

## VALORACIÓN AGRONÓMICA DE LA RESPUESTA CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DE LA PRODUCCIÓN DE *Vitis vinifera* L. (cv. 'AIRÉN') SOMETIDA A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE PROGRAMACIÓN DE RIEGOS

F. Montero, J.A. de Juan, R. Parra, E. Sajardo, A. Cuesta, A. Cruz, A. Ramiro

Universidad de Castilla-La Mancha, Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Avda. de España s/n., 02071 Albacete, ESPAÑA  
Francisco.Montero@uclm.es

### RESUMEN

Se ha estudiado, en Villarrobledo (Albacete), durante las campañas de 2000 y 2001, la respuesta agronómica, desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo, obtenida por un cultivo de vid (*Vitis vinifera* L., cv. 'Airén') frente a distintas estrategias de programación de riegos. Dichas estrategias, se plantearon en función de diferentes niveles porcentuales de reducción y aumento del agua de riego aplicada en un tratamiento hídrico de referencia, denominado T1, al que se aportó un volumen estacional cercano a los 1700 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. En los resultados obtenidos, para las variables agronómicas que definen la producción de la cepa, se ha comprobado que el incremento del volumen de riego aplicado en la campaña agrícola ha producido una disminución de la eficiencia del agua aplicada frente al rendimiento en uva y en madera de poda, aunque a su vez, ha producido un crecimiento con diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ambas variables y en el peso específico de la baya. En lo referente a las variables utilizadas para definir la calidad del mosto en la variedad 'Airén', se observa que la densidad, el °Baumé, la acidez total y el ácido málico, presentan, en las dos campañas de ensayo, diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, observándose un aumento de la concentración en vendimia de acidez total y ácido málico y una disminución del °Baumé y la densidad, cuando se produce un incremento del volumen de agua aplicada, en el intervalo de niveles ensayados.

**Palabras clave:** Vid, Riego deficitario, Rendimiento

### SUMMARY

AGRONOMIC EVALUATION OF THE QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ANSWER OF THE *Vitis vinifera* L. (cv. 'AIRÉN') PRODUCTION SUBJECTED TO DIFFERENT STRATEGIES OF IRRIGATION PROGRAMMING.

The agronomic behaviour of a vineyard (*Vitis vinifera* L., cv. 'Airén') has been studied in Villarrobledo (Albacete), during the 2000 and 2001 growth season, from quantitative and qualitative points of view, according to different irrigation scheduling. This strate-

gies have been designed, reducing and increasing in a percentage, the water applied in a reference treatment, T1 ( $1700 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ ). The obtained results show, for the agronomic variables that define the grapevine production, that the increment of the irrigation volume applied in the agricultural growth season has produced a decrease of the efficiency of the water applied in grape and wood yield, although at this time, it has produced a growth with significant differences among treatments in both variables and in the specific weight of the berry. Regarding the variables used to define the quality of the must in the variety 'Airén', it is observed that density, °Baumé, total acidity and malic acid, present, in both growth seasons, differences statistically significant among treatments, being observed an increase of the concentration in grape harvesting of total acidity and malic acid and a decrease of °Baumé and density, when an increment of the volume of applied water takes place, in the interval of rehearsed levels.

**Key words:** Vine, Deficit Irrigation, Yield.

### Introducción

El esquema productivo del viñedo en Castilla-La Mancha contempla, por un lado, la realidad agronómica de un cultivo en secano ampliamente extendido (93% de la superficie total cultivada de viña) y perfectamente adaptado a las condiciones edafoclimáticas del semiárido entorno regional y por otro, la posibilidad de la incorporación racional del agua como elemento clave de la reconversión que se está produciendo en el cultivo (JCCM, 1996).

Las peculiares características del sistema hidrológico y edafoclimático castellano-manchego y las actuales circunstancias del sector vitivinícola de la región, donde las posibilidades de desarrollo se reducen enormemente si las alternativas no pasan por una potenciación importante de la calidad en las producciones, hacen muy aconsejable la introducción del riego en el cultivo de la vid desde la óptica del riego deficitario controlado. Esta técnica se caracteriza por la aplicación de dotaciones hídricas reducidas, y en ella cobran especial relevancia los estudios fenológicos que permitan conjugar necesidades puntuales con disponibilidades reales (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

Aunque, actualmente, gran parte de las opciones de futuro en muchas explotaciones de la región pasan por la reconversión varietal hacia materiales de mayor prestigio y reconocimiento mundial como 'Cabernet Sauvignon', 'Syrah', 'Merlot', 'Chardonnay' o 'Tempranillo', sin duda, sigue siendo necesario conocer la potencialidad cuantitativa y cualitativa de la variedad 'Airén', de la que actualmente, con la conjugación de modernas instalaciones de vinificación y la mejora de las técnicas de agronómicas, se están obteniendo caldos de excelente calidad; hecho de gran importancia debido a que esta variedad ocupa el 70% de la superficie del viñedo castellano-manchego (JCCM, 1996) y origina las mayores producciones e ingresos del sector en la región. En este contexto, con el objeto de que el agricultor aproveche un recurso limitado y limitante, como es el agua, y pueda obtener de este factor el rendimiento óptimo en cada situación geográfica, tecnológica, medioambiental, e incluso social, se desarrolló el presente trabajo, que se enmarca en el Subproyecto: "La cubierta vegetal de viñedo como elemento clave en la vertebración territorial de Castilla-La Mancha, España", perteneciente al Proyecto IFD97-1090-C03 titulado "Gestión

Integral del Sector Vitivinícola en Castilla-La Mancha” financiado con fondos UE-FEDER y que se desarrolló en la región durante el período 1999-2001 (MONTERO *et al.*, 2000).

Los principales objetivos de este trabajo son: analizar, en el contexto edafoclimático de la comarca natural de La Mancha, el efecto diferenciador de la aplicación de distintos volúmenes estacionales de riego sobre las variables agronómicas que mejor definen la producción cuantitativa y cualitativa de la variedad de vid ‘Airén’, establecer modelos empíricos que relacionen los resultados obtenidos para estas variables con los volúmenes de agua aplicados en los diferentes tratamientos hídricos ensayados y determinar la eficiencia del agua aplicada en los mismos en el rendimiento de uva y madera de poda.

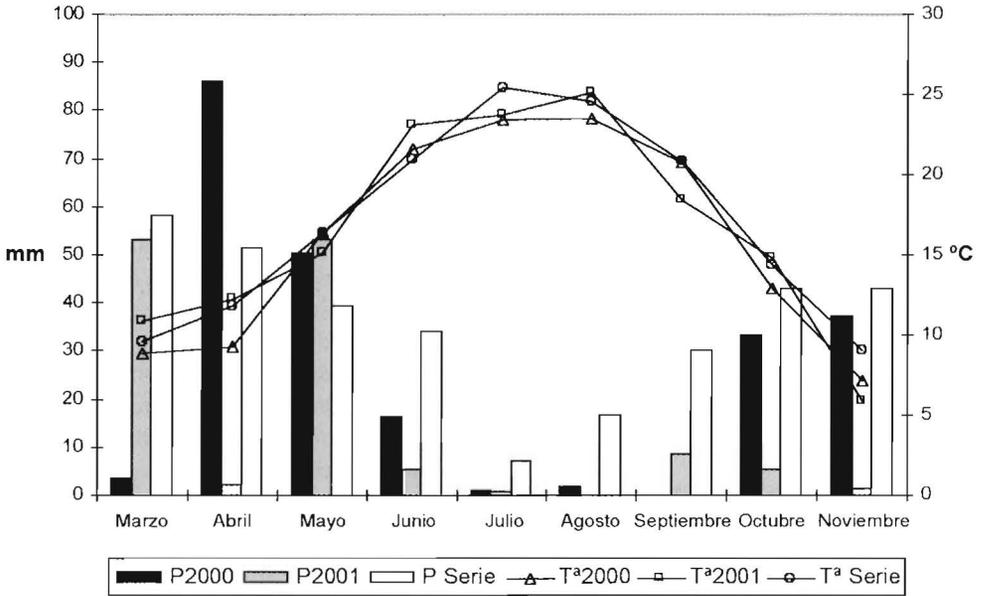
### Material y métodos

Los ensayos se llevaron a cabo en un viñedo ubicado en el término municipal de Villarrobledo (Albacete) (39° 20' 04" Longitud N; 2° 35' 07" Latitud O; 706 m s.n.m.). El material vegetal utilizado fue de la variedad ‘Airén’, conducida en vaso con cuatro brazos e injertada sobre el patrón ‘41-B Millardet’, plantada en 1970 con marco real de 2,54 m. La poda de las dos campañas se realizó dejando pulgares de dos yemas por brazo y las labores y otras operaciones de cultivo realizadas fueron las típicas de la zona.

