire A., Ojeda H., Zebic O., Bernard N., Hunter J.J., Carbonneau A. 2006. Influencia del estado hídrico del viñedo en el tipo de vino. www.infowine.com. Revista de viticultura y enología. Nº 11/1.

Dettori S. y Spano D. 1990. Influenza del potenziale idrico fogliare sull'efficienza fotosintetica della vite allevata adoppia spalliera. Vignevini 3: 53-55.

Di Lorenzo R., Gugliotta E., Santangelo T., Barbagallo M.G. 2003. Rulo delle distanze di impianto nella formazione del vigneto. L'Informatore Agrario 48: 52.

Di Lorenzo R., Barbagallo M.G., Cosyanza P., Gugliotta E., Lino T., Pisciotta A., Santangelo T. 2005. Predawn, stem and leaf water potential evolution in *Vitis vinifera* L. cv. Nero D'Avola/1103 P. under different water regime. GESCO XIV^{ème} Journées du groupe européen d'étude des systèmes de conduite de la vigne. Geisenheim, Germany. 23-27 August. 493-498.

Dobrowski S.Z., Ustin S.L., Wolpert J.A. 2002. Remote estimation of vine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: Determining optimal vegetation indexes. Aust. J. Grape Wine Res. 8:117-125.

Doorenbos J. y W.O. Pruitt. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje 24. Roma. 194 p.

Downton W.J.S., Grant W.J.R., Loveys B.R. 1987. Diurnal changes in the photosynthesis of field-grown grape vines. New Phytol. 105: 71-80.

Düring H. y Klingenmeyer W. 1987. Stomatal control of water use efficiency in two *Vitis vinifera* cultivars. 179-184. En: O.I.V. (ed.). 3^{ème} Symposium International sur la Physiologie de la Vigne. 24-27 Juin 1986. Bordeaux (France).

Düring H. y Loveys B.R. 1982. Diurnal changes in water relations and abscisic acid in field grown *Vitis vinifera* L. cvs. I. Leaf water potential components

and leaf conductance under humid temperature and semiarid conditions. *Vitis* 21: 223-232.

Düring H. y Loveys B.R. 1996. Stomatal patchiness of field-grown Sultana leaves: diurnal changes and light effects. *Vitis*. 35 (1): 7-10.

Düring H. y Stoll M. 1996. Stomatal patchiness of grapevine leaves. I. Estimation of non uniform stomatal apertures by a new infiltration technique. *Vitis* 35 (2): 65-68.

Düring H. y Stoll M. 1996. Stomatal patchiness of grapevine leaves. II. Uncoordinated and coordinated stomatal movements. *Vitis* 35 (2): 69-71.

Düring H., Loveys B.R., Dry P.R. 1996. Root signals affect water use efficiency and shoot growth. Proc. Workshop strategies to optimize wine grape quality. *Acta Horticulturae*. 427: 1-13.

Ebadi A. May P., Coombe B.G. 1996. Effect of short-term temperature and shading on fruit-set and berry development in model vines of *V. vinifera*, cvs. Chardonnay and Shiraz. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2 (1): 2-9.

Elsner E.A. y Jubb G. 1988. Leaf area estimation of Concord grape leaves from single linear measurements. *Am. J. Enol. Vitic.* 39: 95-97.

Escalona J.M., Flexas J., Medrano H. 1999. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. *Aus. J. Grape and Wine Research* 26: 421-433.

Fanizza G., Ricciardi L., Bagnulo C. 1989. Response of selected table grape cultivars to canopy temperature under water stress and non stress conditions. *Rev. Hort. Sci.* 3: 102-105.

Fernández J., Balcar J., Meyer L.H. 1977 a. Influencia de la iluminación sobre la actividad fotosintética de las hojas de vid cultivada en espaldera. *Turrialba* 27 (1): 3-6.

Fernández J., Balcar J., Meyer L.H. 1977 b. Distribución de la materia orgánica en un cultivo de vid conducido en espaldera. *Turrialba* 27 (3): 233-238.

Ferrini F., Mattii G.B., Nicese F.P. 1995. Effect of temperature on key physio-

logical responses of grapevine leaf. American Journal of Enology and Viticulture 46 (3): 375-379.

Flexas J., Escalona J. M., Medrano H. 1998. Down regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. Australian Journal of Plant Physiology. 25: 893-900.

Flore J.A., Lakso A.N., Moon J.W. 1985. The effect of water stress and vapour pressure gradient on stomatal conductance, water use efficiency, and photosynthesis on fruit crops. Acta Horticulturae. 171: 207-218.

Fregoni M. 1980. Determinazione delle asportazioni e dei consumi. 213-222. En: Nutrizione e fertilizzazione della vite. Ed. Edagricole. Italia.

Gal Y., Bravdo B., Naor A. 1996. Effect of shoot density, crop level and crop load on fruit and wine quality of Sauvignon blanc grapes. Acta Hortic. 427: 151-157.

Galet P. 1983. Précis de Viticulture. Déhan, Montpellier (4th Edition), 584 p.

García-Escudero E., López R., Santamaría P., Zaballa O. 1997. Ensayos de riego localizado en viñedos productivos de cv. Tempranillo. Viticultura y Enología profesional 69: 35-47.

García-Escudero E., López R., Santamaría P., Zaballa O, Arbizu J. 1995. El control del rendimiento por aclareo de racimos. Experiencias sobre cv. Mazuelo. Zulia 7: 53-64.

Glories Y. 1978. Recherches sur la matière colorante des vins rouges. Thèse de doctorat es sciences. Université de Bordeaux II.

Glories Y. 1999. La maturità fenólica delle uve: primo parámetro da controllare per una corretta vinificazione in rosso. Vignevini 3: 46-50.

Glories Y. 2001. Caractérisation du potentiel phénolique: Adaptation de la vinification. Progres Agricole et Viticole, 118 (15-16): 347-349.

Gómez del Campo M.V. 1998. Mecanismos de adaptación a sequía en la vid. Evaluación del consumo de agua, crecimiento y desarrollo vegetativo, productividad y eficiencia en el uso del agua de cuatro genotipos de vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 383 p.

