

EVAPOTRANSPIRACIÓN, TRANSPIRACIÓN Y EVAPORACIÓN EN UN VIÑEDO VAR MALBEC. MENDOZA, ARGENTINA^a

Francesca De Lorenzi¹, J. Morábito², M. Menenti¹ y R. Dell'Aquila¹ y C. Elmida³

- (1) ISAFOM – CNR – Vía Patacca 85 – 80056 Ercolano (NA) – Italia. Telefax: 39-081-5746606 / 7718045. E-mail: f.delorenzi@isafom.cnr.it
- (2) INA – CRA. Belgrano Oeste 210 – 3er Piso – 5500 – Mendoza, Argentina. Telefax: 54 - 261 - 4286993 / 4288251 jmorabito@ina.gov.ar
- (3) Ingeniera Agrónoma, independiente, Mendoza. E-mail: abriles.e@gmail.com

RESUMEN

Bajas eficiencias de aprovechamiento del agua por escurrimiento superficial (35–40%) medidas en la provincia de Mendoza indican que el área cultivada sólo podrá expandirse mejorando aquéllas y aumentando la producción por metro cúbico de agua aplicada a la agricultura. Los métodos de riego localizado (goteo) hacen posible una aplicación eficiente y un mejor manejo del stress hídrico. En vid destinada a vinificación esto se traduce –además– en características deseables y valiosas como mejor aroma y color. El ensayo corresponde a un cuartel de vid var Malbec, conducido en espaldero, bajo cobertura antigranizo, ubicado en el distrito Las Compuertas (Luján de Cuyo): 33° 1' S y 68° 57' W y 945 msnm. En él se controló el riego -oportunidad y aforo- se determinó la humedad presente en el suelo en cada riego (sonda Diviner) y se registraron parámetros fisiológicos como largo de brote y área foliar a lo largo del ciclo de estudio. Paralelamente se midió la transpiración del cultivo a través del flujo de savia (sap-flow), por el método de Granier, durante el período 25 / 11 al 6 / 12 / 2007 y se calculó la evapotranspiración utilizando Penman Monteith (FAO), con el auxilio de una estación meteorológica y considerando el valor de resistencia estomática de la vid. Las láminas de riego aplicadas se obtuvieron mediante balance de volúmenes (Waker y Scogerboe). Los resultados muestran que una muy pequeña fracción del agua aplicada es evaporada a través de la transpiración de la planta: la transpiración real promedio medida (0.43 mm/día) resultó mucho menor que la potencial estimada (2.43 mm / día) y que la ETo calculada a través de los Kc (3.67 mm / día). Resultados de publicaciones concernientes a mediciones de transpiración y evapotranspiración en vid citan valores cercanos (ligeramente superiores) a los aquí medidos. Un factor importante a considerar es la densidad de plantación que afecta el desarrollo final de la planta.

Palabras clave: vid – riego localizado – flujo de savia – eficiencia de uso del agua

^a Trabajo realizado en el marco del proyecto CONICET (Argentina) – CNR (Italia) “Ecofisiología de frutales bajo riego: análisis experimental de los procesos y su aplicación al mejoramiento de la productividad” (2003/08). Se agradece la valiosa colaboración de los Ingenieros Santa Salatino y Leandro Nosal y del Señor Javier Zarategui (INA-CRA). Este trabajo ha sido posible gracias a la disposición de la empresa Chandon S.A. y a la colaboración del Ing. Carlos Riquelme.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la OIV (2008) Argentina figura en noveno lugar en función de su superficie cultivada (231.000 hectáreas), totalizando el 2,9 % de la superficie mundial y octava en cuanto a la producción de uvas (30 millones de quintales que representan el 4,6 % del total mundial). Con algo más de 15 millones de hectólitros (el 5,6 % del total mundial) Argentina es el quinto productor mundial de vinos y satisface el 3,9 % del mercado mundial con 3,6 millones de litros exportables. En la Provincia de Mendoza se encuentra el 70% del área cultivada con viñedos de Argentina (IERAL,2007), con una producción de algo más de 12 millones de hectólitros. Las exportaciones 2006 de vinos y mostos (325 y 76 millones de dólares, respectivamente) mantienen una tendencia creciente desde 1995. La misma fuente reporta que las exportaciones de vino crecieron un 23 % durante 2007 y Pérez (2008) apunta que el sector vánico gira alrededor de los 2.000 millones de dólares (mercados interno y externo), un valor que era esperado para el 2020.

Según el Censo Nacional Agropecuario 2002 los 33,5 millones de hectáreas cultivadas constituyen el 19 % de la superficie nacional y el área efectivamente regada (1.355.601 ha) –con un potencial de 6 millones- representa el 4 % de dicha superficie. El 70% de la superficie se riega en forma superficial, el 21% con aspersión y el 9% restante con riego localizado. En Mendoza, el área regada (267.889 ha) representa el 4,2 % de su superficial total y sólo se riega mediante riego localizado un 8% de aquélla.

La agricultura de regadío con baja productividad, el agua se encuentra en una difícil situación de competencia frente a la demanda creciente de los usos no agrícolas. Se ve así reducida la posibilidad de incrementar los rendimientos y se restringe el acceso de los productos agrícolas a los mercados más exigentes (Morábito, 1997).

