

El papel de las variedades minoritarias en una situación de cambio climático: variabilidad genética en la eficiencia en el uso del agua.

Bota, J.¹; Tomàs, M.², Gallegos, J. M.², Luna, J.M.¹, Martorell, A.¹, Medrano, H.² y Escalona, J.M.²

¹ IRFAP. Conselleria d'Agricultura i Pesca del Govern de les Illes Balears. c/ Eusebio Estada nº 145. 07009 Palma de Mallorca. Illes Balears. Tel contacto: 0034 971176100. e-mail: jmbota@dgagric.caib.es

² Grup de recerca en Biologia en condicions Mediterrànies. Departament de Biologia. UIB Ctra Valldemossa km 7,5. 07122 Palma de Mallorca

INTRODUCCIÓN

Es conocido y palpable el creciente interés por las variedades minoritarias de vid en las distintas comunidades de todo el territorio español. Este interés responde, en la mayoría de los casos, a una búsqueda de originalidad y tipicidad del vino ligada a la región. Pero el interés de estas variedades no se limita sólo a este aspecto, ya que el conjunto de variedades minoritarias constituyen un material muy valioso a la hora de estudiar distintas adaptaciones al medio. Ya desde el primer estudio de carácter fisiológico que se realizó en maceta en variedades minoritarias de Baleares se obtuvieron resultados interesantes en cuanto a la variabilidad genética en la eficiencia en el uso del agua (Bota *et al.*, 2001) apuntando la importancia que pueden tener algunas de estas variedades en la economía del agua tema cada vez más importante en el área mediterránea. Uno de los principales efectos del cambio climático, es el aumento progresivo de la temperatura media global, lo que supone un aumento en las tasas de evaporación. Este fenómeno supone que en las próximas décadas aumentaran las zonas áridas y por tanto la disponibilidad de agua será uno de los principales factores limitantes del crecimiento de las plantas en el futuro en gran parte del planeta (Houghton, 2001, Agencia Europea de Medio Ambiente, 2004). Más allá de las previsiones de cambio climático, que no están exentas de debate y de sus efectos sobre la agricultura, lo cierto es que el riego moderado en las explotaciones vitivinícolas del Sur de Europa se está generalizando en los últimos años como consecuencia de sus efectos beneficiosos sobre la producción y la calidad de la uva. Si a este hecho le añadimos que el agua es un recurso escaso en estas regiones, y que previsiblemente, como consecuencia del incremento de la aridez y de las necesidades de la población, lo será aún más en las próximas décadas, el resultado es que la eficiencia en el uso del agua tanto a escala de la explotación como a escala de la planta es un punto clave para la sostenibilidad de los actuales sistemas de producción.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) es siempre un balance entre ganancias en biomasa (kilos de biomasa o cosecha, moles de CO₂ asimilado) y pérdidas de agua (m³ de agua utilizados o moles de agua transpirados) y, en este sentido el aumento de este parámetro supone una gran ventaja en una situación de escasez de agua.

Una de las formas de aumentar este parámetro es a nivel genético, es decir encontrar variedades que por su gran adaptación al medio hagan un uso más eficiente del agua. Un estudio previo en maceta mostró una gran variabilidad de la eficiencia en el uso del agua nivel de hoja en un conjunto de 20 variedades minoritarias de Baleares, además mostró como el efecto varietal puede ser clave mostrando diferencias en el comportamiento frente a una situación de estrés hídrico (Bota *et al.*, 2001).

El objetivo del presente trabajo es estudiar la variabilidad de la eficiencia en el uso del agua en 23 variedades de vid en condiciones de cultivo, en un amplio rango disponibilidad hídrica y evaluar el efecto de la EUA en la capacidad productiva y en los parámetros de calidad de la baya.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y tratamiento

Se utilizó la colección de variedades sita en el campo experimental de la *Conselleria d'Agricultura i Pesca*. Se seleccionaron 16 variedades locales por criterios fenológicos, productivos, y de calidad del fruto teniendo en cuenta los resultados de años anteriores. De estas variedades locales, las autorizadas actualmente son cuatro, Callet, Manto Negro, Moll y Malvasia de Banyalbufar. De éstas las tres primeras se consideran mayoritarias en Mallorca, Callet y Manto Negro como tintas y Moll como blanca. El resto de variedades locales se consideran minoritarias. Además se incluyeron en el estudio 7 variedades foráneas o de referencia. El estudio abarca así 23 variedades distintas (Tabla 1).

En la colección se dispone de 10 plantas por variedad local y 8 plantas por variedad de referencia y foráneas. El estudio se llevó a cabo el verano de 2009 cuando las plantas contaban con 10 años de edad. Todas ellas se encuentran en la misma parcela injertadas sobre R-110 y con sistema de conducción de doble cordón.

Se aplicó un único riego al inicio de floración y se mantuvieron sin riego durante el verano. El potencial hídrico del suelo se midió mediante psicrómetros (Wescor Sci. Inc., USA) a dos profundidades distintas, 30 y 60 cm.

Peso específico de hoja y estado hídrico de las plantas

El peso específico se calculó como: peso seco (g)/ área foliar (m²). Se realizaron 4 medidas por variedad en tres momentos distintos del desarrollo foliar.

Para establecer el estado hídrico de las plantas se midió el potencial de tallo con la cámara de Scholander (Soil Moisture Equipment corp., USA) a mediodía después de someter las hojas a oscuridad. Se realizaron 4 medidas por variedad en maduración y vendimia.

