



## CARACTERÍSTICAS DE LA PRECIPITACIÓN NETA EN UNA PLANTACIÓN DE PINUS PINASTER

*Net rainfall patterns in a Pinus pinaster forest*

J. A. Rodríguez Suárez(1,3), F. Díaz-Fierros(2) & B. Soto(3)

- (1) *Departamento de Ciencias de la navegación y de la Tierra, Universidad de A Coruña, Campus de A Zapateira, 15001, A Coruña (España). E-mail: jarsuarez@uvigo.es*  
(2) *Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Santiago, 15706 Santiago de Compostela, A Coruña (España). E-mail: eddfierr@usc.es*  
(3) *Departamento de biología Vegetal y Ciencia del Suelo, Universidad de Vigo, Campus As Lagoas, 32004, Ourense (España). E-mail: edbene@uvigo.es*

**Resumen:** En una plantación de *Pinus pinaster* de 9 años de edad se ha estudiado durante un año las características de la precipitación neta. Para ello se seleccionó una parcela de 10 x 10 metros representativa de la plantación en la que se determinó: a) la cantidad y distribución temporal del agua que alcanza el suelo directamente o tras impactar en la cubierta vegetal (trascolación) mediante la ubicación de 8 colectores conectados a un colector de balancines y b) el agua que llega al suelo escurriendo por los troncos (escorrentía cortical) mediante la colocación en 3 árboles de un anillo de goma ajustado alrededor del tronco y conectado a un colector de balancines.

De los 938 mm de lluvia registrados durante el año de estudio un 23.3 % fue interceptado y evaporado a la atmósfera, la escorrentía cortical representó el 4%, y la trascolación el 72.7 %. La intensidad media de la trascolación, fue un 9 % menor que la intensidad de la precipitación. La escorrentía cortical tuvo una duración temporal superior en un 60 % a la de la precipitación, mientras que la duración de la trascolación fue un 20 % más corta que la de la precipitación.

**Palabras clave:** *Pinus pinaster*, escorrentía cortical, trascolación, interceptación, cubierta vegetal.

**Abstract:** Throughfall and stemflow volume generation was measured over 1 year period in a *Pinus pinaster* stand 9 years old. Throughfall was measured using 8 collectors in a fixed position connected to a tipping bucket rainfall gauge in a representative 10 x 10 m plot of the forest and stemflow was measured in three trees using a rubber ring around the trunk connected to a tipping bucket rainfall gauge. The two tipping bucket rainfall gauges was connected to a data-logger programmed to record data every 5 minutes.

There was an interception loss of 23.3. % of the 938.2 mm of total rainfall observed during the year-long period. Stemflow accounted for 4 % and throughfall accounted for 72.7 %. Observed throughfall intensity was 9.1 % lower than rainfall intensity.



The duration of stemflow was 60% higher than precipitation, whilst throughfall was 20% lower.

**Keywords:** *Pinus pinaster*, stemflow, throughfall, rainfall interception, canopy cover.

## 1. Introducción

La interrelación entre la precipitación y la vegetación es un componente fundamental de los procesos hidrológicos y erosivos que se producen en la superficie de la Tierra. La precipitación constituye la principal entrada de agua en el suelo, suponiendo el primer paso de los procesos hidrológicos que ocurren en una cuenca. La vegetación determina la forma en que se produce esta entrada, siendo su papel inicial interceptar y redistribuir la precipitación modificando su intensidad (Gash et al., 1980).

La cubierta vegetal divide la precipitación en tres componentes: una parte es interceptada y evaporada directamente a la atmósfera (pérdidas por interceptación), otra parte alcanza el suelo tras atravesar las cubiertas vegetales, directamente o tras golpear en las mismas (trascolución) y por último una parte tras ser interceptada por la vegetación alcanza el suelo por el tronco (escorrentía cortical) (David, 2005). El total del agua que alcanza el suelo, trascolución y escorrentía cortical, constituye la precipitación neta (Dunkerley, 2000).

La interceptación que se produce en la vegetación es un componente fundamental dentro del balance hídrico de una cuenca, sobre todo en cuencas forestales donde la interceptación y la transpiración de los árboles suponen una parte fundamental de las pérdidas de agua (Calder, 1992). Por otro lado, la cubierta vegetal también afecta a la capacidad erosiva de la lluvia protegiendo al suelo mediante su sujeción y mitigando la energía cinética de las gotas de lluvia (Keim et al., 2006).

