

IMPORTANCIA DE LA INTERCEPTACIÓN DE LLUVIA POR LA VEGETACIÓN EN EL BALANCE HÍDRICO DE UNA CUENCA

María Fátima Moreno Pérez
Académica Correspondiente

PALABRAS CLAVE

Intercepción.
Balance hídrico superficial.
Dehesa.

KEYWORDS

Interception.
Surface water balance.
Dehesa.

RESUMEN

En este trabajo se ha realizado, en primer lugar, una sucinta revisión bibliográfica de estudios anteriores relacionados con la interceptación. A continuación, se aporta una idea tanto de la metodología utilizada para su medida en campo, como de su modelación, y finalmente se aplica a dos especies típicas de nuestra sierra cordobesa, a *Pinus pinea*, o pino piñonero, y a *Cistus ladanifer*, o jara.

ABSTRACT

In this work, firstly, a brief bibliographic review of previous studies related to interception has been carried out. Next, an idea of both the methodology used for its measurement in the field and its modeling is provided, and finally it is applied to two typical species of our Córdoba mountains, *Pinus pinea*, called pino piñonero, and *Cistus ladanifer*, called jara.

La interceptación de la lluvia se define como la fracción de precipitación bruta que no llega al suelo y que, después de haber sido retenida por el dosel vegetal o por el tallo, regresa a la atmósfera por evaporación.

Este es uno de los procesos hidrológicos más importantes de un ecosistema. De hecho, las pérdidas de precipitación por interceptación pueden tener un fuerte impacto en el balance hídrico de las cuencas (Ward y Robinson, 2000; Sadeghi et al., 2015). Sin embargo, no ha sido merecedor de una gran atención por la comunidad profesional ya que, como su cuantificación es laboriosa, y no es fácil

obtener un valor representativo de interceptación, habitualmente, se ha estimado como un porcentaje constante de la precipitación, o se incluía en otros procesos o incluso se ignoraba (Li et al., 2016).

Dentro de la comunidad científica, la interceptación ha sido ampliamente tratada en bosques continuos propios de climas húmedos, sin embargo, los entornos áridos y semiáridos, en los que la vegetación es dispersa, no han recibido el mismo tratamiento. Especialmente importante en el sur de España es la formación denominada dehesa, sistema formado por árboles aislados, propios de nuestras condiciones climáticas y edáficas, que coexisten con pastizales o matorrales (Mateos Rodríguez y Schnabel, 2009; Guevara-Escobar et al., 2007).

Como se puede observar en la figura 1, la interceptación es un componente del balance hídrico superficial. La precipitación que llega a la cubierta vegetal se redistribuye en trascolación o parte de la precipitación que atraviesa el dosel vegetal y llega al suelo, y en escorrentía cortical o cantidad de agua de la precipitación incidente que resbala por el tronco hasta alcanzar el suelo por la base del árbol. La interceptación sería la cantidad de agua retenida en la vegetación que se evapora, y por eso se le denomina pérdida por interceptación, y se obtiene como cierre del balance, es decir, midiendo el resto de las componentes y calculando la interceptación como la precipitación menos la trascolación y la escorrentía cortical.

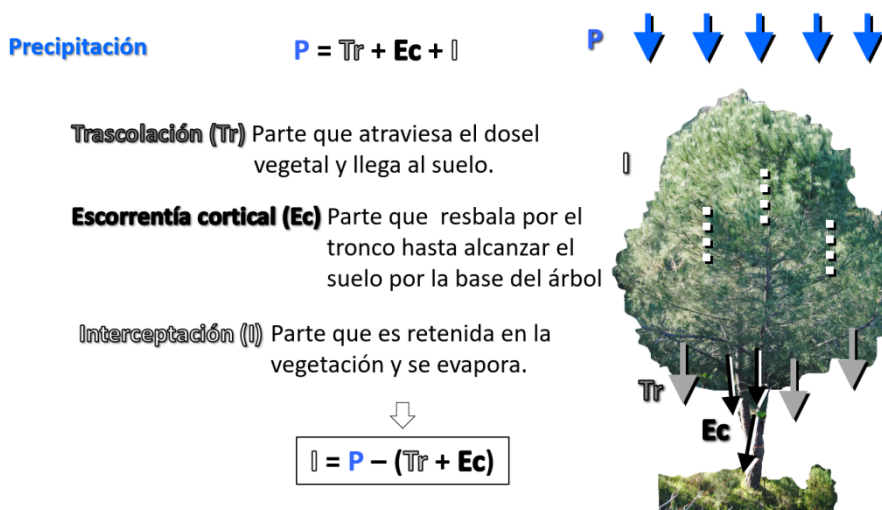


Figura 1. Balance hídrico en un individuo arbóreo

La importancia de la interceptación se debe a que ejerce tres grandes efectos en el ciclo hidrológico: primero, actúa como reductor de lluvias; segundo, influye en la distribución espacial de la infiltración y, en consecuencia, en la humedad del suelo; por último, redistribuye la lluvia en el tiempo, ya que como se verá, desde que cae en el dosel hasta que llega al suelo pasa un tiempo denominado tiempo de retardo.

La interceptación está sometida a la influencia tanto de factores bióticos, es decir, a las propiedades de la vegetación, como a factores abióticos, es decir, a los factores climatológicos.

El diámetro del tronco, la altura de la planta, el área basal, el área de proyección del dosel, la densidad de la cubierta y el índice de área foliar (IAF) son medidas ampliamente utilizadas, siendo los dos últimos los parámetros bióticos que con más frecuencia se relacionan con la interceptación.

En relación con los factores climáticos, el volumen, la intensidad y la duración de precipitación, son los parámetros que más atención han recibido. Las pérdidas por interceptación también dependen de la temperatura, la humedad relativa del aire y la velocidad y dirección del viento, como también se verá más adelante.

La localización de los estudios de interceptación dentro del territorio nacional es muy diversa, aunque puede apreciarse una cierta concentración en el área mediterránea, donde se encuentran las estaciones experimentales con estudios más completos y prolongados en el tiempo.

Los primeros estudios de interceptación en España se realizan a finales de los 70 del siglo pasado. Alvera (1976, 1977), Calabuig et al. (1979), y Calvo de Anta et al. (1979).