Intercambio de gases

Las medidas de intercambio de gases (fotosíntesis neta (A_N), conductancia estomática (g_s) y transpiración (E)) se realizaron en seis hojas por variedad entre las 10 y las 12 h, utilizando un sistema abierto de medida de intercambio de gases por infrarrojos (IRGA), modelo Li-6400 (Li-Cor Inc., USA). Todas las medidas se realizaron a saturación de luz (1500 mmol m⁻² s⁻¹) y una concentración de CO₂ de 400 mmol CO₂ mol⁻¹ aire. Se midieron seis plantas por variedad en cuatro momentos del ciclo cuajado de flor (M1), inicio de envero (M2), inicio maduración (M3) y vendimia (M4).

Determinaciones de la eficiencia en el uso del agua (EUA)

Estas determinaciones se realizaron mediante dos parámetros complementarios. 1) Medida Instantánea: mediante medidas de intercambio de gases con el Li-6400 (Li-Cor Inc., Nebraska) a nivel foliar; 2) Medida Integral de la hoja: determinaciones del contenido isotópico en C¹³ en masa seca. Las medidas de intercambio de gases se llevaron a cabo tal como se describe en el apartado anterior. La eficiencia intrínseca en el uso del agua (A_N/g_s) se calculó a partir de los valores de fotosíntesis neta (A_N) y conductancia estomática (g_s).

En el caso de las medidas integrales, se tomó el cociente isotópico de ¹³C como estimación de la EUA integrada a lo largo del ciclo fenológico. Para ello, se recogieron muestras de hojas desarrolladas de cada una de las variedades. Se muestrearon 4 réplicas por variedad en dos momentos del ciclo inicio de envero (M2) y vendimia (M4). Las hojas se secaron durante 48h a 70°C, y molidas hasta ser reducidas a polvo para su posterior análisis isotópico del ratio C¹²/C¹³. Las muestras se quemaron por combustión en un analizador elemental (Thermo, Bremen,

Alemania); y el CO₂ liberado fue separado por cromatografía y directamente inyectado en el espectrómetro de masas de cociente isotópico y flujo continuo (Thermo Finnigan Delta Plus, Bremen, Alemania). La hoja de melocotonero fue usada como estándar. El cálculo de $\delta^{13}\text{C}$ se realizó de la siguiente manera: $\delta^{13}\text{C}_{\text{muestra}} (\text{‰}) = (R_{\text{muestra}}/R_{\text{estándar}} - 1) \times 1000$ (Farquhar y Richards, 1984), donde $R_{\text{muestra}}/R_{\text{estándar}}$ se refiere al Pee Dee Belemnite (PDB) estándar.

Capacidad productiva y calidad de la uva

La capacidad productiva se evaluó mediante la medida en vendimia de la producción unitaria (kilos/cepa) y número de racimos por cepa en seis plantas por variedad. Se determinó también el peso de la baya.

Para la determinación de los parámetros de calidad de la uva se muestrearon racimos completos de seis plantas por variedad, localizados en distintas orientaciones de la planta en el momento de vendimia (determinado previamente mediante controles semanales de acidez y densidad del mosto). Una vez desgranados los racimos, se tomaron al azar submuestras de 100 bayas en las que se determinó su peso y se prensaron. En el mosto obtenido se determinó el contenido de azúcares del mosto (°Baumé), Acidez total, (Métodos oficiales de la UE) y pH del mosto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de agua en el suelo y evolución del peso específico de hoja

La parcela se mantuvo sin riego desde el inicio del experimento, por lo que la disponibilidad de agua en el suelo fue disminuyendo a lo largo del verano, especialmente en los primeros 30 cm de profundidad (Figura 1). Esta disminución supuso la imposición de un estrés hídrico progresivo a lo largo del verano.

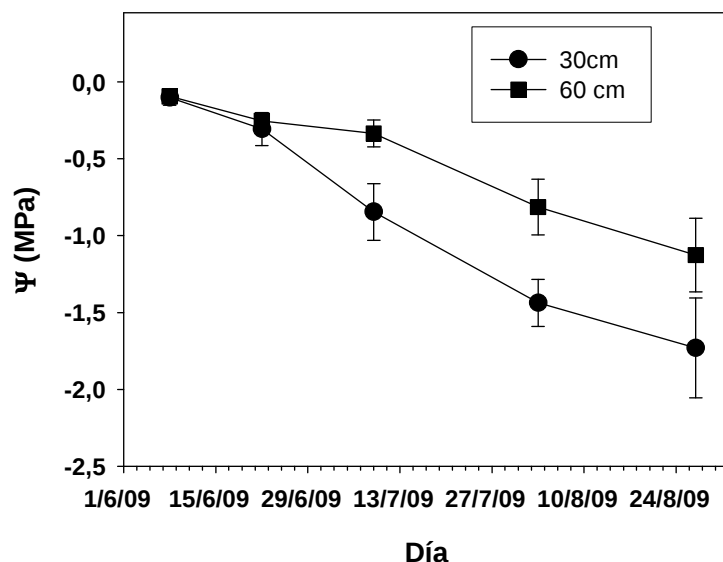


Figura 1. Evolución del potencial hídrico de suelo durante el verano 2009, a dos profundidades distintas.

Desde enero a vendimia todas las variedades experimentaron un incremento importante del peso específico de la hoja, con aumento promedio de alrededor del 30%. Algunos cultivares

mostraron incrementos mayores llegando incluso a superar el 50% (Valent blanc), otros en cambio mostraron incrementos mucho menores como es el caso de la Gorgollasa con un incremento cercano al 17% (Tabla 1). Todas las variedades de referencia mostraron incrementos cercanos al promedio. Todavía hoy está en debate si los incrementos en el peso específico de hoja se deben principalmente a cambios estructurales debidos al estrés hídrico progresivo o bien a otros factores como la acumulación de almidón en hoja a final del verano.

