

Influencia de la vegetación en el balance hídrico superficial de la cuenca hidrológica de “El Cabril”

Lourdes Luna Ramos

Ingeniera de Montes. Doctorando de la Universidad de Córdoba

lourdes.lunaramos@gmail.com

M^a Fátima Moreno Pérez

Dra. Ingeniera Agrónoma. Profesora Contratada Doctora de la Universidad de Córdoba

mfatima@uco.es

José Roldán Cañas

Dr. Ingeniero Agrónomo. Catedrático de la Universidad de Córdoba

jroldan@uco.es

Ignacio Cienfuegos Hevia

Geólogo. Departamento Ingeniería de suelos de ENRESA

icih@enresa.es

1. Introducción

El estudio de la interceptación de la lluvia por el dosel de la vegetación tiene gran importancia en el balance hídrico de las cuencas, debido a que gran parte retorna a la atmósfera en forma de evaporación. La vegetación constituye un factor regulador en los procesos hidrológicos porque actúa de barrera capaz de interceptar las precipitaciones, variando su flujo y distribución bajo el área de su cobertura. Su influencia adquiere mayor importancia en masas forestales, donde provoca cantidades importantes de interceptación de las precipitaciones (Huber y Oyarzún, 1983), así como también disminución de los caudales (Calder 1992, Iroumé y Huber 2000). Una parte del agua de lluvia es interceptada por el dosel (interceptación) y otra parte llega al suelo conducido por el tronco (escorrentía cortical) o cayendo directamente desde las ramas o las hojas (trascología), formando ambas lo que se denomina precipitación neta.

Algunas características de la estructura de la vegetación como la edad, la orientación y forma de las hojas, el ángulo de las ramas, características de la corteza, etc., parecen tener una correlación directa con los diferentes flujos en los que se distribuye el agua (Crockford y Richardson, 2000). Respecto a las características de las precipitaciones, Huber y Oyarzún (1983) indican que el agua interceptada por la vegetación también depende de la intensidad y duración de las precipitaciones.

La presencia o ausencia de vegetación no solamente afecta la cantidad de agua precipitada que alcanza el nivel del suelo, sino también al contenido de humedad en el suelo y a la escorrentía superficial (Savanije, 2004; Zapata y Manzano, 2008). Parte de la precipitación es interceptada por la vegetación, otra parte cae al suelo y dependiendo de las condiciones de cobertura del suelo, del tipo de suelo y de la pendiente del terreno, esta agua puede quedar encharcada, escurrir superficialmente o infiltrarse.

Se ha comprobado la importancia de interceptación en la heterogeneidad de la humedad del suelo a pequeña escala, pero también, en la respuesta hidrológica de las cuencas forestales a escala de ladera (Glover y Gwynne, 1962; Durocher, 1990). Existe una redistribución de la precipitación hacia el centro de la planta forzada por la arquitectura de las ramas lo que hace posible que la infiltración disminuya conforme aumenta la distancia al tronco (Zapata y Manzano, 2008). Gesper y Holowaychuck (1971), dicen que la separación de la precipitación neta en trascología como flujo disperso, y la escorrentía cortical como flujo concentrado, influye en la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos forestales. Otro de los aspectos que se derivan de la distribución espacial de la humedad es el relacionado con la escorrentía superficial. La saturación más rápida de los sectores que reciben más agua, supone un inicio más rápido de la escorrentía superficial, lo que

puede llevar al establecimiento de áreas preferenciales de inicio de procesos de erosión hídrica (Belmonte y Romero, 1999).

Los estudios en cuencas experimentales (Latron, 2003; Nadal-Romero et al., 2008) han proporcionado datos de gran valor para evaluar de manera objetiva el efecto del tipo de cubierta vegetal sobre la respuesta hidrológica. La percepción clásica de que el bosque incrementa los recursos hídricos ha sido un tema seriamente cuestionado por los resultados científicos obtenidos en la segunda mitad del siglo XX, ya que la presencia de una cobertura de bosque supone, como así se ha demostrado, una reducción de la cantidad de agua disponible para la escorrentía. Más recientemente Andréassian (2004) puso de manifiesto que el contraste entre los suelos desnudos y los cubiertos por vegetación es lo que mejor explica las diferencias en la respuesta hidrológica a escala de cuenca. Trabajos anteriormente realizados en especies forestales, tanto arbóreas y como arbustivas, inciden en la importancia de la presencia de cobertura vegetal en el balance hídrico a escala de cuenca. Por citar algún ejemplo, Dunne y Leopold (1978) observaron que la interceptación para un bosque de coníferas puede llegar a tener valores de hasta un 20-30% de la precipitación incidente.

En las regiones áridas o semiáridas existen pocos estudios relacionados con la vegetación mediterránea y su relación con los procesos hidrológicos. Además, en la mayoría de los trabajos se ha caracterizado la interceptación mediante simuladores de lluvia en laboratorio, tanto en especies arbóreas como arbustivas (Zapata y López, 2009; Belmonte y Romero, 1998).

El objetivo general que se pretende alcanzar en el presente estudio es el de evaluar in situ la cantidad y distribución de agua de lluvia a través del proceso de interceptación por el dosel arbóreo y arbustivo presente en la cuenca hidrológica de “El Cabril” (Córdoba). En este sentido se pretende cuantificar los flujos en los que se distribuye el agua: precipitación incidente, trascolación y escorrentía cortical y estimar la precipitación interceptada.