Gómez-Miguel V. 1994. El boletín de análisis de suelos: Interpretación. *Viña y Vino*. 12: 8-13.

González C.M. 2003. Estudio ecofisiológico y agronómico de cuatro sistemas de conducción de la vid (*Vitis vinifera* L.): cubiertas vegetales simple versus divididas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 280 p.

Grantz D.A. y Williams L.E. 1993. An empirical protocol for indirect measurement of LAI in grape (*Vitis vinifera* L.). *HortScience* 28: 777-779.

Grimes W. y Williams L.E. 1990. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson seedless grapevines. *Crop Science* 30: 255-260

Guardiola J.L. y García A. 1990. Fisiología Vegetal I: Nutrición y Transporte. Ed. Síntesis. Madrid. 440 p.

Gutierrez A.P., Williams D.W., Kido H. 1985. A model of grape growth and development: The mathematical structure and biological considerations. *Crop. Sci.* 25: 721-728

Haasbroek P.D., Myburgh J., Hunter J.J. 1997. Modelling sunlight interception and photosynthetic activity. Correlation with field data. *Acta Horticulturae* 526: 365-371.

Hale C.R. 1977. Relation between potassium and the malate and tartrate contents of grape berries. *Vitis* 16: 9-19.

Hardie W.J. y Martin S.R. 2000. Shoot growth on de-fruited grapevines: a physiological indicator for irrigation scheduling. *Aust. J. Grape and Wine Research* 6: 52-58.

Heath M.C. y Hebblethwaite P.D. 1987. Seasonal radiation interception, dry matter production and yield determination for semi-leafless pea (*Pisum sativum*) breeding selection under contrasting field conditions. *Ann. Appl. Biol.* 148: 1-8.

Hedeberg P.R. y Raison J. 1982. The effect of vine spacing and trellising on yield and fruit quality of Shiraz grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 33: 20-30.

Hidalgo Togores J. 2006. La calidad del vino desde el viñedo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid 389 p.

Hidalgo L. y Candela M.R. 1966. Influencia de la densidad y disposición de plantación en la producción del viñedo. Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas. Madrid, 9-63.

Hidalgo L. y Candela M.R. 1969. Morfología radicular de la vid. Su relación con la producción, densidad y disposición del viñedo. I.N.I.A. 101 p.

Hidalgo L. y Candela M.R. 1979. Contribución al conocimiento de la densidad de plantación en la zona de la Rioja Baja. An. I.N.I.A. / ser. Prod. Veg. 11: 191-199.

Howell S.G. 2001. Sustainable grape productivity and the Growth-Yield relationship: a review. *American Journal of Enology and Viticulture* 52 (3): 165-174.

Huglin P. y Schneider C. 1998. *Biologie et Écologie de la Vigne Lavoisier*. TEC et DOC, París.

Hunter J.J. 1998 a. Plant spacing implications for grafted grapevine I. Soil characteristics, root growth, dry matter partitioning, dry matter composition and soil utilisation. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 19 (2): 25-34.

Hunter J.J. 1998 b. Plant spacing implications for grafted grapevine II. Soil water, plant water relations, canopy physiology, vegetative and reproductive characteristics, grape composition, wine quality and labour requirements. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 19 (2): 35-51.

Hunter J.J. 2000. Implications of seasonal canopy management and growth compensation in grapevine. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 21: 81-91.

Hunter J.J. y Archer E. 2001 a. Short-term cultivation strategies to improve grape quality. Proc. VIII Viticulture and Enology Latin-American Congress, November. Montevideo, Uruguay. 12-16.

Hunter J.J. y Archer E. 2001 b. Long-term cultivation strategies to improve grape quality. Proc. VIII Viticulture and Enology Latin-American Congress, November. Montevideo, Uruguay. 12-16.

Hunter J.J. y Archer E. 2002. Status of grapevine canopy management and future prospects. www.acenologia.com/ciencia59_2.htm

Hunter J.J. y Bonnardot V. 2002. Climatic requirements for optimal physio-

logical processes: A factor in viticultural zoning. Proc. 4th Symposium on Viticultural Zoning. June, Avignon (France).

Hunter J.J. y Visser J.H. 1988. The effect of partial defoliation, leaf position and developmental stage of the vine on the photosynthetic activity of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. S. Afr. J. Enol. Vitic. 9 (2): 9-15.

Hunter J.J. y Visser J.H. 1989. The effect of partial defoliation, leaf position and developmental stage of the vine on leaf chlorophyll concentration in relation to the photosynthetic activity and light intensity in the canopy of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. S. Afr. J. Enol. Vitic. 10: 67-73.

Hunter J.J. y Visser J.H. 1990 a. The effect of partial defoliation on growth characteristics of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon I. Vegetative growth. S. Afr. J. Enol. Vitic. 11: 18-25.

Hunter J.J. y Visser J.H. 1990 b. The effect of partial defoliation on growth characteristics of L. cv. Cabernet Sauvignon. II. Reproductive growth. S. Afr. J. Enol. Vitic. 11: 26-32.

Hunter J.J., Ruffner H.P., Volschenk C.G., Le Roux D.J. 1995. Partial defoliation of *Vitis vinifera* L cv. Cabernet Sauvignon / 99 Richter: Effect on root growth, canopy efficiency, grape composition and wine quality. Am. J. Enol. Vitic. 46: 306-314.

Hunter J.J., Skrivan R., Ruffner H.P. 1994. Diurnal and seasonal physiological changes in leaves of *Vitis vinifera* L.: CO₂ assimilation rates, sugar levels and sucrolytic enzyme activity. Vitis 33: 189-195.

Iacono F. y Sommer K.J. 1996. Photoinhibition of photosynthesis and photorespiration in *Vitis vinifera* under field conditions: effects of light climate and leaf position. Australian Journal of Grape and Wine Research. 2 (1): 10-20.

Iacono F., Bertamini M., Scienza A., Coombe G. 1995. Differential effects of canopy manipulation and shading of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet sauvignon. Leaf gas exchange, photosynthetic electron transport rate and sugar accumulation in berries. Vitis 34 (4): 201-206.

