

COMPARACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE TRANSPIRACIÓN A TRAVÉS DE LA MEDICIÓN DE FLUJO DE SAVIA CON EL BALANCE HÍDRICO A ESCALA DE CUENCA EN UNA MASA DE *P. PINASTER* DE GALICIA (NW ESPAÑA)

Cristina Fernández Filgueira, Enrique Jiménez Carmona, José Antonio Vega Hidalgo, Pedro Pérez-Gorostiaga Rivero y Teresa Fonturbel Llitas

Departamento de Protección Ambiental. Centro de Investigación Forestal-Lourizán. Consellería de Medio Rural. Xunta de Galicia. Apdo. Correos. 127. 36080-PONTEVEDRA (España). Correo electrónico: cffilgueira@gmail.com

Resumen

Son relativamente frecuentes los trabajos de investigación realizados estimando la transpiración de especies forestales, bien a través de estimaciones individuales utilizando la técnica de flujo de savia o bien mediante el balance hidrológico a escala de cuenca forestal. Sin embargo, no abundan los trabajos en los que se compara directamente las estimaciones realizadas usando ambas metodologías. En este trabajo se comparan las estimaciones de transpiración realizadas en una pequeña cuenca forestal cubierta por una masa de *Pinus pinaster* Ait. La evapotranspiración a nivel de cuenca se evaluó a través del balance hídrico monitorizando las entradas de precipitación y salidas por escorrentía. A nivel de árbol individual las mediciones de transpiración se realizaron instalando sondas de flujo de savia de tipo Granier. Basándose en estudios previos, se consideró que la intercepción de la lluvia por el arbolado supone un 25% de la precipitación. Las mediciones se efectuaron durante el año hidrológico 2005-2006. La suma de la transpiración medida a través de la densidad de flujo de savia y la intercepción supuso un 21% menos de la evapotranspiración estimada a través del balance hídrico. Esa diferencia puede deberse a la transpiración por parte del sotobosque y la evaporación del suelo, que no fueron medidas en este estudio. Además, la determinación de la variabilidad de la densidad de la masa, área foliar y área conductora dentro de la cuenca puede resultar crítica para realizar estimaciones a escala territorial a partir de valores individuales.

Palabras clave: Consumo de agua, Método Granier, Ciclo hidrológico, Extrapolación a nivel de paisaje

INTRODUCCIÓN

El estudio del balance hídrico a escala de cuenca experimental proporciona una información realista del consumo de agua de una determinada masa forestal y permite cuantificar de manera apropiada los cambios de cobertura que

se produzcan en el tiempo (p. ej. BORMANN & LIKENS, 1970, 1979; HEWLETT, 1982; GRAS, 1993).

Sin embargo, el conocimiento de la contribución de las diferentes especies al componente de la transpiración del ciclo hidrológico es un tema emergente que requiere extrapolar medidas

detalladas a pequeña escala (nivel de árbol) al nivel de rodal y cuenca.

Muchos investigadores están usando mediciones in situ de densidad de flujo de savia para conocer como contribuye la transpiración del arbolado en el balance hídrico, separándola del resto de componentes (HATTON, et al., 1995; VERTESSY, et al., 1995; LÜTTSCHWAGER, et al., 1999; GRANIER, et al., 2000; WULLSCHLEGER, 2001; JIMÉNEZ et al., en prensa).

Sin embargo, estudios comparando las estimaciones de transpiración a partir de flujo de savia con otros métodos a una escala espacial representativa son escasos (WILSON et al., 2001; FORD et al., 2007).

El objetivo de este estudio fue obtener estimaciones de la evapotranspiración a nivel de cuenca con las obtenidas a nivel individual en una masa de *P. pinaster*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

Situada en el monte Axeiros (42°34'28" - 42°34'48"N y 8°36'57" - 8°37'08" W), en la provincia de Pontevedra. Su superficie es de 6,7 ha, su altitud varía entre 348 y 445 m sobre el nivel del mar, con una pendiente media del 10%. Orientación es S-SW. Los suelos son de textura franco-arenosa, desarrollados sobre granito. El clima es oceánico. La precipitación media anual es de 1700 mm. La temperatura media anual es de 14°C.

La cuenca está completamente cubierta por una plantación de *Pinus. pinaster* Ait. También se encuentran presentes *Quercus robur* L. y *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.

La masa tiene una densidad de 330 pies·ha⁻¹ y un área basimétrica de 45 m²·ha⁻¹.

La cuenca está dotada de una estación de aforo con vertedero en V de 90°. La altura sobre la lámina de agua es registrada por medio de un limnógrafo OTT tipo X. Basándose en la distribución estacional de la lluvia y de la esorrentía se

consideró el año hidrológico desde el 1 de Octubre al 30 de Septiembre. Para la monitorización de la precipitación existe una pequeña red de pluviómetros en distintos puntos de la cuenca. Una estación meteorológica registra la información correspondiente de manera continua.