2. Área de estudio

El estudio se ha llevado a cabo en la finca donde se sitúa el Centro de Almacenamiento de residuos radiactivos de *El Cabril*. La finca se encuentra en el sector Occidental de la provincia de Córdoba, en el término municipal de Hornachuelos, y fisiográficamente corresponde al extremo meridional de la Sierra Albarrana (Figura 1).

Sus coordenadas geográficas según el sistema de proyección UTM de la cartografía del Instituto Geográfico Nacional son X = 288.000 e Y = 4.218.000. La climatología del área de estudio está determinada por dos de sus principales características geográficas: su mediana altitud (500-700 m) y su relativa continentalidad. Con un clima mediterráneo sub-continental, se caracteriza por presentar verano e invierno bien marcados, con temperatura media del mes más frío entre 6 y 10°C, y temperatura media del mes más cálido por encima de 22°C. La temperatura media anual de la zona está próxima a los 17°C. La precipitación anual media está en torno a los de 480 mm., aunque con acusadas variaciones mensuales e interanuales siendo la más alta en el invierno y la más baja en el verano.

El relieve de la zona de estudio es medianamente abrupto, presentando una pendiente media de 30%. Los mayores desniveles se localizan en las laderas de las sierras cuarcíticas y las que son originadas por la acción erosiva de los arroyos tributarios del Río Bembézar. La zona se localiza en la cuenca alta del Río Bembézar, afluente del Guadalquivir por su margen derecha, y limitada al Norte por la divisoria de aguas de los Arroyos del Madroño y de los Morales, al sur por el Río Bembézar, al Este por el Arroyo de la Montesina y al Oeste por la línea de cumbres de la Sierra Albarrana.

Las formaciones vegetales están dominadas por un matorral esclerófilo mediterráneo con extensos jarales de *Cistus ladanifer* acompañados por retama (*Retama sphaerocarpa*), lentisco (*Pistacea lentiscus*), labiérnago (*Phillyrea angustifolia*), torvisco (*Daphne gnidium*), cantueso (*Lavandula stoechas*) y romero (*Rosmarinus officinalis*). Gran extensión en las cabeceras de los cursos fluviales de la cuenca está ocupada por repoblaciones de *Pinus pinea*, realizadas a principios de la década de los 70. La accidentada orografía de la zona de estudio y los fuertes buzamientos de los niveles determinan la ausencia de suelos bien desarrollados. Los suelos, de textura franco-arenosa, son pocos profundos, con un espesor que no supera los 30 cm en la mayor parte de la cuenca.