En los últimos años la presión sobre una mayor disponibilidad de agua en el Oasis Norte de Mendoza ha venido siendo una constante: el uso del agua superficial está totalmente asignado por la legislación vigente mientras que el uso de agua subterránea viene incrementándose peligrosamente por encima de los niveles de sustentabilidad. Esto muestra que una fuerte expansión futura del área cultivada sólo será posible mejorando la eficiencia de riego y la eficiencia del uso del agua (rendimiento del cultivo / m³ de agua utilizado). Por ello, si se quiere optimizar la producción, es imperativo ajustar la entrega a los reales requerimientos del cultivo. Al respecto, el agua utilizada por una planta de vid (transpiración) necesita ser cuantificada tomando en consideración tanto las características varietales y del suelo (textura, estructura, salinidad, laboreo, etc.) así como el clima.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un viñedo, ubicado en Las Compuertas, Departamento Luján de Cuyo, Provincia de Mendoza (latitud: 33° 1` Sur, longitud: 68° 57` Oeste y altitud 945 m). Se trata de 1 ha de var. Malbec, conducida en espaldero, sobre pie franco, de 8 años de edad, implantadas con un espaciamiento de 1,8 m entre hileras orientadas de norte a sur. El cultivo estaba libre de malezas y el suelo era de textura franco limosa. La canopia estuvo distribuida entre 0,4 y 1,4 m de altura con un espesor de 0,4 m de ancho. La fracción de suelo cubierta por el viñedo fue de alrededor del 20 % y la proyección de la canopia de cada planta fue de 0,4 m². El cultivo está protegido con una cobertura antigranizo: malla color gris oscuro (RWMN, Helios) que produce un sombreado de 14%. Las mediciones de flujo de savia se realizaron entre el 25 de noviembre al 6 de diciembre de 2006 (días Julianos 329-340).

Previamente se registró la evolución en el tiempo del largo del brote durante cinco ciclos agronómicos (2002 – 2007). La planta brota en la última semana de setiembre o la 1era de octubre (en este trabajo el fenómeno ocurrió el día 2 de octubre) y el crecimiento del brote se mantiene constante hasta mediados de noviembre, alcanzando un largo medio de 120 cm (en el ciclo 2006/07 la longitud alcanzada fue de 117,8 cm) y una exposición de área foliar (SFE) de $3 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$. La floración ocurre alrededor de la primera semana de noviembre, la fructificación tiene lugar a mediados de noviembre y el cierre de racimo a mediados de diciembre. En el ciclo 2006 / 07 la floración se produjo el 7 de noviembre, la fructificación el 14 de noviembre y el cierre de racimo el 8 de diciembre.

El método de riego utilizado fue surcos con desagüe al pie, dos surcos entre cada hilera de plantas. Las láminas de riego fueron determinadas utilizando el método del Balance Hídrico, basado en los hidrogramas de caudales de entrada y de salida, que fueron medidos a campo. Para ello se instaló en la entrada de la parcela un aforador de cresta ancha (Bos et al., 1986) y un aforador sin cuello (Skogerboe et al., 1967), a la salida de la misma. El agua que entra a un surco con salida de agua al pie puede infiltrarse y/o escurrir por el final del mismo. A su vez el agua infiltrada puede almacenarse dentro del perfil de suelo explorado por las raíces o percolar por debajo de la zona radical (cuando la lámina infiltrada excede el déficit de humedad de la rizósfera).

La duración del riego depende del turnado establecido para esa propiedad por la Inspección de cauce a la que pertenece y de la rotación interna del riego dentro de aquella. Todos los riegos del ciclo fueron medidos. En todos los riegos la lámina infiltrada está afectada por las siguientes variables: estado del suelo (arado, asentado, etc.), humedad del suelo antes de riego y número de surcos regados simultáneamente. Estas variables deben ser conocidas para reducir la variabilidad de los resultados.

Con respecto a los riegos aplicados durante el ciclo agrícola 2005 / 06, en promedio, el 80 % del agua aplicada se infiltró y el 20% restante escurrió fuera de la parcela. Entre el 30 de setiembre de 2005 y el 20 de abril del 2006 (7 meses) se dieron tres (3) riegos con un promedio de 233 mm, totalizando una lámina bruta aplicada de 700 mm. Si el 80 % de este volumen se infiltró quiere decir que se contó con 560 mm disponibles para la evapotranspiración del cultivo más la lluvia efectiva ocurrida durante el ciclo.

La medición de la velocidad de infiltración arrojó como valor promedio $7,9 \text{ mm.h}^{-1}$. La capacidad de campo (W_c) fue determinada mediante la metodología de Grassi (1998). La constante punto de marchitez permanente (W_p) se obtuvo de tablas y la densidad aparente del suelo se determinó mediante el método del cilindro (peso / volumen).

La humedad del perfil de suelo se midió utilizando dos metodologías: método gravimétrico y sonda (Diviner 2000). Para los ciclos 2005 / 06 se seleccionaron tres lugares de muestreo de humedad: cabeza, medio y pie de la unidad de riego en estudio. Una vez, instalados los tubos de PVC en cada uno de estos sitios a diferentes profundidades (dada la presencia de piedras en el perfil): 1,5 m (cabeza), 1,60 m en el medio y 1,30 m en el pie, se procedió a la calibración de la sonda. Ésta fue realizada por capas cada 10 cm de espesor de suelo, a la profundidad que pudo ser alcanzada por el tubo de PVC. Para el método gravimétrico se tomaron muestras diarias en lugares muy cercanos a cada uno de los tubos de PVC en el espacio entre el surco de riego y la hilera de plantas, a 25 cm del eje de la misma y cada 0,2 m en todo un (1) metro de profundidad (5 muestras por lugar y por día).

La profundidad efectiva de raíces se determinó utilizando la sonda puesto que se presentó menor variabilidad que los datos gravimétricos y reflejan mejor la distribución de la humedad en el perfil de suelo. Todas las mediciones de los ciclos 2005 / 06 y 2006 / 07 fueron graficadas, conteos de la sonda para cada profundidad considerada. Al mismo tiempo se midió el potencial de agua en

planta con la cámara de Scholander, el potencial base (pre-amanecer) y los potenciales tallo (xilema) y hoja, al mediodía.

Se registraron los rendimientos (qq / ha) obtenidos en cada ciclo y su relación con el peso del racimo, el peso de las bayas, el número de bayas por racimo y el número de racimos por planta. En el ciclo 2006 / 07 se cosecharon 10.900 kg ha⁻¹ (aproximadamente 2 kg por planta). Los racimos tuvieron un peso medio de 152 gr, con 1,7 gr de peso medio de baya, 124 bayas por racimo y 10 racimos por planta. Los frutos exhibieron diámetros de entre 14 y 18 mm, siendo los más frecuentes 14 a 16 mm.