Análisis estadísticos

Para el estudio se seleccionaron 20 individuos que no presentasen deformaciones ni síntomas de ataque de plagas o enfermedades, tratando de representar la variabilidad del arbolado presente en la cuenca. Las principales características del arbolado monitorizado se resumen en la Tabla 1.

La transpiración se midió mediante el uso de sensores de disipación de calor (GRANIER, 1987), que consisten en una sonda calentada de manera continua insertada en el área conductora 12 cm por encima de otra que se mantiene a la temperatura del área conductora. Las sondas se colocaron a 130 cm del suelo, en la cara norte del tronco, minimizando el impacto del calentamiento solar. La zona de inserción de las sondas se cubrió con una carcasa plástica adosada al tronco, revestida de aislante térmico. Las medidas se almacenaron mediante datalogger en intervalos de 10 minutos. Para caracterizar cada individuo se consideraron los valores de densidad de flujo de savia diaria – DFS – (dm³·dm⁻²·día⁻¹). La densidad de flujo media diaria para la masa se estableció como la media aritmética de los 20 árboles monitorizados.

Se establecieron 20 parcelas de 10 m de radio en las que se midió el diámetro normal de todos los individuos de *P. pinaster* para el cálculo del área conductora. Para estimar el área conductora de cada individuo, así como la variación de la DFS en la profundidad de la albura se utilizaron las ecuaciones presentadas por DELZON et al. (2004).

De acuerdo con estudios anteriores sobre densidad de flujo de savia en *P. pinaster* (LOUSTAU et al., 1990, 1996; DELZON et al., 2005), no se encontraron relaciones entre DFS y el diámetro normal de los individuos monitori-

Diámetro 1,30 m (cm)	Altura (m)	Longitud copa (m)	Ancho copa (m)	Espesor corteza (cm)
17,03 (0,89)	12,77 (0,50)	6,51 (0,39)	2,45 (0,23)	2,07 (0,16)

Tabla 1. Características medias de los árboles monitorizados. Entre paréntesis: error estándar

zados. En consecuencia, la transpiración de la cubierta arbórea, E_T ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$), fue calculada como el producto del área conductora de cada subparcela por la media de DFS. La transpiración diaria del dosel arbóreo de la cuenca se estimó como el valor medio diario de la transpiración de las subparcelas consideradas.

Se consideró para los cálculos que la interceptación del arbolado suponía un 25% de la precipitación, de acuerdo con el estudio realizado por GRAS (1993) en esta misma cuenca.

El período de estudio comprende el año hidrológico 2005-2006 (Octubre-Septiembre).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evapotranspiración estimada a partir de la metodología de medición de DFS fue inferior a la estimada a partir del balance hídrico de la cuenca (-21%; Tabla 2). Estas menores estimaciones eran previsibles porque no se realizaron mediciones de evaporación del suelo ni de la transpiración del resto de vegetación presente en la cuenca. En estudios similares, FORD et al. (2007) encontraron diferencias de entre un 7 y un 14% entre las estimaciones de evapotranspiración utilizando ambas metodologías mientras que WILSON et al. (2001) midieron subestimaciones a partir de la DFS de entre el 16 y el 28%.

Otra posible causa de las discrepancias entre los valores de evapotranspiración estimados a partir de DFS y los obtenidos mediante el balance hídrico, en nuestro caso, pudo ser las referentes a la estimación del área conductora y la variación radial de la densidad de flujo de savia en la albura, ya que aunque se utilizaron ecuaciones desarrolladas para la misma no son específicas de nuestra área de estudio. Como señalan FORD et al. (2007), una gran fuente de error al tratar de relacionar los valores de transpiración individual con los obtenidos a nivel de masa, es el no tener en cuenta la variabilidad entre parcelas, así como las

posibles diferencias en densidad y área basal en toda la cuenca. KUMAGAI et al. (2005) mostraron que para una misma especie, la variabilidad de los valores de densidad de flujo de savia fue mayor que la variabilidad encontrada en la variación radial. Esto también pudo ocurrir en nuestro caso, al tratar de representar la transpiración de *P. pinaster* con una muestra de 20 árboles.

Aunque no tenemos estimaciones del error asociado con las mediciones de escorrentía, precipitación o interceptación, estas medidas no están libres de errores. Consecuentemente, cualquier balance hidrológico obtenido como un residuo de precipitación-escorrentía está sujeto también a errores.