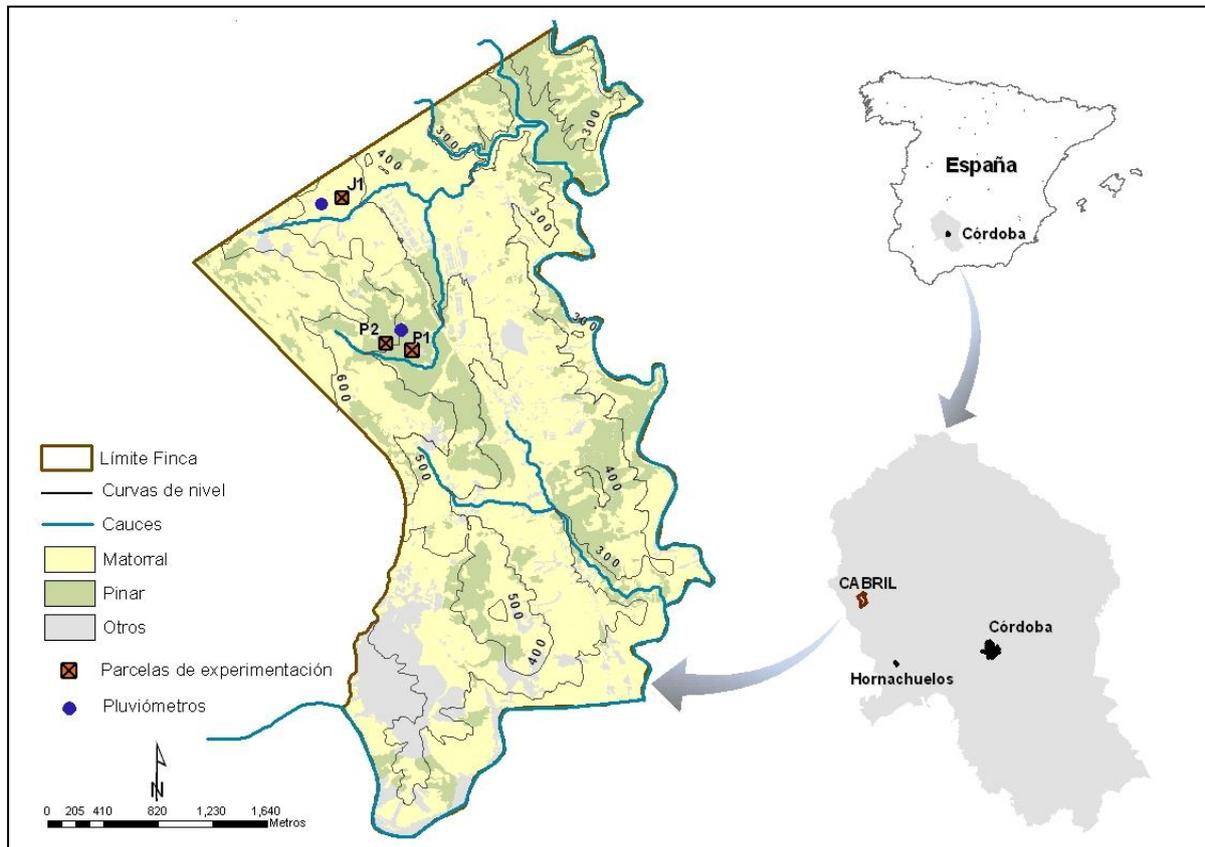


Figura 1. Localización de la finca de El Cabril

3. Materiales y métodos

La cantidad de precipitación interceptada por el dosel ha sido determinada indirectamente de la diferencia entre la precipitación incidente y la lluvia que pasa a través del dosel de la vegetación, la cual es dividida en el flujo de trascolación y el flujo cortical. De manera que la ecuación que expresa la relación entre la cantidad de precipitación y su balance en el dosel vegetal es:

$$P = I + Tr + Ec \quad (1)$$

siendo: P la precipitación en mm; I la interceptación en mm; Tr la trascolación en mm; y Ec la escorrentía cortical en mm.

El agua de lluvia que llega al suelo escurre sobre su superficie (denominada escorrentía superficial, Q_{esc}), se evapora (denominada evaporación desde el suelo, Es) o penetra en él (denominada infiltración, Inf). Por ello, la relación entre la cantidad de agua que llega al suelo desde la vegetación y su balance en el suelo es la siguiente:

$$Tr + Ec = Q_{esc} + Inf + Es \quad (2)$$

Se ha diseñado e instalado la instrumentación necesaria para medir los componentes del balance hídrico en las especies más abundantes en zona de estudio, *Pinus pinea* y *Cistus ladanifer*. Las mediciones se basaron en el análisis de eventos de lluvia individuales desde Octubre de 2010 hasta mayo de 2011. Después de cada evento, se midió la precipitación en un área abierta, trascolación, escorrentía cortical y escorrentía superficial en ambas coberturas vegetales. Además, se ha medido variaciones de humedad en el suelo bajo la copa de los pinos para determinar la influencia de la distribución de la trascolación y la escorrentía cortical en la infiltración.

Para registrar la precipitación incidente se han instalado dos pluviómetros de cazoleta basculante marca *Eijkelkamp* (*Eijkelkamp* Agrisearch Equipment BV, Nijverheidsstraat 30, 6987 EM Giesbeek, The Netherlands) de 0.1 mm de precisión. Los datos de precipitación se registran cada 10 minutos en un datalogger e+® RAIN.

Los pluviómetros se localizan en un claro de la vegetación con la distancia necesaria a los árboles para que no interfieran en las medidas.

Los instrumentos de medida de escorrentía cortical y trascolación se dispusieron en parcelas previamente seleccionadas. Para establecer el balance de agua en *P. pinea* se han elegido dos parcelas de experimentación situadas en dos individuos de características dasométricas muy similares. Por otro lado, en *C. ladanifer* se ha implantado una parcela de experimentación en un individuo que reunía las características medias de este estrato arbustivo (Tabla 1). De esta forma, quedó establecido el diseño experimental de la siguiente manera: parcela P1, medida de escorrentía cortical y trascolación en pino; parcela P2, medida de escorrentía cortical escorrentía superficial y contenido de humedad en el suelo en pino; parcela J1, medida de escorrentía cortical y trascolación en jara.

Tabla 1. Características de las parcelas experimentales

	P1	P2	J1
Altura (m)	7.9	8	1.9
Proyección copa (m ²)	33.1	34.1	0.8
Altitud (m)	465	470	420
Pendiente (%)	28	27.6	40
Orientación	Sureste	Sureste	Sur
Índice de área foliar (m ² m ⁻²)	3.8	3.5	1.8

Cada una de las parcelas de *P. pinea* se han cerrado lateralmente con una capa impermeable de 2 m. de altura y con el mismo perímetro de la proyección de la copa del árbol, desde el suelo hasta el comienzo de la copa. La función de esta capa es impedir que la lluvia lateral penetre en el interior de la parcela. Para medir la escorrentía cortical se ha colocado una manguera cortada longitudinalmente que se ha sellado con silicona alrededor del tronco en forma de espiral. Esta manguera recoge el agua que fluye por el mismo hasta un depósito de pequeñas dimensiones. Para medir la trascolación en la parcela P1, se ha instalado superficialmente una capa impermeable. El volumen de trascolación que se genera después de cada evento de lluvia, se recoge en cuatro depósitos de 200 litros de capacidad, conectados entre sí. Al no permitir que el agua de lluvia se infiltre en el suelo se obtiene la interceptación como cierre del balance en la ecuación (1) ($I = P - Tr - Ec$). En la parcela P2 se ha medido el volumen de Qesc, recojiéndolo en cuatro depósitos de 200 litros conectados entre sí y midiéndose el volumen de agua almacenada después de cada evento de lluvia. En esta parcela, también se ha recogido el volumen de SF para comparar las medidas con las tomadas en la parcela P1; y además, se han instalado 6 sondas de humedad SM200 de *Delta-T* (*Delta-T Devices Ltd*, 130 Low Road, Burwell, Cambridge, UK) distribuidas aleatoriamente, que registran el contenido de agua de la capa superficial del suelo.