Las variables climáticas fueron medidas en una estación automática (METOS, Pessl Instruments GmbH. AT), ubicada en un viñedo distante 5 km. Éstas fueron: radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y lluvia. Las mediciones fueron registradas cada 10 segundos, promediadas y almacenadas a intervalos de 12 min. En la parcela experimental la radiación de onda corta fue medida bajo la malla antigranizo. La evapotranspiración de referencia (ET_o) se calculó utilizando la metodología sugerida por FAO 56 (Allen et al., 1998). Se midió la evaporación del tanque tipo A, ubicado en la propiedad a 1,5 km del viñedo experimental. La estimación de la transpiración potencial (T_p, g m⁻² s⁻¹) fue calculada con la ecuación de Penman-Monteith (Monteith y Unsworth, 1990):

$$T_p = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p VPD g_a}{\lambda[\Delta + \gamma(1 + g_a / g_c)]} \quad (1)$$

donde, Δ es la pendiente de la curva de saturación de vapor (kPa K⁻¹); R_n la radiación neta (J m⁻² s⁻¹); G el flujo de calor sensible dentro del suelo (J m⁻² s⁻¹); ρc_p la capacidad calórica volumétrica del aire (J m⁻³ K⁻¹); VPD el déficit de presión de vapor del aire (kPa); g_a la conductancia aerodinámica (m s⁻¹); g_c la conductancia de la canopia (m s⁻¹); λ el calor latente de vaporización del agua (J g⁻¹) y γ la constante termodinámica psicrométrica (kPa K⁻¹). El miembro derecho de la ecuación (1) ha sido multiplicado por 3,6 a los efectos de la conversión de unidades para expresar T_p en mm h⁻¹.

La radiación de onda corta bajo la malla antigranizo resultó ser una fracción (0,86) de la radiación solar medida en la estación meteorológica. Siguiendo a Allen et al. (1998), la radiación neta (R_n) se estimó desde la radiación de onda corta (R_s) y el flujo de calor del suelo (G) como una fracción de R_n. La conductancia aerodinámica (g_a) se calculó en base al perfil de viento para condiciones neutras (Allen et al. 1998). La conductancia de la canopia se estimó usando un modelo empírico no lineal desarrollado en Australia por Lu et al (2003) para uva madura bajo riego.

$$g_c = [R_s / (R_s + d)] [a + b (c \wedge VPD)] \quad (2)$$

donde: R_s es la radiación de onda corta, VPD es el déficit de presión de vapor del aire y a, b, c, d son parámetros citados en Lu et al., 2003.

Para estimar la transpiración de un viñedo se asume que el flujo de savia en el tronco iguala la transpiración de toda la planta. El flujo de savia se midió a través de una sonda de disipación térmica (TDP) (Granier, 1985). Esta técnica permite medir la diferencia de temperatura (ΔT) entre una sonda superior y otra inferior de referencia, ubicada en el tejido conductor (xilema) leñoso. Usando una fuente de energía conocida y regulada se calienta el tallo; dentro de cada sonda existe una termocupla que permite medir la diferencia de temperatura entre ambas sondas. A medida que el flujo de savia pasa de una sonda a la otra, la sonda inferior (de referencia) registra la temperatura de la savia y la sonda superior (calentada) se enfría. Si el flujo de savia es muy rápido la diferencia de temperatura entre ambas sondas es pequeña y el calor dado a la sonda superior se disipa.

Cuando el flujo de savia es muy lento, cercano a cero, se produce la máxima diferencia de temperatura (ΔT_{max}) ya que el calor no puede ser disipado. La ecuación de Granier utiliza los valores medidos de ΔT y ΔT_{max} para calcular la velocidad de savia, establece una relación empírica entre las diferencias de temperatura y la densidad real del flujo de savia (F_d , $g\ m^{-2}\ s^{-1}$). La relación exponencial no difiere significativamente entre distintas especies arbóreas y se lee:

$$F_d = 118.99 \left(\frac{\Delta T_{max} - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1.231} \quad (3)$$

La densidad de flujo de savia para una sección de xilema de conducción activo se extrapola a la sección total.

En el período en que las mediciones de flujo de savia fueron realizadas, la vid estaba en la fase fenológica correspondiente a 18 días después de ocurrido el cuaje. Se eligieron dos plantas representativas de una hilera. Se instaló en cada cepa un juego de sensores, las sondas (UP GmbH, D) fueron insertadas en el costado sur del tronco, en el punto medio entre la superficie del suelo y la ramificación del tronco. El tronco y los sensores fueron cubiertos con material aislante para minimizar la influencia de la temperatura ambiente. Las mediciones de los sensores de flujo de savia se hicieron cada 10 segundos, promediados y almacenados con intervalos de 12 minutos en un data logger (CR10X, Campbell Sci, UK). A la finalización del período de medición se determinó el espesor de xilema de conducción activo de cada planta mediante la toma de una muestra con sacabocado Pressler.

Por medio del número de hojas y la superficie foliar promedio de cada hoja, fue estimada el área foliar de las plantas muestreadas. La superficie foliar total promedio por planta fue de $3,25\ m^2$, y el índice de área foliar –calculado para la densidad de plantas resultó de $1,8\ m^2\ m^{-2}$. El área foliar expuesta se midió en enero y los resultados fueron: $15.064\ m^2\ ha^{-1}$ (ciclo 04 / 05), $16.839\ m^2\ ha^{-1}$ (ciclo 05 / 06) y $16.696\ m^2\ ha^{-1}$ (ciclo 06 / 07), (Elmida C., 2007).

En el presente trabajo la transpiración se define de diferentes formas. De hecho, para conocer el consumo de agua de un viñedo debe tenerse en cuenta el agua evaporada por la planta (transpiración) y el agua perdida por la superficie del suelo (evaporación) y la medición del flujo de savia deberá integrarse a este contexto. Por ello, la transpiración deberá ser determinada en diferentes formas, que se describen a continuación.