En los años 80, los trabajos que se llevaron a cabo se desarrollaron, casi de forma exclusiva, en el marco de los estudios bio-geoquímicos y de balance de nutrientes (Escudero et al., 1985; Escarré et al., 1986; González de Tánago et al., 1988; Bellot, 1989; López Sánchez, 1989). Más adelante, en los años 90, los estudios fueron más numerosos y se centraron en los flujos de interceptación, comenzando ya a realizarse investigaciones de modelización. Como ejemplo se pueden destacar los estudios llevados a cabo en la estación experimental creada en la Sierra de los Filabres en Almería (Domingo et al., 1994, 1998; Moro et al., 1996; Bellot et al., 1999) o los realizados en la Estación de Cal Parisa en el Área experimental de Vallcebre (Barcelona) (Llorens et al., 1997), todas ellas cuencas forestales.

En el siglo XXI han continuado los estudios de interceptación bajo distintos puntos de vista, obteniéndose nuevos datos de distintas especies arbóreas y arbustivas. Como ejemplos se pueden dar los estudios en encina desarrollados por Mateos y Schnabel (2001) o Rodrigo y Ávila (2001), en roble los desarrollados por Moreno et al. (2001), Morán Tejeda et al., (2008) o Muzylo et al. (2012), en pino (Ibarra y Echeverría (2004), Molina y del Campo (2012) o Llorens et al. (2013), y en especies arbustivas como García Ortiz (2006), García Estríngana (2011) o Serrano-Muela et al. (2011).

Durante mucho tiempo se ha expresado la interceptación mediante ecuaciones empíricas de regresión, como la que se encuentra en la figura 2, en la que la interceptación se enfrenta a la precipitación, siendo la recta la que define la relación entre ambas. Este tipo de expresiones representan características y condiciones propias de los lugares donde se realizan, no siendo posible extrapolar los valores obtenidos a bosques con distintas características o diferente clima (Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1998).

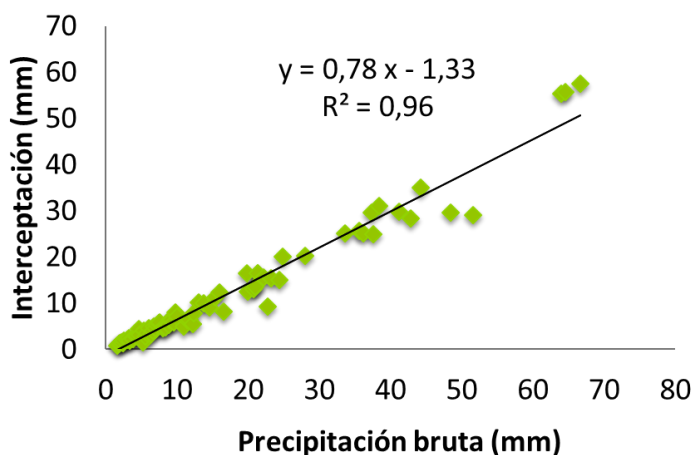


Figura 2. Ecuación empírica de regresión

El uso de modelos de simulación puede ser de gran ayuda de cara a solucionar este problema, ya que permiten estudiar este proceso integrando las características de la estructura de la planta, las condiciones meteorológicas de la zona, y, además, ver en detalle cómo suceden los procesos físicos que tienen lugar durante la interceptación. Los resultados obtenidos de los modelos de interceptación podrán ser extrapolados a otras áreas, contribuyendo al entendimiento de todos los procesos que suceden en la interceptación.

Centrándonos en los antecedentes de los modelos de interceptación, decir que fue Horton (1919) quien realizó el primer intento de modelar estas pérdidas. Sin embargo, hasta la década de 1970, la pérdida de la interceptación se predijo usando las relaciones obtenidas empíricamente con la precipitación bruta.

Rutter (1971) fue el primero en presentar un modelo que describe la interceptación como un proceso provocado por la evaporación, argumentando que el proceso estaba condicionado principalmente por dicha evaporación desde el dosel húmedo. En la figura 3 se puede observar el desarrollo del modelo de Rutter.

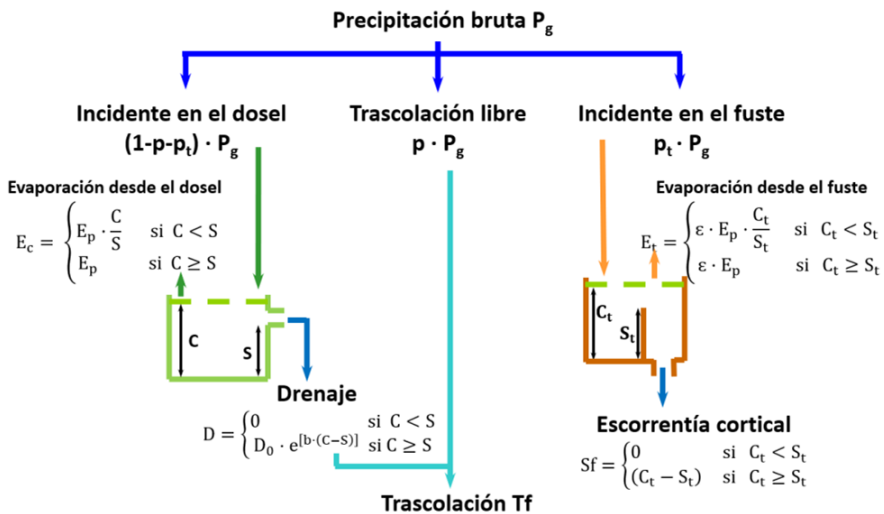


Figura 3. Desarrollo del modelo de Rutter (1971) de interceptación

A partir de Rutter se derivan una serie de modelos como son el modelo analítico de Gash (1979), entre otros. Posteriormente se realizaron adaptaciones de los modelos originales para el caso de masas forestales poco densas, como los de Gash et al. (1995) o de Valente et al. (1997).

David et al. (2006), Guevara-Escobar et al. (2007), o Pereira et al. (2009), son autores que desarrollaron estudios de las pérdidas de interceptación en individuos aislados (por ejemplo, en roble y en encina).

En definitiva, existen más de 15 modelos de interceptación, cada uno con diferentes enfoques, siendo en algunos casos, modificaciones de los modelos originales.

En este trabajo se va a hablar sobre la interceptación, sobre cómo medirla, cómo entender su importancia y se aplicará a dos especies típicas de nuestra sierra cordobesa, como lo son el *Pinus pinea*, vulgarmente llamado Pino piñonero, y a *Cistus ladanifer*, o como se conoce ordinariamente, jara.

MEDIDA DE LOS COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO

La precipitación se mide con pluviómetros instalados en la zona experimental, que pueden ser de lectura manual e *in situ* (ver figura 4.a). Los pluviómetros automáticos miden la cantidad de agua de lluvia que les va llegando a lo largo del tiempo, y registrando los datos en un sistema electrónico de almacenamiento para que después sean tratados en ordenador, inmediatamente, o cuando se necesiten (ver figura 4.b).

