

MEDIDA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL EN COBERTURAS VEGETALES SEMIÁRIDAS (CUENCA DE MULA, MURCIA), SEGÚN LAS VARICACIONES DE HUMEDAD DEL SUELO MEDIDAS MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO (TDR)

Francisco Belmonte Serrato y Asunción Romero Díaz
Universidad de Murcia

RESUMEN

En este trabajo se presenta un método de medida directa de la Evapotranspiración Real (ETR) bajo distintas coberturas vegetales, basado en las diferencias de humedad en el suelo medidas mediante el procedimiento TDR, en un intervalo temporal de 15 días y su comparación con los valores calculados mediante el método de Thornthwaite, que usa la temperatura media como parámetro fundamental.

Los resultados demuestran la validez del método utilizado, habiendo obtenido valores de ETR ligeramente superiores a los calculados por el método de Thornthwaite, pero con diferencias importantes en función de las distintas coberturas, que indican un comportamiento diferenciado de evapotranspiración.

Palabras clave: Cobertura vegetal, evapotranspiración, humedad del suelo, TDR (Time Domain Reflectometry).

ABSTRACT

In this paper a method of direct measurement of the Real Evapotranspiration is presented (ETR) under different plant coverages, based on the differences of soil moisture measured using the TDR (Time Domain Reflectometry) method, in a temporary interval of 15 days and its comparison with the values calculated by Thornthwaite's method, that uses the average temperature as fundamental parameter.

Fecha de recepción: 14 de junio de 2006. Fecha de aceptación: 15 de junio de 2006.
Dpto. de Geografía, Facultad de Letras, Campus de La Merced, 30001 Murcia.
E-mail: franbel@um.es, arodi@um.es

The results demonstrate the validity of the used method, being obtained values of Real Evapotranspiration lightly superior to the ones calculated for Thornthwaite's method, but with important differences depending on different coverages, which indicate a differentiated behavior of evapotranspiration.

Key word: Plant coverage, evapotranspiration, soil moisture, TDR (Time Domain Reflectometry).

INTRODUCCIÓN

La mayor parte del agua atmosférica procede de la evaporación directa que se produce en las superficies de agua y en la superficie del suelo, y por la transpiración que las plantas realizan a través de los estomas de las hojas. La evaporación es un proceso físico, pero ambos suponen un cambio de estado del agua (de líquido a vapor) y, por tanto, a las superficies sobre las que se produce se les denomina superficies evaporantes.

La evaporación depende esencialmente de las características climáticas, pero la transpiración es más compleja, ya que puede estar influenciada por numerosos factores de índole fisiológico y aerodinámico, asociados a las diferentes especies vegetales o estar limitada por las disponibilidades hídricas (Fernández García, 1995).

En los océanos la medida de la evaporación no entraña dificultades, ya que existe sólo un tipo de superficie evaporante (una gran superficie libre de agua), pero en los continentes encontramos los tres tipos de superficies evaporantes: superficies de agua libre y superficies de suelo desnudo, desde las que se produce evaporación, y cubiertas vegetales desde las que se produce evaporación en el suelo y transpiración en las plantas.

En suelos cubiertos, separar evaporación y transpiración es muy difícil, de modo que ambos flujos se engloban en uno sólo que Thornthwaite denominó evapotranspiración, y que definió como la cantidad de agua necesaria para la transpiración de una cubierta vegetal en una zona con agua suficiente. Pero el suelo, no siempre dispone de agua suficiente para satisfacer las demandas de evapotranspiración, por lo que tanto Thornthwaite como Penman, introdujeron en 1948 una distinción entre la evapotranspiración potencial (ETP) y la real (ETR) es decir, aquella que se produce realmente en base a las disponibilidades de agua. (Fernández García, 1995).