La transpiración potencial (T_p) fue estimada mediante tres procedimientos diferentes. En primer lugar se estimó la transpiración potencial del viñedo (T_p _viñedo) mediante la Ecuación (1). El valor T_p _viñedo se calculó por medio de los datos climáticos mediante integración directa del albedo, la aerodinámica y la conductancia de la canopia en Penman-Monteith (Monteith y Unsworth, 1990). Se asumió además, que la energía disponible por la canopia es igual a $(R_n - G)$. En segundo lugar se estimó la transpiración potencial de la planta (T_p _planta) teniendo en cuenta que una canopia discontinua recibe sólo una fracción de energía disponible. El valor T_p _planta está referido a una fracción de la superficie del viñedo, por ej. la superficie efectivamente cubierta por las plantas (calculada con el promedio de las superficies de la canopia para cada planta, $0,4\ m^2$). El T_p _planta se calculó en base a la ecuación (1), como se describe más abajo, pero para calcular la energía disponible se redujo proporcionalmente la radiación neta R_n del viñedo de acuerdo a la fracción interceptada por la canopia. Así, la radiación neta en la superficie del suelo ($R_{n,s}$, $J\ m^{-2}\ s^{-1}$) se calculó usando la ley de Beer donde el coeficiente de extinción del cultivo para la radiación neta fue tomado del trabajo de Ortega-Farias et al (2007) en un viñedo conducido en espaldero vertical, en condiciones atmosféricas comparables. La radiación neta disponible por las plantas ($R_{n,vines}$, $J\ m^{-2}\ s^{-1}$) se calculó por medio de la diferencia entre R_n sobre la canopia y R_n sobre el suelo.

El flujo de calor transferido al suelo se asume como una porción del total G que es igual a la fracción de cobertura del suelo (0.2). Finalmente, se estimó la (evapo)transpiración potencial (ETp_Kc-ETo) de acuerdo a Allen et al (1998), mediante la evapotranspiración de referencia (ETo) y el coeficiente de cultivo (Kc). Este Kc se tomó de Oriolani (1981), para los meses de noviembre y diciembre y su valor fue de 0,7. Esta aproximación de los valores de Kc y ETo es la recomendación estándar para computar el requerimiento hídrico de los cultivos.

En correspondencia la transpiración real del viñedo y de las plantas ha sido determinada como se explica a continuación.

La medición del flujo de savia determina la transpiración real de una planta en particular. En el presente trabajo se extendieron las mediciones de flujo de savia a todo el viñedo mediante la densidad de plantación (Trambouze et al. 1998) para poder comparar la transpiración real con la (evapo)transpiración potencial estimada a nivel del viñedo (por ejemplo $Tp_viñedo$ y $Etp_Kc - ETo$). Además, se comparó la transpiración real con la transpiración potencial estimada mediante la Ecuación (1) considerando la reducción de energía disponible de la canopia discontinua. Con este propósito las mediciones de flujo de savia fueron extendidas al área de suelo efectivamente ocupada por las plantas. Así, la transpiración real del viñedo ($Ta_viñedo$) ha sido calculada con los promedios del flujo de savia medidos en las dos (2) plantas seleccionadas para el muestreo y la densidad de plantación. En esta instancia debe determinarse la contribución de la transpiración de las plantas a las pérdidas totales de agua del viñedo: $Ta_viñedo$ se comparó con $Tp_viñedo$ y Etp_Kc_Eto .

La transpiración real de las plantas ($Ta_plantas$) se determinó refiriendo el flujo de savia de las plantas al área efectivamente ocupada por las mismas. Así las mediciones del flujo de savia han sido referidas a la fracción de la superficie del suelo ocupada por el viñedo, fracción que recibe la energía disponible calculada como se describió anteriormente. Ta_planta fue comparada con Tp_planta .

RESULTADOS

Durante el experimento se observó una mayoría de días claros con valores de R_s diarios muy próximos a $25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. En los días soleados las condiciones atmosféricas fueron tibias y secas y los valores promedio de temperatura del aire, déficit de presión de vapor y velocidad de viento estuvieron entre $23,5$ y 18°C ; $1,8$ y $0,8 \text{ kPa}$ y $1,7$ a $0,7 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente. La evapotranspiración de referencia promedio fue de 5 mm día^{-1} .

La transpiración potencial (Tp) se calculó en base a la Ec. (1) asumiendo dos diferentes premisas respecto de la energía disponible, tal como se describió anteriormente.

La Fig. 1 muestra las integrales diarias de $Tp_viñedo$ y Tp_planta . La diferencia entre los valores de transpiración entre ambas se debe a la menor energía disponible que recibe la planta y en la que se ha tenido en cuenta la discontinuidad y escasez de la canopia. La energía disponible ($Rn-G$) para la transpiración potencial de las plantas fue aproximadamente un 80 % de la disponible para la transpiración potencial del viñedo.