Según la clasificación de PAPADAKIS (1954), el tipo climático de la zona es “Mediterráneo templado” (ME), con invierno “Avena cálido” (Av), verano “Arroz” (O), régimen térmico “Templado cálido” (TE) y régimen de humedad “Mediterráneo seco” (Me).

La figura nº 1 muestra la evolución mensual de las temperaturas medias y las precipitaciones acumuladas en la zona de ensayo en los meses entre los que transcurre el ciclo agronómico de la vid en las dos campañas de ensayo y en el año medio de una serie climática característica de la zona. Los datos presentados para los años 2000 y 2001, fueron obtenidos de una estación agroclimática (Campbell Scientific Ltd., Leicestershire, UK), instalada dentro del campo de ensayo. Los registros termoplumiométricos históricos de la zona se fueron obtenidos por la estación agroclimática de Villarrobledo en el periodo comprendido entre 1931 y 1975 (ELÍAS y RUIZ, 1981). En lo referente a los datos de temperatura del aire, los valores de las dos campañas de ensayo fueron muy similares a los del año medio de la serie climática, y respecto a la precipitación, se observa una gran variabilidad inter e intra anual, algo característico de la zona, siendo el hecho más destacable, que el verano, el periodo de mayor demanda hídrica de la vid, fue más seco que la media histórica de la zona en los dos años de ensayo. La precipitación acumulada en la totalidad del periodo vegetativo de la vid ha presentado valores de 229,4 y 129,9 mm, en las campañas 2000 y 2001, respectivamente, y de 322,5 mm, en la serie climática.

El perfil del suelo de la parcela de ensayo presenta dos horizontes ócricos de laboreo, Ap1 y Ap2, seguidos de dos horizontes cálcicos débilmente cementados, Bk1 y Bk2. La capacidad de retención de agua del suelo, en los horizontes con presencia de raíces activas, es la siguiente: Ap1 (0-15 cm de profundidad) 0,77 mm cm<sup>-1</sup>; Ap2 (15-40 cm) 0,85 mm cm<sup>-1</sup>; y Bk1 (40-80 cm) 1,23 mm cm<sup>-1</sup>. La clasificación taxonómica del suelo, según la *Soil Taxonomy* (USDA, 1999), es: Orden, Aridisols; Suborden, Orthids; y Grupo, Paleorthids.



P2000= precipitación mensual acumulada en 2000; P2001= precipitación mensual acumulada en 2001; P Serie = precipitación mensual en el año medio de la serie de 1931-1975; T°2000= temperatura media mensual en la campaña de 2000; T°2001= temperatura media mensual en 2001; Tª Serie = temperatura media mensual en 1931-1975.

Figura 1. Temperatura media y precipitación de la zona de ensayo en las dos campañas de estudio (2000 y 2001) y en el año medio de una serie climática (1931-1975), en los meses entre los que se encuentra el periodo vegetativo de la vid.

*P2000 = monthly accumulated precipitation in 2000; P2001 = monthly accumulated precipitation in 2001; P Serie = monthly accumulated precipitation in the average year of the series of 1931-1975; T°2000 = monthly average temperature in 2000; T°2001 = monthly average temperature 2001; Tª Serie = monthly average temperature the average year of the series of 1931-1975.*

*Figure 1. Average temperature and precipitation of the study area in 2000 and 2001 seasons and in the average year of a climatic series (1931-1975) in the months in which the vegetative period of the vine is included.*

En el diseño experimental del ensayo se distinguen seis estrategias de riego diferenciadas, con las que se programó aplicar distintos volúmenes estacionales de agua aplicando coeficientes específicos respecto a un tratamiento de referencia, T1. Cada tratamiento se definió con 4 parcelas elementales de 155 m<sup>2</sup>, excepto T5, donde sólo hubo 2. Cada parcela elemental se constituyó con 3 filas de 8 cepas. Los valores de estos coeficientes en los distin-

tos tratamientos y etapas fenológicas del cultivo se muestran en el cuadro nº 1.

La programación de riegos se realizó diariamente entre la brotación y la caída de hoja de la planta, a través de la metodología del balance hídrico simplificado (MARTÍN DE SANTAOLALLA y DE JUAN, 1993). El método de cálculo de los consumos del cultivo (ETc) del tratamiento de referencia (T1) fue el propuesto por FAO (DOORENBOS y PRUITT,

Cuadro 1. Niveles porcentuales sobre el tratamiento T1 programados para las diferentes estrategias de programación de riegos

Table 1. Percentage levels on treatment T1 programmed for the different irrigation scheduling

Tratamiento	ETAPA				
	A	B	C	D	E
T0	0	0	0	0	0
T1	100	100	100	100	100
T2	50	50	50	50	50
T3	150	150	150	150	150
T4	200	200	200	200	200
T5	200	200	200	100	100

Etapa A = brotación-floración; Etapa B = floración-cuajado; Etapa C = cuajado-envero; Etapa D = envero-maduración; Etapa E = maduración-caída de la hoja.

A = bloom-flowering; B = flowering-setting; C = setting-veraison; D = veraison-ripenning; E = rippening-fall of leaf.

1977). Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) se utilizó la fórmula semiempírica de PENMAN-MONTEITH (JENSEN *et al.*, 1990). Para realizar la programación de riegos del cultivo con suficiente nivel de precisión se utilizó también la estación agroclimatológica instalada en el campo de ensayo.

Los valores del coeficiente de cultivo, kc, se obtuvieron utilizando la técnica de regresión, tras una amplia revisión bibliográfica del equipo de investigación (CUESTA *et al.*, 1999).

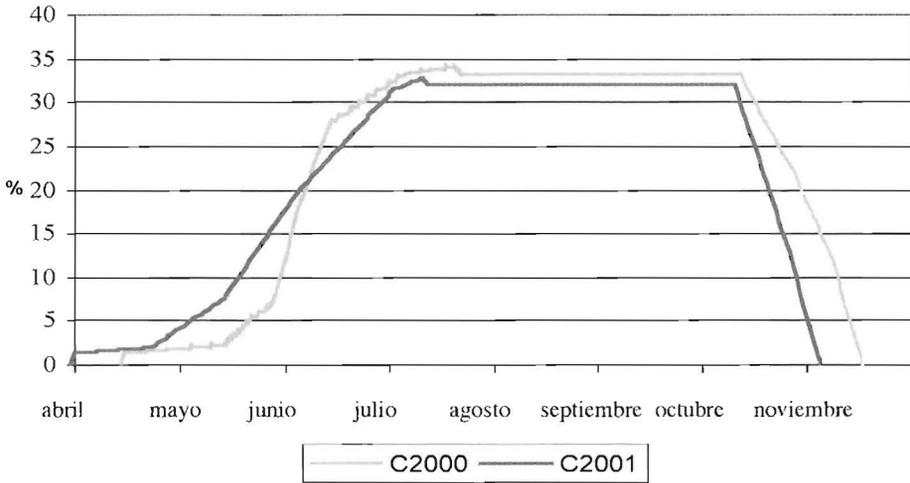
El siguiente paso, en la metodología de la programación de riegos utilizada, fue el cálculo de la evapotranspiración de diseño (ET<sub>d</sub>), que depende del porcentaje de cobertura del suelo por parte del cultivo. Para realizar esta estimación se recurrió a la fórmula de KELLER (1978).

