



**6º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL**

6CFE01-612

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz



Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013

ISBN: 978-84-9

© Sociedad Esp

Evolución estacional de la velocidad de flujo de savia en encinas de dehesas de la provincia de Huelva

FERNÁNDEZ, M.¹, ALEJANO, R.¹, VÁZQUEZ-PIQUÉ, J., ANDIVIA, E.^{1,2}, MARTÍN, D.¹

¹ Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Huelva. 21071, Huelva.

² Department of Silviculture. Faculty of Forestry and Wood Technology. Mendel University. 602 00, Brno, Czech Republic.

6º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

Resumen

La encina es una de las especies más extendidas y emblemáticas de la cuenca mediterránea. La irregularidad interanual y la limitación hídrica estival son características comunes del Clima Mediterráneo que dificultan la gestión de los sistemas vegetales que ahí habitan. Sin embargo aún no se conoce en profundidad cuáles son las necesidades hídricas de esta especie y el consumo de agua en distintas épocas del año. Más aún cuando los escenarios climáticos predichos para esta región vaticinan un aumento de temperaturas y una reducción y mayor irregularidad de las precipitaciones. Por ello, puesto que la mayor parte del agua utilizada por las plantas es transportada por el xilema y transpirada en la parte aérea, se estudió la evolución estacional de la velocidad del flujo de savia en troncos de tres encinas, lo que nos daría una idea de las necesidades hídricas de la especie en función de las condiciones edafo-climáticas de cada momento del año. La velocidad máxima diaria del flujo de savia osciló entre 2 y 35 cm/h, con un consumo diario de agua que osciló entre 4 y 73 L día⁻¹, ambas en función del individuo y de la época de medición, altamente relacionada con la radiación solar, la ETo y la humedad edáfica.

Palabras clave

Quercus ilex ssp. *ballota*, necesidades hídricas, cambio climático, factores ambientales.

1. Introducción

La encina (*Quercus ilex* L. ssp. *ballota* (Desf.) Samp.) está ampliamente distribuida en la Península Ibérica y, junto con el alcornoque (*Quercus suber* L.), es la frondosa arbórea más común de nuestros bosques y sistemas agroforestales (dehesas) de ambiente mediterráneo. Juega un papel socioeconómico y ecológico de indudable valor (PLIENINGER & WILBRAND 2001; ALEJANO et al, 2008; JUNTA DE ANDALUCÍA 2008; CAREVIC et al. 2010). En el clima mediterráneo, la sequía estival es el principal factor limitante de la distribución de las especies y de su crecimiento anual siendo, por tanto, de vital importancia el conocimiento de las relaciones hídricas, el uso del agua y el intercambio gaseoso en las plantas (SAVÈ et al. 1999; HOFF & RAMBAL 2003; OGAYA & PÉÑUELAS 2003), en especial en este escenario de cambio climático global en el que se predice una alteración de los eventos meteorológicos hacia condiciones más áridas en la cuenca mediterránea (IPCC 2007).

La circulación del agua a través de las plantas, desde el suelo hasta la atmósfera, dependerá, entre otros factores, de la demanda evaporativa del aire, de la disponibilidad de agua en el suelo, de la capacidad de captación y la resistencia que ofrezca la planta a la circulación de ésta, de la superficie, estructura y disposición foliar y del control estomático. (SALISBURY Y ROSS 2000). Precisar el consumo de agua diario de un árbol (agua transpirada) en condiciones de campo resulta tarea complicada. La medición no suele ser

Montes, Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz

Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013

ISBN: 978-84-9

© Sociedad Esp



directa, sino que se obtiene un valor estimado a partir de mediciones de variables ambientales, superficie foliar, índice de área foliar, tasas de transpiración instantáneas medidas en unas pocas hojas o flujo de agua en el xilema. A efectos prácticos, dichas metodologías nos aportan estimaciones aproximadas del consumo de agua y con precisión suficiente como para comparar estaciones, condiciones ambientales o genotipos (DAVID et al. 2004; PAGO et al. 2009; CHIRINO et al. 2011; BARBETA et al. 2012). Puesto que la mayor parte del agua utilizada por las plantas es transportada por el xilema y transpirada en la parte aérea, un análisis de la variación estacional del flujo de savia en troncos de encinas nos daría una idea de las necesidades hídricas de la especie en función de las condiciones edafo-climáticas, fenológicas y de crecimiento de cada momento del año. Ello ayudaría a desarrollar modelos completos de los requisitos de agua de esta especie en la cuenca del Mediterráneo y otras regiones propensas a la sequía, con vistas a su incorporación a los programas de gestión y manejo de la especie.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es evaluar la evolución estacional de la circulación del agua a través del tronco principal de encinas en la provincia de Huelva, a partir de la velocidad del flujo de savia, con el fin de relacionarlo con variables ambientales y estimar las necesidades hídricas de los árboles.