Estos, a su vez, pueden formar parte de una estación meteorológica, como la que se muestra en la figura 4.c, en la que se mide, además, la velocidad y dirección del viento con una anemo-veleta, y la humedad relativa del ambiente con un higrómetro.

Precipitación

Medida con pluviómetro sobre el dosel o en un claro sin vegetación



a) Pluviómetro manual



b) Pluviómetro automático

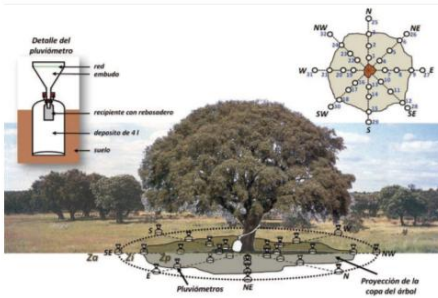


c) Estación meteorológica

Figura 4. Medida de la precipitación

Para medir la trascolación existen diferentes metodologías, como las que se pueden ver en la figura 5. Una de ellas consiste en utilizar un muestreo intensivo de una serie de pluviómetros localizados al azar debajo de las copas de los árboles (figura 5a) (Ibarra et al., 2013).

Otra opción para cuantificar la trascolación es mediante dispositivos que abarquen la mayor parte de la cobertura de la copa (figura 5b) (Belmonte et al., 2013), o bien mediante canaletas (figura 5c), como la que se muestra en el esquema de Santiago Hernández (2007).



Ibarra et al., 2013

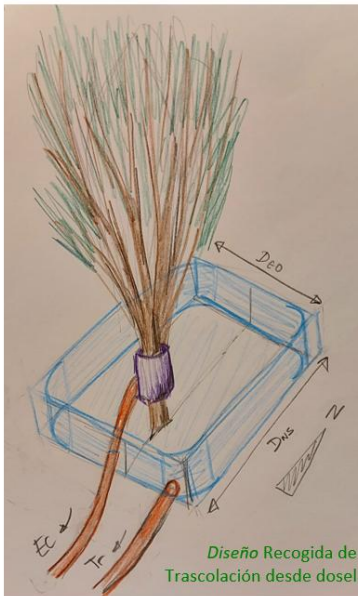
a)



Belmonte et al., 2013

b)

Figura 5. Medida de la trascolación con diferentes metodologías



Diseño Recogida de Trascolación desde dosel

PRIMER BOCETO

M^a Fátima Moreno Pérez



INSTALACIÓN EN CAMPO



Arbusto - *Cistus ladanifer*

Figura 6. Boceto y estructura final construida para la recogida de la trascolación en *Cistus ladanifer*

Para la recogida de la trascolación que atraviesa el dosel de un individuo de jara se diseñó y construyó una estructura de fácil instalación en campo (figura 6). En esta figura se puede observar tanto el boceto en el que se plasmó la idea, como la estructura final construida. La plataforma de recogida estaba formada por una caja de plástico modificada para que tuviera las dimensiones de la proyección del dosel.

En el caso de la recogida de trascolación en *Pinus pinea*, también se han diseñado estructuras de relativamente fácil instalación en campo, como las que se muestran en la figura 7, que en este caso son canaletas colocadas bajo el dosel (Moreno-Pérez et al., 2012). En dicha figura también se muestra tanto el boceto con la idea original, como el resultado en campo.

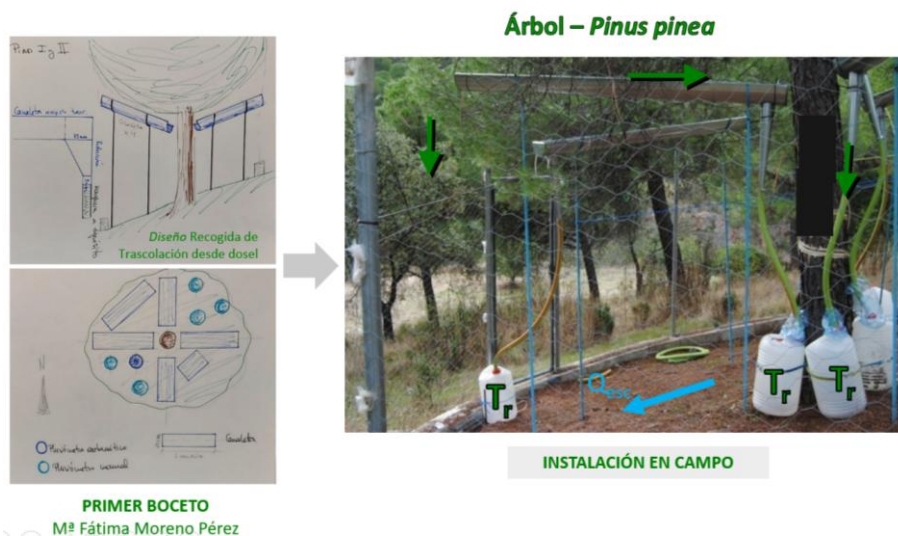


Figura 7. Boceto y estructura final construida para la recogida de la trascolación en *Pinus pinea*

En la figura 8, también en *Pinus pinea*, las estructuras diseñadas son más sencillas debido a que las pendientes de la zona en la que se encuentran estos árboles son elevadas. En concreto, el diseño de los colectores es en forma de embudo, distribuidos bajo el dosel.

La escorrentía cortical se suele medir utilizando conductos sellados alrededor del tronco o troncos principales, que vierten a un depósito o a un medidor automático. En la figura 9 se pueden observar varios métodos de recogida, como el utilizado por Gerrits et al. (2010), en el que la escorrentía cortical vierte a un pluviómetro automático (figura 9a). En el se-

gundo caso (figura 9b) a un bidón de grandes dimensiones (Ibarra et al., 2013) y en el tercer caso, se puede ver el invento curioso que se ha realizado para recoger la trascolación de arbustos con varias ramas principales (figuras 9c y 9d) (Zang et al., 2015).