El grado de cobertura del suelo por el cultivo varía a lo largo del ciclo agronómico; para tener en cuenta esta variación, se reali-

zaron semanalmente determinaciones en 4 cepas elegidas al azar de cada una de las repeticiones de los tratamientos del ensayo. En cada cepa de medida, se medían aleatoriamente dos diámetros y se hallaba un diámetro medio, a partir del cual se determinaba la proporción ocupada por la cepa. Posteriormente, con los datos obtenidos para cada tratamiento hídrico se obtenía el valor medio de cobertura. La evolución de la cobertura media del cultivo en las dos campañas de ensayo se muestra en la figura nº 2.

En las mismas plantas, y con la misma periodicidad que la utilizada para el seguimiento de la cobertura, se realizó un seguimiento fenológico fijando en el tiempo las fases y etapas fenológicas por las que evolucionaba el cultivo en su ciclo de crecimiento y desarrollo siguiendo la escala de BAILLOD y BAGLIOLINI (1993) y el sistema BBCH (LORENZ *et al.*, 1994).

La aplicación del balance hídrico simplificado considera, como entrada de agua al



C2000 = cobertura en la campaña 2000; C2001 = cobertura en la campaña 2001.

Figura 2. Evolución de la cobertura del terreno por el cultivo en las dos campañas de ensayo.

*C2000 = covering in 2000 growth season; C2001 = covering in 2001 growth season.*

*Figure 2. Evolution of crop growth cover in both study growth seasons.*

sistema suelo-planta, la precipitación y el volumen de riego aplicado y como salida hacia la atmósfera, la ETd. Este balance se realizó diariamente y cada vez que se hacía nulo se aplicaba la dosis neta de riego. Para diferenciar los tratamientos de riego en el ensayo, se aplicó un coeficiente distinto a la ETd en cada estrategia: 0, en T0; 0,5, en T2; 1, en T1; 1,5, en T3; 2, en T4; y, también, 2, en T5 hasta el envero, donde se cambió a 1 hasta la caída de la hoja.

Para el cálculo de la dosis neta de riego (Dn) a emplear en cada etapa fenológica, en primer lugar se obtuvieron, siguiendo el método de RICHARDS (1941), los modelos que relacionan el potencial mátrico de cada horizonte con la humedad gravimétrica del mismo en el intervalo de 0,33-15 atm. Posteriormente, se calculó la humedad volumétrica por el producto de los datos extremos de cada modelo con la densidad aparente de cada horizonte. Estos resultados, fueron con-

tratados satisfactoriamente, con los valores obtenidos tras el empleo de los modelos semiempíricos de SAXTON, RAWLS y GUPTA-LARSON (KERN, 1995). Seguidamente, se determinó la capacidad de retención de agua de cada horizonte ( $\text{mm cm}^{-1}$ ), restando los valores obtenidos por el método de Richards y se calculó el agua útil (AU), teniendo en cuenta que la profundidad de suelo con raíces activas era de 60 cm. Finalmente, la dosis neta fue obtenida multiplicando AU por el nivel de agotamiento permisible de la vid (NAP) en cada etapa fenológica del cultivo expresado en tanto por uno. Los valores de NAP, AU y Dn obtenidos se muestran en el cuadro n° 2.

El diseño del sistema de riego del ensayo consta, entre otros elementos, de un sistema de distribución y medición de caudales y una red de aplicación de agua a cada parcela elemental mediante laterales portagoteros de PE de 16 mm Ø, con goteros autocom-

Cuadro 2. Nivel de agotamiento permisible, agua útil y dosis neta aplicada en las diferentes etapas fenológicas de la variedad 'Airén' en la parcela de ensayos

Table 2. Permissible depletion level, available water and net dose applied in different phenologic stages in 'Airén' in the tested plot

Etapa	NAP	AU	Dn
A	50		28,70
B	45		25,83
C	45	57,40	25,83
D	55		31,57
E	55		31,57

NAP= nivel de Agotamiento permisible (%); AU= agua útil (mm); Dn = dosis neta de riego (mm); A = etapa de brotación-floración; B = etapa de floración-cuajado; C = etapa cuajado-envero; D = etapa envero-maduración; E = etapa maduración-caída de la hoja.

NAP = permissible depletion level (%); AU = useful water (mm); Dn = net dose of irrigation (mm); A = bloom-flowering stage; B = flowering-setting stage; C = setting-veraison stage; Stage D = veraison-ripening stage; E = ripening-fall of leaf stage.

pensantes de  $3,6 \text{ l h}^{-1}$  de caudal nominal y separados 1,25 m, de manera que a cada planta le corresponden dos emisores.

La valoración de la producción cuantitativa de la planta en cada campaña agrícola se desarrolló partiendo de la toma de datos del número de racimos, el rendimiento de uva y el peso de la madera de poda por cepa, que se realizó con la vendimia del total de las cepas de cada parcela elemental; además, a partir de 4 cepas representativas de cada repetición, se determinaron las variables agronómicas número de bayas por racimo y peso de 100 bayas. La caracterización de calidad de las producciones comenzó con la recogida de una muestra representativa de cada parcela experimental en vendimia, compuesta por 200 bayas tomadas al azar de las cepas de la fila central, con la que se determinaron las variables agronómicas °Baumé, densidad, acidez total y ácido málico. Los análisis fueron realizados en el laboratorio del Instituto de la Vid y el Vino de Castilla-La Mancha (IVICAM), ubicado

en Tomelloso (Ciudad Real), siguiendo los métodos oficiales de análisis del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA, 1993). Las fechas de vendimia fueron el 2 de octubre de 2000 y el 30 de septiembre de 2001.

Todos los datos obtenidos fueron sometidos a un proceso de tratamiento estadístico utilizando el programa SPSS 9.0 (SPSS Inc., 1999). Se realizó un análisis de varianza utilizando la F de FISHER para comprobar si el factor estrategia de riego había provocado respuestas significativamente diferentes en las variables agronómicas estudiadas; después, aplicando el Test de Duncan, con un nivel de significación del 5%, se determinaron los grupos homogéneos existentes entre tratamientos hídricos. Por último, se calcularon, utilizando la técnica de regresión, los modelos matemáticos que mejor definen la relación de las distintas variables con el volumen de agua aplicado mediante riego, así como su coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el nivel de significación estadística.

## Resultados y discusión

En el cuadro nº 3, que muestra los resultados obtenidos en el seguimiento del ciclo de crecimiento y desarrollo del cultivo de las dos campañas de estudio, puede observarse que la brotación de la campaña de 2000 fue 13 días más tardía que la de 2001, después, los ciclos biológicos en ambas campañas prácticamente se igualan en la etapa de floración y esta sincronía se mantiene durante las fases de cuajado, envero y maduración, hasta la fase de caída de la hoja, que es 10 días más precoz en la campaña de 2001 que en la de 2000. Como complemento al seguimiento fenológico, se ha calculado, en las dos campañas de ensayos, la integral térmica acumulada a partir de 0 y 10°C (JIMÉNEZ, 1991), que presenta, al final de todas las etapas fenológicas, valores mayores en la campaña de 2001 que en la de 2000 (cuadro 3).

El cuadro nº 4 muestra, para las dos campañas de ensayo, la distribución, en las diferentes fases del ciclo agronómico del culti-

vo, de los volúmenes estacionales de los parámetros introducidos en el balance hídrico realizado, distinguiéndose tres apartados: la evapotranspiración, la precipitación y los volúmenes de riego aportados en los tratamientos hídricos diferenciados.

Los valores finales de riego aplicados se acercan mucho a los niveles porcentuales respecto al tratamiento de referencia (T1) inicialmente planteados (cuadro 1), observándose errores no superiores al 4 %.

En el cuadro nº 5, se presenta el efecto producido por la aplicación de distintos volúmenes estacionales de riego sobre las variables agronómicas utilizadas para definir la producción cuantitativa de la vid. Como puede observarse, el factor estrategia de riego ha producido respuestas significativamente diferentes en ambas campañas en el peso de 100 bayas, el rendimiento total de uva por cepa y en el peso de la madera de poda y no ha tenido un efecto diferenciador sobre el número de racimos por cepa y el número de bayas por racimo.