Tabla 1. Valores de peso específico en tres momentos del ciclo para 23 variedades de vid. Los valores son medias de seis réplicas por variedad $\pm$ error estándar.

VARIEDAD		PE (g.cm ⁻²) Envero	PE (g.cm ⁻²) Maduración	PE (g.cm ⁻²) Vendimia
Variedades locales	Argamussa	62.40 $\pm$ 0.57	80.41 $\pm$ 2.54	93.42 $\pm$ 4.45
	Callet	56.53 $\pm$ 2.82	75.37 $\pm$ 1.89	85.54 $\pm$ 1.93
	Callet blanc	72.10 $\pm$ 2.68	75.64 $\pm$ 1.91	94.59 $\pm$ 1.97
	Escursach	56.66 $\pm$ 3.97	77.85 $\pm$ 5.79	84.95 $\pm$ 5.38
	Esperó de gall	65.81 $\pm$ 3.33	73.25 $\pm$ 1.84	87.58 $\pm$ 2.38
	Galmeter	75.43 $\pm$ 1.28	83.33 $\pm$ 4.91	100.72 $\pm$ 2.04
	Giró ros	66.48 $\pm$ 2.56	83.86 $\pm$ 1.99	95.17 $\pm$ 2.92
	Gorgollasa	65.17 $\pm$ 1.61	75.37 $\pm$ 2.80	82.25 $\pm$ 2.95
	Malvasia Banyalbufar	54.11 $\pm$ 2.01	81.74 $\pm$ 3.06	77.95 $\pm$ 5.98
	Manto Negro	59.43 $\pm$ 1.74	60.51 $\pm$ 6.82	78.82 $\pm$ 4.51
	Moll	67.62 $\pm$ 3.33	82.01 $\pm$ 2.85	97.51 $\pm$ 1.69
	Sabater	70.45 $\pm$ 2.85	87.85 $\pm$ 2.18	100.13 $\pm$ 2.99
	Valent blanc	53.50 $\pm$ 1.88	91.03 $\pm$ 3.64	106.26 $\pm$ 4.07
	Valent negre	49.33 $\pm$ 1.77	75.11 $\pm$ 3.93	100.72 $\pm$ 3.35
	Vinater blanc	72.89 $\pm$ 0.57	78.91 $\pm$ 6.29	108.89 $\pm$ 5.94
	Vinater negre	61.69 $\pm$ 3.80	83.07 $\pm$ 3.58	96.34 $\pm$ 5.15
	Promedio	63.10$\pm$2.29	79.08$\pm$3.50	93.18$\pm$3.60
Variedades foráneas	Cabernet S.	54.31 $\pm$ 1.90	69.36 $\pm$ 5.56	81.74 $\pm$ 4.91
	Chardonnay	65.70 $\pm$ 13.91	85.63 $\pm$ 3.74	96.92 $\pm$ 5.04
	Garnacha	65.77 $\pm$ 2.91	76.08 $\pm$ 3.08	93.42 $\pm$ 2.74
	Macabeo	62.79 $\pm$ 1.95	79.97 $\pm$ 3.08	88.46 $\pm$ 3.18
	Merlot	60.35 $\pm$ 1.47	66.88 $\pm$ 2.21	97.80 $\pm$ 3.64
	Syrah	-	73.96 $\pm$ 2.90	85.24 $\pm$ 5.20
	Tempranillo	62.36 $\pm$ 3.04	77.85 $\pm$ 3.59	85.54 $\pm$ 3.07
	Promedio	61.12$\pm$2.25	74.03$\pm$3.24	89.39$\pm$3.51

Estado hídrico de la planta, Intercambio de gases y eficiencia en el uso del agua

A pesar de que la disminución de agua en el suelo fue similar en los distintos puntos de la parcela, el estado hídrico de las plantas en el momento de maduración no fue uniforme, mostrando diferencias en el potencial hídrico de tallo entre los distintos cultivares (Tabla 2). Los valores oscilaron entre -1.63 MPa de la variedad local Callet y los -0.8 MPa de la variedad Macabeo. La imposición del estrés hídrico durante el verano supuso en la mayor parte de cultivares una disminución en el potencial hídrico de tallo desde maduración a vendimia, con excepción de tres variedades, todas ellas minoritarias, Escursach, Valent blanc y Vinater negre.

La variedad Valent blanc mostró un potencial de tallo de -1.3 MPa en el momento de la maduración y mantuvo el mismo potencial en el momento de la vendimia. Las variedades Escursach y Vinater negre mostraron valores de potencial de tallo en vendimia incluso mayores que los registrados en maduración (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de potencial hídrico de tallo en dos momentos del ciclo en 23 variedades de vid. Los valores son medias de cuatro réplicas por variedad $\pm$ error estándar.