3. Metodología

3.1. Material vegetal y diseño experimental

Se dispuso de dos parcelas de estudio en sendos montes abiertos (dehesas) de la provincia de Huelva. La primera de ellas (Finca de Huerto Ramírez, T.M. de Villanueva de los Castillejos, Huelva; UTM, 29S, X: 645230, Y: 4153970, 174 msnm) ocupa un área de 2,9 ha, con una densidad de arbolado de 69 pies ha⁻¹. Las características medias (\pm E.T.) de los árboles son 6,2 \pm 1,7 m (altura); 32,6 \pm 10,8 cm (diámetro) and 3,86 \pm 1,36 m (radio de copa). El clima de la zona es mediterráneo, con precipitación media anual de 580 mm y temperatura media anual de 18.6°C. La vegetación está dominada por encina, con sotobosque claro compuesto por *Cistus ladanifer* L. La segunda parcela (T.M. de Hinojos, Huelva, UTM 29S, X: 728082, Y: 4133575, 101 msnm) ocupa un área de 1,9 ha, tiene una densidad de arbolado de 99,6 pies ha⁻¹, con un diámetro medio de 28,3 \pm 2,5 cm. Se trata de un bosque mixto con encina pero dominado por alcornoque. El sotobosque se compone principalmente por *Pistacia lentiscus*, *Daphne gnidium*, *Chamaerops humilis*, *Halimium halimifolium* y varias especies del género *Cistus*. El clima es también mediterráneo, con una precipitación media anual de 600 m y una temperatura media anual de 18.9 °C.

Para este estudio, la medición de la velocidad del flujo de savia se llevó a cabo en cuatro árboles. Tres encinas y un alcornoque. Se evaluó la velocidad de la savia en el tronco de los árboles mediante disipación térmica (GRANIER 1985). Para ello se utilizó un equipo Probe-12 con sondas TDP-30 (Dynamax Inc., Houston, USA). Los árboles utilizados para el estudio fueron: dos encinas en la parcela de Huerto Ramírez (en adelante HR), de diámetros con corteza 41,4 y 32,8 cm; una encina (diámetro = 28,6 cm) y un alcornoque (diámetro = 53 cm) en la parcela de Hinojos (Hi). Aunque esta comunicación está centrada en la encina, se mostrarán algunos resultados del alcornoque por ser interesante su comparación con la encina. No se instalaron a la altura normal (1,30 m) porque la cruz del árbol procedente de podas de

Montes: Servicio de desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz

El Servicio de desarrollo rural
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013

ISBN: 978-84-9

© Sociedad Esp

formación en el pasado, estaba situada a una altura menor que la normal. Las sondas tenían 30 cm de longitud y 1,5 mm de diámetro y se insertaban en el xilema perpendicularmente, una vez eliminada la corteza. Se insertaban dos sondas por árbol, a una altura de 60-80 cm del suelo, en orientaciones N y S y se aislaban térmicamente del exterior para minimizar las variaciones de temperatura ambiente. Previamente se había probado colocando 4 sondas por árbol, en las cuatro orientaciones. Se observó que se obtenían diferencias entre orientaciones pero sin seguir un patrón común, pudiendo variar el ranking de un árbol a otro y de una fecha a otra dentro de un mismo árbol. Puesto que la uniformidad en el tronco en árboles de estas especies y estos tamaños y edades es difícil de conseguir, optamos por instalar dos sondas por árbol en orientaciones N y S, buscando localizaciones en el tronco en las que visualmente no se apreciaran defectos, malformaciones o heridas. Con ello se espera que el posible error experimental en la estimación de la velocidad de la savia sea del mismo orden en los cuatro árboles y para todas las fechas (DAVID et al. 2007). Con los valores registrados por las dos sondas de cada árbol se calculaba el promedio para estimar la velocidad media del flujo de savia (cm h^{-1}) para cada árbol y hora de medición.