Existen varios métodos para el cálculo de la ETP y la ETR, los métodos teóricos, de dos tipos: los que estiman la ETR como un componente del Balance de energía y los basados en la transferencia de masa de vapor de agua entre la superficie y la atmósfera, los métodos semiempíricos y empíricos, que se basan en el uso de series de datos sencillos, normalmente la temperatura media, y que les hace ser los más utilizados en estudios geográficos y ambientales; y los métodos directos que se basan en el control de las entradas y salidas de agua en el suelo, calculando la ETR para un intervalo temporal determinado, como la diferencia entre las aportaciones de agua por precipitación y el drenaje. En ellos, el control de los diferentes parámetros se lleva a cabo mediante evaporímetros y lisímetros. Estos métodos son los más precisos y sirven de referencia para calibrar la bondad de los resultados obtenidos por otros, pero presentan el incon-

veniente de la dificultad de medir con exactitud el agua que alcanza el suelo, bajo las cubiertas vegetales.

En los suelos cubiertos de vegetación, una fracción de la precipitación incidente queda retenida en la cubierta vegetal y no alcanza el suelo. La mayor o menor cuantía de esa fracción, depende de parámetros estructurales de la propia vegetación, de parámetros atmosféricos (temperatura, viento) y de las características de los episodios (intensidad, volumen, temporalidad, etc. En la zona próxima al área de estudio, esta pérdida es del orden del 20 al 35% de la lluvia incidente (Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1999), el resto constituye la precipitación neta.

Además, el agua que alcanza el suelo (precipitación neta), lo hace por tres vías: Goteo (trascolación), escorrentía cortical y precipitación libre (a través de los huecos no cubiertos). La fracción retenida en la cubierta vuelve a la atmósfera por evaporación (pérdida por interceptación).

Pudiendo conocer la cantidad real de precipitación que alcanza el suelo bajo una cubierta vegetal y el drenaje que se produce, puede estimarse la ETR, para un intervalo de tiempo concreto.

Aún así, hay que tener en cuenta que la vegetación introduce una considerable modificación en la distribución de la lluvia neta que alcanza el suelo, habida cuenta de las importantes diferencias de la cantidad de agua que llega a los distintos puntos y esto tiene que repercutir necesariamente en la distribución de la humedad del suelo, en la cantidad y distribución de raíces, etc. y, por consiguiente, en los valores de ETR (Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1994).

ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se ha llevado a cabo en un matorral mediterráneo semiárido situado en el campo experimental de «El Ardal», Cuenca de Mula (Murcia). El área se encuentra a 550 m de altitud, la media de precipitación anual está por debajo de los 300 mm, con acusadas variaciones mensuales e interanuales (Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1996), y la temperatura media anual es de 14.5 °C.

La formación vegetal predominante es un matorral, compuesto mayoritariamente por arbustos y gramíneas perennes, siendo *Rosmarinus officinalis* y *Brachypodium retusum*, las especies más representativas respectivamente, a estas se suman otras como *Thymus zizis*, *Sideritis s. icana*, *Teucrium, s. gracilum*, *Fumana thymifolia*, *Rhamnus lycioides*, *Heliantemum cinereum*, *Cistus clusi* y *Artemisia campestris*. Es abundante la presencia de enebro (*Juniperus oxycedrus*) y pino carrasco (*Pinus halepensis*). De forma muy aislada aparecen ejemplares de esparto (*Stipa Tenacissima*).

OBJETIVOS

La pretensión de esta investigación es obtener valores de ETR para distintas coberturas vegetales en un matorral mediterráneo semiárido, usando las variaciones de humedad del suelo medidas mediante el procedimiento TDR (Time Domain Reflectometry), en un intervalo temporal de 15 días y utilizando la lluvia simulada como fuente de alimentación hídrica.

En segundo lugar, se hace una comparación de los valores de ETR obtenidos, con los calculados mediante el método de Thortwaite que usa la temperatura media como parámetro fundamental.

Por último, la conversión de agua incorporada al suelo por precipitación en su correspondiente valor de humedad, es necesaria para determinar la cantidad de precipitación que llega al suelo bajo la vegetación (Belmonte Serrato *et al.* 2006). Por lo que esto, constituye otro objetivo de la investigación.

METODOLOGÍA

El trabajo se ha llevado a cabo en dos fases diferenciadas, pero complementarias. En primer lugar, era necesario obtener una función de correlación entre la precipitación incorporada al suelo y los valores de humedad correspondiente medidos mediante la técnica TDR. Posteriormente, en el campo, se han realizado las simulaciones de lluvia para los distintos tipos de cubierta seleccionados.