Figura 8. Boceto y estructura final construida usando colectores en forma de embudo para la recogida de la trascolación en *Pinus pinea*



Gerrits et al., 2010

a)



Ibarra et al., 2013

b)

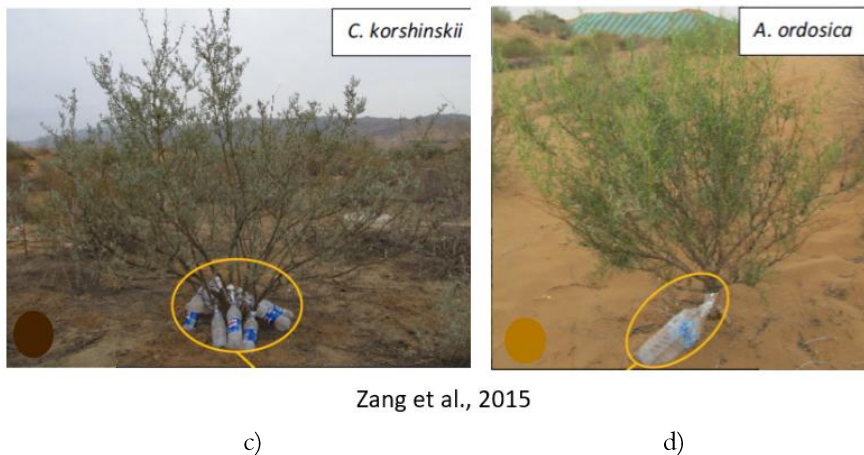


Figura 9. Distintos métodos para recoger la escorrentía cortical

En la figura 10 se puede observar el detalle del sistema de recogida de la escorrentía cortical en una jara, diseñado y construido por Moreno-Pérez et al. (2012). En este caso se selló un pequeño recipiente alrededor de la base del tronco de la planta que recogía el agua que fluye por el mismo, siendo esta conducida por una manguera hacia un depósito colector.



Arbusto - *Cistus ladanifer*

Figura 10. Estructura final construida para la recogida de la escorrentía cortical en *Cistus ladanifer* (Moreno-Pérez y col., 2012)

En el caso de *Pinus pinea*, el sistema de recogida ideado por Moreno-Pérez et al. (2013), y que se puede observar en la figura 11, consiste en una manguera cortada a lo largo y encastrada levemente en el tronco, en forma de espiral, y que conduce la escorrentía cortical recogida a un pluviómetro para su medida automática.

Árbol – *Pinus pinea*



PRIMER BOCETO
M^a Fátima Moreno Pérez

Sistema de recogida de escorrentía cortical en bidón

Sistema de recogida de escorrentía cortical en pluviómetro automático

Figura 11. Boceto y estructura final construida para la recogida de la escorrentía cortical en *Pinus pinea* (Moreno-Pérez et al., 2013)

INSTRUMENTACIÓN PARA MEDIDAS DE PARÁMETROS EN MODELOS

La calibración y validación de los modelos de simulación exige realizar medidas complementarias que permitan obtener el gran número de parámetros que se necesitan y así poder generalizarlos y aplicarlos en otras condiciones climáticas.

Para realizar el estudio de la variación de la humedad del dosel, utilizado para determinar la duración de un evento de lluvia, se usan sensores dieléctricos de humedad en hoja (también denominados sensores LWS) que, instalados en las ramas de los árboles, como se puede observar en la figura 12, miden el tiempo de secado del dosel.

Para estudiar cómo se modifica la distribución de agua de lluvia bajo el dosel durante un evento de lluvia, se mide la humedad del suelo utilizando sondas de humedad distribuidas aleatoriamente, tanto bajo el dosel, como fuera, tal como se muestra en la figura 13.

Es importante conocer cómo se modifica la evaporación desde el suelo, bajo el dosel vegetal, tras un proceso de lluvia y posterior interceptación, comparando con la que sucede fuera del dosel, para lo que se utilizan microlisímetros como los que se muestran en la figura 14. En este caso se han construido con tubos de acero que se hincan en el suelo, tanto debajo del dosel, como fuera.

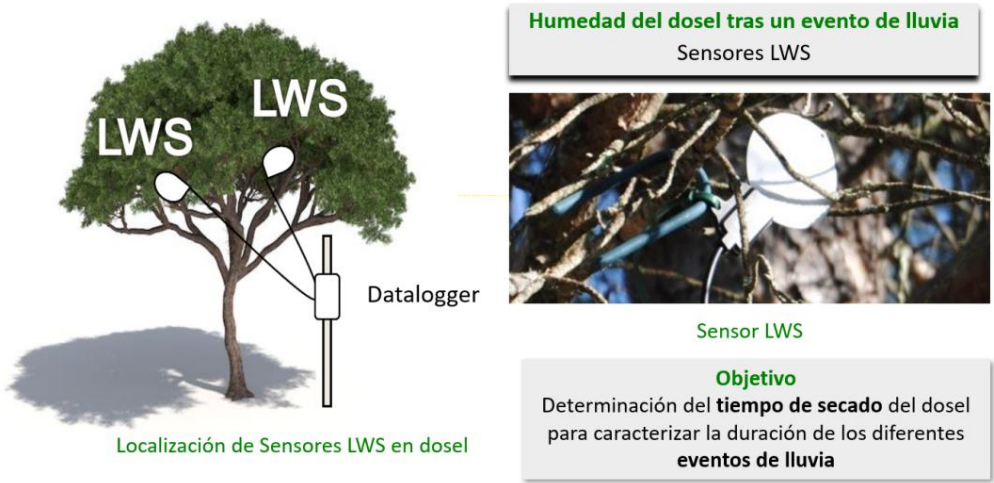


Figura 12. Sensores LWS: Localización en dosel y fotografía del sensor



Figura 13. Sensores de humedad del suelo



Figura 14. Uso de microlisímetros para la medida de la evaporación desde el suelo, bajo y fuera de la influencia del dosel vegetal

La medida del índice de área foliar (IAF), que se define como la relación entre el área foliar del dosel y el área de su proyección, es fundamental ya que se puede vincular con su densidad foliar. Para calcularlo, se pueden utilizar fotografías hemisféricas realizadas con una cámara fotográfica equipada con una lente «ojo de pez» (ver figura 15).



Figura 15. Fotografías hemisféricas realizadas con una cámara fotográfica equipada con una lente «ojo de pez»

Otra medida que nos informa sobre la densidad foliar es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que se calcula como la relación entre la radiación incidente y la reflejada por el dosel. Para ello, se utilizan sensores de reflectancia espectral (a partir de ahora denominados SRS), uno orientado hacia el dosel y otro hacia el cielo, como se puede observar en la figura 16.