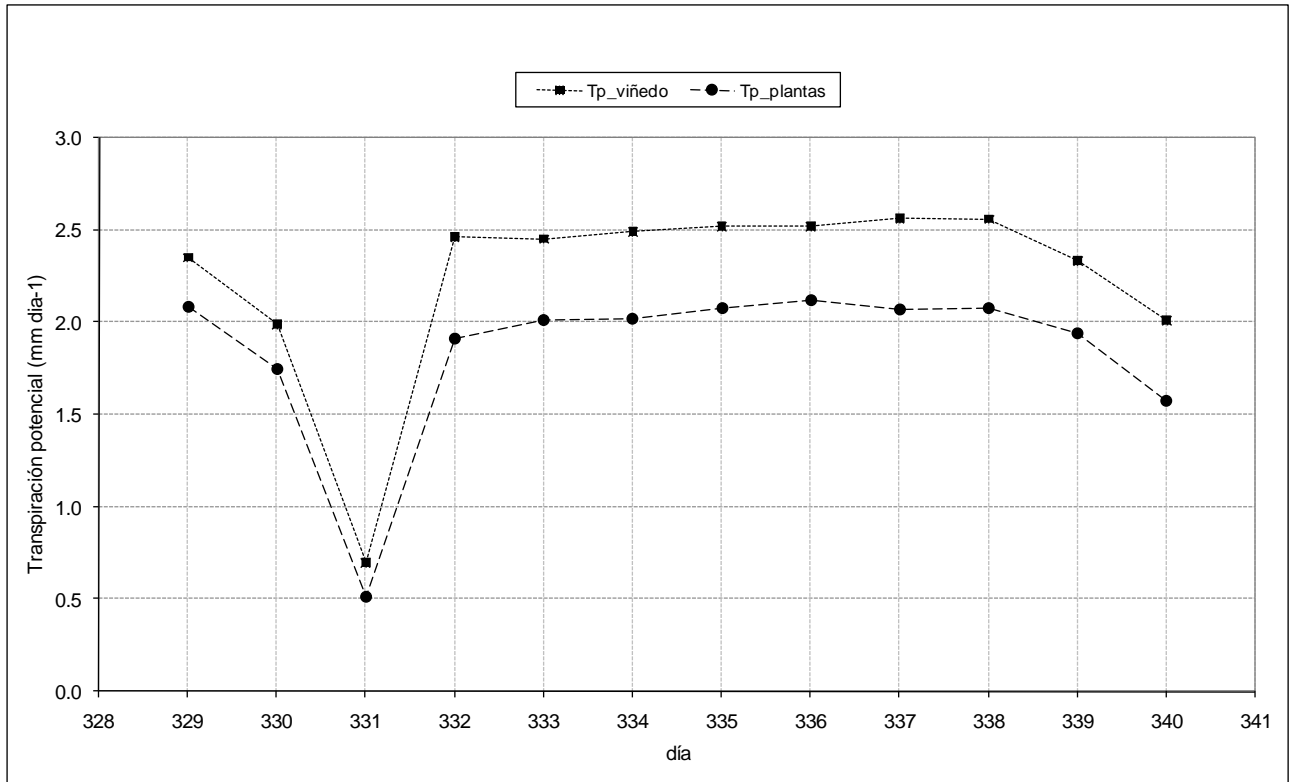


Figura 1: transpiración potencial diaria referida a la canopia cubriendo completamente el suelo (Tp_viñedo) y a una canopia discontinua (Tp_plantas)

En cuanto a la transpiración de la planta, a lo largo de todo el período experimental, teniendo en cuenta la información disponible de días sin lluvia (9 días), el promedio diario del flujo de savia de las plantas fue de 782 g día⁻¹ planta⁻¹. La Fig. 2 muestra el curso de la transpiración de los días 332, 333, 334; se presentan los Tp_plantas y Ta_plantas para dos plantas.

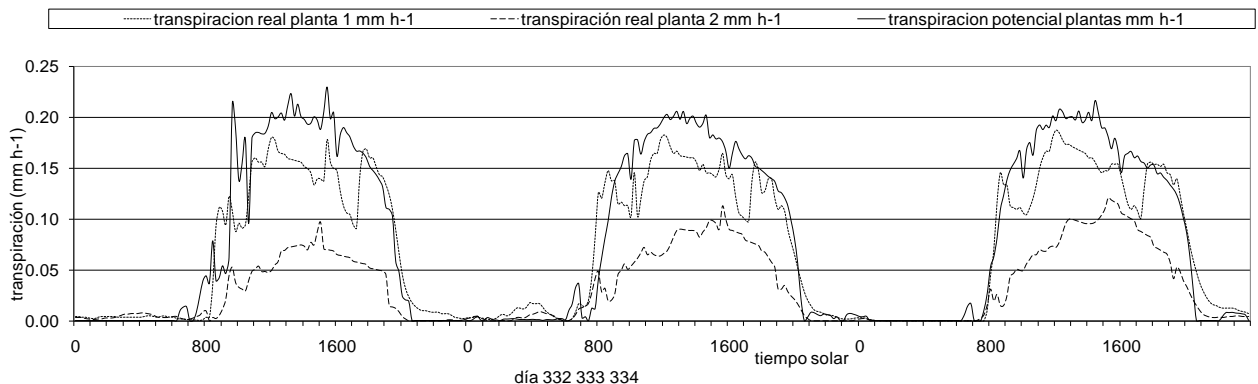


Fig. 2: transpiración durante días 332-334: transpiración real de las plantas (Ta_plantas) y transpiración potencial de las plantas (Tp_plantas)

El curso diario de las mediciones de la transpiración real (Ta_plantas, mm h⁻¹), en términos generales, sigue el curso de la transpiración potencial modelada (Tp_plantas, mm h⁻¹). No existe ningún desfase entre el flujo de savia y la transpiración de la canopia estimadas desde las variables ambientales. La Fig. 2 muestra que las dos plantas tienen diferentes velocidades de transpiración. Se calcularon las integrales diarias del flujo de savia de las plantas (l día⁻¹), para los

nueve (9) días sin lluvia en los que hubo datos disponibles. En la planta que tuvo el menor índice de área foliar, el flujo de savia fue constantemente más bajo (79 % en los 9 días).

En cuanto a la transpiración de la planta por unidad de área foliar, si la velocidad de flujo se expresara por unidad de área foliar, la diferencia entre ambas plantas se reduciría. En la Fig. 3 puede verse un ejemplo en el que figuran valores diarios de flujo en planta, expresados por unidad de área foliar, para los días 330, 337 y 340. Puede verse que las dos plantas presentaron valores de flujo muy cercanos.