VARIEDAD		Ψ tallo (MPa) Maduración	Ψ tallo (MPa) Vendimia
Variedades locales	Argamussa	-1,14 $\pm$ 0,06	-1,49 $\pm$ 0,12
	Callet	-1,63 $\pm$ 0,04	-1,70 $\pm$ 0,07
	Callet blanc	-1,45 $\pm$ 0,04	-1,54 $\pm$ 0,02
	Escursach	-1,37 $\pm$ 0,10	-1,29 $\pm$ 0,09
	Esperó de gall	-1,00 $\pm$ 0,07	-1,30 $\pm$ 0,09
	Galmeter	-1,06 $\pm$ 0,04	-1,45 $\pm$ 0,11
	Giró ros	-1,28 $\pm$ 0,01	-1,64 $\pm$ 0,08
	Gorgollasa	-1,33 $\pm$ 0,02	-1,30 $\pm$ 0,04
	Malvasia Banyalbufar	-1,33 $\pm$ 0,02	-1,43 $\pm$ 0,03
	Manto Negro	-1,08 $\pm$ 0,02	-1,24 $\pm$ 0,09
	Moll	-1,05 $\pm$ 0,07	-1,28 $\pm$ 0,08
	Sabater	-1,03 $\pm$ 0,05	-1,38 $\pm$ 0,06
	Valent blanc	-1,30 $\pm$ 0,05	-1,30 $\pm$ 0,02
	Valent negre	-1,49 $\pm$ 0,08	-1,68 $\pm$ 0,07
	Vinater blanc	-1,23 $\pm$ 0,07	-1,26 $\pm$ 0,06
	Vinater negre	-1,44 $\pm$ 0,11	-1,43 $\pm$ 0,14
	Promedio	-1,26$\pm$0,05	-1,42$\pm$0,07
Variedades foráneas	Cabernet S.	-1,15 $\pm$ 0,03	-1,41 $\pm$ 0,07
	Chardonnay	-1,15 $\pm$ 0,03	-1,20 $\pm$ 0,01
	Garnacha	-1,42 $\pm$ 0,06	-1,30 $\pm$ 0,05
	Macabeo	-0,80 $\pm$ 0,06	-0,98 $\pm$ 0,05
	Merlot	-1,50 $\pm$ 0,06	-1,39 $\pm$ 0,11
	Syrah	-1,55 $\pm$ 0,13	-1,30 $\pm$ 0,07
	Tempranillo	-1,27 $\pm$ 0,07	-1,34 $\pm$ 0,07
	Promedio	-1,26$\pm$0,06	-1,27$\pm$0,07

La figura 2A representa la relación entre valores promedio de potencial hídrico de tallo y la conductancia estomática desde el inicio de maduración a vendimia, dos indicadores del estatus hídrico de la planta que presentan una correlación frecuentemente citada para esta relación (Medrano *et al.*, 2003, Schultz, 2003). En general los cultivares menos afectados por el estrés son los que también muestran una menor disminución del potencial hídrico de tallo, de manera que reducciones en el estatus hídrico de la planta se corresponden con caídas de la conductancia estomática, aunque marcando diferencias entre variedades. Así, aunque parece

que todas ellas llegaron al momento de la vendimia con cierto nivel de estrés, no todas llegaron al mismo nivel de estrés ni llegaron a este punto de la misma forma. Para un mismo intervalo de potencial de tallo de (-1 a -1.4 MPa) algunas variedades redujeron mucho su conductancia estomática como es el caso de la variedad Merlot, mientras otras para el mismo intervalo mantuvieron valores de conductancia cercanos a $0.3 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, como fue el caso de las variedades Cabernet S. y Chardonnay. Entre las locales también hubo diferencias aunque no tan marcadas, como es el caso de la variedad Gorgollasa que redujo su conductancia a valores inferiores a $0.05 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mientras que Vinater Blanc la mantuvo alrededor de $0.2 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Ya en el estudio en maceta que se realizó en 2001 (Bota *et al.*, 2001) donde se valoraron 20 variedades locales, de las cuales 9 coinciden en el presente estudio, ya se establecieron dos tipos de comportamiento distinto frente a la imposición del estrés. Un comportamiento se clasificó como “consumo lujurioso de agua” (Passioura, 1994), ya que las plantas sometidas a estrés hídrico no redujeron su consumo de agua a pesar de que ésta empezó a ser un recurso escaso. El comportamiento opuesto se clasificó como “alarmista”, ya que desde los primeros síntomas de escasez de agua, las plantas redujeron fuertemente su gasto mediante el cierre estomático, incrementando en la mayor parte de los casos su eficiencia en el uso del agua, pero reduciendo en gran medida la asimilación de carbono.

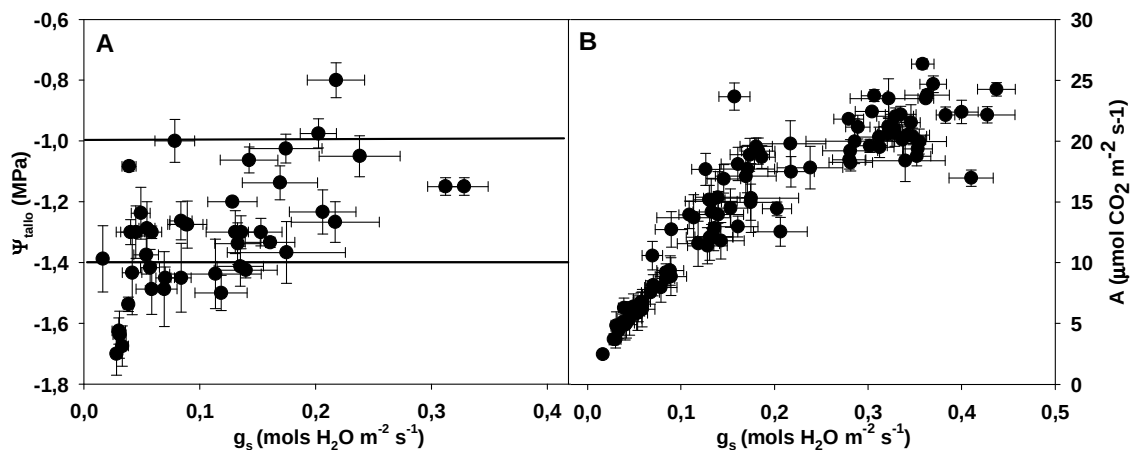


Figura 2. A: Relación entre la conductancia estomática y el potencial hídrico de tallo en 23 variedades en los momentos de inicio de maduración (M3) y vendimia (M4). B: Relación entre la conductancia estomática y la fotosíntesis neta en 23 variedades en cuatro momentos del ciclo, cuajado de flor (M1), inicio de envero (M2), inicio maduración (M3) y vendimia (M4).