Iacono F., Buccella A., Peterlunger E. 1998. Water stress and rootstock influence on leaf gas exchange of grafted and ungrafted grapevines. Scientia Horticulturae 75: 27-39.

Iannini B., Lavezzi D., Tomasi D., Giorgiessi F. 1991. Effetti della densità di piantagione e della forma di allevamento sulla risposta quali-quantitativa di alcune cultivars dell'ambiente laziale. *Riv. Vitic. Enol.* 4: 313-318.

Intrieri C., Filippetti I., Lia G., Colucci S., Poni S. 2003 a. Distanze sulla e gestione del suolo. *L'Informatore Agrario.* 48: 55.

Intrieri C., Filippetti I., Ramazzotti S. 2003 b. Concetti di base sulle distanze di impianto in viticoltura. *L'Informatore Agrario.* 48: 41-47.

Intrieri C., Poni S., Colucci P., Giovannini P., Lia G. 1999. Confronto poliennale tra GDC e cordone libero nel vitigno Sangiovese alla stessa densità di impianto e con tre diversi carichi di gemme. *Riv. Vitic. Enol.* 1: 59-73.

Intrieri C., Poni S., Rebucci B., Magnanini E. 1998 a. Row orientation effects on whole canopy gas exchange of potted and field-grown grapevines. *Vitis.* 37 (4): 147-154.

Intrieri C., Filippetti I., Poni S. 1998 b. Nouveaux modèles de conduite de la vigne en Italie Centrale et Septentrionale (Première Partie). *Progrès Agricole et Viticole.* 115 (15): 330-336.

Intrieri C., Filippetti I., Poni S. 1998 c. Nouveaux modèles de conduite de la vigne en Italie Centrale et Septentrionale (Suite et fin). *Progrès Agricole et Viticole.* 115 (17): 359-369.

Jackson D. y Lombard P.B. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality. A review. *American Journal of Enology and Viticulture.* 44: 409-430.

Jackson D. y Schuster D. 1987. Production of grapes in cool climates. Butterworths, New Zealand.

Johnson L.F., Lars L.P. 2004. Indirect measurement of area index in California North Coast vineyards. *HortScience* 39 (2): 236-238.

Johnson L.F., Roczen D.E., Youkama S.K., Nemani N.N., Boch D.F. 2003. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agr.* 38: 33-44.

Kaps M.L. y Cahoon G.A. 1992. Growth and fruiting of container-grown Seyval

blanc grapevines modified by changes in crop level, leaf number and position, and light exposure. *Am. J. Enol. Vitic.* 43 (2): 191-199.

Katerji N. y Hallaire M. 1984. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie* 4 (10): 999-1008.

Katerji N., Daudet A.F., Carbonneau A., Ollat N. 1994. Etude à l'échelle de la plante entière du fonctionnement hydrique et photosynthétique de la vigne : comparaison des systèmes de conduite traditionnel et Lyre. *Vitis* 33: 197-203.

Klenert M., Rapp A., Allewedt G. 1978. Einfluss der traubentemperatur auf Beerenwaschstum and Beerenreife der Rebsorte Silvaner. *Vitis* 17:350-360.

Kliewer W.M. 1970. Effect of day temperature and light intensity on coloration of *Vitis vinifera* L. grapes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 95: 693-697.

Kliewer W.M. 1973. Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo and nycto temperatures during maturation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 98: 153-159.

Kliewer W.M. y Lider L.A. 1970. Effects of day temperature and light intensity on coloration of *Vitis vinifera* L. fruits. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 95: 766-769.

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

Kliewer W. M., Kobriger J. M., Lira R. H., Lagier S. T., Di Collalto G. 1985. Performance of grapevines under wind and water stress conditions. En: D. A. Heatherbell, P. B. Lombard, F. W. Bodyfelt y S. F. Price (eds). *The International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology*. June 25-28, 1984. Oregon (USA). Pp. 198-216.

Kliewer W.M., Marois, J.J., Bledsoe, A.M., Smith, M.J. 1988. Relative effectiveness of leaf removal, shoot positioning, and trellising for improving winegrape composition. 2nd Int. Cool Climate Vitic. and Oenol. Symp. Enero, Auckland, Nueva Zelanda.

Koblet W., Keller M., Candolfi-Vasconcelos M.C. 1996. Effects of training system, canopy management practices, crop load and rootstock on grapevine photosynthesis. *Acta Horticulturae* 427: 133-140.

Koundouras S., Van Leeuwen C., Seguin G., Glories Y. 1999. Influence de l'alimentation en eau sur la croissance de la vigne, la maturation des raisins et les caractéristiques des vins en zone méditerranéenne (exemple de Némée, Grèce, cépage Saint-Georges, 1997). J. Int. Sci. Vigne. Vin. 33 (4): 149-160.

Kriedemann P.E. 1977. La photosynthèse des feuilles de vigne. Proc. Symp. Int. sur la Qualité de la Vendage. 67-87. Ed. Oenological and Viticultural Research Institute, Stellenbosch, South Africa.

Kriedemann P.E. y Smart R.E. 1971. Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. Photosynthetica 5 (1): 6-15.

Lakso A.N. 1985. The effects of water stress on physiological processes in fruit crops. Acta Horticulturae. 171: 275-290.

Lebon E., Schultz H.R. 1996. Photosynthèse et conductance stomatique de la vigne à l'échelle du couvert pendant un stress hydrique, II. Validation du modèle. GESCO IXèmes journées du groupe européen d'étude des systèmes de conduite de la vigne. Août, Budapest, Hongrie. 157-167.

Lebon E., Pellegrino A., Lecoœur J., Tardieu F. 2001. Réponses architecturales du rameau induites par un déficit hydrique contrôlé du sol chez la vigne (*Vitis vinifera* L. cv. Grenache noir). GESCO XIIèmes journées du groupe européen d'étude des systèmes de conduite de la vigne. July, Montpellier, France. 229-235.