Funciones de correlación precipitación-humedad

Para obtener la función de conversión precipitación-humedad, se recogieron seis muestras de suelo sin alterar en puntos situados junto al lugar donde se realizaron las simulaciones de lluvia, una muestra por cada parcela de simulación. El suelo se extrajo mediante cilindros de PVC de 20 cm de longitud por 11 cm de diámetro (figura 1). Esto supone 1900,67 cm³ de suelo, con una superficie de 95.034 cm². En cada cilindro se instaló una sonda para TDR (*L*15 cm, *s* 5 cm, *d* 0.5 cm) en posición vertical y centrada. Los cilindros se sometieron a secado en estufa a 35°C, temperatura media de las máximas en el área de estudio. Este criterio persigue dos objetivos: agilizar el tiempo de secado, ya que la temperatura media del laboratorio es de unos 20 grados, y no incurrir en una posible alteración de las propiedades del suelo de las muestras sometiéndolas a temperaturas excesivamente elevadas. La humedad se midió con frecuencia diaria hasta que los valores se estabilizaron.

A partir de aquí, las muestras se humedecieron con cantidades de agua equivalentes a determinados valores de precipitación en mm en función de la superficie del cilindro que actuaba así a modo de pluviómetro. (5, 10, 15, 20, 25, y 30 mm), lo que equivale para la superficie de los cilindros a 47.5, 95, 142.5, 190, 237.6 y 285.1 cc de agua y se midió su contenido de humedad. Después se volvió a repetir el proceso de secado y la correspondiente humectación. Las repeticiones se hicieron tres veces por cada muestra, lo que supone un total de 108 valores de agua incorporada en cc, su equivalente en mm y el valor de humedad volumétrica correspondiente.

La humectación de las muestras se realizó mediante una botella de plástico de 1000 cc de capacidad, colocada a 10 cm por encima de los cilindros y sujeta mediante un soporte (Belmonte *et al.*, 2006).



FIGURA 1

Cilindros de suelo sin alterar para la obtención de las funciones de correlación precipitación-humedad.

Obtención de la lluvia neta

Una vez obtenida la función de conversión precipitación-humedad, se realizaron las simulaciones en las seis parcelas seleccionadas. Las parcelas tienen una superficie de 1 m². La parcela 1, está cubierta en su totalidad por un ejemplar de esparto (*Stipa tenacissima*); la 2 está cubierta, también en su totalidad por un ejemplar de enebro (*Juniperus oxycedrus*); en la 3 la cobertura está compuesta por romero (*Rosmarinus officinalis*) y la gramínea *Brachypodium retusum*, muy abundante en el área de estudio; la parcela 4 está cubierta por romero sin tapiz de herbáceas y la 5 es una parcela cubierta exclusivamente por *Brachypodium retusum*. La parcela 6 está desprovista de cubierta vegetal y actúa de testigo (figura 2).

En su interior se colocaron cuatro puntos de muestreo para TDR a 15 cm. de profundidad y 5 cm. de separación entre varillas. Tres de los puntos se colocaron de forma aleatoria y el cuarto junto a los troncos de esparto, enebro y romero, de los que se conoce que trasladan gran parte de la lluvia interceptada a través de los troncos hasta el suelo (Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1999). En las parcelas de suelo desnudo y de *Brachypo-*



FIGURA 2

Parcela testigo con indicación de los puntos de muestreo de TDR.

diun retusum todos los puntos están distribuidos de forma aleatoria. El objetivo de esta distribución es medir las variaciones de humedad del suelo tanto en las zonas que reciben flujo concentrado (entorno de los troncos), como en las que recibe flujo disperso (resto de cubierta), para obtener un valor real de conversión lluvia-humedad, imprescindible para determinar la lluvia neta.

Las simulaciones se realizaron con un simulador como el descrito en Calvo *et al.* (1988). Se realizaron dos simulaciones por parcela, dejando 15 días entre la primera y la segunda simulación.

Antes de realizar las simulaciones se determinó el valor de precipitación a partir del cual empezaba a generarse escorrentía (Belmonte Serrato *et al.*, 2006). Para ello, se realizó una simulación, en un lugar diferente de las parcelas pero próximo a ellas, antes del inicio de cada sesión. Tras estos primeros datos, se decidió realizar las simulaciones con una cantidad de precipitación que no superase el umbral de generación de escorrentía. De esta forma, se podía suprimir la medida de la escorrentía en el cálculo del balance de precipitación, y además permitía el uso de parcelas abiertas al no tener que recoger escorrentía.