Tal como muestra la Figura 2B, los resultados de las 23 variedades en los cuatro muestreos distintos muestran una correlación única y altamente significativa entre la fotosíntesis neta y la conductancia estomática, lo que no ocurre con otros indicadores del estatus hídrico (Flexas *et al.*, 2002; Bota, 2004). Esto permite la utilización de g_s como referencia más universal del estatus hídrico en vid y en otras especies C3 (Medrano *et al.*, 2002). Utilizando g_s como referencia del estatus hídrico, la variación de la eficiencia intrínseca en el uso del agua (A/g_s) muestra una relación general esperable (Figura 3A) donde la sequía progresiva muestra un incremento en la eficiencia en el uso del agua. Esta relación ya se ha descrito con anterioridad en viña (Bota *et al.*,

2001, Flexas *et al.*, 2002; Pou *et al.*, 2008; Zsófi *et al.*, 2009). Sin embargo al analizar las variedades por separado, no todas mostraron esta relación. En algunas variedades, todas ellas locales (Figura 3C) a valores bajos de g_s ($<0.1 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) los datos muestran una caída de A/g_s . Este comportamiento ya se ha descrito anteriormente tanto en viña (Gulías *et al.*, 2006) como en otras especies (Medrano *et al.*, 2009). Este valor de g_s , alrededor de $0.1 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, se ha descrito como el umbral a partir del cual los procesos metabólicos empiezan a verse afectados por efecto del estrés hídrico y las limitaciones no estomáticas empiezan a tener más peso (Bota, 2004). El resto de variedades, tanto locales (Figura 3B), como foráneas (Figura 3D) continuaron incrementando su EUA a pesar de la disminución de g_s . A partir de estas relaciones se puede concluir que para todas las variedades estudiadas la EUA puede incrementarse fuertemente (de 40 a $120 \text{ CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$) manteniendo la planta en condiciones de estrés hídrico moderado (g_s en torno a $0.1 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). En condiciones de estrés más severo ($g_s < 0.1 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) el factor varietal juega un papel importante. Especialmente interesantes serían todas aquellas variedades que por debajo de este valor continúan incrementando su eficiencia en el uso del agua incluso en estas situaciones de sequía severa (Figura 3B). Los valores de EUA más altos alcanzados correspondieron a la variedad Argamusa, variedad minoritaria muy productiva que actualmente no se cultiva, y a la variedad Giró Ros, una de las variedades minoritarias que ha despertado recientemente interés en el sector y que ya ha sido objeto de otros estudios debido a su potencial enológico (Escalona *et al.*, 2009). Algunas variedades no presentaron valores inferiores a $0.1 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante todo el experimento, como fueron todas las foráneas, con excepción de Merlot (Figura 3D) y la local minoritaria Malvasia de Banyalbufar.

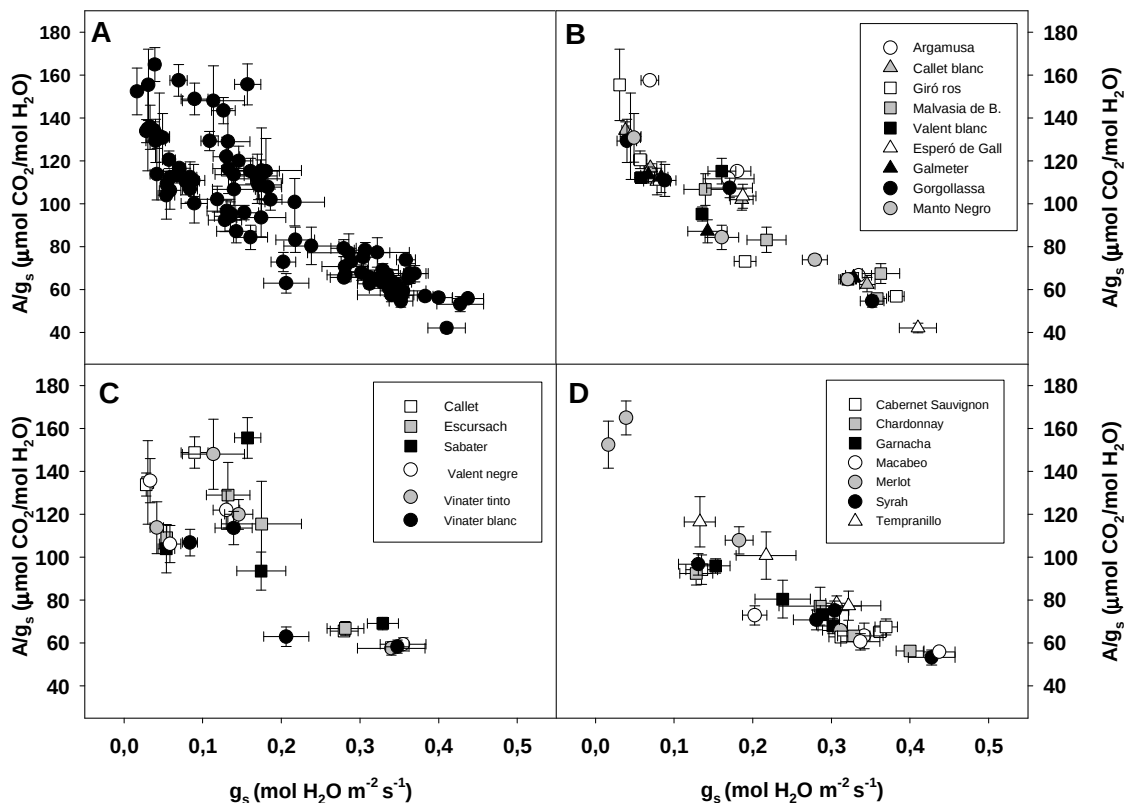


Figura 3. Eficiencia intrínseca en el uso del agua en 23 variedades durante el verano de 2009. Los valores son medias de seis réplicas por variedad $\pm$ error estándar.