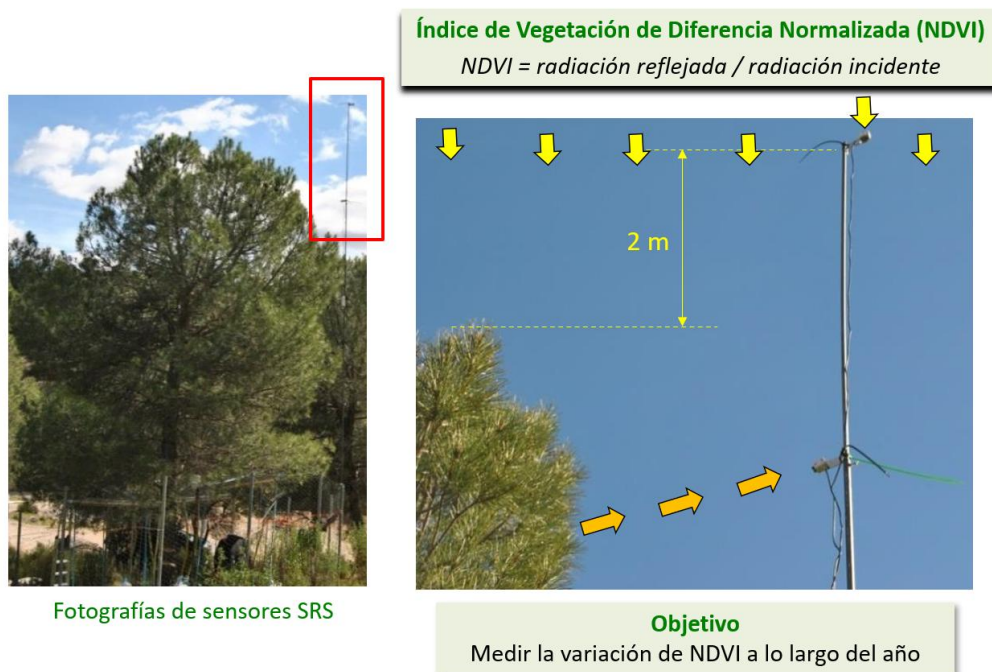


Figura 16. Sensores SRS situados en un individuo de *Pinus pinea*

Con el objetivo de realizar la caracterización morfológica de los individuos instrumentalizados, se miden variables dasométricas directas como la altura del árbol, del tronco y del dosel, el diámetro a la altura del pecho (DBH), o el diámetro de la base, entre otros (figura 17). A partir de ellas, se obtienen otras medidas indirectas, como la relación de canalización, más conocido por su expresión en inglés *Funneling ratio*, que relaciona el tamaño del tronco del árbol con la escorrentía cortical recogida tras un evento de lluvia. De esta manera, las relaciones existentes entre las componentes medidas del balance y las características morfológicas de los árboles, se pueden extrapolar los resultados a otros individuos de la misma especie.

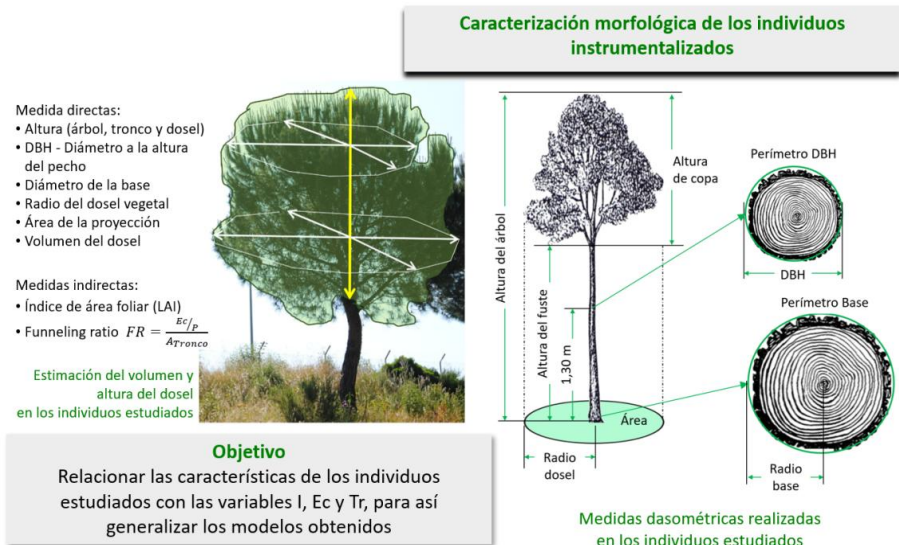


Figura 17. Medidas directas e indirectas realizadas para la caracterización morfológica de los individuos instrumentalizados

APLICACIÓN A MEDIDAS EN CAMPO

Durante ocho años, se han realizado medidas experimentales en una zona de la Sierra Albarrana situada al noroeste de la provincia de Córdoba a 800 metros de altitud y en dos de las especies más representativas de la sierra cordobesa, una arbórea, *Pinus Pinea*, repoblada en la década de los setenta del siglo pasado, y otra arbustiva, *Cistus ladanifer*, planta autóctona (figura 18). En este trabajo solo se muestran los resultados más significativos.

Hay que destacar que, durante los años de estudio, se dio un comportamiento pluviométrico especial, ya que hubo dos años con precipitaciones por encima de la media de los últimos 25 años, y tres años con precipitaciones por debajo de la media. Estos datos ponen de manifiesto la gran variabilidad interanual de la lluvia de este clima.

Un efecto importante que se puede observar en los datos medidos de escorrentía cortical es que en jara esta componente tiene gran importancia. Ello es debido a que, al ser una especie autóctona, está muy adaptada al clima mediterráneo y favorece el flujo del agua desde las ramas al tronco, gracias a su forma de embudo, cosa que no ocurre con el Pino piñonero (17% frente a 0,25%). El porcentaje de trascolación ronda el 70% en pino siendo algo menor en jara Y, por último, la interceptación en pinos se acerca al 30% en tanto que en jara solo alcanza el 16%, consecuencia de su

mayor escorrentía cortical. No obstante, el porcentaje de interceptación aumenta cuando las precipitaciones son menores disminuyendo conforme aumenta la lluvia a consecuencia de que el dosel se va saturando hasta que alcanza su capacidad máxima de retención, y a partir de ese momento, deja de interceptar.



Figura 18. *Pinus pinea* o pinos piñoneros y *Cistus ladanifer* o jaras, a 800 m de altitud

El efecto de la interceptación tiene su repercusión en el incremento de humedad que se produce bajo el dosel tras un evento de lluvia, por comparación con la que se produce fuera de la zona de influencia de este. Así, en pino piñonero, cuando los eventos de precipitación son de baja intensidad y de poca duración, el incremento de humedad que se produce al descubierto es superior al que se produce bajo el dosel, ya que la interceptación de la lluvia retenida por el dosel alcanza valores muy altos, evitando que apenas llegue agua a la superficie del suelo situada bajo el mismo. En jara, sin embargo, el efecto del humedecimiento del suelo es mayor para las lluvias de pequeña intensidad, como una consecuencia directa del incremento de escorrentía cortical ya comentado.