Otros dispositivos de medida de *Tr* y *Ec* se han instalado en la parcela de *Cistus ladanifer* con el fin de adaptarlos a la arquitectura de la planta. Para medir la escorrentía cortical, se ha colocado un recipiente alrededor del tronco sellado con silicona, que recoge el agua que fluye por las ramas hacia el tronco, esta agua es conducida a un depósito colector de 12 litros. La medida de *Tr* se realiza recojiéndose una caja de plástico de 70 x 65 cm y conectada a un depósito colector de 25 litros. Y de forma similar a las parcelas de *P. pinea*, se ha impermeabilizado lateralmente la parcela para impedir la entrada de la lluvia lateral.

4. Resultados y discusión

Para el estudio se han utilizado los datos de los episodios de precipitación entre el 14 de Octubre de 2010 y el 10 de Mayo de 2011. Hay que destacar que durante este periodo se ha dado un comportamiento pluviométrico especial, ya que la precipitación en la cuenca ha estado muy por encima de la media, siendo de 710 mm. Si se compara este dato con la precipitación media registrada en la estación meteorológica del Cabril durante este mismo periodo en los 20 años anteriores, ha supuesto un 50% más que la media.

Se han registrado un total de 109 eventos de lluvia con intensidad mayor a 0.2 mm/hr, y media de 1.93 mm/hr. La intensidad máxima registrada en 10 y 60 minutos fueron 68.4 mm/hr y 15.8 mm/hr, respectivamente. Se ha correlacionado la precipitación incidente y los flujos de trascolación y escorrentía cortical en ambas especies (Figuras 2 y 3) y se ha encontrado unos elevados coeficientes de correlación, 0.89 y 0.92 en *P. pinea* y

C. ladanifer, respectivamente. El promedio del porcentaje de trascolación en pino es 63.47%, con un rango de 4.9 a 83.6% y una desviación estándar del 23.5%; y en jara es 66.81%, variando desde el 17.87 al 86.64% y desviación estándar de 14.4%.

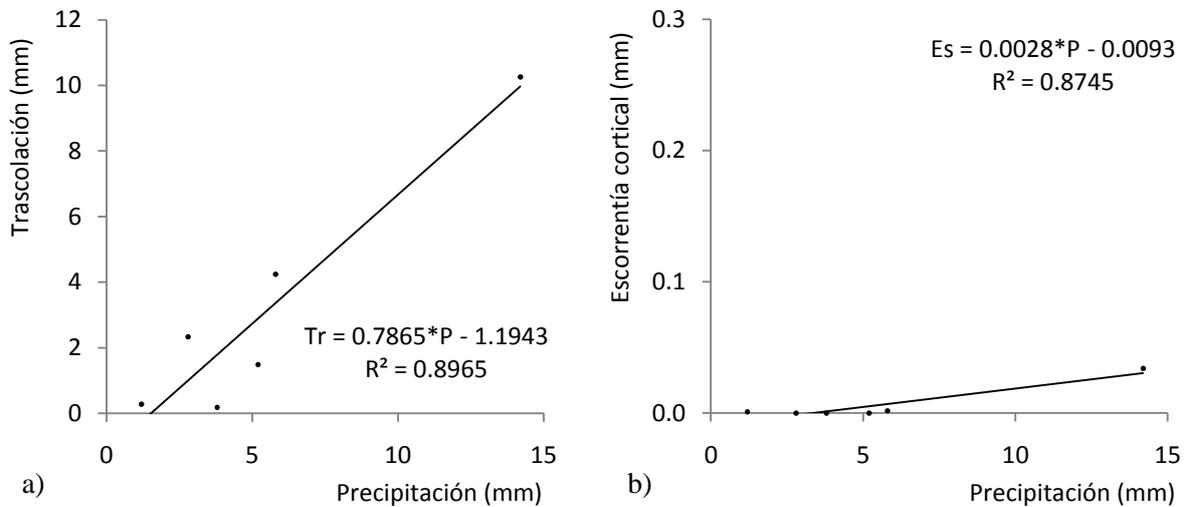


Figura 2. Relaciones entre la precipitación incidente y (a) la trascolación, (b) la escorrentía cortical en *Pinus pinea*.