Linares R., Baeza P., Lissarrague J.R. 2007. El potencial hídrico foliar. En: "Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid". Madrid, Ed. Agrícola Española: 264 p.

Lissarrague J.R. 1986. Estudio de los efectos del riego en la producción, desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Madrid. 395 p.

Lissarrague J.R. 1997. Necesidades de agua de la vid. Consecuencias del estrés hídrico y del riego del viñedo. Agricultura 785: 943-950

Lissarrague J.R., Ruiz C., Bartolomé C., Baeza P., Sotés V. 1991. Étude écophysiological des différents expositions de la végétation dans les systèmes en gobelet et en espalier. Riv. Vitic. Enol. 4: 133-141.

Liu W.T., Pool R., Wenkert W., Kriedemann P.E. 1978. Changes in photosynthesis, stomatal resistance and abscisic acid of *Vitis labrusca* through drought and irrigation cycles. *Am. J. Enol. Vitic.* 29: 239-246.

Long Z.R. 1987. Manipulation of grape flavour in the vineyard: California, North Coast region. In: Proceedings of the Sixth Australian Wine Industry Conference, Adelaide. T.H. Lee (Ed.).

Lopes C. 1994. Influência do sistema de condução no microclima do coberto, vigor e produtividade da videira (*Vitis vinifera* L.). Tesis doctoral. Universidade Técnica de Lisboa. 205 p.

Lopes C. 1999. Relationship between leaf water potential and photosynthetic activity of field-grown grapevines under a Mediterranean environment. *Proc. of the I Int. Symp. on Water Relations of Grapevines. Acta Horticulturae* 493: 287-292.

Lopes C. y Castro R. 1989. Principios fundamentais a considerar em estudos sobre sistemas de conducao da vinha. *Ciencia Tec. Vitiv.* 8 (1-2): 55-70.

Lopes C. y Pinto P.A. 1998. Estimation de la surface foliaire principale et secondaire d'un sarment de vigne. GESCO Xèmes journées du groupe européen d'étude des systèmes de conduite de la vigne. Mai, Changins, Suisse. 42-47.

Lopes C. y Pinto P.A. 2000. Estimation de la surface foliaire principale et secondaire d'un sarment de vigne. *Prog. Agric. Vitic.* 117: 160-166.

Lopes C., Aires A., Cardoso D., Almeida C., Chaves M.M., Castro R. 1994. Influence du système de conduite, lyre vs. traditionnel, sur la physiologie et la productivité d'un cépage vigoureux. 7ª Jornadas de Estudio de los Sistemas de Conducción del viñedo. 21-23 de junio. Valladolid. 187-192.

Lovisol C., Schubert A., Restagno M. 1996. Photosynthesis of grapevine leaves of different age at high and low light intensity. *Acta Horticulturae.* 427: 171-175.

Mabrouk H. y Carbonneau A. 1996. Une méthode simple de détermination de la surface foliaire de la vigne (*Vitis vinifera* L.). *Prog. Agric. Vitic.* 113: 392-398.

Magrisso J. 1987. Les bases physiologiques de la resistance de la vigne a la secheresse. *Im Physiologie de la vigne. Bulletin de L'Ó.I.V. Paris,* 433-439.

Matsui S., Ryugo K., Kliewer W.M. 1986. Growth inhibition of Thompson Seedless and Napa Gamay berries by heat stress and its partial reversibility by applications of growth regulators. *Am. J. Enol. Vitic.* 37: 67-71.

Matthews M.A., Anderson M.M., Schultz H.R. 1987. Phenological and growth responses to early and late season deficits in Cabernet franc. *Vitis* 26: 147-160

Mattick L.R., Shaulis N.J., Moyer J.C. 1972. The effect of potassium fertilization on the acid content of Concord grape juice. *Amer. J. Enol. Vitic.* 23 (1): 26-30.

May P., Shaulis N.J., Antcliff A. 1969. The effect of controlled defoliation in the Sultana vine. *Am. J. Enol. Vitic.* 20 (4): 237-250.

McCarthy M.G. 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv Shiraz (*Vitis vinifera* L). *Australian Journal of Grape and Wine Research* 3: 102-108.

McNaughton K.G. 1989. Regional interactions between canopies and the atmosphere. *Plant canopies: their growth, form and function*. Cambridge University Press. Cambridge. New York. Port Chester. Melbourne. Sydney. 63-81.

Miller D.P. y Howell G.S. 1998. Influence of vine capacity and crop load on canopy development, morphology and dry matter partitioning in Concord grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 49 (2): 183-190.

Miller D.P., Howell G.S., Flore J.A. 1996 a. Effect of shoot number on potted grapevines: I. Canopy development and morphology. *American Journal of Enology and Viticulture* 47 (3): 244-250.

Miller D.P., Howell G.S., Flore J.A. 1996 b. Effect of shoot number on potted grapevines: II. Dry matter accumulation and partitioning. *American Journal of Enology and Viticulture* 47 (3): 251-256.

Miller D.P., Howell G.S., Flore J.A. 1997. Influence the shoot number and crop load on potted Chambourcin grapevines. II. Whole-vine vs. single-leaf photosynthesis. *Vitis* 36 (3): 109-114.

Mochizuki M. Y Rogstad S. 1999. Vine spacing effect on Merlot yield and wine quality 83-86. 29 June. Reno Hilton. Reno, Nevada.U.S.A.

Monteith J.L. 1977. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 281: 277-294.

Morlat R., Penavayre M., Jacquet A., Asselin C., Lemaitre C. 1992. Influence des terroirs sur le fonctionnement hydrique et la photosynthèse de la vigne en millésime exceptionnellement sec (1990). Conséquence sur la maturation du raisin. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 26 (4): 197-220.

Mota T., Castro R., Costa Leme J., Garrido J. 1989. Densidade de plantaço da vinha e suas implicaçoes ómicas e fisiológicas. *Ciencia Téc. Vitic.* 8 (1-2): 97-112.

Mullins M.G., Bouquet A., Williams L.E. 1992. Development physiology: the vegetative grapevine. *Biology of the grapevine*. M.G. Mullins, Williams A., Cambridge L.E. U.K. Cambridge University Press: 80-111.