La cantidad de agua utilizada para cada simulación fue la equivalente a una precipitación de 12 mm, prolongando las simulaciones hasta que el agua se vertía completamente en el área de las parcelas. La intensidad media de las simulaciones fue la mínima que pudo obtenerse con el simulador, trabajando a la presión que permitía una dispersión más o

menos homogénea del goteo en un área de 1 m² aproximadamente. La presión de trabajo del simulador fue de 1.2 Kg/cm² y las intensidades obtenidas de entre 35 y 38 mm/h.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ecuaciones de conversión humedad-precipitación

Puesto que el secado se ha realizado a una temperatura de unos 35 °C, se ha considerado que los valores de humedad a peso seco, se corresponden con los mínimos valores de humedad obtenidos en el área en condiciones naturales. La humedad media obtenida en el área, en los meses de julio y agosto es de 0.043 y 0.041 cc/cc respectivamente.

En cada muestra de suelo se realizaron tres ciclos de humectación y secado (Belmonte Serrato *et al.*, 2006), de modo que el dato de humedad mínima es la media de esos tres valores de humedad a peso estabilizado. Se observa que esos valores medios de humedad mínima se asemejan bastante a los valores medios obtenidos en julio y agosto en condiciones naturales. Transformados a mm (tabla 1), los valores oscilan entre 1.6 en el suelo bajo esparto y 0.4 mm en el suelo sin cubierta vegetal.

TABLA 1
Valores de humedad mínima y su correspondiente valor en mm.

Suelos	Humedad volumétrica cc/cc	(mm)
1	0.045	1.6
2	0.038	1
3	0.040	1.4
4	0.043	1.5
5	0.027	0.60
6	0.018	0.40

La mejor correlación ($R^2 0.98$) se ha obtenido en los suelos con menor cubierta vegetal, muestras 5 y 6 que son los que tienen un menor porcentaje de materia orgánica, y una densidad aparente ligeramente inferior, aunque también estos suelos tienen una menor cantidad de macroporos, debido a la escasa presencia de raíces, y un menor tamaño de los agregados, pérdidas de agua más reducidas hacia el interior del suelo (Calvo *et al.*, 2003). Estos condicionantes pueden estar facilitando una humectación más homogénea del perfil edáfico que permite mejorar la medida con el TDR.

Para las simulaciones que se realizaran sobre las parcelas, la ecuación que nos interesa es la que transforma los valores de humedad en precipitación (tabla 2). Esta nos va a permitir conocer la cantidad de humedad en el suelo (en mm) previa a la simulación y, de este modo, poder calcular la lluvia incorporada (lluvia neta) tras la simulación.

TABLA 2
Ecuaciones de transformación de humedad del suelo en cc/cc a mm incorporado

Suelos	Ecuación	R ²
1	$P. = 113.74 \times h. - 3.1107$	0.97
2	$P. = 109.97 \times h. - 2.3669$	0.96
3	$P. = 114.43 \times h. - 3.4274$	0.97
4	$P. = 99.778 \times h. - 1.6913$	0.96
5	$P. = 107.67 \times h. - 1.6994$	0.98
6	$P. = 116.07 \times h. - 2.0987$	0.98
General	$P. = 108.55 \times h. - 1.9528$	0.96

Fuente: Belmonte Serrato, *et al.* (2006).

Estimación de la lluvia neta

Después de obtener las ecuaciones que permiten transformar los valores de humedad volumétrica a precipitación incorporada al suelo en mm, se procedió a realizar las simulaciones de lluvia que nos permitirían realizar el cálculo del balance hídrico de precipitación en el suelo. Como se ha comentado en el apartado de metodología, previamente se estimó la precipitación a partir de la cual se iniciaba la escorrentía, para trabajar con una cantidad de agua que no provocara inicio de escorrentía y, por tanto, hiciera innecesario medir este valor en el cálculo del balance hídrico. En la tabla 3 se recogen algunas características climáticas y condiciones de simulación en las fechas de realización de las simulaciones previas.