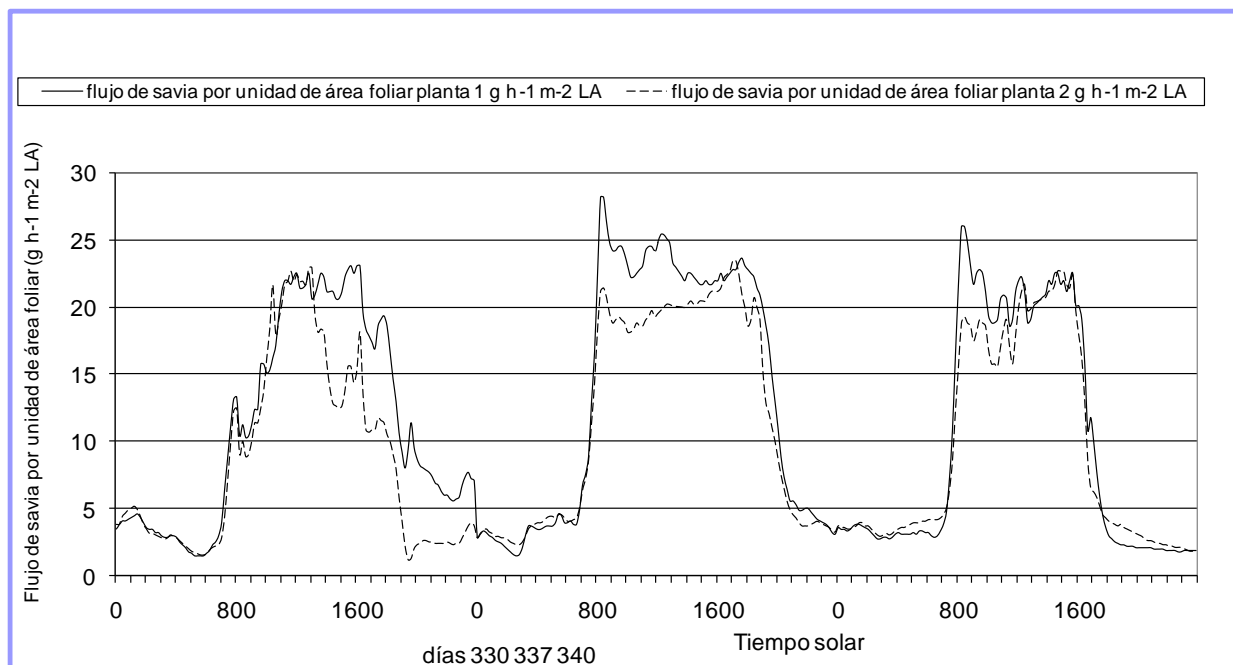


Fig. 3: Flujo diario de savia expresado por unidad de área foliar en dos plantas (días 330, 337 y 340).

La transpiración del cultivo fue estimada a partir de la transpiración de plantas-muestra y de la densidad de plantación. Las integrales de la transpiración real fueron calculadas en los nueve (9) días sin lluvia del período estudiado y comparadas con las estimaciones de transpiración potencial. Se presenta la comparación entre transpiración real y potencial considerando dos diferentes superficies de referencia. En una primera instancia T_p y T_a han sido llevados a escala de la totalidad del viñedo, en una segunda (Fig. 4), ambos T_p y T_a fueron referidos a la fracción del viñedo realmente cubierta por plantas.

Se midió un promedio de transpiración real de 0.43 mm día^{-1} , mucho más baja que la transpiración potencial estimada cuando ésta se basa en la Ec. (1), valor promedio de 2.43 mm día^{-1} o mediante E_{To} y K_c (promedio 3.76 mm día^{-1}). Cuando las integrales diarias son promediadas para la totalidad del período experimental la transpiración real ($T_{a_viñedo}$) resulta ser el 18% del $T_{p_viñedo}$ y el 12% de $E_{Tp_Kc} - E_{To}$. Yunusa et al (2004) en un viñedo regado por goteo en Australia determinaron una relación entre la transpiración del cultivo y la evapotranspiración potencial que fluctuaba entre 0,11 y 0,17 para el mes de Febrero. Esto indicaría que una muy pequeña fracción de agua de la planta es transpirada. Los requerimientos hídricos del viñedo, aunque estimados de acuerdo a las recomendaciones de aproximación (Allen et al. 1998) resultan mucho más altos que el consumo real del cultivo. Se estima que entre un 82 – 88% del agua no es utilizada por las plantas y es probable que la mayoría de este porcentaje sea perdido a través de la evaporación del suelo. En la Fig. 4 se muestran las integrales diarias de la transpiración real y potencial de las plantas seleccionadas. Los valores de $T_{a_plantas}$, aunque variables a lo largo del período de medición, son comparables a los valores de transpiración potencial de la planta

(Tp_plantas). Los promedios obtenidos en todo el período de Ta_plantas y Tp_plantas resultaron 1,95 y 2,02 mm día⁻¹, respectivamente.