Cuadro 3. Evolución de la integral térmica acumulada a 0 y 10 °C y de las principales fases fenológicas del cultivar 'Airén' en las campañas de 2000 y 2001 según la escala de BAILLOD y BAGGIOLINI y el sistema BBCH

Table 3. Evolution of the accumulated thermal integral from 0 and 10 °C and of the principal phenological stages of the 'Airen' variety in the tested plot

BAILLODI y BAGGIOLIN	BBCH	Campaña 2000			Campaña 2001				
		Fecha	DDB	IT10a	IT0a	Fecha	DDB	IT10a	IT0a
C Brotación	07	30/4	0	0	0	17/4	0	0	0
I Floración	65	8/6	39	279	679	6/6	50	298	786
J Cuajado	71	15/6	46	336	806	14/6	58	385	953
M Envero	81	19/8	111	1228	2348	17/8	122	1311	2539
N Maduración	89	2/10	155	1713	3273	30/9	166	1822	3470
P Caída hojas	93	25/10	178	1784	3558	15/10	181	1905	3703

DDB = días después de brotación; IT10a = integral térmica acumulada a partir de 10°C (°C); IT0a = integral térmica acumulada a partir de 0°C (°C).

DDB = days after of bloom; IT10a = accumulated thermal integral from 10°C (°C); IT0a = accumulated thermal integral from 0°C (°C).

Cuadro 4. Evapotranspiraciones, precipitación, volumen estacional, y número de riegos aplicados en los diferentes tratamientos hídricos del ensayo en las campañas experimentales de 2000 y 2001

Table 4. Evapotranspiration, precipitation, seasonal volume, and number of irrigations applied in the different water treatments of the rehearsal in the experimental growth seasons of 2000 and 2001

Etapa	Año	ETo (mm)	ETc (mm)	ETd (mm)	P (mm)	Volumen de riego aplicado (mm)					
						T0	T1	T2	T3	T4	T5
A	2000	161,07	84,62	14,56	49,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2001	206,16	113,19	22,17	55,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B	2000	82,60	23,74	5,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2001	51,94	33,18	9,05	5,40	0,00	0,00	0,00	20,00	27,30	27,30
C	2000	393,35	269,37	108,34	0,00	0,00	114,80	42,60	177,11	237,40	237,40
	2001	391,01	276,90	108,25	0,00	0,00	125,16	61,12	169,43	220,63	220,63
D	2000	179,18	130,14	56,99	0,00	0,00	58,20	45,15	84,85	111,40	70,00
	2001	182,25	129,55	54,67	0,00	0,00	41,00	21,05	68,00	90,80	43,30
Total	2000	816,20	507,87	184,91	49,80	0,00	173,00	87,75	261,96	348,80	307,40
	2001	831,37	552,82	194,15	60,80	0,00	166,16	82,17	257,43	338,73	291,23
VRT1 (%)	2000	—	—	—	—	0,00	100,00	50,72	151,42	201,62	177,69
	2001	—	—	—	—	0,00	100,00	48,27	153,20	203,72	169,72
Nr	2000	—	—	—	—	0,00	11,00	4,00	14,00	16,00	13,00
	2001	—	—	—	—	0,00	8,00	4,00	13,00	14,00	12,00

ETo = evapotranspiración de referencia; ETc = evapotranspiración del cultivo; ETd = evapotranspiración de diseño; P = precipitación; T0 = secano; T1 = 100% de ETd; T2 = 50% de ETd; T3 = 150% de ETd; T4 = 200% de ETd; T5 = 200% de ETd desde brotación a envero y 100% desde envero a maduración; A = brotación-floración; B = floración-cuajado; C = cuajado-envero; D = envero-maduración; Total = ciclo agronómico; VRT1 = porcentaje del volumen estacional de riego aplicado respecto a T1; Nr = número de riegos aplicados.

ETo = reference evapotranspiration; ETc = evapotranspiration of the cultivation; ETd = design evapotranspiration; P = precipitation; T0 = unirrigated land; T1 = 100% of ETd; T2 = 50% of ETd; T3 = 150% of ETd; T4 = 200% of ETd; T5 = 200% of ETd from bloom to veraison and with 100% from veraison to rippening; A = bloom-flowering; B = flowering-setting; C = setting-veraison; D = veraison-ripening; Total = agronomic cycle; VRT1 = percentage of the seasonal volume of irrigation applied regard to T1; Nr = number of applied irrigation.

El riego, dentro del intervalo de niveles ensayados, no ha producido diferencias estadísticamente significativas sobre los componentes productivos de la vid: número de racimos por cepa y número de bayas por racimo (cuadro 5). Esto se ha debido a que estas variables agronómicas están muy influenciadas por otros factores agronómicos no cultu-

rales, como la temperatura, la luz, el viento y la lluvia (REYNER, 1995). Además, en la primera campaña, el número de racimos se decidió en la inducción floral, que se produjo en el cultivo durante la campaña anterior (MARTÍNEZ DE TODA, 1991), cuando no existían diferencias en el aporte hídrico recibido en las distintas parcelas del campo de ensa-

Cuadro 5. Variables agronómicas que definen el rendimiento y sus componentes de la variedad de vid 'Airén' en las campañas 2000 y 2001  
 Table 5. Agronomic variables that define the yield and its components of the vine variety 'Airén' in the growth seasons of 2000 and 2001

Tto	Nrc		Nbr		Pcb		Ruc		Pmp	
Año	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001
T0	25,29	24,35	168,41	165,32	180,59d	155,23c	8,74e	6,12c	914,25d	615,34d
T2	26,8	24,34	135,46	160,32	212,12c	201,25b	9,03de	8,05b	1015,02c	954,36c
T1	27,51	25,56	156,10	168,34	234,82b	226,32ab	9,53cd	9,65b	1254,32b	1023,98bc
T3	26,61	25,39	143,14	161,32	243,12a	238,52a	10,08bc	9,95ab	1356,27b	1214,25b
T4	28,57	29,36	132,35	140,25	244,87a	250,23a	10,46ab	10,45a	1545,92a	1425,32a
T5	27,5	28,56	135,92	154,25	242,79a	243,52a	10,90a	10,20a	1486,31a	1386,32a
NS	ns	ns	ns	ns	***	***	**	**	***	***

Nrc = número de racimos por cepa; Nbr = número de bayas por racimo; Pcb = peso de 100 bayas (g); Ruc = rendimiento en uva por cepa (kg); Pmp = peso de la madera de poda (g); NS = nivel de significación del análisis de varianza; ns = no significativo; \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; \*\*\* =  $p < 0,001$ . Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en el Test de Duncan.

*Nrc = number of clusters for vine; Nbr = number of berries for cluster; Pcb = weigh of 100 berries; Ruc = grape yield for vine; Pmp = pruning wood weigh; NS = level significance of the variance analysis; ns = no significant; \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; \*\*\* =  $p < 0,001$ . Different letters mean significant differences among treatments in the Duncan Test.*

yo. En la falta de influencia del riego en el número de bayas por racimo de las dos campañas, también ha influido que esta variable depende de la tasa de fecundación, que sucede durante la etapa de floración-cuajado (REYNIER, 1995), y, por tanto, sobre la primera quincena de junio (cuadro 3), cuando los volúmenes de agua aportados eran aun prácticamente nulos, respecto al final de la campaña y el agua disponible para la planta en este periodo provenía, fundamentalmente, de la retenida por el suelo tras las lluvias primaverales. Algunos autores, como SMART (1974) y FREEMAN *et al.* (1979), en ensayos con la variedad 'Syrah', coinciden en que la fertilidad de la vid no se ve afectada por el grado de humedad del suelo, pero hay autores como CARBONNEAU y CASTERAN (1979), que observaron en la variedad 'Cabernet Sauvignon' una disminución de la fertilidad

de las yemas debido al sombreado de la campaña anterior por un exceso de vigor debido al riego.