TABLA 3
Temperatura, humedad relativa y condiciones de simulación en las fechas del muestreo

Fecha	Temperatura °C	HR %	Duración (minutos)	Precipitación mm	Intensidad (mm/h)
10/1/05	10.5	68	19	12	37.9
25/1/05	12.4	62	22	13	35.5

Fuente: Belmonte Serrato, *et al.* (2006).

En la tabla 4 aparecen los resultados de los balances hídricos de las simulaciones. Se aprecia claramente un aumento de la precipitación incorporada al suelo a medida que se

TABLA 4
Resultados de las simulaciones sobre las parcelas

Parcela 1	(mm)	Humedad previa P. equivalente	Humedad final P. equivalente	Precipitación incorporada	Precipitación retenida
Simulación 1	12	0.164 15.57	0.250 25.28	9.71	2.29
Simulación 2	12	0.211 20.91	0.299 30.85	9.94	2.06
Parcela 2	(mm)	Humedad previa P. equivalente	Humedad final P. equivalente	Precipitación incorporada	Precipitación retenida
Simulación 1	12	0.093 7.47	0.180 17.1	9.84	2.16
Simulación 2	12	0.135 12.22	0.220 21.96	9.74	2.26
Parcela 3	(mm)	Humedad previa P. equivalente	Humedad final P. equivalente	Precipitación incorporada	Precipitación retenida
Simulación 1	12	0.068 4.62	0.156 14.67	10.04	1.96
Simulación 2	12	0.118 10.31	0.206 20.26	9.97	2.03
Parcela 4	(mm)	Humedad previa P. equivalente	Humedad final P. equivalente	Precipitación incorporada	Precipitación retenida
Simulación 1	12	0.060 3.71	0.150 13.98	10.27	1.73
Simulación 2	12	0.098 8.04	0.187 18.17	10.13	1.87
Parcela 5	(mm)	Humedad previa P. equivalente	Humedad final P. equivalente	Precipitación incorporada	Precipitación retenida
Simulación 1	12	0.120 10.54	0.220 21.91	11.37	0.63
Simulación 2	12	0.174 16.63	0.272 27.87	11.24	0.76
Parcela 6	(mm)	Humedad previa P. equivalente	Humedad final P. equivalente	Precipitación incorporada	Precipitación retenida
Simulación 1	12	0.220 21.91	0.323 33.64	11.73	0.27
Simulación 2	12	0.270 27.60	0.299 39.23	11.64	0.36

Fuente: Belmonte Serrato, *et al.* (2006).

reduce la cobertura. Aún así, en la parcela sin vegetación (6), no toda la precipitación se incorpora a la humedad edáfica, un 2% de la lluvia no se ha incorporado, probablemente debido a la elevada pedregosidad sobre la que se retiene una pequeña parte del agua que alcanza el suelo y, en menor medida, a la evaporación durante el tiempo de simulación.

Para el objetivo de este trabajo, lo que interesa es únicamente la diferencia de humedad en el suelo entre la primera y la segunda simulación entre las que habían pasado 15 días, y puesto que la humedad en el suelo tras la primera simulación permite considerar nula la percolación hacia horizontes más profundos y mucho menos la existencia de un flujo lateral pendiente abajo, las diferencias entre la humedad final tras la primera simulación y la previa a la segunda, se corresponde con los valores de evapotranspiración.

En la tabla 5 se comparan los valores obtenidos mediante las variaciones de humedad en el suelo, con los calculados a partir del método de Thornthwaite, el valor estimado de ETR ha sido bastante semejante al obtenido bajo las coberturas de *Stipa tenacissima* y *Rosmarinus officinalis con Brachypodium retussum*. Pero es 1 mm inferior al resto de coberturas y 2 mm con respecto al suelo desnudo, lo que significa una enorme diferencia, teniendo en cuenta que se trata de un intervalo temporal de 15 días.