3.2. Mediciones y análisis de datos

Los datos se registraban cada 30 minutos, en siete épocas de medición y 5-6 días seguidos en cada época, desde marzo de 2009 hasta mayo de 2010. Por tanto se tomaron las mediciones con una separación media de 2 meses entre épocas, incluyéndose fechas en el centro de cada estación del año, entre otras (enero, marzo, abril-mayo, junio, julio-agosto, septiembre, noviembre-diciembre). Con el registro horario de la velocidad media por árbol, registrada cada 30 min, se determinó para cada día el área bajo la curva representada por la velocidad vs. hora del día (ejes Y y X respectivamente). Con esta integral se obtenía un dato de flujo de savia acumulado diario ($\text{FSV}_{\text{acum}} = [\text{cm h}^{-1}] [\text{h día}^{-1}] = \text{cm día}^{-1}$) para cada árbol y día de medición. A partir de FSV_{acum} se determinó también el valor relativo FSV_{rel} ($\text{FSV}_{\text{rel}} = \text{FSV}_{\text{acum}} / \text{FSV}_{\text{acumMAX}}$), siendo $\text{FSV}_{\text{acumMAX}}$ el valor máximo diario de FSV_{acum} de cada árbol, considerando todos los días de medición durante el período estudiado. FSV_{rel} no tiene unidades. El valor de $\text{FSV}_{\text{acumMAX}}$ para los cuatro árboles fue: 240,0 y 179,8 para las encinas de HR, 270,5 para la encina de Hi y 204,9 para el alcornoque de Hi, todos ellos registrados en mayo de 2010. El hecho de relativizar el dato acumulado de FSV pretendía eliminar efectos sobre la velocidad de la savia por alteraciones o imperfecciones no visibles en el punto de inserción de las sondas, en las raíces o por el estado fitosanitario general del árbol. Al ser tan pequeño el número de árboles y parcelas, la comparación de medias entre árboles y parcelas se hizo mediante la t de Student, considerando un $\alpha = 0,05$.

Aunque suele ser más habitual buscar relaciones de la circulación de la savia con variables ambientales medidas a intervalos de tiempo cortos (p.ej. el déficit en la presión de vapor, DPV, medido a los mismos intervalos que la propia velocidad de flujo de savia, es decir cada 30 minutos), para este trabajo se trató de buscar relaciones, mediante análisis de regresión simple o múltiple, con las variables ambientales diarias que ofrecen las estaciones meteorológicas habituales (temperaturas máxima, mínima y media, humedad relativa del aire máxima, mínima y media, velocidad del viento, precipitación, radiación solar incidente, evapotranspiración de referencia -ETo-), siendo una de nuestras hipótesis de trabajo que es posible encontrar correlaciones significativas entre dichas variables y el flujo total de agua diario. Algunas de ellas a partir de valores medios diarios (temperaturas, humedad relativa, viento) y otras a partir de valores acumulados diarios (precipitación, radiación solar, ETo). Para este estudio se utilizaron los datos de dos estaciones pertenecientes a la red agroclimática de la Junta de Andalucía (Tabla 1): para la parcela HR se usó la estación de Puebla de

Guzmán (UTM 29S, X: 654836, Y: 4157771, 230 msnm, situada a 10 km de distancia de la parcela); mientras que para la parcela Hi se utilizó la estación de La Palma del Condado (UTM 29S, X: 717814, Y: 4138619, 160 msnm, situada a 11,5 km de la parcela). Estas estaciones aportan los datos diarios arriba indicados y donde ETo está calculada según el método de Penman-Monteith (ALLEN et al. 1998).

La extrapolación de velocidad de flujo de savia a volumen de agua circulante resulta algo complicada, porque necesitaríamos conocer la velocidad media de circulación de la savia en toda la sección del tronco (que como hemos dicho es heterogénea y se necesitarían instalar varias sondas por tronco, al menos se recomienda de 4 a 6 para estos diámetros), las variaciones radiales en esa velocidad, el grosor del xilema conductor efectivo y el porcentaje de xilema funcional dentro de ese grosor (% de vasos no cavitados). No obstante, en cuanto al grosor del xilema conductor, los datos experimentales demuestran que se puede utilizar como profundidad de xilema conductor en estas especies un valor aproximado al 30% del radio para encina y al 32% para alcornoque (NADEZHINA et al. 1998; DAVID et al. 2007; COHEN et al. 2008). Por tanto, para nuestras estimaciones en los cuatro árboles medidos, asumiremos un grosor de xilema conductor de 5,7, 4,5, 3,8 y 7,5 cm, respectivamente, según la especie y el diámetro del árbol (descontada la corteza), asumiendo asimismo que el error cometido sea pequeño y proporcional en todos los árboles y días de medición.

Tabla 1: Valores medios de las temperaturas máximas del mes más cálido (Tmax) y de las mínimas del mes más frío (Tmin), de la temperatura media (Tmed), de la humedad relativa media (HRmed) y de la velocidad del viento media (V) de todo el período hidrológico, así como los valores acumulados de la radiación solar (Rad), de la precipitación (P) y de la evapotranspiración de referencia (ETo) para cada período hidrológico (octubre-2008 a septiembre-2009 y octubre-2009 a septiembre-2010).