El rendimiento de uva por cepa ha presentado diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,01$ ) en las dos campañas de ensayo (cuadro 5), observándose una tendencia clara de crecimiento de esta variable cuando aumenta el volumen estacional de riego aplicado. Los valores medios más altos se dan en ambas campañas en el grupo formado por T4 y T5, que constata que una bajada del aporte hídrico, del 200 al 100% de ETd en la etapa de envero-maduración no produce, un descenso productivo en las condiciones del ensayo. El tratamiento T0, ha constituido en la campaña de 2001 el grupo diferenciado por el Test de Duncan con valores medios más bajos, pero en la primera campaña el secano no presenta

diferencias significativas con el tratamiento T2, lo cual demuestra la gran adaptación de esta variedad a las condiciones edafoclimáticas de la zona. De hecho, el cultivo sin riego presenta valores muy aceptables, 8,74 kg en 2000 y 6,12 kg en 2001. Los resultados obtenidos están en la misma línea que los de SMART (1974), HEPNER *et al.* (1985), con 'Cabernet Sauvignon', MATTHEWS *et al.* (1987), con 'Cabernet Franc' y YÁÑEZ (1999), con 'Airén', que consideran que la producción de uva por cepa está significativamente influenciada por el régimen hídrico del cultivo en su ciclo agronómico.

Los mayores rendimientos de uva obtenidos en los tratamientos más regados del ensayo se han debido fundamentalmente al incremento del peso específico de la baya, variable para la que se ha obtenido un nivel de significación menor del 0,1% en el análisis de varianza (cuadro 5), no observándose un crecimiento significativo de los resultados de esta variable a partir de aportes hídricos superiores al 150% de ETc aunque sí, una tendencia al alza. Los resultados obtenidos coinciden con los de SMART (1974), HARDEI y CONSIDINE (1976) y MATTHEUS y ANDERSON (1988), que consideran que el estrés hídrico, sobre todo si se produce entre el cuajado y el envero de la planta, afecta en gran medida al tamaño de la baya en vendimia.

El rendimiento en madera, también ha sido una variable que ha presentado una dependencia altamente significativa respecto al volumen de riego aplicado en la campaña agronómica, observándose, en las dos campañas de ensayo, una diferenciación de tratamientos muy similar a la de las dos variables anteriores, con el grupo homogéneo de valores más altos constituido por los dos tratamientos más regados y el que presenta los resultados más bajos integrado únicamente por el tratamiento de secano (cuadro 5). Numerosos autores como LAVIN y SOTOMA-

YOR (1984), en ensayos con 'Tinta del País' en La Rioja, HEPNER *et al.* (1985) y YUSTE (1995), con 'Tempranillo', también afirman que el peso de la madera de poda se ve favorecido con el incremento del aporte hídrico.

El cuadro nº 6 muestra los resultados obtenidos en el análisis de varianza realizado para conocer la influencia del factor estrategia de riego sobre las variables con más incidencia en la calidad del mosto. Como puede observarse, en las dos campañas de ensayo, todos los parámetros han presentado diferencias significativas ( $p < 5\%$ ) entre tratamientos, excepto el pH.

La densidad, dentro del intervalo de volúmenes ensayado, ha tenido una tendencia a la baja respecto al incremento del riego aplicado en cada campaña de estudio. El nivel de significación obtenido para esta variable ha sido del 1% en 2000 y del 0,1% en 2001 (cuadro 6). En la campaña 2000, no se producen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos con la aplicación de niveles de riego superiores a 87,75 mm y, en la campaña de 2001, se distinguen tres grupos, el de valores más óptimos formado únicamente por el tratamiento de secano, un grupo con los resultados más bajos constituido por los dos tratamientos más regados y uno intermedio constituido por T1 y T3.

El °Baumé de las dos campañas, también ha descendido con el incremento del aporte hídrico. El análisis de varianza realizado para esta variable presenta un nivel de significación del 0,1% en los dos años, demostrándose, para las condiciones climáticas y culturales del campo de ensayos, que volúmenes de 87,75 y 82,17 mm, aplicados respectivamente en 2000 y 2001, no originan una bajada significativa del °Baumé respecto al cultivo en secano (cuadro 6).

Los resultados obtenidos para las variables dependientes de la concentración de

Cuadro 6. Variables agronómicas que determinan la calidad del mosto de la variedad de vid 'Airén' en las campañas 2000 y 2001

Table 6. Agronomic variables that determine the quality of the must of the vine variety 'Airén' in the growth season of 2000 and 2001

Tto. Año	densidad (gcm <sup>-3</sup> )		°Baumé		Acidez total (gl <sup>-1</sup> ácido tartárico)		Ácido málico (gl <sup>-1</sup> )		pH	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001
T0	1090,01a	1099,01a	13,2a	13,23a	1,93a	1,80a	1,2a	1,32a	3,83	3,95
T2	1083,24b	1089,24b	12,20a	12,75ab	2,15a	2,01a	1,34a	1,37a	3,81	3,85
T1	1082,92b	1083,32bc	11,09b	12,02b	2,63ab	2,29ab	1,54ab	1,56ab	3,80	3,73
T3	1079,64b	1081,37c	10,62b	11,53b	2,73ab	2,98ab	1,55ab	1,62ab	3,75	3,69
T4	1079,50b	1078,17c	10,55b	10,85bc	3,26b	3,75b	2,27b	2,15b	3,71	3,59
T5	1081,62b	1075,02c	10,55b	10,73c	3,07b	3,16ab	1,68b	2,08b	3,75	3,70
NS	**	***	***	***	*	**	*	*	ns	ns

N.S. = nivel de significación del análisis de varianza; n.s. = no significativo; \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; \*\*\* =  $p < 0,001$ . Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en el Test de Duncan.  
 N.S. = level significance of the variance analysis; ns. = no significativo; \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; \*\*\* =  $p < 0,001$ . Different letters mean significant differences among treatments in the Duncan Test.

sólidos solubles en el mosto confirman los obtenidos con 'Tempranillo' por ALEIXANDRE (1997), que concluye que el aumento del rendimiento se traduce en una disminución del °Baumé; también, CARBONNEAU (1998), con 'Cabernet Sauvignon' indica que la presencia de un estrés hídrico moderado puede actuar positivamente en la acumulación de azúcares de la baya. Pero, sobre esta variable, existe controversia entre los distintos autores consultados; YÁÑEZ (1999) no encuentra diferencias significativas en la variedad 'Airén' con regímenes hídricos que oscilan entre el seco y los 300 mm, GARCÍA-ESCUADERO (1991), BARTOLOMÉ (1993), CUEVAS (2001), y YUSTE (1995), con 'Tempranillo', concluyen que la acumulación de azúcares no se ve perjudicada por el riego.

En la campaña de 2000, la acidez total y la concentración en vendimia de ácido málico han presentado los resultados más altos en los dos tratamientos más regados. Al igual que ocurría con el °Baumé, la aplicación de

volúmenes estacionales de hasta 87,75 mm no ha supuesto un detrimento de la calidad de las producciones por el aumento de la acidez en las condiciones de esa campaña. En 2001, los resultados obtenidos para el ácido málico, son totalmente similares a los de la campaña anterior, y la acidez total, presenta un nivel de significación, al aplicar la F de FISHER, del 1%. Los valores obtenidos para la acidez total son sensiblemente menores que los obtenidos también para 'Airén' por YÁÑEZ (1999), que encuentra valores superiores a 6 gl<sup>-1</sup>. Los resultados están en concordancia con los de GARCÍA-ESCUADERO (1991), YUSTE (1995) y YÁÑEZ (1999) que también observan un incremento significativo de la acidez total y el ácido málico en vides regadas respecto a las de secano.