El análisis de la interceptación y redistribución de la precipitación por parte de la vegetación ha sido realizado por numerosos autores, como se puede comprobar en las revisiones sobre el tema realizadas por Levia y Frost (2006), Llorens y Domingo (2007), o Muzylo et al. (2009). En estos trabajos se puede constatar que no existe un método estandarizado para la determinación del agua de trascolución, de la escorrentía cortical, o de la interceptación, debido fundamentalmente a la

variabilidad de las cubiertas vegetales estudiadas y a los diferentes objetivos pretendidos en ellos (Levia y Frost 2006).

En la mayoría de estos trabajos utilizan colectores fijos que son vaciados manualmente cada cierto tiempo, los cuales son colocados bajo la cubierta vegetal para la determinación de la trascolución, o conectados a un anillo de goma que rodea al tronco para recoger la escorrentía cortical. La interceptación es obtenida finalmente por diferencia entre la precipitación registrada y la suma de la trascolución y la escorrentía cortical.

Estos métodos permiten conocer la cantidad total de cada uno de los componentes en los que se reparte la precipitación, pero no aportan información de su distribución en el tiempo. Según la revisión de Llorens y Domingo (2007), en 90 trabajos realizados en España, Francia, Grecia, Italia y Portugal solo el 6 % utilizaron una metodología que permite conocer no solo la cantidad total de cada componente, sino también su distribución temporal, permitiendo un análisis más preciso de la entrada del agua en el suelo.

Este trabajo se plantea como objetivo estudiar las características de la precipitación neta bajo una plantación de *Pinus pinaster*. Para ello se ha analizado durante un año la distribución de la precipitación en trascolución y escorrentía cortical, determinando la cantidad total de cada uno de estos componentes y su distribución en el tiempo. Estas características se han comparado con la precipitación registrada fuera de la plantación con el fin de evaluar el grado de modificación que ejerce la cubierta vegetal sobre la precipitación.

## 2. Materiales y métodos

La parcela de estudio se encuentra en una zona forestal situada a 430-580 msnm en Ourense (Galicia) con una precipitación anual media de 817 mm y una temperatura media anual de 14.7 °C. Se trata de una plantación de *Pinus pinaster* con un

marco de plantación es de 2 x 2.5 m (2000 árboles ha<sup>-1</sup>). El estudio se realizó en el año 2007/08, siendo las características básicas de la plantación durante ese periodo las siguientes: 9 años de edad, altura media de los árboles 4.65 m, diámetro a la altura del pecho 6.0 cm y proyección de la copa 2.99 m<sup>2</sup>.

Para determinar la trascolación a través de las copas de los *P. pinaster* se instalaron un total de 8 colectores de agua de 32 cm de diámetro conectados a un colector de balancines 6506H de Unidata®. El colector empleado es de 125 mL por pulso y fue conectado a un sistema de adquisición de datos de Unidata®, programado para registrar el agua recogida cada cinco minutos en los colectores. De este modo, la superficie colectora bajo la vegetación es de 6440 cm<sup>2</sup> y cada pulso del colector de balancines representa una cantidad de lluvia de 0.194 L m<sup>-2</sup>.

Para el registro de la precipitación que cae sobre la plantación se instalaron en un claro de la plantación 2 pluviómetros de balancines ARG100 de Campbell Sci.® con una resolución 0.2 L m<sup>-2</sup>. Estos pluviómetros también se conectaron a un sistema de adquisición de datos de Unidata® programado para registrar la precipitación caída cada 5 minutos.

El sistema instalado permite que la intensidad de lluvia registrada bajo la cubierta, 0.194 L m<sup>-2</sup>, sea prácticamente igual a la registrada en el exterior de la misma, 0.2 L m<sup>-2</sup>, aunque la superficie colectora bajo la vegetación sea mayor que la situada en el exterior. Este sistema facilita el análisis de los datos obtenidos y la comparación de la intensidad de la lluvia en el exterior de la vegetación con la registrada bajo la misma.

Para la medida de la escorrentía cortical se instaló un anillo de caucho alrededor del tronco de 3 árboles. Estos anillos recogen el agua que fluye por la superficie del tronco hacia el suelo, la cual es conducida hasta un colector de balancines 6506H de Unidata®, calibrado para dar un pulso por cada 10 mL. Al igual que con la precipitación y la trascolación, este colector de balancines está conectado a un sistema de adquisición de datos de Unidata®, programado para el registro de datos cada cinco minutos. Para referir la escorrentía cortical a una superficie se ha dividido el volumen recogido por el marco de plantación.