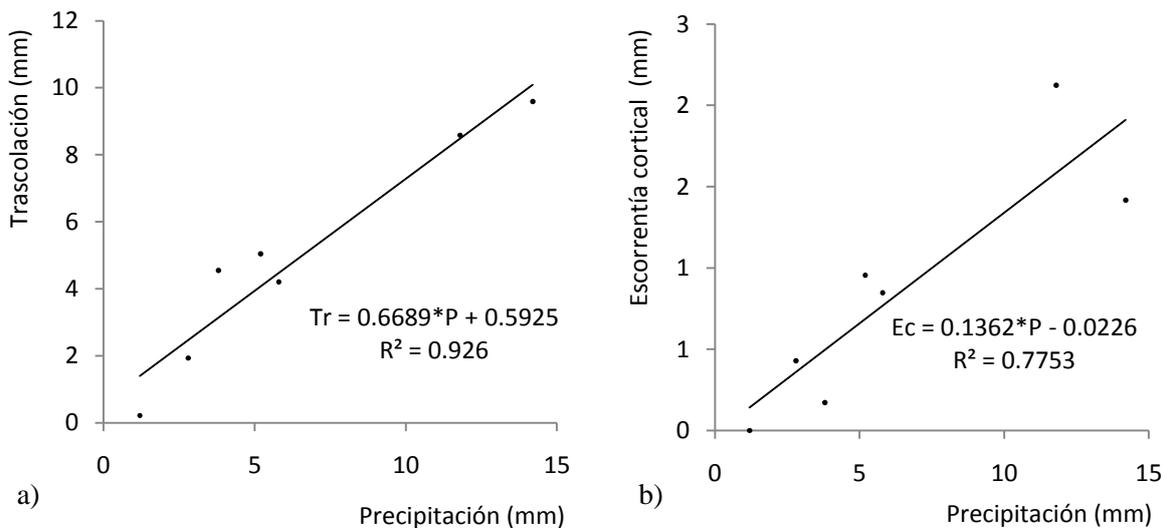


Figura 3. Relaciones entre la precipitación incidente y (a) la trascolación, (b) la escorrentía cortical en *Cistus ladanifer*.

Con respecto a la escorrentía cortical, también se ha observado un coeficiente de correlación elevado en *P. pinea* ($R^2=0.87$), y algo inferior para *C. ladanifer* ($R^2=0.77$). Esta variable tiene un efecto muy pequeño sobre la precipitación incidente en *P. pinea*, obteniéndose un promedio de 0.17% y un rango variación de 0-0.27% con una desviación estándar de 0.11%. Llorens et al. (1997) obtuvieron también valores muy bajos de escorrentía cortical en *Pinus sylvestris*, entre 0.5% y 2% de la precipitación total incidente. Por otro lado, el porcentaje de escorrentía cortical en jara adquiere mayor importancia alcanzando tasas entre 0 y 18%, y un promedio de 12.86%. Este valor es relativamente superior al 5.6% obtenido para esta misma especie por García-Estrigana et al. (2010). Estudios realizados en clima mediterráneo, revelan que la vegetación arbustiva alcanza tasas de escorrentía cortical de 4.4% a 42.5% y la vegetación arbórea de 0.3% a 20.4% (Llorens y Domingo, 2007). La diferencia de los valores de escorrentía cortical para ambas especies radica en la influencia que sobre este flujo ejerce la morfología y la arquitectura de la planta. Levia y Frost (2003) han observado que la escorrentía cortical

es más importante cuando la estructura de la planta posee forma de cono o embudo, como es el caso de la jara, ya que las ramas orientadas verticalmente con inserción mayor a 45° medidos sobre la horizontal favorecen el flujo de agua de las ramas hacia el tronco.

En las Figuras 4 y 5 se muestran las pérdidas de agua por interceptación (I) en ambas especies vegetales por eventos de precipitación en valor absoluto (mm) y como porcentaje de la precipitación incidente (%). Para el ajuste de las pérdidas por interceptación en valor absoluto se ha utilizado una relación lineal, representando la mejor opción para la descripción de las pérdidas por interceptación (mm) en función de la precipitación incidente. Por otro lado, la relación inversa entre las pérdidas relativas de agua por interceptación (%) y la precipitación mencionada anteriormente, ha revelado que la función logarítmica es la más adecuada al tener el coeficiente de correlación más elevado. En este sentido, Crockford y Johnson (1983) y Crockford y Richardson (2000) utilizaron curvas no lineales al relacionar las pérdidas por interceptación en valor absoluto y la precipitación incidente. Por su parte, Llorens et al. (1997) señalaron que la relación entre la interceptación y la precipitación es curvilínea, mientras que cuando si se dispone de registros continuos de precipitación esta relación tiende a la linealidad.

Las pérdidas totales de interceptación en el periodo estudiado alcanzaron los 142.41 mm en *P. pinea* y 101.7 mm en *C. ladanifer*, aproximadamente el 36.36% y el 20.33% del total de precipitación, respectivamente. El porcentaje de interceptación en pino alcanza valores muy elevados cuando las precipitaciones son bajas y disminuye en forma logarítmica a medida que aumenta el volumen de precipitación. Los elevados valores de I (%) en pino para eventos de baja magnitud tienen su explicación en que las primeras gotas de lluvia se ocupan en gran medida de la humectación de la superficie de las copas, disminuyendo la cantidad de agua que alcanza el suelo. Estos resultados son ligeramente mayores que los mostrados por Crockford y Richardson (1990) en *Pinus radiata* (18.3%) y más concordantes con los obtenidos en clima mediterráneo por Llorens et al. (1997) en *Pinus sylvestris*, con una interceptación de 13-49%.