En los resultados obtenidos para el pH, las diferencias producidas entre tratamientos no llegan a ser estadísticamente significativas en el análisis de varianza (cuadro 6), aunque se observa una tendencia clara a la

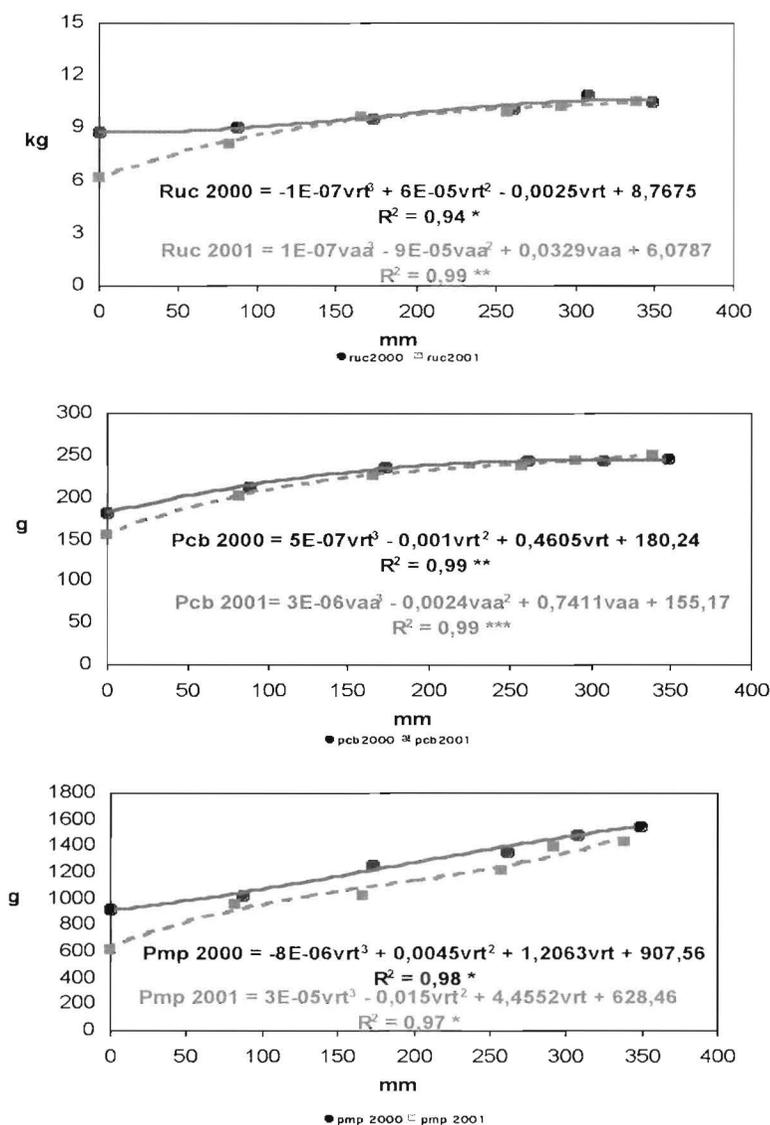
baja de esta variable al incrementar el aporte hídrico de cada campaña. La bajada de pH está lógicamente determinada por la subida de la acidez total y el ácido málico con el incremento del aporte hídrico, anteriormente comentada. Los resultados obtenidos coinciden con los de LISSARRAGUE (1986), GARCÍA-ESCUADERO (1991), BARTOLOMÉ (1993) y RUBIO *et al.* (2001), que observan en la variedad Tempranillo una tendencia a la baja del pH con el volumen estacional de riego aplicado.

La figura nº 3 muestra los modelos que mejor representan las relaciones existentes entre las variables agronómicas de carácter cuantitativo y el volumen de riego aportado en las dos campañas de ensayo. Todas las funciones calculadas, tienen pendiente positiva, lo que demuestra que los resultados obtenidos para las tres variables han crecido con el incremento del volumen estacional de riego. En los modelos correspondientes al rendimiento de uva por cepa y al peso específico de la baya, se observa que su crecimiento es menor cuando se aproximan a los volúmenes de los tratamientos más regados. Para la madera de poda, en cambio, no se ha encontrado su techo productivo y las pendientes de las dos funciones, se mantienen prácticamente constantes con el incremento del volumen de riego. Otro hecho destacable, es el comportamiento del tratamiento de secano. En la primera campaña, los resultados obtenidos para este tratamiento en las tres variables de producción, aunque son menores que los del resto de los tratamientos de riego, las diferencias, respecto a ellos son muy pequeñas. En la campaña siguiente, éstas se acrecientan, esto se debe, a que la vid realiza un trasiego de reservas en el agostamiento de cada campaña agronómica, y por tanto la producción del año 2000, en parte estuvo condicionada por las condiciones culturales y edafoclimáticas de

1999, donde todas las plantas tuvieron el mismo tratamiento. La producción del año 2001 en el tratamiento de secano, ya se produjo con las reservas de un año sin riego, y por ello la producción fue más baja.

La figura nº 4 muestra las funciones obtenidas para los parámetros más influyentes en la calidad de la producción en las dos campañas de ensayo. Como puede observarse, las variables que dependen del contenido de azúcares del mosto, °Baumé y densidad, tienen una pendiente negativa, y las que determinan el contenido de ácidos orgánicos del mismo, acidez total y ácido málico, han tenido una relación creciente respecto al volumen estacional de riego aplicado. Ambas afirmaciones confirman que la aplicación del riego ha influido negativamente en el grado madurez de la uva y por tanto en la calidad de las producciones. Esto se debe, fundamentalmente, a que el riego produce un aumento significativo del crecimiento vegetativo de la planta en la campaña agronómica (figura 3) y éste provoca una disminución de la cantidad y la calidad de la luz recibida por el fruto, así como sobre la temperatura y la humedad relativa de los racimos, que afecta a la acumulación de sólidos solubles y a degradación de los ácidos orgánicos en la baya.

Respecto a la evaluación de la respuesta cuantitativa de la producción, también se ha determinado la eficiencia de la aplicación del agua de riego ( $\text{kgm}^{-3}$ ) de los diferentes tratamientos respecto a el peso de la madera de poda y el rendimiento de uva por cepa (figura 5). Para ambas variables agronómicas, la eficiencia ha descendido al aumentar el volumen estacional de riego aplicado, siendo siempre, el tratamiento regado al 50% de ETd (T2), el más eficiente y T4, regado al 200% de ETd, el que presenta los resultados más bajos, aunque con resultados muy similares a los obtenidos para T3 y T5, confir-



Ruc = rendimiento de uva por cepa (kg); vrt = volumen estacional de riego aplicado (mm);

Pcb = peso de 100 bayas (g); Pmp = peso de la madera de poda (g);

$R^2$  = Coeficiente de determinación; \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; \*\*\* =  $p < 0,001$ .

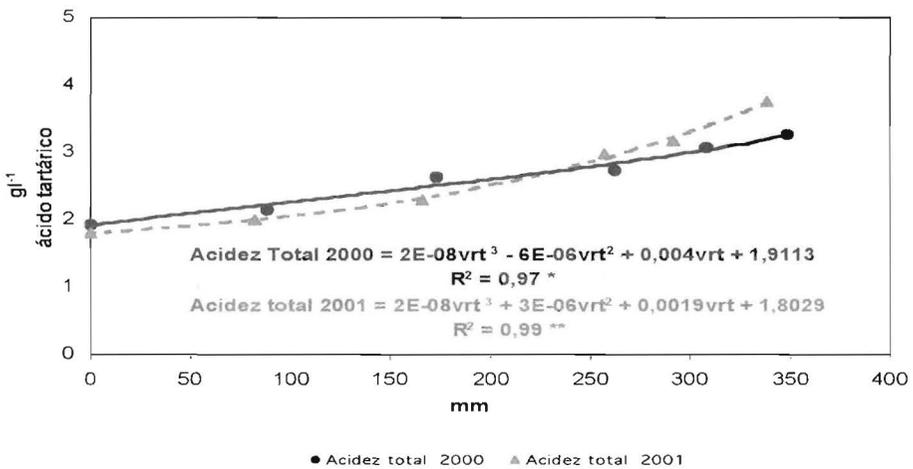
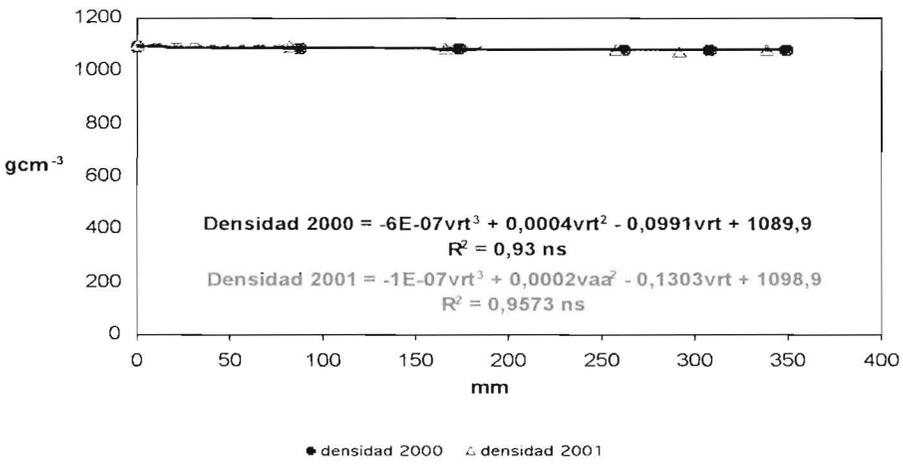
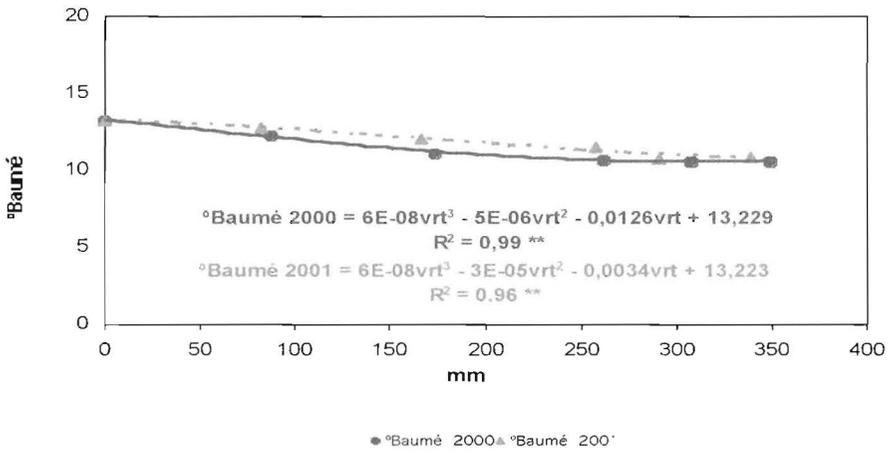
Figura 3. Modelos que relacionan las variables agronómicas de carácter cuantitativo de la variedad 'Airén' con el volumen estacional de agua de riego aplicado en las campañas de 2000 y 2001.