TABLA 5

Valores de evaporación desde el suelo desnudo y evapotranspiración en el suelo de las parcelas cubiertas en los 15 días que separan las dos simulaciones y comparación con los valores calculados por varios métodos de cálculo

Cubierta/especies	ETR mm	ETP Thornthwaite mm
<i>Stipa tenacissima</i>	4.37	ETP enero/2 =4.02
<i>Juniperus oxycedrus</i>	5.08	
<i>Rosmarinus officinalis</i> y <i>Brachypodium retussum</i>	4.36	
<i>Rosmarinus officinalis</i>	5.95	
<i>Brachypodium retussum</i>	5.28	
<i>Superficie del suelo</i>	6.04	

CONCLUSIONES

Los ensayos para obtener la función de correlación entre la precipitación incorporada al suelo y el contenido de humedad en el mismo, han proporcionada ecuaciones estadísticamente muy significativas. Los coeficientes de determinación de Pearson oscilan entre $R^2 = 0.96$ y 0.98 , lo que permite el uso de las mismas en la transformación del contenido de humedad volumétrica a mm de precipitación.

En las simulaciones de lluvia realizadas se ha comprobado que la incorporación de agua al suelo aumenta a medida que se reduce la densidad de cubierta vegetal, diferente para los distintos tipos de coberturas muestreadas. Esto da validez a las variaciones de humedad del suelo como indicador de la precipitación real incorporada al suelo y la retenida por las distintas cubiertas.

El procedimiento ha permitido medir de forma efectiva la evaporación en la parcela sin vegetación y la ETR en las parcelas cubiertas. Los datos obtenidos son aproximados a los valores calculados por el método de Thornthwaite (1957) en dos de las coberturas (*Stipa tenacissima* y *Rosmarinus officinalis con Brachypodium retussum*), pero 1 mm superiores en el resto de cubiertas y 2 mm en la parcela sin vegetación. Lo que permite pensar que el método de Thornthwaite, subestima la ETR para este tipo de coberturas.

En cualquier caso, este es un primer ensayo, en condiciones de simulación, del uso de las variaciones de humedad del suelo como indicador de la precipitación realmente incorporada al suelo bajo distintas cubiertas vegetales y de estimación de la ETR para determinados intervalos de tiempo que es preciso continuar con nuevas simulaciones y también en condiciones naturales.

AGRADECIMIENTOS

El uso de un aparato de medida TDR (Time Domain Reflectometry) ha sido imprescindible para la consecución de los objetivos de este trabajo, este ha sido cedido amablemente por el Profesor Francisco López Bermúdez, los autores expresan su agradecimiento.

REFERENCIAS

- BELLOT, J. y ESCARRE, A. (1989): Efecto del estado de desarrollo del bosque mediterráneo sobre la distribución del agua de lluvia y nutrientes sobre en el suelo forestal. *Options Méditerranéennes- Série Séminaires*, 3: 221-225.
- BELLOT, J. y ESCARRE, A. (1998): Stemflow and throughfall determination in a resprouted Mediterranean holm-oak forest *Ann. Sci. For.* 55: 847-865.
- BELLOT, J., SÁNCHEZ, J.R., CHIRINO, E., HERNÁNDEZ, N., ABDELLI, F. y MARTÍNEZ, J. M. (1999): Effect of different vegetation type cover on the soil water balance in semi-arid areas of South Eastern Spain. *Phys. Chem. Earth (B)*. Vol. 24, No. 4: 353-357.
- BELMONTE SERRATO, F. y ROMERO DÍAZ, A. (1994): Distribución de flujos de agua en el proceso de interceptación en cuatro especies mediterráneas y su relación con la cantidad de agua disponible en el suelo. En: *Geomorfología en España*. Arnáez, J.; García Ruiz, J.M. y Gómez Villa, A. (eds.). S.E.G. Logroño: 201-210.
- BELMONTE SERRATO, F. y ROMERO DÍAZ, A. (1996): Aproximación a las características climáticas de el área de influencia del campo experimental de «El Ardal» (Murcia). La representatividad de las series climáticas disponibles. *Papeles de Geografía*, 23-24: 47-61.
- BELMONTE SERRATO, F. y ROMERO DÍAZ, A. (1997): A simple technique for measuring rainfall interception by small shrub: interception flow collection box *Hydrological Processes*, 12: 471-481.