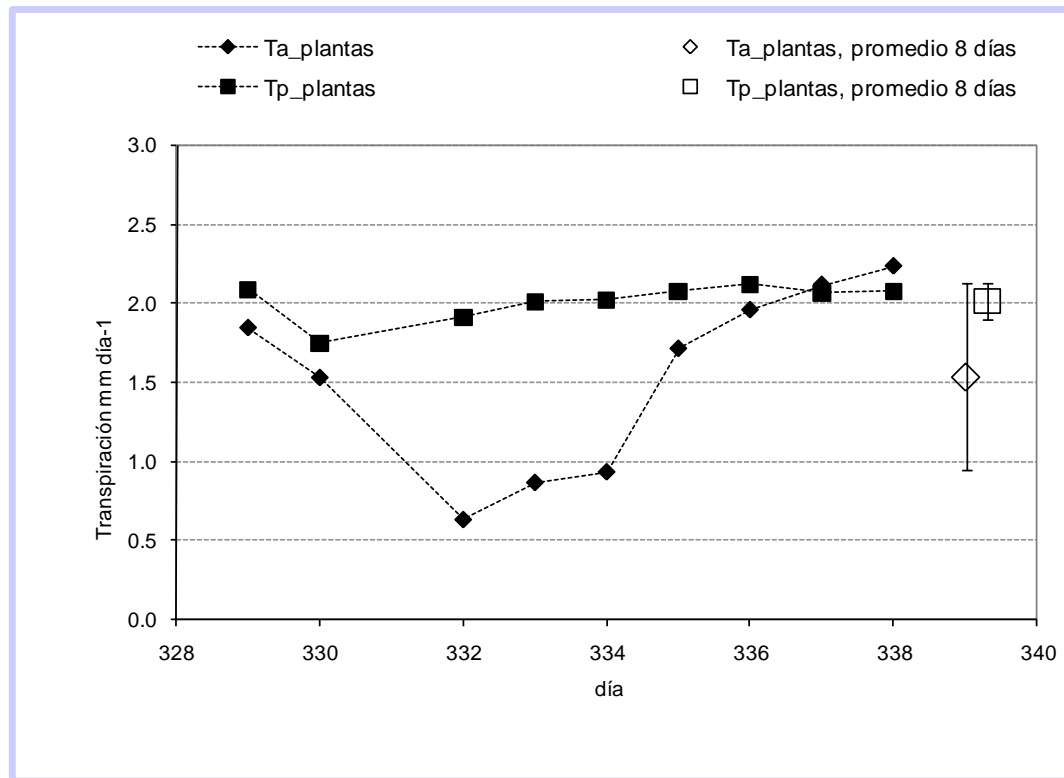


Figura 4: Transpiración diaria (real y potencial) de la planta
(los dos símbolos de la derecha indican los promedios en todo el período)

Las determinaciones de las constantes hídricas del suelo, arrojaron los siguientes valores: capacidad de campo (W_c) = 18% (18 g de agua en 100 g de suelo seco); punto de marchitamiento permanente (W_m) = 7.2 % y densidad aparente (DA) = 1.39 g cm⁻³. Se analizaron las variaciones de humedad obtenidas mediante la sonda Diviner, para cada profundidad de suelo. Un análisis de todos los registros de los dos ciclos de estudio muestra que la variabilidad de los datos disminuye de las capas más altas a las más bajas. Esto indica una capa relativamente constante de humedad a una profundidad determinada y que, más allá de esta profundidad, existe un gradual incremento de la humedad. La mayor variabilidad se encontró en los ciclos agrícolas 2005/2006. Del análisis de todos los gráficos puede concluirse que el agua es extraída (profundidad radical efectiva) desde los primeros 90, 120 y 80 cm de suelo para cabeza, medio y pie del cuartel de riego, respectivamente. Así, dado que en la cabecera del espaldero la profundidad radical fue de 90 cm el total de agua almacenada fue de 225 mm y la lámina de agua residual (por debajo del punto de marchitamiento permanente) fue de 90 mm. También se analizó el contenido de humedad por el método gravimétrico (variaciones del contenido de humedad en profundidad entre el inicio y el final de la temporada de medición). Ambas curvas muestran que -a lo largo de los registros- el contenido de humedad a través del perfil estuvo por encima de los 10 mm cada 10 cm de suelo y que el valor medio de humedad en todo el perfil estuvo cercano a los 13 mm por cada 10 cm de suelo ($13 * 9 = 117$ mm). En otras palabras, la fracción utilizada del total de agua disponible estuvo alrededor del 80 % ($(225 \text{ mm} - 117) / (225 - 90)$). Las mediciones de potencial agua en la planta, durante el período de estudio oscilaron entre los siguientes valores: potencial base (premanecer): -0.2 / -0.25 MPa, potencial tallo (xilema): -0.55 / -0.7 MPa y potencial hoja -0.65 / -0.8 MPa. Todos valores más altos que los correspondientes a las plantas con estrés hídrico: potencial base (premanecer): -

0.5 MPa, potencial tallo (xilema): -0.8 MPa y potencial hoja: -1.5 MPa. Por ello durante el período de análisis las plantas disponían de un adecuado volumen de agua.

DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo es examinar e informar cuantitativamente la transpiración de planta derivada de las mediciones de flujo de savia. Resultados de publicaciones concernientes a transpiración y evapotranspiración en viñedos presentan valores cercanos, ligeramente superiores a los acá presentados.

En Australia, Yunusa (1997) reporta para la var. Sultana un rango de valores de transpiración comprendido entre 0,3 y 0,5 mm día⁻¹ para los ciclos agrícolas 1994 / 1995 y de 0,3 a 0,6 mm día⁻¹ para el ciclo 1995 / 1996. En el presente trabajo ese valor fue estimado en 0,43 mm día⁻¹. Para la misma variedad Yunusa (2000) reporta un valor medio de transpiración de 0,87 mm día⁻¹ y en nuestro caso el valor estimado fue de 0,43 mm día⁻¹. En Australia Lu (2003) cita para la var. Sultana 4,95 L.día⁻¹ con una densidad de plantación de 1600 plantas ha⁻¹ (7920 L día⁻¹ ha⁻¹) mientras que en el presente trabajo se obtuvo un valor de 0,78 L día⁻¹, con una densidad de plantas de 5500 plantas por hectárea (4290 L día⁻¹ ha⁻¹).

Malheiro (2007) en Portugal menciona valores de transpiración de la planta de 0.38 L día⁻¹ m⁻² LAI por unidad de área foliar para la var Tempranillo en viñedos de secano y de 0.52 L día⁻¹ m⁻² LAI para viñedos bajo riego. En el presente trabajo se citan para var Malbec, valores mínimos cercanos a 0.1 L día⁻¹ m⁻² LAI y valores máximos de 0.34 L día⁻¹ m⁻² LAI.

Para Fernández et al. (2008) en Nueva Zelandia los valores de transpiración de la planta para la var Cabernet Sauvignon están comprendidos en el rango de 3 – 4 L / día planta⁻¹ con una densidad de 2000 plantas ha⁻¹ (7000 L / día planta⁻¹ aproximadamente). El presente trabajo menciona 0,78 L día⁻¹ o 4290 L día⁻¹ ha⁻¹. Fernández et al. (2008), mencionan también valores de transpiración de la planta comprendidos entre 0,2 a 0,8 mm día⁻¹.