Muñoz Y. 1989. Distancia de plantación para el cultivar Cabernet Sauvignon. *Viticultura y Enología profesional*, 3: 45-49

Murisier F.M. 1996. Optimisation du rapport feuille-fruit de la vigne pour favoriser la qualité du raisin et l'accumulation des glucides de réserve. Relation entre le rendement et la chlorose. Thèse de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich, Switzerland. 132 p.

Murisier F. y Ferretti M. 1996. Densité de plantation sur le rang: effets sur le rendement et la qualité du raisin. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 28 (5): 293-300.

Murisier F. y Spring J.L. 1986. Influence de la hauteur du tronc et de la densité de plantation sur le comportement de la vigne. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* Vol. 18 (4): 221-224.

Murisier F. y Zufferey V. 1996. Optimisation de la charge en rameaux de la vigne: essai sur Chasselas. *Revue. Suisse Vitic. Arboroc. Hortic.* 28 (2): 131-137.

Murisier F. y Zufferey V. 2003. Influence de la densité de plantation sur le comportement agronomique de la vigne et sur la qualité des vins: essai sur Chasselas. I Résultats agronomiques. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 35 (6): 341-348.

Murisier F. y Zufferey V. 2004. Influence de la densité de plantation sur le comportement agronomique de la vigne et sur la qualité des vins: essai sur Chasselas. II Résultats oenologiques. Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic. 36 (1): 45-49.

Nadal M. y Lampreave M. 1999. Influence de la densité de plantation sur le développement végétatif et la qualité du raisin des cv. Cabernet Sauvignon et Chardonnay en climat méditerranéen. 11^{emes} Journées G.E.S.C.O. Sicile (Italy) 6-12 Juin, 1999. 540-546.

Nadal M., Menchon J., Mateu R., Porta M. 2001. Influence de la hauteur de palissage sur la qualité du raisin de cv Cabernet Sauvignon en climat méditerranéen. 12th GESCO Symposium, 3-7 Julio. Montpellier, Francia. 401-406.

Naor A. y Wample R. L. 1994. Gas exchange and water relations of field-grown Concord (*Vitis labrusca* Bailey) grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 45 (3): 333-337.

Naor A., Bravdo B., Gelobter J.J. 1994. Gas exchange and water relations in fieldgrown Sauvignon blanc grapevines. Am. J. Enol. Vitic. Vol. 45: 423-428.

Naor A., Bravdo B., Hepner Y. 1993. Effect of post-vérasion irrigation level on Sauvignon blanc yield, juice quality and water relations. S. Afr. J. Enol. Vitic. 14 (2): 19-25.

Nikov M. 1987. Influence de la charge sur la production et la croissance de la vigne (cv. Merlot). Connaissance Vigne Vin 21 (2): 81-91

Novello V. y Cravero M.C. 1987. Relazioni idriche in viti cv Barbera di tres forme diverse. D'allevamento. Quad. Vitic. Enol. Univ. Torino. 11: 153-165.

Ojeda H. 2007. Riego cualitativo de precisión en vid. www.infowine.com. Revista de viticultura y enología. Nº 5/1.

Ojeda H., Deloire A., Carbonneau A. 2001. Influence of water deficits on grape berry growth. Vitis 40 (3): 141-145.

Ojeda H., Deloire A., Wang Z., Carbonneau A. 2004. Determinación y control del estado hídrico de la vid. Efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica en vides. Viticultura y enología Profesional. 90: 27-43

Oliveira M. y Santos M. 1995. A semi-empirical method to estimate canopy leaf area of vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.* 46: 389-391.

Ollat N., Fermaud M., Tandonnet J.P., Neveux M. 1998. Evaluation of an indirect method for leaf area index determination in the vineyard: Combined effects of cultivar, year and training system. *Vitis* 37: 73-78.

Palliotti A., Silvestroni O., Cartechini A., Neri D., Mattioli S. 2003. Produzione di sostanza secca ed efficienza fotoassimilativa in funzione della distanza tra i filari. *L'Informatore Agrario.* 48: 59.

Passioura J. B. 1980. The meaning of matrix potential. *J. Exp. Bot.* 31: 1161-1169.

Patakas A., Noitsakis B. 1999. An indirect method of estimating leaf area index in cordon trained spur pruned grapevines. *Sci. Hortic.* 80: 299-305.

Patakas A., Noitsakis B., Stavrakas D. 1997. Adaptation of leaves of *Vitis vinifera* L. to seasonal drought as affected by leaf age. *Agronomie* 17: 129-138.

Pereira J. S. y Chaves M. M. 1993. Plant water deficits in Mediterranean ecosystems. In: *Water deficits-plant responses from cell to community*, ed. J.A.C. Smith, y H. Griffiths. Oxford, BIOS Scientific Publishers Limited, pp. 237-251.

Pérez M^a.A. 2002. Densidad de plantación y riego: Aspectos ecofisiológicos, agronómicos y calidad de la uva en cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.). Tesis Doctoral, Dpto. Producción vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 287 p.

Pérez-Harvey J. y Bonilla-Meléndez C. 1994. Effect of between vine spacing and leaf removal on vine growth, yield and fruit quality of Thompson seedless and flame seedless cultivars. *International Symposium on Table Grape Production.* 215-218.

Peterlunger L., Zulini L., Cestari F., Petrusci C. 2003. Effetti della distanza sulla fila nella cv. Sauvignon nei colli orientali del Friuli. *L'Informatore Agrario.* 48: 57.

Petrie P.R., Trought M.C.T., Howell G.S. 2000 a. Growth and dry matter partitioning of Pinot noir (*Vitis vinifera* L.) in relation to leaf area and crop load. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6 (1): 40-45.

Petrie P.R., Trought M.C.T., Howell G.S. 2000 b. Fruit composition and ripening of Pinot noir (*Vitis vinifera* L.) en relation to leaf area. Australian Journal of Grape and Wine Research. 6: 56-51.

Peynaud E. 1989. Enología práctica: Conocimiento y elaboración del vino. Amv Ediciones.