Parcela	Período	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	HRmed (%)	V (m/s)	Rad (MJ m ⁻²)	P (mm)	ETo (mm)
HR	oct08-sep09	34,66	2,20	16,26	61,44	1,59	6440,6	336,6	1351,7
	oct-09-sep10	35,97	5,28	17,42	63,78	1,75	6060,8	804,4	1299,6
Hi	oct08-sep09	35,30	4,87	17,33	59,61	1,48	6850,0	402,2	1378,1
	oct09-sep10	35,96	6,75	18,11	65,55	1,65	6480,1	1008,4	1323,6

4. Resultados

Para las dos parcelas, el período 0809 fue menos lluvioso que un año medio típico (reducción de la precipitación: 42 % en HR y 33% en Hi), mientras que el período 0910 fue más lluvioso (aumento de 39% en HR y 68 % en Hi). La parcela Hi fue un poco más cálida, recibió en cómputo anual unos 400 MJ m⁻² más que HR, pero a la misma vez resultó un 20-25% más lluviosa y presentó un mejor balance entre P y ETo (Tabla 1).

Las velocidades máximas diarias de flujo de savia obtenidas en ambas parcelas y todos los días de medición variaron entre 1 y 32 cm h⁻¹, correspondiendo los valores más altos a las horas centrales de los días soleados de primavera y los más bajos a días en los que se supone un cierre total o parcial de los estomas inducidos por baja radiación luminosa (días nublados) o por estrés hídrico (días de verano). En la figura 1 (izda.) se muestra un ejemplo para una encina en días soleados dentro de las distintas épocas de medición. Sin embargo, el patrón regular diario que mostraron los días soleados se veía totalmente alterado en el momento en que se producían intervalos nubosos, lluvia o sequía edáfica intensa (figura 1, deha.). Las diferencias de velocidad, en mediciones simultáneas, entre las dos sondas colocadas a cada

árbol varió entre 0 y 12 cm h⁻¹, en función de la fecha y el árbol, pero sin observar un patrón común.

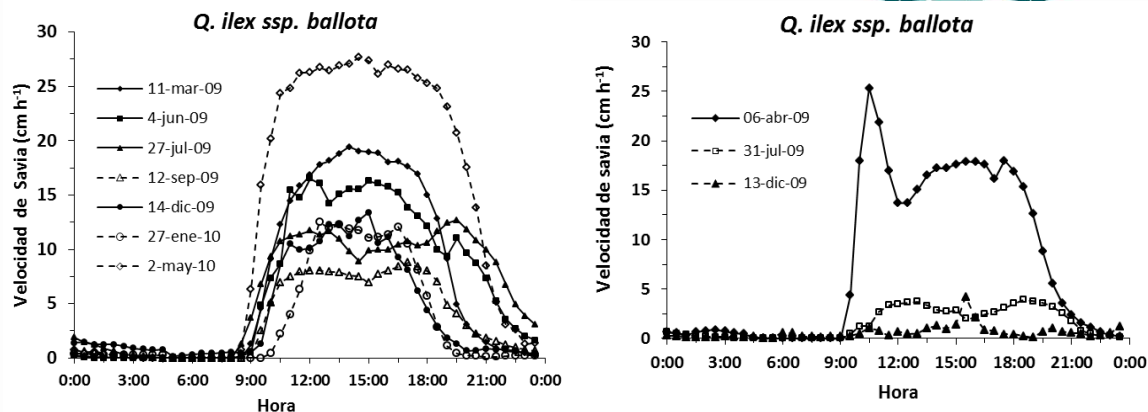


Figura 1: (Izda.) Valores medios registrados de velocidad de flujo de savia en la encina de la parcela de Hinojos en siete fechas distintas a lo largo del período estudiado. (Dcha.) Tres ejemplos de alteraciones del patrón regular de velocidad de flujo de savia influenciados por nubes y lluvia (13-diciembre), estrés hídrico (31-julio) o evento momentáneo de buen estado hídrico acompañado de alta radiación solar (6-abril).

El valor medio diario, considerando todas las mediciones del período estudiado, de FSV_{acum} para la encina de Hi fue de $144,5 \pm 9,3$ cm día⁻¹, mientras que para las dos encinas de HR en su conjunto fue de $85,4 \pm 8,4$ cm día⁻¹. Las dos encinas de HR no se diferenciaron significativamente entre sí, pero sí de la encina de Hi ($p < 0,05$). Las diferencias entre las encinas de las dos parcelas se debieron especialmente a los registros del verano, con valores menores par la parcela HR. La figura 2 muestra un ejemplo del valor medio diario de FSV_{acum} para las distintas épocas de medición.