El análisis estadístico se ha realizado mediante el programa estadístico SPSS 18.0

### 3. Resultados y discusión

La precipitación sobre la plantación durante el año 2007/08 fue de 938.2 mm, siendo la distribución mensual la mostrada en la Tabla 1. La plantación de *Pinus pinaster* durante el año de estudio presentó un área de copa media de 3.0 m<sup>2</sup>, que en un marco de plantación de 2 x 2.5 m supone que las copas de *P. pinaster* ejercen una cobertura del suelo del 59.8%. Para esta cobertura, la cantidad de lluvia que alcanzó el suelo por trascolación a través de las copas fue de 681.8 mm, es decir, el 72.7%, quedando retenida en las cubiertas el 27.3% del total de la precipitación (256.4 mm). En la Figura 1 se muestra la precipitación y trascolación acumulada a lo largo del período de estudio.

La cantidad de agua escurrida por el tronco durante el periodo de estudio fue de 186.7 L/árbol (Tabla 1). Teniendo en cuenta el marco de plantación, la cantidad de agua que alcanza el suelo a través de los troncos representa el 4.0% de la precipitación total (37.3 mm) y el 14.6% de la cantidad de lluvia interceptada. Por tanto, la cantidad de agua evaporada a la atmósfera desde la cubierta vegetal es 219.1 mm, que representa el 23.3% de la precipitación total. La trascolación medida en esta plantación es ligeramente inferior a la encontrada en la bibliografía, mientras que la escorrentía cortical medida es claramente superior. Domingo et al. (1994) en una plantación mixta de pinos de 14 años en Portugal midieron una trascolación del 85.9 % y una escorrentía cortical del 1.5 %, lo que supone que el agua evaporada a la atmósfera fue 12.6%; Belmonte Serrato y Romero Díaz (1999) en *Pinus halepensis* en la Región de Murcia obtuvieron valores del 69,7% de trascolación, 1,6% de escorrentía cortical y 28,7% de Interceptación; y Llorens y Domingo (2007) recogen un valor de 84.8-82.6 % de trascolación y del 0.3-1.5 % en la escorrentía cortical en dos plantaciones de 50 y 60 años y una densidad de 400 y 340 árboles hectárea respectivamente. Las diferencias con los resultados encontrados en este estudio probablemente se deben a las diferentes características de la plantación, densidad y edad de los árboles, y a la diferente cobertura del suelo en ellas.

Tabla 1. Cantidades mensuales de precipitación (P) y trascolación (Tr) a través de las cubiertas y escorrentía cortical (EC) en L árbol<sup>-1</sup> y mm durante el año 2007/08.

	Oc.	No.	Di.	En.	Fe.	Ma.	Ab.	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Se.	Anual
<b>P (mm)</b>	83.2	48.2	165.6	75.4	47.8	106.8	20.4	16.4	50.2	60.0	179.8	84.4	<b>938.2</b>
<b>Tr (mm)</b>	67.3	36.5	123.4	57.4	32.4	72.4	11.8	6.8	35.3	49.9	132.5	56.1	<b>681.8</b>
<b>EC (L árbol<sup>-1</sup>)</b>	19.7	7.4	42.1	12.1	7.9	20.7	3.5	0.9	5.4	9.3	31.8	25.9	<b>186.7</b>
<b>EC (mm)</b>	3.9	1.5	8.4	2.4	1.6	4.1	0.7	0.2	1.1	1.9	6.4	5.2	<b>37.3</b>