Pirie A.J. 1977. Phenolics accumulation in red wine grapes (*Vitis vinifera* L.) PhD Thesis, University of Sidney.

Planas R. 1998. Incidence de la densité de plantation. Application au vignoble audios. Progrès Agricole et Viticole. 115 (4): 89-92.

Poni S., Intrieri C., Silvestroni O. 1994. Interactions of leaf age, fruiting and exogenous cytokinins in Sangiovese grapevines under non-irrigated conditions. I. Gas exchange. Am. J. Enol. Vitic. 45 (1): 71-78.

Poni S., Lakso A.N., Turner J.R., Melious R.E.. 1993. The effects of pre-and post-veraison water stress on growth and physiology of potted Pinot noir grapevines at varying crop levels. Vitis 32: 207-214.

Poni S., Palliotti A., Bernizzoni F. 2006. Calibration and evaluation of a STELLA software-based daily CO₂ balance model in *Vitis vinifera* L. Journal of the American Society for Horticultural Science 131 (2): 273-283.

Remoue M. y Lemaitre C. 1985. Comparaison de diferentes densités de plantation et methodes de culture du sol (non culture et enherbement permanent). Connaissance Vigne Vin. 19 (4): 197-206.

Reynolds A.G., Wardle D.A., Dever M. 1994. Shoot density effects on Riesling grapevines: Interactions with cordon age. Am. J. enol. Vitic. 45 (4): 435-443.

Reynier A. 1995. Manual de Viticultura. Madrid, Ed. Mundi-Prensa. 407 p

Riberéau-Gayon P. 1970. Le dosage des composés phenoliques totaux dans les vins rouges. Chim. Anal. 52: 627-631.

Richards L.A. 1949. Methods of measure soil moisture tension. Soil Sci. 68: 95-112.

Riou C., Pieri P., Leclech B. 1994. Water use of grapevines well supplied with water. Simplified expression of transpiration. *Vitis*. 33: 109-115.

Rosenberg N.J., Blas B.L., Verma S.B. 1983. Microclimate: The biological environment. New York, NY: John Willey and Sons.

Rubio J.A. 2002. Riego y aclareo de racimos: efectos en la actividad fisiológica, en el control del rendimiento y en la calidad de la uva del cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.). Tesis Doctoral. Dpto. Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 254 p.

Rubio J.A., Yuste J., Yuste J.R., Alburquerque M.V., Arranz C., Barajas E. 2009. Clones certificados de las principales variedades tradicionales de Castilla y León. Ed. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, Valladolid (España) 315 p.

Russell G., Jarvis P.G., Monteith J.L. 1989. Absorption of radiation by canopies and stand growth. Plant canopies: their growth, form and function. Cambridge University Press. Cambridge. New York. Port Chester. Melbourne. Sydney 21-39.

Saint-Criq de Gaulejac N, Vivas N., Glories Y. 1998. Maturité phenolique: définition et contrôle. *Revue Francaise d'Oenologie*. Nov-Déc. 173: 22-25.

Saint-Criq de Gaulejac N, Vivas N., Glories Y. 1999. Maduración fenólica de las uvas tintas. Relación con la calidad de los vinos. Comparación entre los vidueños Merlot y Tempranillo. *Sevi*. Nº 2747: 1047-1051; Nº 2748: 1126-1136.

Salisbury F. B. y Ross C.W. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. México D.F.

Sánchez P. 2007. Producción y distribución de fotoasimilados en la vid (*Vitis vinifera* L.) durante el periodo de maduración. Cambios en la respuesta fotosintética a la luz de las hojas por factores biológicos, ambientales y culturales. Tesis Doctoral. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 415 p.

Sánchez-Díaz M. y Aguirreolea J. 1996. Relaciones hídricas. En: Fisiología y bioquímica vegetal. Ed. J. Azcón-Bieto y M. Talón. Madrid. McGraw-Hill Interamericana de España, pp. 49-90.

Sánchez-Díaz M. y Aguirreolea J. 2000. Movimientos estomáticos y transpiración. En: Fundamentos de fisiología vegetal. Ed. J. Azcon-Bieto y M. Talón. Madrid. McGraw-Hill Interamericana de España, pp. 31-43.

Sánchez-Llorente P. 2004. Respuesta de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) en relación a la evolución del contenido de agua en el suelo en regímenes hídricos deficitarios. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Agrónomos. Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid: 228.

Savage S.D. y Sall M.A. 1983. Botrytis bunch rot of grapes: The influence of selected cultural practices on infection under California conditions. Plant Dis. 67: 771-774.

Scholander P.F., Hammel H.T., Bradstreet E.D. and Hemmingsen E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. Science 148: 339-346.

Schubert A., Restagno M., Novello V., Peterlunger E. 1995. Effects of shoot orientation on growth, net photosynthesis, and hydraulic conductivity of *Vitis vinifera* L. cv. Cortese. American Journal of Enology and Viticulture. 46 (3): 324-328.

Schultz H.R. 1992. An empirical model for the simulation of leaf appearance and leaf development of primary shoots of several grapevine (*Vitis vinifera* L.). Sci. Hortic. 52: 179-200.

Schultz H.R. 1995. Grape canopy structure, light microclimate and photosynthesis. I. A two-dimensional model of the spatial distribution of surface area densities and leaf ages in two canopy systems. Vitis. 34 (4): 211-215.

Schultz H.R. 1996. Leaf absorptance of visible radiation in *Vitis vinifera* L.: estimates of age and shade effects with a simple field method. Scientia Horticulturae 66: 93-102.

Schultz H.R. y Matthews M.A. 1992. Xylem development and hydraulic conductance in sun and shade shoots of grapevine (*Vitis vinifera* L.): evidence that low light uncouples water transport capacity from leaf area. Planta 190: 393-406.

Schultz H.R., Kiefer W., Gruppe W. 1996. Photosynthetic duration, carboxylation efficiency and stomatal limitation of sun and shade leaves of different ages in field-grown grapevine, *Vitis vinifera* L. Vitis. 35 (4): 169-176.