Con respecto al tiempo de secado del dosel, este también varía entre las estaciones del año, obteniéndose unos valores mayores en otoño e invierno, es decir, cuando se produce más precipitación y la velocidad de evaporación es menor.

También se ha estudiado el efecto que tiene la hora de finalización de la lluvia. Para ello, los eventos de lluvia se dividieron en dos tipos: cuando

la lluvia cesa durante el día y cuando la precipitación termina durante la noche. Se observa como el tiempo de secado es menor cuando la lluvia finaliza durante el día debido al aumento de la radiación neta y al consiguiente incremento de la demanda por evaporación durante estas horas.

También se han aplicado modelos ya existentes en la bibliografía especializada, como los de Rutter et al. (1971), Rutter-Valente (Valente et al. 1997), Gash (1979) y Gash-Valente (Valente et al. 1997) y se han comparado sus resultados con los datos de interceptación obtenidos en campo, obteniéndose que el modelo de Gash modificado por Valente (Gash-Valente) ha sido el que mejor ajuste presentó en pino piñonero, siendo el de Gash en su versión original (Gash, 1979) el que mejor se ajustó en el caso de la jara.

La aplicación de estos modelos da, por tanto, buenos resultados para estudiar la interceptación. Sin embargo, hay que tener en cuenta que hay que calcular previamente la gran cantidad de parámetros que los conforman, es decir, hay que calibrarlos y validarlos para las condiciones climáticas en las que nos encontremos, lo que dificulta tremendamente su aplicación y extrapolación.

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL EN LA CUENCA DE *EL CABRIL*

Para mostrar brevemente la importancia de la interceptación en el cálculo del balance hídrico superficial, se han aplicado los modelos obtenidos en la finca donde se encuentran situadas las instalaciones del Almacén de Residuos Radiactivos de media y baja intensidad de *El Cabril*, ubicado asimismo en Sierra Albarrana.

En primer lugar, se estableció la superficie a estudiar, y mediante la ortofotografía de la zona, y la información que previamente se había generado respecto a la cobertura vegetal, como se muestra en las figuras 19a y 19b, respectivamente, se midió la superficie cubierta por cada una de las especies.

Se trabajó con dos superficies perfectamente definidas: una, el recinto en el que se encuentran situadas las plataformas, impermeabilizada y delimitada por drenajes superficiales; y una segunda superficie antropizada, repoblada con cobertura vegetal, cercada por un cauce efímero. A estas superficies se les aplicaron los modelos de escorrentía superficial, trascolación e interceptación obtenidos. Suponiendo una precipitación incidente ficticia de 100 mm, se calculó la precipitación neta o proporción de agua de lluvia que alcanzaría el suelo, aplicando dos metodologías: la metodo-

logía clásica de estimación de la interceptación, y la desarrollada en este estudio para los individuos de *Pinus pinea* y de *Cistus ladanifer*. El procedimiento seguido se puede observar con mayor claridad en la figura 20.

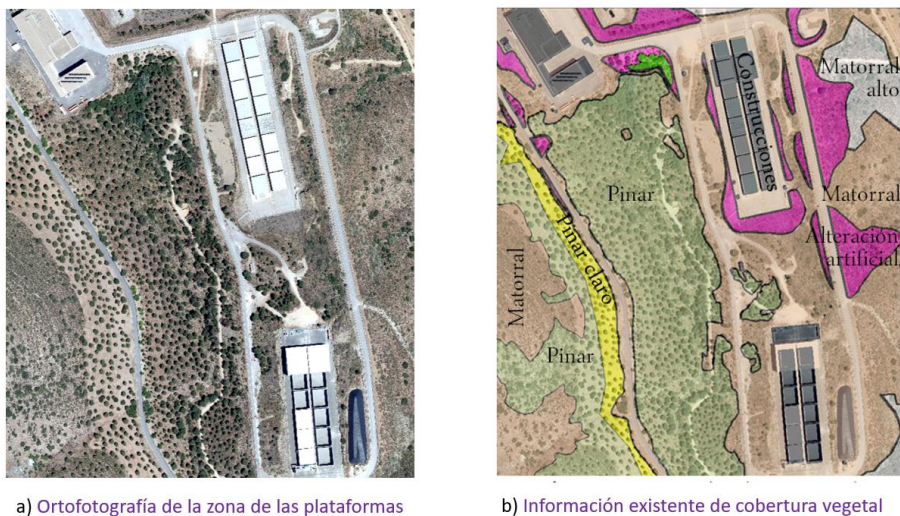


Figura 19. Medida de la superficie que se encuentra cubierta por cada especie vegetal

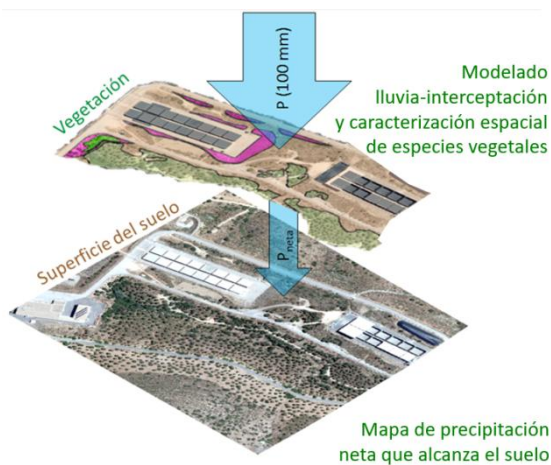


Figura 20. Aplicación de los modelos obtenidos a la zona de estudio

Como se puede observar en las gráficas de la figura 21, la precipitación que ha llegado al suelo en el recinto de las plataformas (figura 21a) es superior al que ha llegado a la zona antropizada (figura 21b), por tener impermeabilizada gran parte de su superficie.

Si realizamos la estimación aplicando los métodos clásicos, se obtiene que en el recinto de las plataformas llega al suelo el 100 % de la precipitación incidente, mientras que en la zona antropizada llegan algo más del 70% (70 mm de los 100 que alcanzaron la vegetación).

Sin embargo, si aplicamos las regresiones lineales obtenidas para pino y jara, en el recinto de las plataformas, alcanzan el suelo poco más de 90 mm (aún menos según la estación del año). Para la zona antropizada se marca mucho más este efecto, ya que en otoño se superaría la cantidad obtenida por los métodos clásicos, mientras que en primavera sería bastante menor.