A pesar de todas las limitaciones señaladas líneas más arriba, las cifras de evapotranspiración obtenidas en este estudio con ambas metodologías están dentro del margen de error esperable. No es descartable que una buena parte de las diferencias se deban a la transpiración de *Q. robur* que no fue tenida en cuenta en este estudio.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por la Dirección General de I+D de la Xunta de Galicia a través del proyecto PGIDIT05RFO50202PR. Agradecemos muy especialmente la colaboración de Antonio Arellano y José Ramón González en la recolección de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- BORMANN, F.H. & LIKENS, G.E.; 1970. The nutrient cycles of an ecosystem. *Scientific American* 223(4): 92-101.
- BORMANN, F.H. & LIKENS, G.E.; 1979. *Pattern and process in a forested ecosystem*. Springer-Verlag. Heidelberg.

Balance hídrico a escala de cuenca			Balance a escala de individuo			Diferencia (%)
Escorrentía (mm)	Precipitación (mm)	P-E (mm)	Transpiración (mm)	Intercepción (mm)	T + I	
1400	350	1050	478	350	828	-21%

Tabla 2. Comparación entre la evapotranspiración estimadas a partir de la precipitación, escorrentía, interceptación y transpiración

- DELZON, S.; SARTORE, M.; GRANIER, A. & LOUSTAU, D.; 2004. Radial profiles of sap flow with increasing tree size in maritime pine. *Tree Physiology* 24: 1285–1293.
- DELZON, S. & LOUSTAU, D.; 2005. Age-related decline in stand water use: sap flow and transpiration in a pine forest chronosequence. *Agric. Forest Meteorol.* 129: 105–119.
- FORD, C.; HUBBARD, R.M.; KLOEPEL, B.D. & VOSE, J.M.; 2007. A comparison of sap-flux based evapotranspiration estimates with catchment scale water balance. *Agric. Forest Meteorol.* 145: 176–185.
- GRANIER, A.; 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas–fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology* 3: 309–320.
- GRANIER, A.; BIRON, P. & LEMOINE, D.; 2000. Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agric. Forest Meteorol.* 100: 291–308.
- GRAS, J.M.; 1993. *Investigación sobre las relaciones hídricas de las plantaciones de E. globulus en Galicia*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- HATTON, T.J.; MOORE, S.J. & REECE, P.H.; 1995. Estimating stand transpiration in *Eucalyptus populnea* woodland with the heat pulse method: measurement errors and sampling strategies. *Tree Physiology* 15: 219–227.
- HEWLETT, J.D. 1982. *Principles of forest hydrology*. University of Georgia Press. Athens.
- JIMÉNEZ, E.; VEGA, J.A.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; CUIÑAS, P.; FONTURBEL, T.; FERNÁNDEZ, C.; MADRIGAL, J.; HERNANDO, C. & GUIJARRO, M.; 2012. Effects of pre-commercial thinning on transpiration in young post-fire maritime stands. *Forestry* (en prensa).
- KUMAGAI, T.; AUKI, S.; NAGASAWA, H.; MABUCHI, T.; KUBOTA, K.; INOUE, S.; UTSUMI, Y. & OTSUKI, K.; 2005. Effects to tree-to-tree and radial variations on sap flow estimates of transpiration of Japanese cedar. *Agric. Forest Meteorol.* 135: 110–116.
- LOUSTAU, D.; GRANIER, A. & EL HADJ–MOUSSA, F.; 1990. Evolution saisonnière du flux de sève dans un peuplement de pins maritimes. *Ann. For. Sci.* 21: 599–618.
- LOUSTAU, D.; BERBIGIER, P.; ROUMAGNAC, P.; ARRUDA-PACHECO, C.; DAVID, J.S.; FERREIRA, M.I.; PEREIRA, J.S. & TAVARES, R.; 1996. Transpiration of a 64-year-old maritime pine stand in Portugal. 1. Seasonal course of water flux through maritime pine. *Oecologia* 107: 33–42.
- LÜTTSCHWAGER, D.; RUST, S.; WULF, M.; FORKERT, J. & HÜTTL, R.F.; 1999. Tree canopy and herb layer transpiration in three Scots pine with different stand structures. *Ann. For. Sci.* 56: 265–274.
- VERTESSY, R.A.; BENYON, R.G.; O’SULLIVAN, S.K. & GRIBBEN, P.R.; 1995. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. *Tree Physiology* 15: 559–567.
- WILSON, K.B.; HANSON, P.J.; MULHOLLAND, P.J.; BALDOCCHI, D.D. & WULLSCHLEGER, S.D.; 2001. A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. *Agric. Forest Meteorol.* 106: 153–168.
- WULLSCHLEGER, S.D.; HANSON, P.J. & TODD, D.E.; 2001. Transpiration from a multi-species deciduous forest as estimated by xylem sap flow techniques. *Forest Ecol. Manage.* 143: 205–213.