- BELMONTE SERRATO, F. (1997): *Interceptación en bosque y matorral mediterráneo semiárido: balance hídrico y distribución de la lluvia neta*. Tesis doctoral, Universidad de Murcia. 375 pp.
- BELMONTE SERRATO, F. y ROMERO DÍAZ, A. (1998): Modelos y técnicas en interceptación. *Cuadernos Técnicos de la S.E.G. nº 11*, Geoforma Ediciones. Logroño.
- BELMONTE SERRATO, F. y ROMERO DÍAZ, A. (1999): Interceptación en algunas especies del matorral mediterráneo. *Cuadernos de Ecología y Medio Ambiente. Nº 7* 202 pp. Universidad de Murcia.
- BELMONTE SERRATO, F., ROMERO DÍAZ, A. y QUIÑONERO RUBIO, J.M. (2006): Medida de la precipitación incorporada al suelo bajo distintas cubiertas vegetales en ambiente mediterráneo semiárido, tomando como indicador las variaciones de humedad. *Ecología*, 20 (en prensa).
- CALDER, I.R. (1990). *Evaporation in the uplands*. J.Wiley (ed) Chichester.
- CALVO, A., GISBERT, B., PALAU, E. y ROMERO, M. (1988): Un simulador de lluvia portátil de fácil construcción. En: M.Sala y F. Gallart (eds.). *Métodos y técnicas para la medición de procesos geomorfológicos*, S.E.G Monografía, 1: 6-15.
- CALVO CASES, A., BOIX-FAYOS, C. y IMENSON, I.C. (2003): Runoff generation, sediment limestone slopes of some Mediterranean environments in SE Spain. *Geomorphology*, 50, 269-291.
- CALVO DE ANTA, R.N., GONZÁLEZ, A.P. y VIQUEIRA, F.D. (1979): Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. II. Aportes de elementos por lavado de cubierta y tronco. *An. Edafol. Agrobiol.* 38: 1675-1692.
- DELGADO INIESTA, M.J., BELMONTE SERRATO, F. y LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (2000): Relaciones entre estabilidad de agregados y propiedades físicas y químicas de los suelos en un ambiente mediterráneo semiárido. *Rev. C. & G.*, 14 (1-2), 35-45. SEG. AEQUA. Geoforma Ediciones.
- DEROUCHE, A. (1996): Estimation et modelisation des composantes du bilan hydrique chez diferentes formation arborees, arbustives et herbacees mediterrannennes. Tesis Master of Science. Zaragoza. 119 pp.
- DUROCHER, M.G. (1990): Monitoring spatial variability of forest interception. *Hydrological Processes*, vol. 4: 215-229.
- ESCARRÉ, A., LLEDÓ, M.J., BELLOT, J., HERVÁS, J., PUJALTE, E. y GARRIDO, P. (1982): Balance de nutrientes en pequeñas cuencas de encinar. I. Selección de la zona de estudio e instalación de instrumentos para la recogida de datos. *Mediterránea Ser. Biol.* 6: 141-165.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1995): *Manual de Climatología Aplicada*. Editorial Síntesis. Madrid. 285 pp.
- HORTON, R.E. (1919). Rainfall interception. *Monthly Weather. Rev.* 47: 603-623.
- 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.
- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J. y CEBALLOS, A. (2001): *Diseño y validación de una sonda TDR para la medición de la humedad del suelo*. En: Temas de investigación de

- zona no saturada. J.J. López, y M. Quemada (Eds.). Universidad Pública de Navarra, Gobierno de Navarra, Pamplona, 37-43.
- NAVAR, J. y BRYAN, R. (1990): Interception loss and rainfall redistribution by three semi-arid growing shrubs in Northeastern México. *Journal of Hydrology*. 115: 51-63.
- ROMERO DÍAZ, A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F., BELMONTE SERRATO, F. y BARBERÁ G.G. (1998): Erosión y escorrentía en el campo experimental de «El Ardal» (Murcia). Nueve años de experiencias. *Papeles de Geografía*, 27: 129-144.
- SÁNCHEZ GÓMEZ, P. (Coord.) (1998): *Flora de Murcia. Claves de identificación e iconografía de plantas vasculares*. Ed. Diego Marín. Murcia, 378 pp.
- TROMBLE, J.M. (1988): Water interception by two arid land shrubs. *Journal of Arid Enviroments*, 15, 65-70.
- TOPP, G.C., DAVIS, J.L. y ANNAN, A.P. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*. 16. pp. 574-582.