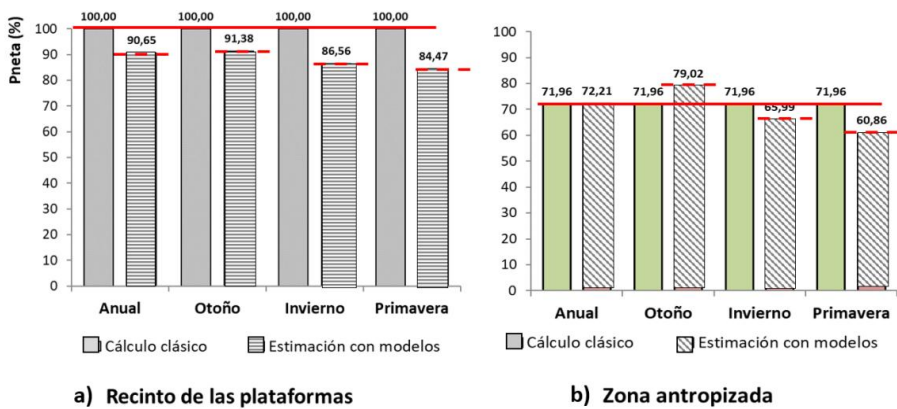


Figura 21. Precipitación neta obtenida aplicando al cálculo clásico y la estimación realizada en este estudio, tanto en la zona de las plataformas (a) como en la zona antropizada (b)

CONCLUSIONES

La interceptación de lluvia por la vegetación afecta al balance hídrico superficial reduciendo la cantidad de agua que alcanza el suelo y, por tanto, la que se infiltra y/o escurre.

Su cálculo se hace mediante cierre del balance hídrico o mediante ecuaciones empíricas que la relacionan con la precipitación. La determinación de las otras variables del balance, trascolación, escorrentía cortical y precipitación, se hace mediante diversos procedimientos experimentales.

Actualmente, se ha generalizado el uso de modelos de simulación que permiten su extrapolación. Como contrapartida, estos modelos requieren de la estimación de un gran número de parámetros que también se calculan experimentalmente.

El trabajo de campo en individuos de pino y jara ha demostrado que la variable más importante es la trascolación en tanto que la escorrentía cortical y la interceptación invierten sus valores entre ambas especies: mayor la primera en jara e inapreciable en pino dada la adaptación al clima mediterráneo de la primera.

La aplicación del balance hídrico superficial en una cuenca con dos superficies bien diferenciadas, una antropizada impermeabilizada y otra con predominio de la vegetación, demuestra que los efectos de una precipitación extrema serían mucho más perjudiciales en el primer caso.

REFERENCIAS

- Alvera, B. (1976): Contribución al estudio de la interceptación de las precipitaciones atmosféricas en el pinar de San Juan de la Peña. *Publicaciones del Centro Pirenaico de Biología Experimental*, 7 (I), 95-100.
- _____ (1977): Interceptación De Las Precipitaciones Atmosféricas En Un Pinar Altoaragonés: 1er Año De Observaciones (1971-1972). *Centro Pirenaico de Biología Experimental*, 8, 7-13.
- Bellot, J. (1989): Análisis de los flujos de deposición global, trascolación, escorrentía cortical y deposición seca en el encinar mediterráneo de l'Avic (Sierra de Prades), Tarragona. *Unpublished PhD Thesis*. Univesidad de Alicante.
- Bellot J, Ávila A, Rodrigo A. (1999): Throughfall and stemflow. In Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests, Rodá F, Retana J, Gracia CA, Bellot J (eds). *Ecological Studies* 137. Springer-Verlag: Heidelberg; 209-222.
- Belmonte Serrato, F., Romero Diaz, A. (1993): Instrumentos y métodos para el estudio de la capacidad de interceptación de algunas especies vegetales mediterráneas «El Ardal» (Murcia). *Nuevos Procesos Territoriales*, AGE, Sevilla, 181-185
- Calabuig, E.L., Gago Gamallo, M.L., Gómez Gutiérrez, J.M. (1979): Influencia de la encina en la distribución del agua de lluvia. *Centro de Edafología Y Biología Aplicada de Salamanca*, 143-159.
- Calvo de Anta, R.N., González, A.P., Viqueira, F.D. (1979): Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación sobre la formación del suelo en Galicia. II. Aportes de elementos por lavado de cubierta y tronco. *An. Edafol. Agrobiol.* 38, 1675-1692.
- David, T. S., Gash, J. H. C., Valente, F., Pereira, J. S., Ferreira, M. I., David, J. S. (2006): Rainfall interception by an isolated evergreen oak tree in a Mediterranean savannah. *Hydrological Processes*, 20(13), 2713-2726. <http://doi.org/10.1002/hyp.6062>

- Domingo, F., Puigdefabregas, J., Moro, M.J., Bellot, J. (1994): Role of Vegetation Cover in the Biogeochemical Balances of Small Afforested Catchment in Southeastern Spain. *Journal of Hydrology*, 159(1-4), 275-289. [http://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90261-5](http://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90261-5)
- Domingo, F., Sánchez, G., Moro, M.J., Brenner, A.J., Puigdefábregas, J. (1998): Measurement and modelling of rainfall interception by three semi-arid canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91(3-4), 275-292. [http://doi.org/10.1016/S0168-1923\(98\)00068-9](http://doi.org/10.1016/S0168-1923(98)00068-9)
- Escarré, A., Lledo, M.L., Bellot, J., et al. (1986). Balance hídrico, meteorización y erosión en una pequeña cuenca de encinar mediterráneo. *Proyecto LUCDEME 11*, ICONA, Monografía 47. Madrid, 57-110.
- Escudero, A., García, B., Gómez, J.M., Luis, E. (1985): The nutrient cycling in *Quercus rotundifolia* and *Q. Pyrenaica* ecosystems (dehesas) of Spain. *Oecologia Plantarum* 6, 73-86.
- García Estríngana, P. (2011): Efectos de diferentes tipos de vegetación mediterránea sobre la hidrología y la pérdida de suelo. *Tesis Doctoral*. Universidad de Alcalá. 170 p.
- García Ortiz, E.M. (2006): Efecto de la estructura de la copa en la partición de lluvia de tres especies arbustivas en clima semiárido. *Tesis Doctoral*. Universidad de Almería. 404 p.
- García-Estríngana, P., Alonso-Blázquez, N., Alegre, J. (2010): Water storage capacity, stemflow and water funneling in Mediterranean shrubs. *Journal of Hydrology*, 389(3-4), 363-372. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.017>
- Gash, J.H.C. (1979): An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 105(443), 43-55. <http://doi.org/10.1002/qj.49710544304>
- Gash, J. H., Lloyd, C. R., Lachaud, G. (1995): Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, 170 (1-4), 79-86. [http://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02697-N](http://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02697-N)
- Gerrits, A.M.J., Pfister, L., Savenije, H.H.G. (2010). Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. *Hydrological Processes*, 24 (21), 3011-3025. <http://doi.org/10.1002/hyp.7712>
- González de Tánago, M., García, M.J., Ortega, L., Pardilo, G., Tourné, M. (1988). Intercepción y alidad del agua de lluvia bajo diferentes condiciones de cubierta vegetal. *Ecología*, 2, 99-110.
- Guevara-Escobar, A., González-Sosa, E., Véliz-Chávez, C., Ventura-Ramos, E., Ramos-Salinas, M. (2007): Rainfall interception and distribution patterns of gross precipitation around an isolated *Ficus benjamina* tree in an urban area. *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 532-541. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.017>
- Horton, R.E. (1919): Rainfall Interception. *Science (New York, N.Y.)*, 47(9), 603-623. <http://doi.org/10.1126/science.27.693.594>