El análisis de la abundancia del isótopo del carbono $\delta^{13}\text{C}$ permite valorar la EUA como integral de estas medidas en el periodo de formación de la biomasa. Los resultados muestran variaciones entre 2-3 ‰ de envero a vendimia (Figura 4). Variaciones similares se han mostrado para otros cultivares como respuesta a la imposición del estrés hídrico (de Souza *et al.*, 2003; Chaves *et al.*, 2007; Pou *et al.*, 2008), de manera que al hacerse el $\delta^{13}\text{C}$ menos negativo correlaciona positivamente con A/g_s (Figura 4). Esta correlación entre ambos parámetros refuerza la validez de ambos a la hora de evaluar la EUA a nivel de hoja. A pesar del interés de las dos vías analizadas (A/g_s y $\delta^{13}\text{C}$), no hay que olvidar que ambas presentan limitaciones como estimadores de la EUA a escala de planta entera o cultivo.

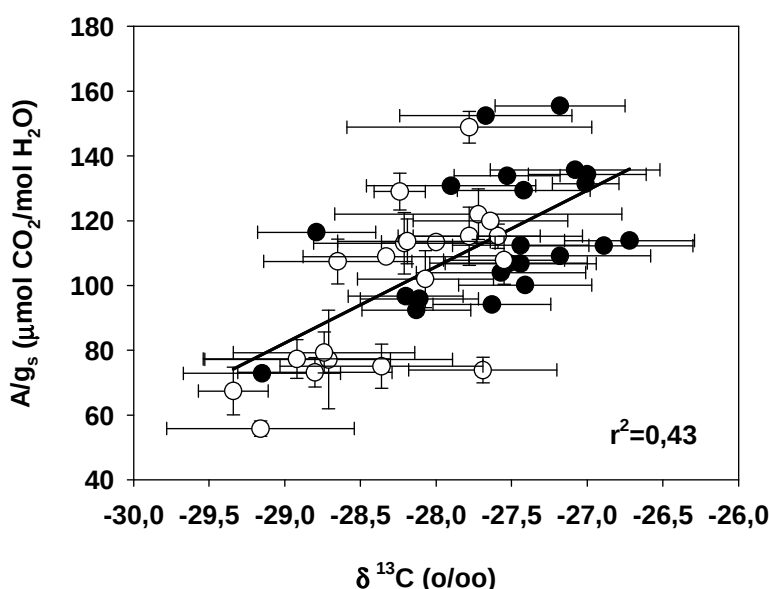


Figura 4. Relación entre $\delta^{13}\text{C}$ y la eficiencia intrínseca en el uso del agua (A/g_s) en 23 variedades de vid. Los valores son medias de cuatro a seis réplicas por variedad $\pm$ error estándar, en dos momentos del ciclo, envero (círculos blancos) y vendimia (círculos negros).

Producción, calidad y su relación con EUA

La producción en kg/cepa también se mostró muy dependiente del cultivar con producciones excepcionalmente elevadas como la de Macabeo cercanas a los 9 Kg por planta frente a las de variedades mucho menos productivas, en este caso locales como son Manto Negro (0.66 Kg/cepa) o Gorgollasa (0.82 Kg/cepa). En general se observaron producciones menores en las variedades locales con algunas excepciones remarcables como Argamusa con casi 8 Kg por planta (Tabla 3). El número de racimos por planta fue muy variable dependiendo de la variedad, en especial en las variedades locales (Tabla 3).

En general las variedades menos productivas mostraron valores mayores de EUA (A/g_s), con la excepción de la variedad Argamusa con una producción de 7.85 kg por planta y una EUA cercana a 160 $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$ en el momento de vendimia. El efecto varietal se observó también en los parámetros de calidad del mosto (Tabla 3). Al estudiar la EUA (A/g_s) frente al

contenido de azúcares en el mosto, en general los resultados mostraron una correlación negativa entre ambos parámetros, de manera que aquellos cultivares como la Argamusa que aumentaron mucho su EUA en situación de sequía, presentaron valores bajos de contenido en azúcares. Sin embargo, una vez más, esta relación general parece tener interesantes excepciones como el caso de la variedad Merlot (Figura 5). Entre las variedades locales, destacaron la variedad blanca minoritaria Giró Ros y la variedad local mayoritaria Manto Negro, ambas combinaron los valores más elevados de contenido en azúcares con una alta EUA (Figura 5), aunque ambas tuvieron baja producción, especialmente en el caso de Manto Negro (Tabla 3). En un estudio anterior con variedades minoritarias, se mostró que los vinos procedentes de microvinificaciones de las variedades Giró Ros y Argamusa mostraron una mayor intensidad aromática que el resto de variedades blancas minoritarias, mostrando una buena aptitud enológica (Escalona, 2007 (datos no publicados), Escalona *et al.*, 2009).

Tabla 3. Parámetros de producción y calidad del mosto en 22 variedades de vid. Los valores son medias de cuatro a seis réplicas por variedad $\pm$ error estándar.