En contraste, se aprecia que las pérdidas por interceptación en jara tienen un comportamiento muy diferente al anterior (Figura 5). En esta especie, la interceptación es prácticamente nula cuando los eventos de precipitación son de escasa entidad y aumenta de forma logarítmica a medida que se incrementa la precipitación. Este hecho pueden revelar la influencia de la resina secretada por este tipo de jara, actuando como repelente frente a las primeras gotas de lluvia. A pesar de esto, la cantidad de precipitación interceptada por *C. ladanifer* es mayor que el 6.5% obtenido por Belmonte (2001) en dos arbustos del matorral mediterráneo semiárido (*Thymus vulgaris* y *Rosmarinus officianles*) mediante lluvia simulada.

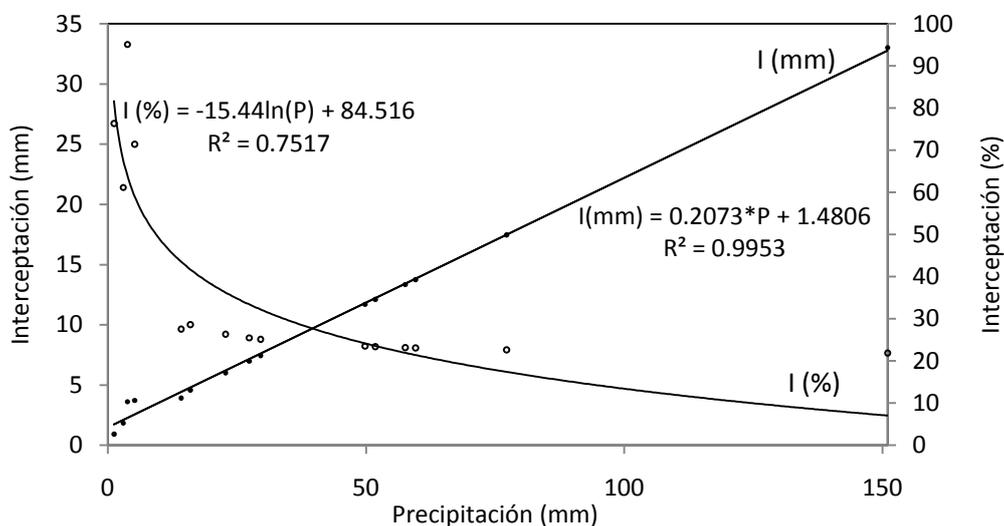


Figura 4. Relación entre las pérdidas por interceptación y la precipitación incidente en *Pinus pinea*.

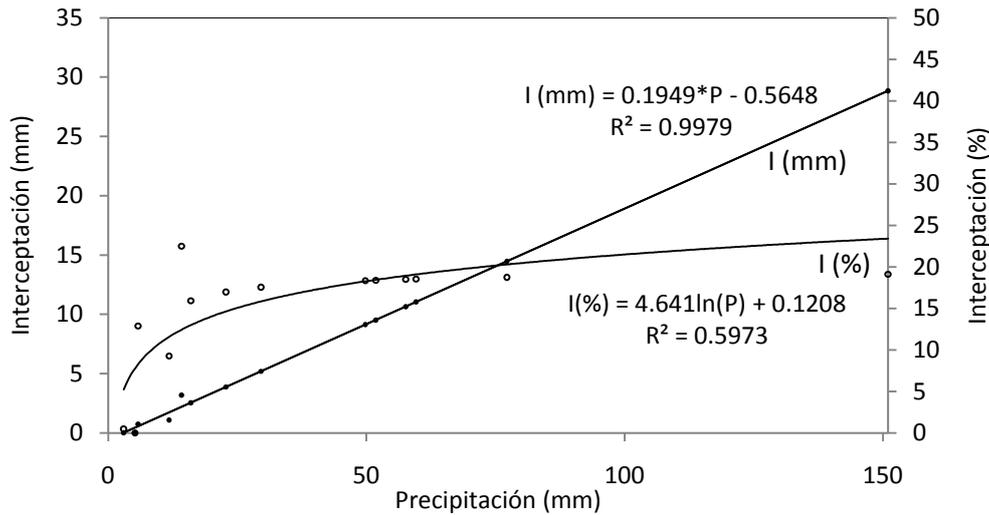


Figura 5. Relación entre las pérdidas por interceptación y la precipitación bruta en *Cistus ladanifer*.

Es necesario puntualizar que el factor continuidad en los eventos de precipitación también está involucrado en esta relación. A ello se deben las elevadas diferencias entre las tasas mínimas y máximas de cada uno de los flujos (trascolación y escorrentía cortical). Pero las observaciones que se han recogido en este estudio, y en general el tipo de lluvia esperable en este clima, no son suficientes para dividir eventos en continuos y discontinuos para llevar a cabo este análisis. Las tormentas de largo periodo, por lo general tienen más huecos sin precipitación (evento discontinuo) y el dosel se satura o se seca según la discontinuidad de la lluvia, incrementando las pérdidas por evaporación.