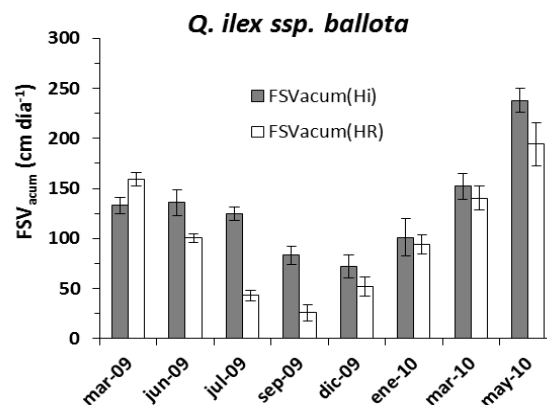


Figura 2: Valor medio diario ($\pm E.T.$) de FSV_{acum} para la encina de la parcela de Hinojos (Hi) y para las dos encinas de Huerto Ramírez (HR). Cada barra muestra el valor medio diario de los 5-6 días de medición en cada época del año.

La figura 3 muestra la relación encontrada entre Rad y ETo con FSV_{rel} , para las tres encinas y para el alcornoque, pero solo incluyendo las épocas con buena disponibilidad hídrica (sin déficit edáfico, de octubre a mayo en nuestro estudio), porque las épocas de déficit hídrico edáfico (junio-septiembre) el efecto de Rad y ETo resultó mucho menor en comparación con el efecto de la disponibilidad hídrica. En el caso del período junio-septiembre la relación de las variables individuales Rad y ETo con FSV_{rel} , mostradas en la figura 4 para los períodos octubre-mayo, se debilitó en gran medida. En este caso, los valores para el conjunto de las dos parcelas fueron: Rad vs. FSV_{rel} ($R^2 = 0,01$ para *Q. ilex* y $0,50$ para *Q. suber*); ETo vs. FSV_{rel} ($R^2 = 0,09$ para *Q. ilex* y $0,42$ para *Q. suber*); y Rad*ETo vs. FSV_{rel}

($R^2 = 0,12$ para *Q. ilex* y $0,54$ para *Q. suber*). En el período veraniego y para *Q. ilex*, resultó mejor la relación de FSV_{rel} con el déficit hídrico acumulado desde el inicio del período hidrológico hasta la fecha de cada medición, $P_{acum}-ETO_{acum}$ ($R^2 = 0,28$ para *Q. ilex* y $0,35$ para *Q. suber*), aunque no muy alto. Si analizásemos cada parcela por separado durante esta época veraniega, probablemente por el mejor balance hídrico de la parcela H_i, esta última parcela siguió presentando correlaciones significativas con Rad y ETo, especialmente para *Q. ilex* ($R^2 = 0,78, 0,82, 0,53$ y $0,77$ para Rad, ETo, Rad*ETo y $P_{acum}-ETO_{acum}$, respectivamente, para *Q. ilex*; $R^2 = 0,50, 0,42, 0,54$ y $0,35$ para Rad, ETo, Rad*ETo y $P_{acum}-ETO_{acum}$, respectivamente, para *Q. suber*). No obstante, para la parcela HR los coeficientes de determinación obtenidos fueron mucho menores ($R^2 = 0,06, 0,03, 0,42$ y $0,54$ para Rad, ETo, Rad*ETo y $P_{acum}-ETO_{acum}$, respectivamente, para *Q. ilex*). Respecto a las demás variables ambientales estudiadas (temperaturas, humedades relativas y velocidad del viento diarios) su grado de relación con FSV_{rel} resultó siempre menor que el obtenido para Rad, ETo y Rad*ETo ($0,05 < R^2 < 0,63$).