Sepulveda G. y Kliewer W.M. 1983. Estimation of leaf area of two grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) using laminae linear measurements and fresh weight. *Am J. Enol. Vitic.* 34: 221-226.

Sepulveda G y Kliewer W. M. 1986. Stomatal response of three grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) to high temperature. *Am. J. Enol. Vitic.* 37: 44-52.

Sahulis N. y Kimball K. 1955. Effect of plant spacing on growth and yield of Concord grapes. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 60: 192-200.

Sibille I., Ojeda H., Prieto J., Maldonado S., Lacapere J.N. 2005. Determinación de la relación entre las tres aplicaciones de la cámara de presión (potenciales hídricos) y evaluación de la respuesta en el comportamiento isohídrico y anisohídrico de cuatro cepajes. Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología organizado por la Asociación Brasileña de Enología y EMBRAPA Uva y Vino. Bento Gonçalves, 7-11 Noviembre.

Silvestroni O., Lattanzi T., Manni E., Borghesi L. 2003. Distanze sulla fila e forme di allevamento: risultati di prove sui vitigni Verdicchio e Montepulciano. *L'informatore agrario.* 48: 51.

Sipiora M.J. 2005. Influencia de la densidad de pámpanos por metro de cordón sobre la variedad de vid (*Vitis vinifera* L.) Tempranillo en secano y regadío. Comportamiento agronómico, fisiológico y modelos descriptivos del desarrollo de la vid. Tesis Doctoral. Departamento de Producción Vegetal: Fiotecnía. Universidad Politécnica de Madrid. 256 p.

Sipiora M. J. y Lissarrague J. R. 1999. Diurnal Changes in vine water status and gas exchange parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo grapevines as influenced by irrigation and pruning level. *Proc. of the I Int. Symp. on Water Relations of Grapevines. Acta Horticulturae* 493: 109-116.

Sisson R. 1959. Yield and quality response of some respaced North Coast vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.* 1: 44-47.

Slavtcheva T. 1990. Influence of some ecological and agricultural factors on net photosynthetic rate of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Photosynthetica* 24 (1): 182-185.

Slavtcheva T. 1996. Effects of cultivation practises on leaf area , photosynthetic rate and grape yield of cv. Dimiat vines. *Acta Hort.* 427. ISHS 209-216.

Smart R.E. 1974 a. Aspects of water relations of the grapevine (*Vitis vinifera*). Am. J. Enol. Vitic. 25: 84-91.

Smart R.E. 1974 b. Photosynthesis by grapevine canopies. J. Appl. Ecol. II, 997-1006.

Smart R.E. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. Am. J. Enol. Vitic. Vol. 36 (3): 230-239.

Smart R.E. 1988. Shoot spacing and canopy light microclimate. Am. J. Enol. Vitic. 39: 325-333.

Smart R.E. 1990. Techniques of canopy management identifying problems and correcting them. The Australian Grapegrower and Winemaker. August: 10-13.

Smart R.E. y Dry P.R. 1980. A climatic classification for Australian viticultural regions. Austral. Grapegrower Winemaker. 17 (196):8-10.

Smart R. E. y Robinson M. 1991. Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management. Ed. Ministry of Agriculture and Fisheries, New Zealand. 88 p.

Smart R.E., Dick J.K., Smith S.M. 1989. Introducing the Ruakura twin two tier trellis. Austral. NZ Wine Indust. J. 4:109-113.

Smart R.E., Dick J.K., Gravett I.M., Fisher B.M. 1990. Canopy management to improve grape yield and wine quality - principles and practices. S. Afr. J. Enol. Vitic. 11: 3-17.

Smith M. 1993. CROPWAT v.5.7. Estudio FAO: Riego y Drenaje 46. Roma. 133 p.

Smith R.J. y Kliewer W.M. 1984. Estimation of Thompson Seedless grapevine leaf area. Am. J. Enol. Vitic. 35: 16-22.

Sommer K.J. y Clingeleffer P.R. 1996. Vine canopy development and carbohydrate partitioning as influenced by pruning. En Proceedings of the 9th Australian Wine Industry Technical Conference. Adelaide, pp 123-127.

Sommer K.J. y Lang A.R.G. 1994. Comparative analysis of two indirect methods

of measuring LAI as applied to minimal and spur pruned grape vines. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 197-206.

Stapleton J.J. y Grant R.S. 1992. Leaf removal for non-chemical control of the summer bunch rot complex of wine grapes in the San Joaquin Valley. *Plant Disease* 2: 205-208.

Stoev K. y Bondjoukov D. 1974. Influence de la densité de plantation des vignes du cepage Cabernet sauvignon, conduits en formation haute, sur la récolte et la croissance des rameaux herbacés. *Hort. Vitic. Sci.* 11: 83-92.

Thomas C.S., Marois J.J., English J.T. 1988. The effects of wind speed, temperature, and relative humidity on development of aerial mycelium and conidia of *Botrytis cinerea* on grapes. *Phytopathology* 78: 260-265.

Tregoat O., Ollat N., Grenier G., Van Leeuwen C. 2001. Survey of the accuracy and rapidity of several methods for vine leaf area assessment. *J. Int. Sci. Vigne Vin.* 35: 31-39.

Troost G. 1972. *Technologie des weines*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Turkington C.R., Peterson J.R., Evans J.C. 1980. A spacing, trellising, and pruning experiment with Muscat gordo blanco grapevines. *Am. J. enol. Vitic.* 31 (3): 298-302.

Turner N. C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and soil* 58: 339-366.

USDA. Soil Survey Staff. 2006. *Keys to soil Taxonomy*. 10th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C. USA.

Valenti L. Fasoli V., Mastromauro F. 1999. Système de conduite et densité de plantation: des facteurs de productivité et de qualité dans trois milieux de la zone A.O.C. Verdicchio dei castelli di Jesi. XI G.E.S.C.O. Junio, Marsala (Italia), 604-610.

Valenti L., Tonni M., Cisani F. 1996. Effect of training system and vine spacing on vine growth and productivity of cv. Barbera in S. Colombano al Lambro (North Italy), first results. *ISHS. Acta Hort.* 427: 119-127.