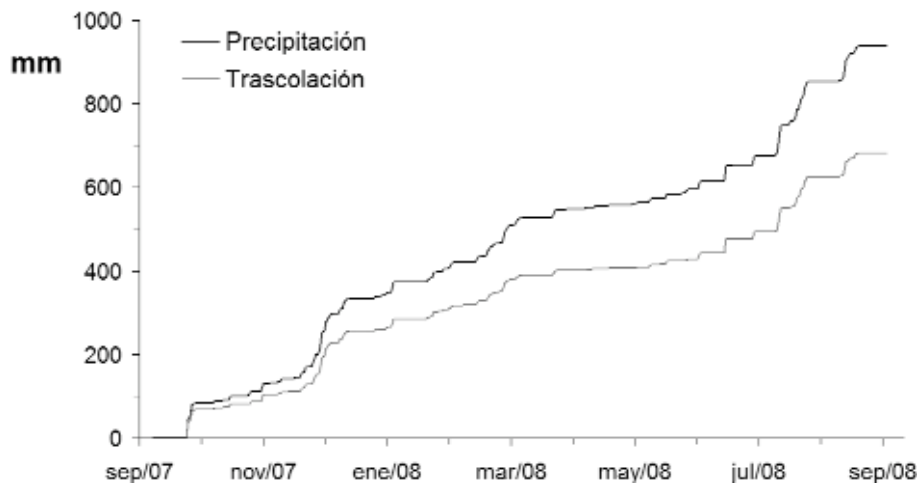


Figura 1.- Precipitación y trascolación acumulada (mm) durante el período de estudio.

La cubierta arbórea de *Pinus pinaster* mediante la interceptación, además de modificar la cantidad de agua que entra en suelo y queda disponible para la vegetación, también modifica la intensidad de la precipitación. Este hecho presenta una especial importancia dado que los procesos de escorrentía superficial ligados a los flujos hortonianos, así como los procesos de desagregación del suelo están vinculados, entre otros factores, a la intensidad de la precipitación.

Los valores de intensidad media mensual de la precipitación y de la trascolación a través de las copas fueron de 3.71 mm/h y 3.38 mm/h respectivamente ( $p < 0.001$ ), Tabla 2, lo que supone una reducción del 9.1%. La buena relación lineal existente entre ambas intensidades,  $R^2$  de 0.91, y la pendiente de la recta de regresión, pendiente igual a 1.02, indican que la reducción en la intensidad de trascolación se mantiene constante a pesar del aumento de la intensidad de precipitación.

Durante un evento de precipitación la mayor reducción de la intensidad se produce principalmente al comienzo del episodio de lluvia y en eventos de intensidad media-baja. En ellos, las copas de los pinos retienen un mayor porcentaje de la lluvia provocando un mayor descenso en la intensidad. Según aumenta la intensidad de precipitación, el porcentaje de precipitación retenido disminuye progresivamente reduciéndose la diferencia entre ambas intensidades.

Respecto a la escorrentía cortical, aunque este representa una pequeña proporción del volumen de agua que alcanza el suelo, su comportamiento difiere sustancialmente del observado en la trascolación. La formación del flujo a través del tronco necesita que el evento de precipitación tenga una determinada intensidad y duración para que la capacidad de almacenamiento de agua de cada árbol se supere y pueda comenzar la escorrentía cortical. En consecuencia, existe un periodo de retraso desde el comienzo de la precipitación hasta

Tabla 2. Intensidad de la precipitación ( $I_p$ ) y de la trascolación ( $I_{per}$ ) a través de las cubiertas durante el año 2007/08, expresadas en mm/h.

	Oc.	No.	Di.	En.	Fe.	Ma.	Ab.	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Se.	Anual
$I_p$	3.70	3.13	4.20	3.78	3.19	3.29	4.44	3.28	3.98	4.84	3.30	3.43	<b>3.71</b>
$I_{per}$	3.42	3.10	3.78	3.52	2.68	3.00	4.18	2.54	3.68	4.50	3.04	3.07	<b>3.38</b>