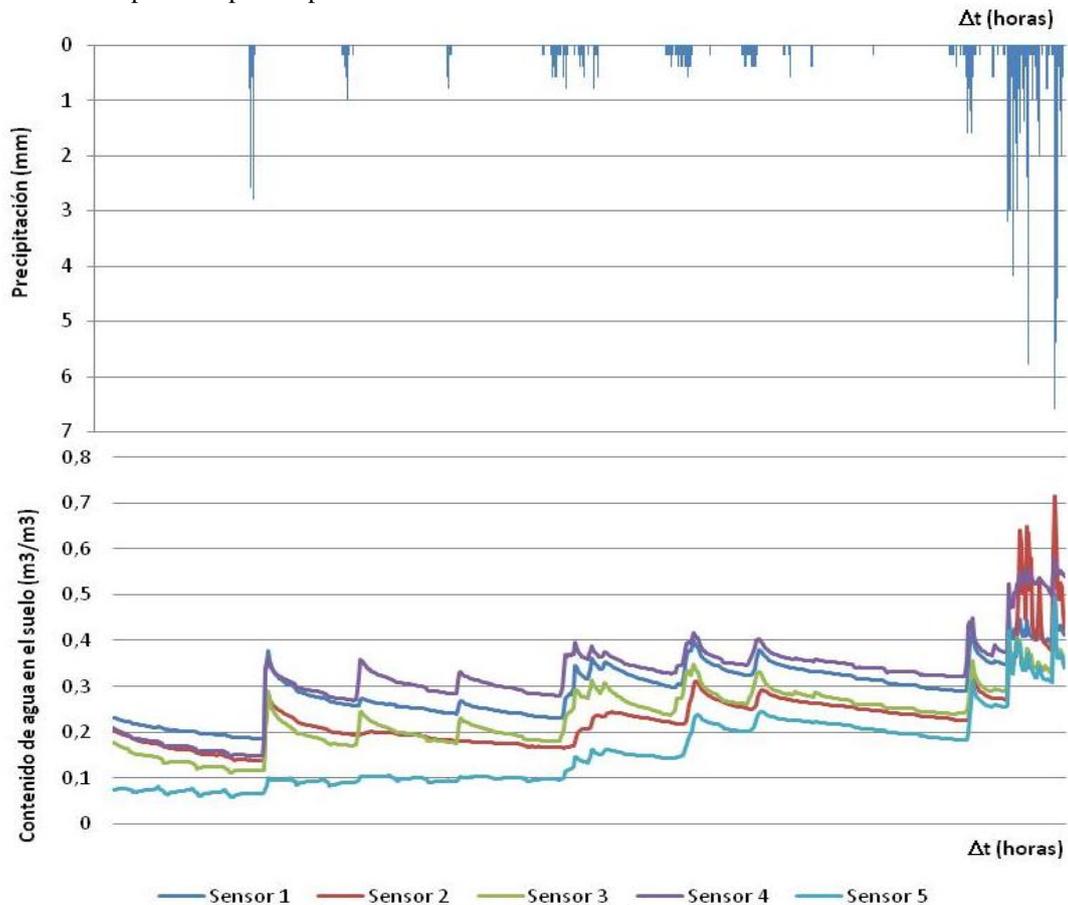


Figura 6. Variación del contenido de agua en el suelo (m³/m³) durante las lluvias ocurridas desde el 10 de noviembre hasta el 8 de diciembre de 2010.

El contenido de agua del suelo es buen indicador del nexo entre la vegetación y la precipitación. Los datos del registro de dicha variable desde el 10 de noviembre hasta el 8 de diciembre de 2010 muestran en la Figura 6 una respuesta inmediata a la precipitación. Las cantidades despreciables de la escorrentía superficial que se han recogido varían entre el 0.1% y el 0.6% para episodios de lluvia mayores de 50 mm, indicando que la acumulación de hojarasca y mayor contenido en materia orgánica favorecen las tasa de infiltración. Este hecho sugiere que para eventos menores de 50 mm el agua queda retenida en la superficie, produciéndose posteriormente la infiltración y el consecuente flujo sub-superficial dada la proximidad de la roca madre a la superficie del suelo (menos de 0,5 m).

5. Conclusiones

Los valores globales de interceptación de la precipitación incidente en *P. pinea* (37%) y *C. ladanifer* (20%) muestran una mayor capacidad interceptora del pinar, lo que coincide con los resultados obtenidos por otros autores. La trascolación ocurrida en *P. pinea* (67%) es ligeramente mayor que en *C. ladanifer* (75.74%), sin embargo, los porcentajes de escorrentía cortical difieren considerablemente de una especie a otra, siendo prácticamente insignificantes en pinar (0.18%) y tomando una gran importancia en jara (13.29%). Esta diferencia se debe a que este flujo está relacionado con la arquitectura de la jara, principalmente el ángulo de inserción de las ramas que favorece el flujo hacia el tronco. Además, las características de las plantas influyen en el porcentaje de precipitación interceptada en pequeños eventos lluviosos. Este tipo de eventos provocan porcentajes de interceptación muy elevados en *P. pinea*, que se ocupan en la saturación de la copa antes de iniciarse la trascolación. Y en contraste a este fenómeno, se destaca la insignificante interceptación de la precipitación incidente que se produce en *C. ladanifer*, debido a que la resina que secreta los tallos y las hojas de esta especie actúa de repelente frente a las primeras gotas de lluvia.