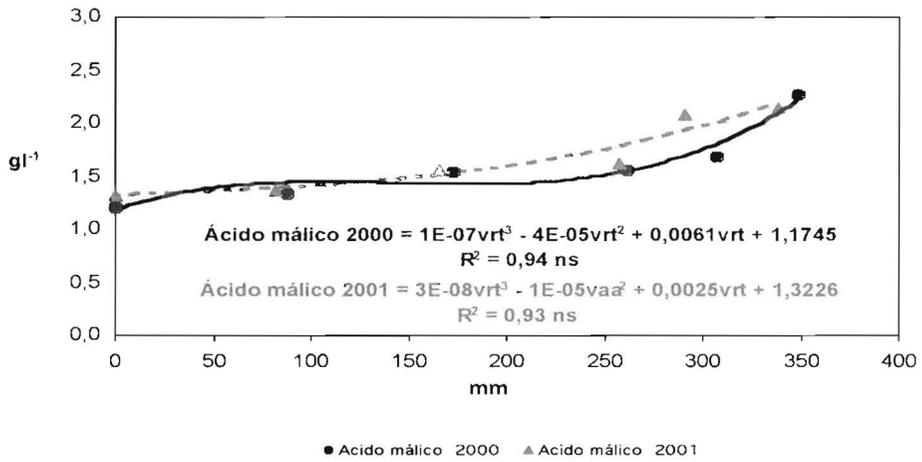
Ruc = grape yield for vine (kg); vrt = water seasonal volume applied of irrigation (mm);

Pcb = weigh of 100 berries(g); Pmp = pruning wood weigh (g);  $R^2$ = determination coefficient;

ns = no significant; \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; \*\*\* =  $p < 0,001$ .

Figure 3. Models that relate the agronomic variables of quantitative character of the variety 'Airén' with the seasonal volume of irrigation water applied in the growth season of 2000 and 2001.



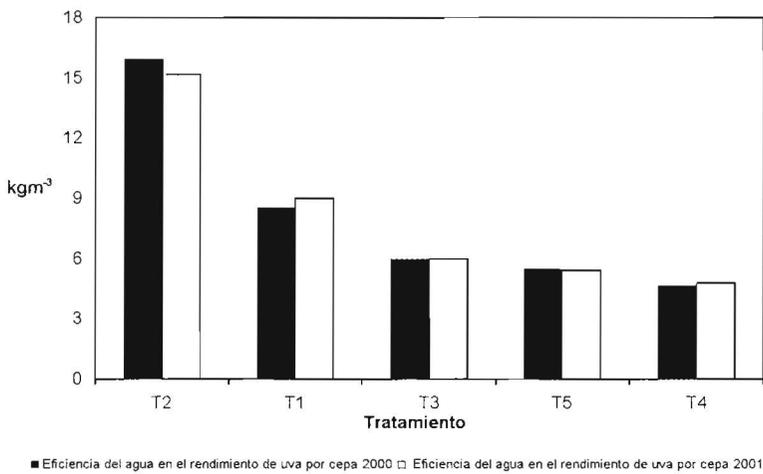


vrt = volumen total de riego aplicado (mm);  $R^2$  = Coeficiente de determinación;  
 ns = no significativo; \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ .

Figura 4. Modelos que relacionan las variables agronómicas más influyentes en la calidad de las producciones de la variedad 'Airén' con el volumen estacional de riego aplicado en las campañas de 2000 y 2001.

vrt = seasonal volume applied of irrigation;  $R^2$  = determination coefficient; ns = no significant;  
 \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ .

Figure 4. Models that relate the most influential agronomic variables in the quality of the productions of the variety 'Airén' with the seasonal volume of irrigation water applied in the growth season of 2000 and 2001.



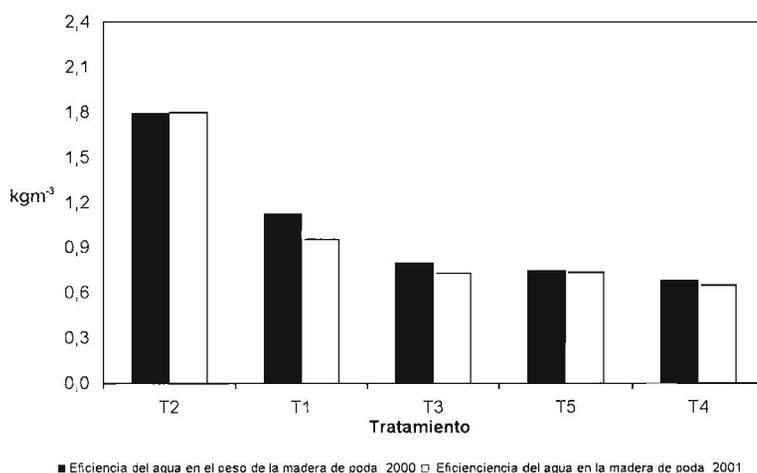


Figura 5. Eficiencia del agua en el rendimiento de uva y de madera por cepa ( $\text{kg m}^{-3}$ ).  
 Figure 5. Water efficiency in the grape and wooden yield for grapevine ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

mando esto que la aplicación de volúmenes superiores al 100% de ETd producen una bajada significativa de la eficiencia del riego.

Proporcionalmente, las diferencias obtenidas entre el tratamiento más eficiente, y los demás tratamientos de riego son mayores en el peso de la madera de poda que en el rendimiento de uva por cepa, ello se debe a que el crecimiento vegetativo no se ha estabilizado con la aplicación volúmenes de riego superiores al 100% de ETd, manteniendo prácticamente constante su pendiente en las dos campañas agronómicas, en el intervalo de niveles de riego ensayados (figura 3).

### Conclusiones

El rendimiento de uva por cepa se ha incrementado con el riego, debiéndose este crecimiento fundamentalmente al aumento

del peso específico de la baya y, en menor medida, a los componentes del rendimiento determinantes de la fertilidad: número de racimos por cepa y número de bayas por racimo, que no han presentado diferencias significativas en el análisis de varianza.

El peso específico de la baya ha crecido en todos los tratamientos hídricos ensayados al incrementar el volumen estacional de agua aplicada, pero con niveles iguales o superiores al 150% de ETd (261,96 mm, en 2000, y 257,43 mm, en 2001), el incremento del riego no ha producido un crecimiento estadísticamente significativo de esta variable, lo cual ha provocado, también, en el mismo intervalo de niveles de riego, una estabilización de la producción de uva por cepa.