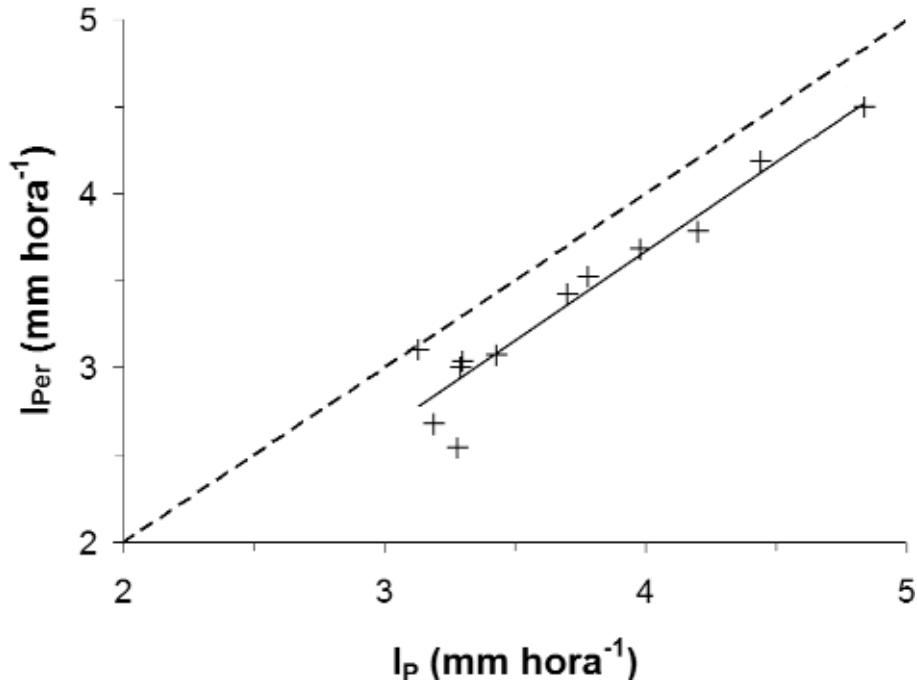


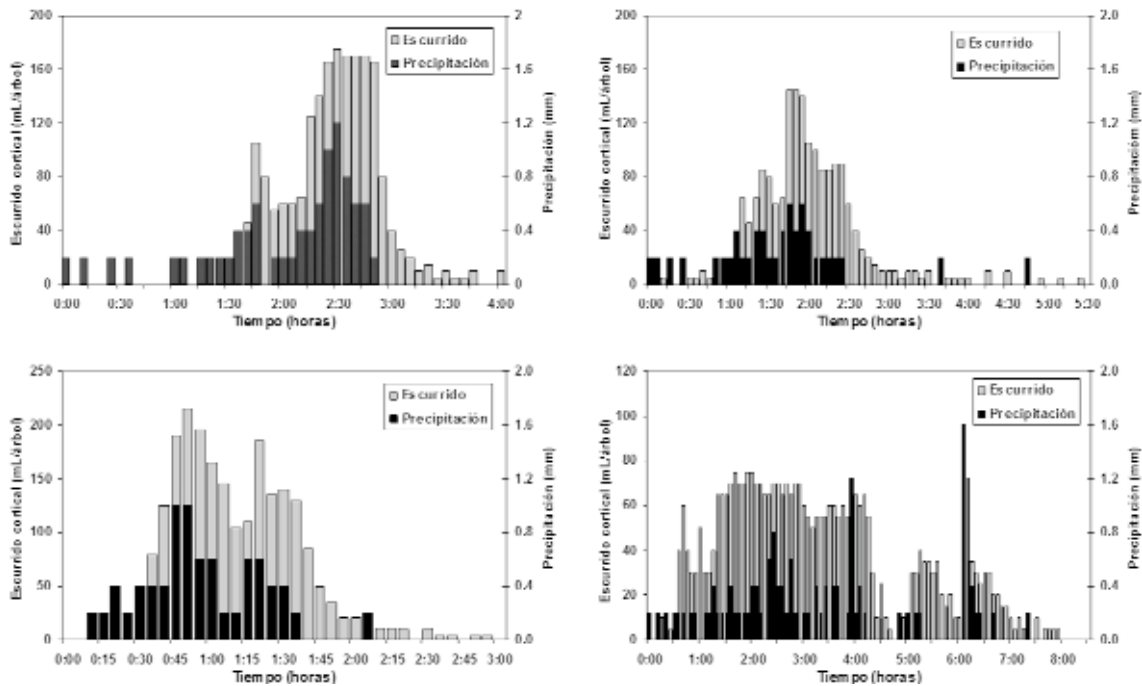
Figura 2. Relación entre la intensidad mensual de precipitación y de trascolación.

que comienza la escorrentía cortical. Del mismo modo, una vez finalizada la lluvia la escorrentía continúa durante un periodo importante de tiempo hasta que el árbol agota toda el agua que tiene retenida (Figura 3).

El periodo de tiempo que duró la precipitación durante el año de estudio fue de 252.8 horas. Comparativamente la trascolación a través de las copas duró 201.7 horas, un 20.2 % inferior, debido a que durante los periodos de baja intensidad la cantidad de agua que atraviesa la cubierta es baja y el goteo desde las hojas se produce una vez se ha saturado su capacidad de retención de agua, que en algunos casos puede que no se llegue a alcanzar. En eventos de intensidad media-alta no se encontraron diferencias significativas entre la duración de la trascolación y la precipitación.