En el cálculo de la transpiración potencial debe asumirse: i) las relaciones y los parámetros necesarios para el cálculo de la conductancia de la canopia (Ecuación 2) y ii) la determinación de la energía disponible para la planta (a través de la ley de Beer y el coeficiente de extinción). Estas asunciones pueden llevar a algunas imprecisiones en el cálculo del potencial de transpiración. Lo mismo puede ocurrir con los valores de Ta_plantas resultantes de las mediciones del flujo de savia en sólo dos plantas. Por ello se puede decir que los valores de transpiración estimados mediante la técnica del flujo de savia están comprendidos en el rango de valores consistentes con a) transpiración determinada mediante la modelación y b) valores de transpiración mencionados para vid y viñedos en la literatura. Si bien podría plantearse una exhaustiva discusión en torno a la comparación de los datos de la literatura, se hará aquí un breve comentario acerca de la determinación de la (evapo)transpiración potencial del cultivo (Fig. 4).

En los T_p viñedo calculados con la ecuación Penman Monteith se asumió que toda la radiación disponible (R_n – G) fue interceptada por la canopia y se asignó al viñedo la conductancia (g_c) que es la conductancia de la canopia (vegetación). En realidad a escala del viñedo la canopia intercepta sólo una fracción de la radiación disponible y la evaporación del agua es manejada por una gran superficie que combina la conductancia de la canopia y del suelo. Existe una falta de información consolidada sobre la resistencia de las superficies cultivadas que reduce considerablemente la precisión de la estimación de la evapotranspiración del cultivo por medio de cálculos directos a partir de la ecuación de Penman Monteith. Por lo tanto, no será posible obtener mejores resultados por medio de “Kc-ET_o”. El coeficiente Kc no es apto para integrar las características que distinguen un viñedo de la superficie de referencia (pasto). En otras palabras, las diferencias en cuanto a evaporación del suelo entre la superficie del cultivo de referencia y las

condiciones bajo cobertura antigranizo de un viñedo pueden ser grandes. Para estas condiciones la frecuencia de humedecimiento del suelo y la extensión de la superficie mojada determinan la tasa de evaporación. Para los casos de una canopia escasa, bajo cobertura y plantas regadas con riego localizado es recomendado utilizar dos coeficientes de cultivo. Por otro lado, la ecuación de Penman Monteith no cuantifica bien la transpiración de la planta cuando se considera una cobertura incompleta (parcial) de la canopia.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith** (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 328p. (Irrigation and Drainage Paper, 56). Italy.
- Bos M., J. Replöge & A. Clemmens A.** (1986). Aforadores de caudal para canales abiertos. ILRI. Publicación 38. The Netherlands.
- Censo Nacional Agropecuario.** (2002). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, República Argentina.
- Elmida Carina.** (2007). Registros de campo. Finca Las Compuertas, Chandon S.A. Mendoza Argentina. Inédito.
- Fernández, J. E, S. R. Green, H. W. Caspari, A. Diaz-Espejo, M.V. Cuevas** (2008) The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive apple and Asian pear trees and in grapevines. *Plant Soil* (305) 91-104.
- Granier, A** (1985) Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. *Annales Sciences Forestieres* 42, 193–200
- Grassi, C. J.** (1998) (primera impresión 1988). Fundamentos del riego. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida. Venezuela.
- IERAL** (2007). Area cultivada con viñedos de Argentina. Mendoza - Argentina.
- Lu P., I. A. Yunusa, R. R. Walker, W. J. Müller** (2003). Regulation of canopy conductance and transpiration and their modelling in irrigated grapevines. *Functional Plant Biology* 30, 689–698.
- Monteith JL, Unsworth MH.** (1990). Principles of environmental physics, 291 pp. Edward Arnold, London.
- Malheiro A.N.C., T. C. Ferreira, R. B. Matthews** (2007). Transpiración de los viñedos en la región del Duero, Portugal. s b. Department of Plant Science and Agricultural Engineering – Portugal.
- Morábito, J. A.** (1997). Introducción al riego. El riego en el mundo, Argentina y Mendoza. INCYTH-UNCuyo. Mendoza. Argentina (inédito)
- OIV** (2008). Report on the State of the Vitiviniculture World Market. 6th General Assembly of the OIV. Verone. Italy. http://news.reseau-oncept.net/images/oiv_es/client
- Oriolani M. J. C.** (1981). Requerimientos Hídricos de los cultivos principales de Mendoza. Resultados experimentales. INTA, EERA Mendoza. Argentina.
- Ortega-Farías, S., M. Carrasco, A. Oliosio, and C. Poblete.** (2007). Latent heat flux over Cabernet Sauvignon vineyard using the Shuttleworth and Wallace model. *Irrig. Sci.* 25:161-170.
- Pérez, E.** (2008). La vitivinicultura se replantea facturación. Diario de Cuyo. 03/08/2008. http://www.diariodecuyo.com.ar/home/new_noticia.php?noticia_id=295517
- Skogerboe, G.V., M. L. Hyatt, R. K. Anderson and K. O. Eggleston** (1967). Design and calibration of submerged open channel flow measurement structures: Part 3, Cutthroat flumes. Report WG31-4, Utah Water Research Laboratory, Utah State University, Logan, Utah.
- Trambouze W., P. Bertuzzi and M. Voltz** (1998). Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard, *Agric. Forest Meteorol.* 91 (1), pp. 193–208.
- Yunusa I A M, R. R. Walker and J. R. Guy** (1997). Partitioning of seasonal evapotranspiration from a commercial furrow-irrigated Sultana vineyard. *Irrig. Sci.* 18, 45–54.
- Yunusa I.M., R. R. Walker, B. R. Loveys and Blackmore D. H.** (2000). Determination of transpiration in irrigated grapevines: comparison of the heat pulse technique with gravimetric and micrometeorological methods, *Irrig. Sci.* 20 (2000), pp. 1–8.
- Yunusa I.A.M., R. R. Walker. and P. Lu** (2004). Evapotranspiration components from energy balance, sapflow and microlismetry techniques for an irrigated vineyard in inland Australia, *Agric. Forest Meteorol.* 127 (1), pp. 93–104.