	VARIEDAD	Producción Unitaria (Kg)	Nº racimos	Azúcar en mosto (° Be)	pH mosto	Acidez total (g tart/L)
Variedades locales	Argamussa	7.85 $\pm$ 0.50	13.00 $\pm$ 1.49	9.95 $\pm$ 0.38	3.14 $\pm$ 0.07	3.50 $\pm$ 0.06
	Callet	3.60 $\pm$ 0.40	13.00 $\pm$ 1.08	11.50 $\pm$ 0.33	3.81 $\pm$ 0.04	4.07 $\pm$ 0.18
	Callet blanc	4.74 $\pm$ 1.01	9.75 $\pm$ 1.49	11.55 $\pm$ 0.12	3.55 $\pm$ 0.09	3.41 $\pm$ 0.07
	Escursach	3.48 $\pm$ 0.29	20.75 $\pm$ 1.26	11.40 $\pm$ 0.10	4.95 $\pm$ 0.13	3.62 $\pm$ 0.02
	Esperó de gall	2.08 $\pm$ 0.30	5.50 $\pm$ 0.56	12.95 $\pm$ 0.12	4.17 $\pm$ 0.11	3.72 $\pm$ 0.02
	Galmeter	4.26 $\pm$ 0.24	12.50 $\pm$ 0.58	12.90 $\pm$ 0.09	4.44 $\pm$ 0.07	3.33 $\pm$ 0.05
	Giró ros	2.62 $\pm$ 0.45	11.75 $\pm$ 0.48	15.10 $\pm$ 0.13	3.57 $\pm$ 0.03	5.32 $\pm$ 0.08
	Gorgollasa	0.82 $\pm$ 0.11	6.25 $\pm$ 0.80	12.25 $\pm$ 0.18	2.82 $\pm$ 0.08	3.77 $\pm$ 0.02
	Malvasia Banyalbufar	1.27 $\pm$ 0.16	6.25 $\pm$ 0.25	14.05 $\pm$ 0.12	3.34 $\pm$ 0.03	7.43 $\pm$ 0.32
	Manto Negro	0.66 $\pm$ 0.10	3.75 $\pm$ 0.63	15.20 $\pm$ 0.40	4.07 $\pm$ 0.04	3.69 $\pm$ 0.12
	Moll	6.94 $\pm$ 1.04	14.50 $\pm$ 1.69	11.60 $\pm$ 0.33	3.38 $\pm$ 0.08	3.51 $\pm$ 0.03
	Sabater	5.31 $\pm$ 0.62	14.50 $\pm$ 1.30	12.15 $\pm$ 0.19	3.27 $\pm$ 0.22	3.72 $\pm$ 0.02
	Valent blanc	2.94 $\pm$ 0.48	11.00 $\pm$ 1.26	11.95 $\pm$ 0.24	3.72 $\pm$ 0.03	3.20 $\pm$ 0.26
	Valent negre	6.30 $\pm$ 0.58	11.50 $\pm$ 0.40	10.70 $\pm$ 0.23	4.38 $\pm$ 0.14	3.54 $\pm$ 0.03
	Vinater blanc	3.61 $\pm$ 0.29	12.50 $\pm$ 0.92	13.20 $\pm$ 0.14	3.64 $\pm$ 0.03	4.33 $\pm$ 0.23
	Vinater negre	3.66 $\pm$ 0.79	9.25 $\pm$ 1.33	11.45 $\pm$ 0.29	4.27 $\pm$ 0.29	3.53 $\pm$ 0.04
	Promedio	3.76$\pm$0.72	10.98$\pm$0.97	12.37$\pm$0.37	3.78$\pm$0.09	3.98$\pm$0.10
Variedades foráneas	Cabernet S.	3.68 $\pm$ 0.81	26.75 $\pm$ 4.48	14.05 $\pm$ 0.12	6.73 $\pm$ 0.13	3.53 $\pm$ 0.06
	Garnacha	6.91 $\pm$ 0.84	20.00 $\pm$ 2.01	13.45 $\pm$ 0.30	4.43 $\pm$ 0.18	3.38 $\pm$ 0.04
	Macabeo	8.96 $\pm$ 0.54	12.25 $\pm$ 0.40	10.80 $\pm$ 0.44	3.45 $\pm$ 0.05	4.26 $\pm$ 0.17
	Merlot	3.46 $\pm$ 0.47	18.00 $\pm$ 2.65	14.95 $\pm$ 0.32	3.81 $\pm$ 0.04	5.43 $\pm$ 0.20
	Syrah	5.41 $\pm$ 0.43	25.75 $\pm$ 1.80	13.05 $\pm$ 0.16	3.63 $\pm$ 0.03	6.05 $\pm$ 0.10
	Tempranillo	5.73 $\pm$ 1.22	19.00 $\pm$ 1.35	12.45 $\pm$ 0.12	3.51 $\pm$ 0.03	4.67 $\pm$ 0.21
	Promedio	5.69$\pm$0.84	20.29$\pm$2.12	13.12$\pm$0.58	4.26$\pm$0.08	4.55$\pm$0.13

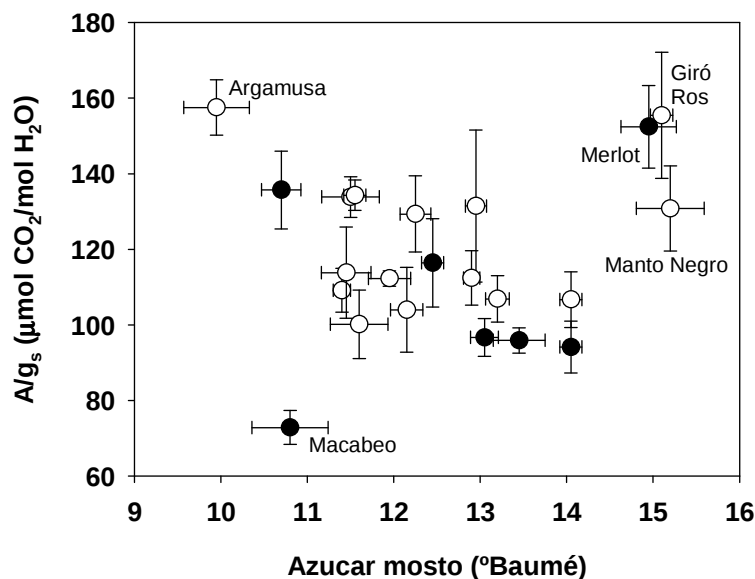


Figura 5. Relación entre el contenido en azúcares del mosto y la eficiencia intrínseca en el uso del agua (A/g_s) en 23 variedades de vid. Los valores son medias de seis réplicas por variedad $\pm$ error estándar, en variedades locales (círculos blancos) y variedades foráneas (círculos negros).