- Ibarra, P., Echeverría, M.T. (2004): Relaciones clima, suelo y vegetación en la vertiente Noreste del Moncayo. *Geografía Física de Aragón (J.L. Peña; L.A. Longares; M. Sánchez, Eds.). Aspectos Generales Y Temáticos. Universidad de Zaragoza E Institución Fernando El Católico.*, 199-211.
- Li, X., Xiao, Q., Niu, J., Dymond, S., van Doorn, N.S., Yu, X., Li, J. (2016): Process based rainfall interception by small trees in Northern China: The effect of rainfall traits and crown structure characteristics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 218-219, 65-73. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.017>
- Llorens, P., García Estríngana, P., Molina, A.J., Latron, J., Domingo, F., Francesc Gallart i Gallego. (2013): Monitorización y modelización de la partición de lluvia por pino silvestre y roble pubescente en las cuencas de investigación de Vallcebre (Prepirineo catalán). *Intercepción de la lluvia por la vegetación en España*, 237-254. ISBN 978-84-92988-20.
- Llorens, P., Poch, R., Latron, J., Gallart, F. (1997): Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology*, 199 (3-4), 331-345. [http://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03334-3](http://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03334-3)
- López Sánchez, M.V. (1989): Estudio de los flujos hídricos y del estudio de la deposición seca y lixiviación en el aporte de nutrientes de un suelo forestal bajo encina (*Q. ilex*) y pino (*P. Sylvestris*). *Tesis Master of Science. CIMEAM. IAM2*.
- Mateos Rodríguez, A.B., Schnabel, S. (2001). Rainfall interception by Holm oaks in the Mediterranean open woodland. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 27, 27-38.
- _____ (2009): Influencia de la poda del arbolado en el volumen y distribución de la lluvia sobre el suelo en el ecosistema dehesa. In *Avances en estudios sobre desertificación: aportaciones al Congreso Internacional sobre Desertificación en memoria del profesor John B. Thornes*, 579-582. Murcia. Retrieved from <http://84.88.0.34/index.php/CUGEO/article/view/16916>
- Molina, A.J., del Campo, A.D. (2012): The effects of experimental thinning on throughfall and stemflow: A contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantations. *Forest Ecology and Management*, 269, 206-213. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.037>
- Morán Tejada, C., Martínez Fernández, J., Hernández Santana, V., Cano Crespo, A. (2008): Trascología y pérdidas por interceptación en un bosque de roble melojo del sistema central. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 34, 7-22.
- Moreno, G., Gallardo, J.F., Bussotti, F. (2001): Canopy modification of atmospheric deposition in oligotrophic *Quercus pyrenaica* forests of an unpolluted region (central-western Spain). *Forest Ecology and Management*, 149(1-3), 47-60. [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00544-2](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00544-2)

- Moreno-Pérez, M.F., Roldán-Cañas, J., Cienfuegos, I. (2012): Rainfall interception by the vegetation in a Mediterranean type climate. *European Geosciences Union General Assembly*. Viena.
- Moreno-Pérez, M. F., Roldán-Cañas, J., Pérez Arellano, R., Cienfuegos, I. (2013): Distribution of incident rainfall through vegetation in a watershed located in southern Spain. *European Geosciences Union General Assembly*. Viena.
- Moro, M.J., Domingo, F., Escarre, A. (1996): Organic matter and nitrogen cycles in a pine afforested catchment with a shrub layer of *Adenocarpus decorticans* and *Cistus laurifolius* in south-eastern Spain. *Annals of Botany*, 78(6), 675-685. <http://doi.org/10.1006/anbo.1996.0177>
- Muzylo, A., Valente, F., Domingo, F., Llorens, P. (2012): Modelling rainfall partitioning with sparse Gash and Rutter models in a downy oak stand in leafed and leafless periods. *Hydrological Processes*, 26(21), 3161-3173. <http://doi.org/10.1002/hyp.8401>
- Pereira, F.L., Gash, J.H.C., David, J.S., Valente, F. (2009): Evaporation of intercepted rainfall from isolated evergreen oak trees: Do the crowns behave as wet bulbs? *Agricultural and Forest Meteorology*, 149 (3-4), 667-679. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.10.013>
- Rodrigo, A., Ávila, A. (2001): Influence of sampling size in the estimation of mean throughfall in two Mediterranean holm oak forests. *Journal of Hydrology*, 243 (3-4), 216-227. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00412-1](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00412-1)
- Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C., Morton, A.J. (1971): A predictive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agricultural Meteorology*, 9, 367-384. [http://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90034-3](http://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90034-3)
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., Dunkerley, D. (2015): Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semi-arid afforestations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 76-85. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.10.006>
- Santiago Hernández, L. (2007): Medición Y Análisis De La Intercepción De Lluvia En Un Bosque De Encino: Aplicación a La Microcuenca La Barreta. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Serrano-Muela, M.P., Regues, D., Estela Nadal-Romero, E. (2011): Trascoloración y escorrentía cortical en la cuenca experimental de San Salvador, Pirineo Central español. *Cuaternario Y Geomorfología*, 25(1-2), 49-72.
- Valente, F., David, J.S., Gash, J.H.C. (1997): Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology*, 190 (1-2), 141-162. [http://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03066-1](http://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03066-1)
- Ward, R., Robinson M. (2000): Principles of Hydrology. Fourth Edition, *McGraw-Hill*, London, 450 p.

Zhang, Y., Wang, X., Hu, R., Pan, Y., Paradeloc, M. (2015): Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rainfed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. *Journal of Hydrology*, 527(0), 1084-1095. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.060>.