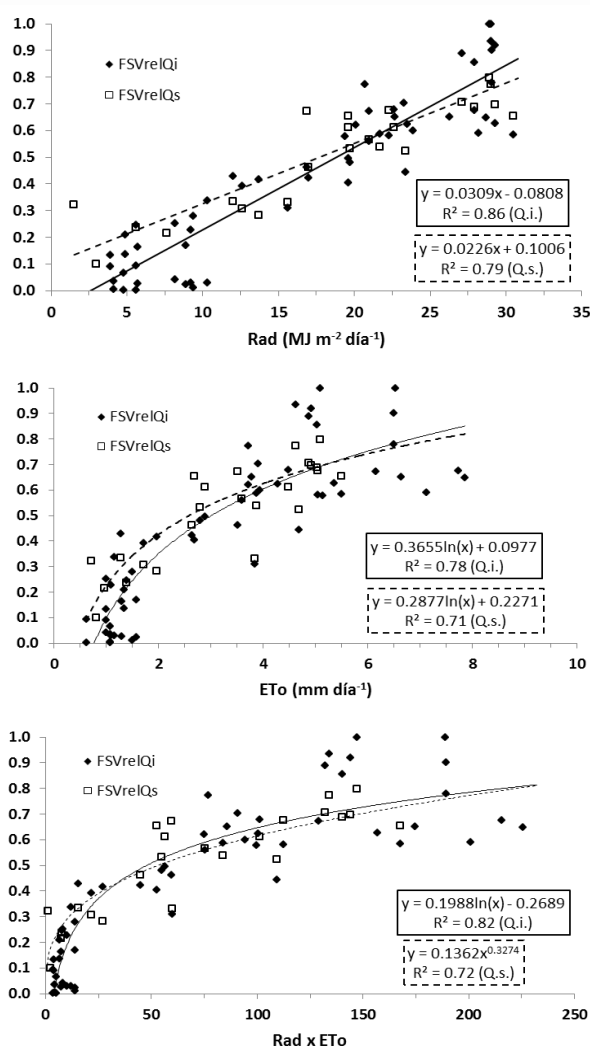


Figura 4: Relación entre los valores diarios de radiación solar (Rad), de evapotranspiración de referencia (ETo) o del producto Rad*ETo con el valor relativo del flujo de savia acumulado diario (FSV_{rel}), para encina y alcornoque, considerando las dos parcelas y las mediciones realizadas en las épocas más húmedas (de octubre a mayo en este estudio).

Para la variable FSV_{acum} , cabe señalar que la relación con las variables ambientales resultó en todos los casos peor que con FSV_{rel} . El valor de R^2 disminuyó entre el 9 y el 15 % respecto del obtenido para FSV_{rel} para Rad ($R^2 = 0,78$), ETo ($R^2 = 0,66$) y Rad*ETo ($R^2 = 0,72$). Asimismo, la relación de FSV_{acum} con las variables de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento también resultó peor, con una disminución del valor de R^2 entre 0,1 y 0,24 respecto del obtenido para FSV_{rel} (entre el 17 y el 57 % menor).

Por último, si consideramos que el grosor de la sección conductora del tronco es el arriba indicado (apdo. 3.2) y si dicha sección fuese circular, entonces el área de la sección conductora (Sc) de los cuatro árboles sería 321,4 cm², 193,54 cm², 142,84 cm², para las tres encinas, respectivamente, y 510,76 cm² para el alcornoque. Asimismo, si asumimos que la velocidad del flujo de savia fue uniforme en toda la sección conductora, entonces podríamos estimar la cantidad de savia (C_{H_2O}) que circuló o consumió diariamente cada árbol en cada época del año ($C_{H_2O} = (FSV_{acum} * Sc)/1000$, expresada en L día⁻¹). Por término medio, en un día soleado, la encina de Hinojos consumió entre 11,8 L día⁻¹ (dic.-09) y 34 L día⁻¹ (may.-10), la encina más grande de HR entre 9,4 L día⁻¹ (jul.-9) y 73,4 L día⁻¹ (may.-10), la encina más pequeña de HR entre 3,5 L día⁻¹ (jul.-09) y 30,9 L día⁻¹ (may.-10). Por su parte el alcornoque de Hi consumió entre 14,4 L día⁻¹ (jul.-09) y 74,6 L día⁻¹ (may.-10)

5. Discusión

Durante este estudio, el primer período hidrológico (oct08-sep09) resultó pluviométricamente más seco que un año medio, mientras que el segundo período (oct09-sep10) fue más húmedo. Esta mayor disponibilidad hídrica se reflejó en los resultados de flujo de savia, con altos valores de mayo-10, aun cuando se hicieron mediciones en fechas muy cercanas de un año a otro (en 2009 se hicieron mediciones la última semana de abril y la primera de junio y en 2010 se hicieron en la primera y tercera de mayo). Asimismo, por mediciones de crecimiento diametral realizadas en ambas parcelas durante el período estudiado por el mismo equipo investigador, se apreció la diferencia de crecimiento entre ambos períodos (en 2009 crecieron solamente el 30 % de lo crecido en 2010). Por otro lado, la parcela Hi presentó un mejor balance hídrico acumulado anual que la parcela HR, especialmente a la llegada del verano de 2009, reflejado en el mejor ajuste de las regresiones (FSV_{rel} vs. Rad y ETo) para Hi durante el verano. Sin embargo esta mejor disponibilidad hídrica no solo pudo ser debida a un mejor balance P-ETo sino que pudiera haber afectado también la capacidad de retención de agua del suelo o la presencia de agua a profundidad, a la que pueden acceder encinas y alcornoque (DAVID et al. 2007). De hecho, con la observación visual de la parcela en septiembre de 2009, se apreciaba todo el estrato herbáceo y el matorral de cistáceas y torvisco totalmente secos, lo que demuestra la sequía de los estratos superficiales del suelo, mientras el estrato arbóreo aún seguía sobreviviendo.

La medición de la velocidad del flujo de savia resultó útil para la comparación de fechas, parcelas y árboles. Sin embargo se veía rápida y altamente influenciada por las variaciones de las variables ambientales de cada momento del día. Por ello podría resultar interesante su integración en el tiempo y el cálculo del valor acumulado diario a efectos de establecer su aplicación práctica por su relación con las variables ambientales. La integración en el tiempo no solo tiene en cuenta las velocidades de flujo de savia en cada momento del día sino que también afecta el fotoperiodo, la radiación solar recibida, la demanda evaporativa del aire, etc.

