

UN ANÁLISIS SENCILLO PARA DESCRIBIR LA INFLUENCIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE SUELO SOBRE LA EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD EDÁFICA EN PARCELAS DE OLIVAR

F. Márquez¹, J.V. Giráldez², A. Rodríguez¹, R. Ordóñez³

¹ Asociación Española de Agricultura de Conservación/Suelos Vivos. Centro Alameda del Obispo. Apdo. 3092. 14080-Córdoba. fmarquez@aeac-sv.org arodriguez@aeac-sv.org

² Dpto. de Agronomía, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, y Dpto. de Agronomía, IAS, CSIC, Apdo. 4084, 14080, Córdoba. aglgicej@uco.es

³ Área de producción ecológica y recursos naturales. IFAPA. Centro Alameda del Obispo. Apdo. 3092. 14080-Córdoba. rafaella.ordonez.ext@juntadeandalucia.es

RESUMEN: Una gran parte del olivar que se cultiva en España se desarrolla en condiciones de secano. Para mejorar su productividad, y, al mismo tiempo conservar el suelo, agua, y el ambiente en general, es necesario conocer la evolución de la humedad edáfica, determinando la influencia que sobre ella ejercen diversos sistemas de manejo.

Se propone la adopción de un modelo sencillo de la evolución de la humedad del suelo basado en el esquema de Thornthwaite y Mather, que no requiere demasiados datos meteorológicos o edafológicos, facilitando así su aplicabilidad. El modelo ha sido testado con una serie de datos obtenidos durante dos años en una red de microparcelas situadas en diversas comarcas olivereras andaluzas, en las que se ha comparado el laboreo tradicional con el uso de cubiertas vegetales.

Los resultados muestran la importancia de la evaporación primaveral del agua del suelo como principal mecanismo de descarga, que no depende mucho del sistema de manejo adoptado y sí de las condiciones atmosféricas. Con ayuda del modelo se propone una fecha óptima de siega de la cubierta protectora.

ABSTRACT: A great part of the cultivation of olive groves in Spain is carried out in non-irrigated land. To improve productivity while at the same time preserving soil, water and environmental conditions in general, it is necessary to find out the evolution of the amount of moisture in the soil, determining the effect of different procedural systems.

This work proposes a simple method of soil moisture evolution based on Thornthwaite and Mather's scheme, which does not require very many data on meteorology or edaphic conditions, thus facilitating its application. The model has been tested with a series of data obtained over two years in a network of microplots located in different Andalusian olive regions, where traditional labour methods have been compared to the use of vegetation covering.

The results show the importance of springtime ground water evaporation as the main method of watering, which does not depend as much on the individual system adopted as on the atmospheric conditions themselves. This model helps to determine the best cutting date for the protective covering.

1.- Introducción

Las cubiertas vegetales fueron introducidas en España como método de control de la erosión, que constituye uno de los mayores problemas agrícolas y ambientales. Aunque la información sobre la pérdida de suelo en los olivares es escasa, (e.g. Espejo-Pérez *et al.* 2004; Gómez, 2005) y hay discrepancias entre algunas estimaciones (e.g. Wilkinson y McElroy, 2007), lo que es un hecho de carácter general en el mundo, son los estragos de la erosión, tanto en truncamiento de perfiles de suelo como en la dispersión de los sedimentos. La reducción de las labores mejoró parcialmente la condición de la planta al disminuir los daños a los sistemas radicales, pero al reducirse la velocidad de infiltración del agua en el suelo se generan mayores caudales de escorrentía superficial, y, con ellos, mayores pérdidas de suelo y dispersión de sedimentos en las respectivas cuencas. Por ello se recurre a la planta, para que mantenga una protección prolongada del suelo sin llegar a ser una competidora con la planta cultivada, el olivo, por el aprovechamiento del agua y otros nutrientes. De esta forma al término de la estación de lluvias se siegan las plantas que crecen entre los árboles con el fin de que no compitan por la humedad del suelo con el olivo, con la esperanza de que rebroten al principio de la próxima estación de lluvias.

La cubierta vegetal puede ser la solución más eficaz para reducir la erosión y mejorar la fertilidad del suelo, (Blevins, 1986), pero ha de segarse en el momento preciso en que comienza la competición por los recursos, especialmente por el agua, principal factor limitante de la producción en la olivicultura de secano (Berengena, 1998), sistema productivo más común en Andalucía, ocupando un 82,5% de la superficie total cultivada con este árbol (Eslava-Galán, 2003). El conocimiento de tal momento es difícil pues varía con el tipo de cubierta, suelo, meteorología y vegetación arvense propios de cada año.