Sin embargo, el periodo de tiempo durante el que se produce escorrentía cortical, 407.2 horas, es un 60 % mayor que la duración de la precipitación. Al terminar un evento de lluvia, la trascolación cesa rápidamente quedando una cierta cantidad de agua retenida en el árbol, fundamentalmente en las copas. Una parte de esta agua será devuelta a la atmósfera por evaporación, y otra seguirá fluyendo lentamente por hojas, ramas y tronco en forma de escorrentía cortical. Este proceso llega a prolongarse durante varias horas desde el fin de la precipitación, explicando su mayor duración. Además, la rugosidad del tronco de los pinos disminuye considerablemente la velocidad del flujo, prolongando considerablemente el tiempo de agotamiento. Este flujo de agua, lento y prolongado, favorece la entrada de agua en el suelo y aumenta su disponibilidad para la vegetación.

Figura 3. Distribución de la escorrentía cortical en 4 eventos de lluvia registrados en la parcela de *Pinus pinaster* durante el año 2007/08.



#### 4. Conclusiones

La cubierta formada por una plantación de 2000 árboles  $\text{ha}^{-1}$  de *Pinus pinaster* de 9 años de edad intercepta un 23.3 % de la precipitación, trascolando a través de sus copas un 72.7% de la lluvia y escurriendo un 4 % por el tronco. Esto supone que el desarrollo de la plantación provoca un descenso en la entrada de agua en el suelo del 23.3 % (porcentaje de agua que es interceptada por la cubierta arbórea y es devuelta a la atmósfera directamente), y por tanto reduce notablemente la disponibilidad hídrica en el mismo.

Además, la cubierta altera la intensidad de la lluvia que atraviesa la plantación, pasando de una intensidad de lluvia de  $3.71 \text{ mm hora}^{-1}$  a  $3.38 \text{ mm hora}^{-1}$  bajo la cubierta, lo que representa un descenso del 9.1%. La mayor reducción se produce principalmente en los eventos de lluvia de intensidad baja-media y al comienzo del episodio de lluvia, igualándose ambas según se va superando la capacidad de almacenamiento de los árboles.

La plantación de *Pinus pinaster* reduce el tiempo de precipitación bajo la cubierta en un 20 %, siendo este descenso mayor en eventos de baja intensidad. Sin embargo, el período durante el que se produce la escorrentía cortical supera en un 60 % al tiempo de duración de la precipitación.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco de un proyecto de investigación subvencionado por la Consellería de Innovación, Industria e Comercio, Xunta de Galicia (PGIDIT04RFO383007PR). La contribución del primer autor ha sido posible gracias a una beca de Formación de Personal Investigador FPI del Ministerio de Educación.

#### Referencias

Belmonte Serrato, F. Y Romero Díaz, A. (1999). *Interceptación en algunas especies de matorral mediterráneo*. Cuadernos

- de Ecología y Medio Ambiente. Universidad de Murcia, 202 pp.
- Calder, I.R. (1992). Hydrologic effects of land-use change. In: Maidment, D.R., (Ed), Handbook of Hydrology, pp.13.1-13.50.
- David, J., Valente, F., Gash, J. (2005). Evaporation of intercepted rainfall. In: Anderson, M. (Ed.), Encyclopedia of Hydrological Sciences. John Wiley and Sons. Ltd., pp. 627–634 (Chapter 43).
- Domingo, F., PuigdeFábreas, J., Moro, M.J. & Bellot, J. (1994). Role of vegetation cover in the biogeochemical balances of a small afforested catchment in southeastern Spain. *Journal of Hydrology*, 159, 275–289.
- Dunkerley, D. (2000). Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies. *Hydrological Processes*, 14, 669–678.
- Gash, J.H.C., Wright, I.R. & Lloyd, C.R. (1980). Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. *Journal of Hydrology*, 48, 89-105.
- Keim, R.F., Skaugset, A.E. & Weiler, M. (2006). Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity. *Advances in Water Resources*, 29, 974-986
- Levia, D. & Frost, E. (2006). Variability of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. *Progress in Physical Geography*, 30, 605–632.
- Llorens, P. & Domingo, F. (2007). Rainfall partitioning by vegetation under mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 335, 37–54.
- Muzylo, A., Llorens, P., Valente, F., Keizer, J.J., Domingo, F. & Gash, J.H.C. (2009). A review of rainfall interception modelling. *Journal of Hydrology*, 370, 191-206.