Cierto es que se puede analizar con gran profundidad la relación existente entre el flujo de savia y parámetros ambientales (déficit de la presión de vapor del aire atmosférico -DPV-, humedad edáfica, temperatura, etc.) utilizando mediciones a intervalos cortos de tiempo

(minutos a horas), sin embargo su integración en el tiempo no siempre es sencilla, la recolección de los datos es costosa y las correlaciones obtenidas para una variable dependen en ocasiones del efecto de otras variables. Por ejemplo, el efecto de DPV sobre el flujo de savia se verá modificado en función de la humedad edáfica y/o de la radiación solar (DAVID et al. 2004; BARBETA et al. 2012). Por tanto, las buenas relaciones obtenidas del flujo de savia (FSV_{rel} y FSV_{acum}) con Rad y ETo, demuestran que también son dos variables útiles para su uso en la estimación de las necesidades hídricas de la encina. Es lógico pensar que el efecto de ETo acumulada diaria por sí sola pudiera explicar tanta variación del flujo de savia, puesto que en su cálculo intervienen variables de temperatura, humedad relativa, horas de luz y velocidad del viento. Quizás por ello su grado de correlación superó a las temperaturas o la humedad relativa por sí solas. De esta forma, como ETo refleja la demanda evaporativa, puede influir sobre el flujo de savia al igual que lo hace DPV (PITACCO & GALLINARO 1996; PAÇO et al. 2009; David et al. 2004). Asimismo, la radiación solar (Rad), considerada en términos energéticos, también resultó útil por sí sola para explicar gran porcentaje de la variación del flujo de savia diario. No obstante, en el momento en que la disponibilidad de agua edáfica comenzó a ser limitante (sequía estival), el efecto de Rad y ETo se pierde en favor del factor limitante. De hecho, bastó que uno de estos tres factores actuase como limitante (sequía estival, reducción de Rad por la noche o por nubosidad, baja demanda evaporativa) para que el flujo de savia se redujese considerablemente. Esto puede explicar que las regresiones múltiples, cuando las distintas variables se incluyen como sumandos, no produjeren buenas correlaciones con el flujo de savia, pero sí lo hiciese cuando se incluyen como efectos multiplicativos (p.ej. Rad*ETo). Como Rad, ETo y el déficit hídrico edáfico (deducido de fichas hídricas, por ejemplo) son variables susceptibles de calcular su valor acumulado para un cierto período de tiempo, resultarán útiles para la estimación del consumo de agua por los árboles (mediante el uso de los datos de estaciones meteorológicas), así como su extrapolación a los distintos escenarios de cambio climático que se prevén en el futuro cercano (IPCC 2007).

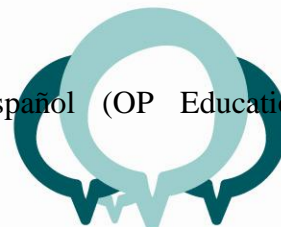
6. Conclusiones

La medición del flujo de savia (velocidad y volumen) durante las distintas épocas del año, donde varían las condiciones edafo-climáticas de crecimiento de las encinas, nos acerca a profundizar en el conocimiento de las necesidades hídricas de esta especie. La relación existente entre el flujo de savia y algunas variables ambientales, tales como radiación solar y evapotranspiración de referencia, nos podría resultar de utilidad a la hora de utilizar dichas variables para la estimación de las necesidades hídricas de la especie en cada lugar, así como la predicción del efecto de un posible escenario climático futuro más desfavorable, puesto que la amplia red de estaciones meteorológicas existente nos ofrecen estos y otros datos climáticos. No obstante es necesario seguir profundizando en estas relaciones del flujo de savia con variables climáticas para buscar un modelo predictivo de mayor precisión.

7. Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el proyecto de investigación de excelencia de la Junta de Andalucía (ref: C03-192) y por el MEC-INIA (ref: SUM2006-00026-00-00), ambos cofinanciados con Fondos FEDER. Asimismo, se agradece a la Diputación Provincial de Huelva y al Ayuntamiento de Hinojos la ayuda para el establecimiento de las parcelas. E. Andivia agradece al Ministerio de Educación, Deporte y Juventud del Gobierno de la República Checa y al Fondo Social Europeo por la beca postdoctoral de la cual es beneficiario

y por apoyar su asistencia al 6º Congreso Forestal Español (OP Education for Competitiveness CZ.1.07/2.3.00/30.0017).