En este trabajo se ha puesto de manifiesto que el efecto de la hojarasca y las propiedades físicas del suelo contribuye a retener la mayor parte del agua que llega a la superficie, favoreciendo su circulación y drenaje a horizontes inferiores. Se ha observado que la escorrentía superficial es prácticamente insignificante y sólo se produce en eventos de lluvia superiores a 50 mm.

La investigación iniciada en 2010 se prolongará con el fin de disponer de datos en años hidrológicos completos. La variabilidad de las precipitaciones, no sólo anuales, sino también interanuales de nuestro clima exigen la mayor disponibilidad posible de información. Cuanto más larga sea la serie de datos, tanto mejor podremos llegar a comprender los procesos hidrológicos que operan en una cuenca forestal, así como la relevancia de los mismos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA CUENCA HIDROLÓGICA DE “EL CABRIL”, con la participación de ENRESA (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos) y la Universidad de Córdoba. Los autores desean expresar su agradecimiento al personal del Departamento de Ingeniería de Suelos de ENRESA por su continua y eficaz colaboración.

6. Referencias bibliográficas

- Andréassian, V. 2004. Water and forest: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*, Vol. 291, pp. 1-27.
- Belmonte, F. y Romero, A. 1998. A simple technique for measuring rainfall interception by small shrub: Interception flow collection box. *Hydrological Processes*, Vol. 12, pp. 471-481.
- Belmonte, F. y Romero, A. 1999; Interceptación en algunas especies del matorral mediterráneo. *Cuadernos de Ecología y Medio Ambiente*. Nº 7 202 pp. Universidad de Murcia.

- Belmonte, F. 2001. Balance hídrico, distribución de flujos y modelización de la interceptación en dos arbustos semiáridos mediante lluvia simulada. Papeles de Geografía, Vol. 33, pp. 23-34.
- Calder, I. 1992. Hydrologic effects of land-use change. En: Handbook of Hydrology, Editor D. Maidment. Mc Graw- Hill, Estados Unidos.
- Crockford, R. y Johnson, M. 1983. Some errors in measurement of precipitation, throughfall and stemflow and the implications for estimation of interception, Hydrology and Water Resources Symposium, Hobart, The Institution of Engineers, Australia, Conference Publication N° 83/13, pp. 236-242.
- Crockford, R.H. y Richardson, D.P. 1990. Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia. II. Stemflow and factors affecting stemflow in a dry sclerophyll eucalypt forest and a *Pinus radiata* plantation. Hydrological Processes, Vol. 4, pp. 145-155.
- Crockford, R. y Richardson, D. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. Hydrological Processes, Vol. 14, pp. 2903-2920.
- Dunne, T. y L. B. Leopold. 1978. Water in Environmental Planning, W. H. Freeman and Co., San Francisco, USA.
- Durocher, M.G. 1990. Monitoring spatial variability of forest interception. Hydrological Processes. Vol 4, pp. 215-229.
- García-Estringana, P.; Alonso-Blázquez, N., Marques, M.J.; Bienes, R. y Alegre, J. 2010. Direct and indirect effects of Mediterranean vegetation on runoff and soil loss. European Journal of Soil Science, Vol. 61, pp. 174-185.
- Gesper, P.L. y Holowaychuck, N. 1971. Some effects of stemflow from forest canopy trees on chemical properties of soil. Ecology, Vol. 52, pp. 691-702.
- Glover, J. y Gwynne, M.D. 1962. Light rainfall and plant survival in East Africa. II. Dry grassland vegetation. Journal of Ecology, Vol. 36, pp. 199-206.
- Huber, A. y Oyarzún, C. 1983. Precipitación neta e interceptación en un bosque adulto de *Pinus radiata*. Revista Bosque, Vol. 5 (1), pp. 13-20.
- Iroumé, A. y Huber, A. 2000. Interceptación de las lluvias por cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile. Revista Bosque, 2000, Vol. 21(1), pp. 45-56.
- Latron, J. 2003. Estudio del funcionamiento hidrológico de una cuenca Mediterránea de montaña (Vallcebre, Pirineo catalán). Tesis Doctoral. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. 269 pp.
- Levia, D.F. y Frost, E.E.. 2003. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. Journal of Hydrology, Vol. 274, pp. 1-29.
- Llorens, P., Poch, R., Latron, J. y Gallart, F., 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area .1. Monitoring design and results down to the event scale. Journal of Hydrology, Vol. 199(3-4), pp. 331-345.
- Llorens, P. y Domingo, F. 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. Journal of Hydrology, Vol. 335(1-2), pp. 37-54.
- Nadal-Romero, E.; Regüés, D. y Latron, J. 2008. Relationships among rainfall, runoff and suspended sediment in a small catchment with badland areas. Catena, Vol. 74, pp. 139-150.
- Savenije, H. H. G. 2004. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. Hydrol. Process. 18, pp. 1507 - 1511.
- Zapata, A.J. Manzano F. 2008. Influence of six of tree species on water infiltration in soil. Agrociencia, Vol. 42, pp. 835-845.
- Zapata, A.J. y López, J.G. 2009. Caracterización de la interceptación en varias especies de pino. Acta del XXVII Congreso de Riegos. AERYD. Murcia.