El rendimiento de madera, ha aumentado de manera casi constante con el incremento del volumen estacional de riego, no encontrándose un tope productivo en el intervalo de niveles ensayados, lo cual indica que, en las

condiciones del ensayo, a partir de volúmenes de riego superiores al 100% de ETd, la planta ha destinado la mayor parte de los fotosintatos producidos a la elaboración de vegetación, en detrimento de la producción de uva.

Todas las variables agronómicas que determinan la calidad del mosto se han visto mermadas con el incremento del volumen estacional de riego, que ha bajado la concentración de sólidos solubles en el mosto y ha aumentado la acidez.

A tenor de los resultados obtenidos en las dos campañas experimentales, como recomendaciones de manejo del agua de riego, se puede decir que la variedad 'Airén' está perfectamente adaptada a la zona y, para ella, se obtienen, sin riego, unos resultados cuantitativos y cualitativos bastante aceptables, 8,74 y 6,12 kg por cepa, en 2000 y 2001 respectivamente. En caso de disponer de un sistema de riego instalado para salvar la cosecha en años de sequía, los volúmenes estacionales correspondientes al tratamiento T2 (87,75 mm, en 2000 y 82,17 mm, en 2001) son los que presentan mayor eficiencia respecto a la producción de uva por cepa y no provocan un incremento significativo de la acidez del mosto, respecto al secano, aunque sí, sobre las variables dependientes de la concentración de sólidos solubles de la baya.

### Bibliografía

- ALEXANDRE J.L., 1997. La cultura del vino cata y degustación. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. 361 p.
- BAILLOD M., BAGLIOLINI M., 1993. Les estades repères de la vigne. Rev. Suisse vitic. Arboric. Hort. 28: 7-9.
- BARTOLOMÉ M.C., 1993. Respuestas de la vid (*Vitis vinifera* L.) a condiciones de estrés hídrico: efectos sobre las relaciones agua-planta. el crecimiento. la producción y la calidad (cv. Tempranillo). Tesis Doctoral. Dpto. Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 443 p.
- CARBONNEAU A., 1998. Irrigation, vignoble et produits de la vigne. En: Traité d'irrigation. Lavoisier, Paris. 257-276.
- CARBONNEAU A., CASTERAN P., 1979. Irrigation depressing effect on floral initiation of Cabernet-Sauvignon grapevines in Bordeaux area. Amer. J. Enol. Vitic., 30 (1): 3-7.
- CUESTA A., MONTERO F.J., DE JUAN J.A., SAJARDO E., CLARAMUNT J., LÓPEZ H., 1999. Efectos sobre el rendimiento cuantitativo de diferentes estrategias deficitarias de programación del riego en viñedo. XVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia. España.
- CUEVAS E. 2001. Estudio 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.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO. Riegos y Drenajes 24.
- ELÍAS F., RUIZ L., 1981. Estudio agroclimático de la región de Castilla-La Mancha. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Toledo, España.
- FAO., 1977. Guía de descripción de perfiles de suelos. Servicio de Fomento y Conservación de Recursos de Suelos. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. Roma. Italia.
- FREEMAN B.M., LEE T.H., TURKINGTON C.R., 1979. Interaction irrigation and pruning level on growth and yield of Shiraz vines. Am. J.Enol. Vitic. Vol. 33, 218-233.
- GARCÍA-ESCUDERO E., 1991. Influencia de la dosis y el momento de aplicación del riego sobre la producción, desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral de la vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis Doctoral. Dpto. Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 283 p.
- HARDEI W.J., CONSIDINE J.A., 1976. Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development. Am. J.Enol. Vitic. Vol. 83, 744-753.
- HEINER Y., BRAVDO B., LOINGER C., COHEN S., TABACMAN H., 1985. Effect of drip irrigation schedules on

- growth, yield, mus composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* Vol. 36. 77-85.
- JCCM. 1996. Normativa aplicable a las ayudas contempladas en el Decreto 2/1996 de 16 de Enero, sobre mejora y modernización de regadíos en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. Orden de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de 15 de Febrero de 1996. Diario Oficial de Castilla-La Mancha n.º 9 de 20 de Febrero de 1996. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Toledo, España.
- JENSEN M.E., BURMAN R.D., ALLEN R.G., 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. Manuals n.º 70. Am. Soc. of Civil Engineers, New York, NY, U.S.A.
- JIMÉNEZ J., 1991. Diez cultivares tintos de vid en Castilla-La Mancha. Desarrollo fenológico y su relación con las integrales térmicas. *Vitivinicultura* 1991-9: 41-47.
- KELLER J., 1978. Trickle Irrigation. Section 15-7. National Engineering Handbook. Soil conservation Service. USDA. USA.
- KERN J.S., 1995. Evaluation of Soil Water Retention Models Based on Basic Soil Physical Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1134-1141.
- LAVÍN A., SOTOMAYOR J.P., 1984. Riego por goteo sobre dos tipos de viñedos cv. Tinta del país, en el secano interior de Cauquenes. I. Efectos sobre la producción y crecimiento de las plantas. *Agricultura técnica*. Chile. Vol. 44. 15-20.
- LISSARRAGUE J.R., 1986. Estudios de los efectos del riego en la producción, calidad del mosto y nutrición mineral. Tesis Doctoral, Dpto. Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 223 p.
- LORENZ D.H., EICHHORN K.C., BLEIHOLDER H., KLOSE R., MEIER U., WEBER E., 1994. Phanologische entwicklungsstadien der weinrebe (*Vitis vinifera* L. *Spp. Vinifera*) codierung und beschreibung nach der erweiterten BBCH skala. *Vitic. Enol. Sci.* 49 (2), 66-70.
- MAPA., 1993. Métodos oficiales de análisis. MAPA. Madrid, España.
- MARTÍN DE SANTA OLALLA F., DE JUAN J.A., 1993. La programación de riegos. Martín de Santa Olalla F. y de Juan J.A. (coords.). *Agronomía del Riego*, 549-610. Mundi-Prensa S.A. Madrid, España.
- MARTINEZ DE TODA F., 1991. Biología de la vid. Ed. Mundi-Prensa S.A. Madrid, España.
- MATTHEWS M.A., ANDERSON M.M., 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera*: responses seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* Vol. 40. n.º 1, 52-59.
- MATTHEWS M.A., ANDERSON M., SCHULIZ H., 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis* 26: 147-160.
- MONTERO F.J., DE JUAN J.A., SAJARDO E., CUESTA A., PARRA R., GARCÍA J., 2000. El Viñedo como elemento clave en la vertebración territorial de Castilla-La Mancha. 3<sup>er</sup> Simposio Internacional sobre Zonificación Vitivinícola. Tenerife. España.
- PAPADAKIS J., 1954. Ecología de los cultivos. Buenos Aires, Argentina.
- REYNIER A., 1995. Manual de viticultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- RICHARDS L.A., 1941. *A pressure-membrane extration apparatus for soil*. *Soil Sci.* 51: 337-386.
- RUBIO J.A., YUSTE J., BAEZA P., 2001. Effects of cluster thinning and water regime on productivity, development, must composition, and physiologic behaviour on Tempranillo cultivar trained in vertical trellis system. 12<sup>ème</sup> Journées G.E.S.C.O. Compte Rendu Vol. 2, 3-7 Julio, Montpellier. Francia. 533-540.
- SÁNCHEZ-BLANCO M.J., TORRECILLAS A., 1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego deficitario controlado en cultivos leñosos. En: P. Zapata y P. Segura (eds.) *Riego deficitario controlado*. Mundi-Prensa.
- SMART R.E., 1974. Aspects of water relations of the grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Am. J. Enol. Vitic.* Vol. 25. 84-91.
- SPSS Inc., 1999. SPSS 9.0. Users Guide. Chicago, USA.
- USDA, 1999. Soil Taxonomy. U.S. Soil Survey Staff. Soil Conservation Service. USA.
- YÁÑEZ F., 1999. Riego localizado para vinos de calidad. Consejería de Agricultura y medio Ambiente. JCCM. Toledo, España.
- 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.

(Aceptado para publicación el 10 de octubre de 2003).