8. Bibliografía

ALEJANO, R.; TAPIAS, R.; FERNÁNDEZ, M.; TORRES, E.; ALAEJOS, J.; DOMINGO, J. 2008. The influence of pruning and climatic conditions on acorn production in holm oak (*Quercus ilex* L.) dehesas in SW Spain. *Ann. For. Sci.* 65:209-215. doi: 10.1051/forest:2007092

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

BARBETA, A.; OGAYA, R.; PEÑUELAS. 2012. Comparative study of diurnal and nocturnal sap flow of *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia* in a Mediterranean holm oak forest in Prades (Catalonia, NE Spain). *Trees* 26: 1651-1659.

CAREVIC, F.S.; FERNÁNDEZ, M.; ALEJANO, R.; VAZQUEZ-PIQUÉ, J.; TAPIAS, R.; CORRAL, E.; DOMINGO, J. 2010. Plant water relations and edaphoclimatic conditions affecting acorn production in a holm oak (*Quercus ilex* ssp. *ballota*) open woodland. *Agroforest. Syst.* 78:299-308. doi: 10.1007/s10457-009-9245-7

COHEN, Y.; COHEN, S.; CANTUARIAS-AVILES, T.; SCHILLER, G. 2008. Variations in the radial gradient of sap velocity in trunks of forest and fruit trees. *Plant Soil*, 305: 49-59.

CHIRINO, E.; BELLOT, J.; SÁNCHEZ, J.R. 2011. Daily sap flow rate as an indicator of drought avoidance mechanisms in five Mediterranean perennial species in semi-arid southeastern Spain. *Trees* 25: 593-606.

DAVID, T.S.; FERREIRA, M.I.; COHEN, J.S.; PEREIRA, J.S.; DAVID, J.S. 2004. Constraints on transpiration from an evergreen oak tree in southern Portugal. *Agric. For. Meteorol.* 122: 193-205.

DAVID, T.S.; HENRIQUES, M.O.; KURZ-BESSON, C.; NUNES, J.; VALENTE, F.; VAZ, M.; PEREIRA, J.S.; SIEGWOLF, R.; CHAVES, M.M.; GAZARINI, L.C.; DAVID, J.S. 2007. Water-use strategies in two co-occurring Mediterranean evergreen oaks: surviving the summer drought. *Tree Physiol.* 27: 793-803.

GRANIER, A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières*, 42: 193-200.

HOFF, C.; RAMBAL, S. 2003. An examination of the interaction between climate, soil and leaf area index in a *Quercus ilex* ecosystem. *Ann. For. Sci.* 60:153-161. doi: 10.1051/forest:2003008

IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz

Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013

ISBN: 978-84-9

© Sociedad Esp



sobre el Cambio Climático. (Eds.) PACHAURI, R.K. y REISINGER, A. IPCC, Ginebra, 104 págs.

JUNTA DE ANDALUCÍA. 2008. Caracterización socioeconómica de la dehesa de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. 437 págs.

IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (Eds.) PACHAURI, R.K. y REISINGER, A. IPCC, Ginebra, 104 págs.

NADEZHINA, N.; CERMAK, J.; NADEZHIN, V. 1998. The heat field deformation method for sap flow measurement. In 4th International Workshop on Measuring Sap flow in Intact Plants. Eds. J. Cermak and N. Nadezhina. IUFRO Publications, Publishing House of Mendel University, Brno, Czech Republic, pp 72–92.

PAÇO, T.A.; DAVID, T.S.; HENRIQUES, M.O.; PEREIRA, J.S.; VALENTE, F.; BANZA, J.; PEREIRA, F.L.; PINTO, C.; DAVID, J.S. 2009. Evapotranspiration from a Mediterranean evergreen oak savannah: The role of trees and pasture. *J. Hydrol.* 369: 98-106.

PITACCO, A.; GALLINARO, N. 1996. Micrometeorological assessment of sensitivity of canopy resistance to vapour pressure deficit in a Mediterranean oak forest. *Ann. Sci. For.* 53:513-520.

PLIENINGER, T.; WILBRAND, C. 2001. Land use, biodiversity conservation, and rural development in the dehesas of Cuatro Lugares, Spain. *Agroforest. Syst.* 51:23-34. doi:10.1023/A:1006462104555

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. 2000. *Fisiología de las plantas*. Ed. Paraninfo. Madrid. (3 volúmenes).

SAVÉ, R.; TERRADAS, J.; CASTELL, C. 1999. Gas exchange and water relations. In: RODÁ F., GRACIA C., REATANA J., BELLOT J. (eds.) *The Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Springer-Verlag Berlin, pp 135-147.

OGAYA, R.; PEÑUELAS, J. 2003. Comparative field study of *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*: photosynthetic response to experimental drought conditions. *Environ. Exp. Bot.* 50:137-148. doi: [10.1016/S0098-8472\(03\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00019-4)

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013

ISBN: 978-84-9

© Sociedad Esp