Van Leeuwen C. y Seguin G. 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la

vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Emilion). J. Int. Sci. Vigne Vin 28 (2): 81-110.

Van Leeuwen C., Choné X., Trégoat O., Gaudillère J.P. 2001. The use of physiological indicators to assess vine water uptake and to manage vineyard irrigation. The Australian grape grower and winemaker. 449: 18-24

Van Zyl J.L. 1986. Canopy temperature as a water stress indicator in vines. South Afr. J. Enol. Vitic. 7: 53-60.

Van Zyl J.L. 1987. Diurnal variation in grapevine water stress as a function of changing soil water status and meteorological conditions. South Afr. J. Enol. Vitic. 8: 45-52.

Van Zyl J.L. y Weber W. 1977. L'irrigation du cepage Chenin blanc dans la region Stellen Bosch, dans le cadre du continuum climat-sol-eau-plante. Int. Symp. Qual. Vintage. 331-350.

Vasconcelos M.C. y Castagnoli S. 2000. Leaf canopy structure and vine performance. American Journal of Enology and Viticulture. 51 (4): 390-396.

Vázquez I., Rego F., Orriols I., Losada A. 2006. Influencia de la densidad de plantación en las características agronómicas de la variedad Loureira. V Foro Mundial del Vino. Marzo, Logroño (España).

Volschenk C.G. y Hunter J.J. 2001 a. Effect of trellis conversion on the performance of Chenin blanc/99 Richter grapevines. S. Afr. J. Enol. Vitic. 22: 31-35.

Volschenk C.G. y Hunter J.J. 2001 b. Effect of seasonal canopy management on the performance of Chenin blanc/99 Richter grapevines. S. Afr. J. Enol. Vitic. 22: 36-40.

Wiebe J. y Bradt O.A. 1973. Fruit yield and quality in the early years of a grape-spacing trial. Can. J. Plant Sci. 53: 153-156.

Williams L.E. 1987 Growth of "Thompson seedless" grapevines: I. Leaf area development and dry weight distribution. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 112: 325-330.

Williams L.E. 1996. Grape. In: Photoassimilate Distribution in Plants and

Crops: Source-Sink Relationships. E. Zamski and A.A. Shaffer. New York, Marcel Dekker, Inc.: 851-881.

Williams L.E. y 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.E. y Arnold R. 1999. Evaluation of Cabernet sauvignon at three vine spacings and two trellis systems in the Oakville district of Napa Valley, California. 73-81. En: Vine Spacing Symposium. June 29, 1999. Reno Hilton. Reno, Nevada U.S.A.

Williams L.E. y Grimes D.W. 1987. Modelling vine growth-development of data set for a water balance subroutine. 169-174. Proceedings of the 6th Australian Wine Industry Technical Conference, de. T. Lee, Winetitles, Adelaide, South Australia.

Williams L.E. y Matthews M.A. 1990. Grapevine. En: Stewart B.A. y Nielsen D.R. (eds.). Irrigation of agricultural crops. Agronomy Monograph N° 30. Madison, Wisconsin. USA. 1019-1055.

Williams L. E., Dokoozlian N. K. Wample R. 1994. Grape. In: Handbook of environmental physiology of fruit crops. Ed. B. Schaffer and P.C. Anderson 1: Temperate crops. Boca Raton, Florida (USA). CRC Press, pp. 85-133.

Winkler A.J. 1959. The effect of vine spacing at Oakville on yields, fruit composition and wine quality. Am. J. Enol. Vitic. 10:39-43.

Winkler A.J. 1969. Effect of vine spacing in an unirrigated vineyard on vine physiology, production and wine quality. Am. J. Enol. Vitic. 20: 7-14.

Winkler A.J., Cook J.A., Kliewer W.M., Lider L.A. 1974. General viticulture. University of California Press Berkeley. 710 p.

Wünsche J.N., Lakso A.N., Robinson T.L. 1995. Comparison of four methods for estimating total light interception by apple trees of varying forms. HortScience. 30 (2): 272-276.

Yuste J. 1995. Comportamiento fisiológico y agronómico de la vid (*Vitis vinifera* L.) en diferentes sistemas de conducción en secano y regadío. Tesis Doctoral. Dpto. Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 280 p.

Yuste J. 2007. Situación actual de la viticultura en Castilla y León. *Agrónomos* 35: 51-63.

Yuste J., Barajas E., Castaño F.J., San Miguel M.A. 2008. Determinación de la superficie foliar del viñedo a partir de la longitud de los pámpanos de la variedad Tempranillo en diferentes regímenes hídricos. XXXI Congreso Mundial de la Viña y el Vino. Junio, Verona (Italia).

Yuste J., Martín H., Yuste R., Albuquerque M^a.V., Barajas E. 2007 a. Determinación de la superficie foliar y la materia seca de hojas de Tempranillo a partir de su peso fresco en tres densidades de plantación. XXIX Congreso Mundial de la Viña y el Vino OIV. Junio, Logroño (España). 1: 146-148.

Yuste J., Pérez M^a.A., Barajas E. 2007 b. Efectos de la densidad de plantación en el régimen hídrico del viñedo. Capítulo 4.2. En: Fundamentos, Aplicación y Consecuencias del riego en la vid. Ed. Agrícola Española S.A. Madrid. 264 p.

Yuste J., San Miguel M.A., De la Iglesia E., Barajas E. 2009. Madurez de las bayas de Tempranillo en función de su posición espacial en el racimo. *Enoviticultura* 1: 13-16.

Zufferey V. 2000. Echanges gazeux des feuilles chez *Vitis vinifera* L. (cv. Chasselas) en fonction des paramètres climatiques et physiologiques et des modes de conduite de la vigne. Tesis Doctoral. Zurich, Ecole Polytechnique Federale. 335 p.

Zufferey V. y Murisier F. 2000. Photosynthèse des feuilles de vigne (cv. Chasselas). I. Influence de la lumière et de la température. *Revue Suisse du Viti-culture Arboriculture Horticulture*. 32 (6): 341-346.