CONCLUSIONES

En resumen, de acuerdo con estos resultados parece evidente la variabilidad genética de la EUA de las distintas variedades y por tanto la posibilidad de incrementar este parámetro en función de la variedad. En una situación de escasez de agua se pueden obtener incrementos de este parámetro manteniendo las plantas en una situación de estrés moderado y por tanto se podría optimizar el uso del agua en vid controlando las dosis de agua a través del riego. Entre las variedades estudiadas, parece que algunas variedades minoritarias podrían ser buenas candidatas a la hora de optimizar el uso del agua. Entre las variedades estudiadas destacaron las variedades blancas Argamusa y Giró Ros. La primera se caracterizó por combinar una elevada EUA con una elevada producción y la variedad Giró Ros, aunque menos productiva, mostró una buena EUA y un mayor contenido en azúcares. Sin embargo, parece necesario profundizar más acerca de la relación entre la EUA y los parámetros de calidad de fruto.

BIBLIOGRAFIA

BOTA, J., FLEXAS, J., MEDRANO, H. 2001. **Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars**. *Annals of Applied Biology*, 138, 353–361.

BOTA, J. 2004. **Regulación de la fotosíntesis en respuesta al estrés hídrico, limitaciones metabólicas y de difusión del CO₂**. Tesis doctoral. 245 pp. UIB.

- CHAVES, M.M., SANTOS, T.P., SOUZA, C.R., ORTUÑO, M.F., RODRIGUES, M.L., LOPES, C.M., MAROCO, J.P., PEREIRA, J.S. 2007. **Deficit irrigation in grapevine improves water-use-efficiency without controlling vigour and production quality.** *Annals of Applied Biology* 150, 237–252.
- ESCALONA, J.M., LUNA, J.M., MARTORELL, A. 2009. **Aptitud enológica de las variedades locales de Baleares Giro y Gorgollasa.** *Enólogos* 62, 24-28.
- FARQUHAR, G.D., RICHARDS, R.A. 1984. **Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes.** *Australian Journal of Plant Physiology* 11, 539–552.
- FLEXAS, J., BOTA, J., ESCALONA, J.M., SAMPOL, B., MEDRANO, H. 2002. **Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations.** *Functional Plant Biology* 29, 461–471.
- GULÍAS, J., RIERA, D., MORENO, M., CIFRE, J., FLEXAS, J., RIBAS-CARBÓ, M., MEDRANO, H. 2006. **Cambio climático, consumos hídricos y eficiencia en el uso del agua en vid.** Foro mundial de la viña y el vino. Logroño.
- HOUGHTON, R. A. 2001. **Counting terrestrial sources and sinks of carbon.** *Climatic Change*, 48 (4), 525-534
- MEDRANO, H., ESCALONA, J. M., BOTA, J., GULÍAS, J., FLEXAS, J. 2002. **Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: the interest of stomatal conductance as a reference parameter.** *Annals of Botany* 89, 895-905.
- MEDRANO, H., ESCALONA, J.M., CIFRE, J., BOTA, J. AND FLEXAS, J. 2003. **A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality.** *Functional Plant Biology* 30, 607–619.
- MEDRANO, H., FLEXAS, J., GÁLMÉS, J. 2009. **Variability in water use efficiency at the leaf level among Mediterranean plants with different growth forms.** *Plant Soil*. 317,17-29.
- PASSIOURA, J.B. 1994. **The yield of crops in relation to drought in Physiology and determination of crop yield**, pp. 187-209. Eds. KL. Boote, JM. Bennet, TR. Sinclair and GM. Paulsen. USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America.
- POU, A., FLEXAS, J., ALSINA, M.M., BOTA, J., CARAMBULA, C., DE HERRALDE, F., GÁLMÉS, J., LOVISOLO, C., JIMÉNEZ, M., RIBAS-CARBO, M., RUSJAN, D., SECCHI, F., TOMÀS, M., ZSÓFI, Z. AND MEDRANO, H. 2008. **Adjustments of water-use efficiency by stomatal regulation during drought and recovery in the drought-adapted Vitis hybrid Richter-110 (V. berlandieri x V. rupestris).** *Physiologia Plantarum* 134, 313–323.
- SCHULTZ, H.R., 2003. **Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown Vitis vinifera L. cultivars during drought.** *Plant Cell Environ*. 26, 1393–1405.
- DE SOUZA, C.R., MAROCO, J.P., DOS SANTOS, T.P., RODRIGUES, M.L., LOPES, C.M., PEREIRA, J.S. AND CHAVES, M.M. 2003. **Partial root zone drying: regulation of stomatal**

aperture and carbon assimilation in field-grown grapevines (*Vitis vinifera* cv. Moscatel). Functional Plant Biology 30, 653–662.

ZSÓFI, Z., GÁL, L., SZILÁGY, Z., SZÜCS, E., MARSCHALL, M., NAGY, Z. AND BÁLO, B. 2009. **Use of stomatal conductance and pre-dawn water potential to classify terroir for the grape variety Kékfrankos.** Australian Journal of Grape and Wine Research 15, 36–47.