Con el fin de conocer el comportamiento del suelo de olivar, se inició hace unos años una campaña continuada de medidas de humedad, escorrentía y sedimentos en fincas representativas de las comarcas olivereras andaluzas. Los resultados hasta ahora muestran los beneficios de la cubierta en la conservación del suelo y del agua en el olivar (Espejo-Pérez, 2004; Márquez 2006).

Para determinar el momento óptimo de siega se puede recurrir a un modelo que describa la evolución de la humedad del suelo en función de las características indicadas anteriormente. Sin embargo, a medida que el número de variables de entrada crece, más difícil resulta la aplicación práctica del modelo. Por otra parte la variabilidad espacial de los procesos requiere un esfuerzo adicional para el usuario del modelo. Por ello se ha elegido un modelo sencillo de los que reducen el suelo a un cubo en el que se resumen los rasgos más importantes de su comportamiento. Vanderlinden *et al.* (2005) adoptaron el modelo de Milly (1994) en el que el suelo no ejercía control alguno sobre la evaporación, excepto su propia disponibilidad de agua, para analizar el balance de agua a escala regional. Sin embargo, parece más conveniente incluir alguna resistencia a la evaporación en el suelo, aunque sea una sencilla proporción de la humedad que éste tiene en cada momento, como propusieron Thornthwaite y Mather en su esquema (Steenhuis y van der Molen, 1986). Las variables de entrada de este modelo son las intensidades respectivas de precipitación y evapotranspiración de referencia. El modelo requiere dos parámetros adicionales: el volumen máximo de agua que puede albergar el suelo y un coeficiente de reducción de la intensidad de evaporación de referencia.

El propósito de este trabajo es una exploración del uso de un modelo tan sencillo para describir la evolución de la humedad en suelo de olivar bajo cubierta vegetal y laboreo tradicional, contrastándolo con los datos de campo.

2.- Material y métodos

2.1. Características de los campos experimentales y trabajo de campo

Se han estudiado ocho parcelas experimentales distribuidas por la región. Hay tres en la provincia de Córdoba (C3, Castro del Río; C4, Nueva Carteya y C5, Obejo), dos en Huelva (H1 y H2, Chucena), dos en Jaén (J1, Torredonjimeno y J2, Torredelcampo) y una en Sevilla (S2, La Campana).

Existe gran variabilidad entre las diferentes fincas, tanto en el tipo de cubierta vegetal, como en el sistema de manejo de la misma por los respectivos propietarios.

Descripción de las parcelas de ensayo:

- C3: olivar de regadío, de 9 años, a un solo pie y con un marco de plantación de 8x8 m². La pendiente media de la finca es del 15%, con textura franco-arcillosa en los primeros 20 cm, y un 1,09% de materia orgánica. Se trata de cultivo ecológico. Posee una cubierta vegetal espontánea de malas hierbas a todo terreno, con abundancia de gramíneas y presencia a principios de la primavera de jaramago (*Diplotaxis virgata* (Cav.) DC.). Siega la cubierta vegetal mecánicamente, con uno o dos pases de desbrozadora de cadenas, realizando con posterioridad uno o dos pases de cultivador para eliminar el posible rebrote de

la misma, inyectar la vinaza mediante éste y destruir las galerías de los topos, muy comunes en esta finca.

- C4: olivar de un solo pie, con un marco de 7x7 m² y 15 años de edad. La finca se distribuye por la solana de una zona de pendiente acusada y variable, de un 23,7% en la zona media hasta un 8,5% en la zona baja. Es un suelo franco, con bastante materia orgánica, 2,09%. Es también cultivo ecológico, con cubierta vegetal espontánea de malas hierbas a todo terreno, formada básicamente por gramíneas y dicotiledóneas el primer año y exclusivamente por dicotiledóneas el segundo, que se controlan mediante desbrozado mecánico con desbrozadora de cadenas.

- C5: situado en la sierra cordobesa, es un olivar viejo de un solo pie, con aprovechamiento ganadero. No tiene marco definido y el volumen de copa es reducido. La topografía es irregular con afloramientos rocosos y el suelo muy somero con textura franco limosa y materia orgánica elevada, 2,62%, debido al ganado que ha pastado en él. Tiene una cubierta de gramíneas y leguminosas, que es desbrozada mediante pastoreo de ovino.

- J1: es un olivar a dos pies con más de cincuenta años y un marco de plantación de 10x10 m². La pendiente media es 7,6%, y posee una cubierta vegetal inerte a base de restos de poda. Las malas hierbas de la zona cubierta se tratan con glifosato (sal isopropilamina de N-(fosfonometil) glicina).

- J2: está muy próxima a la J1. Es un olivar antiguo de dos pies, con un marco de 12x12 m² y una pendiente media del 18,6%. La cubierta establecida es sembrada con ballico (*Lolium rigidum* L.), que es segado químicamente mediante la aplicación de glifosato.

- S2: olivar joven (8 años) de un pie, con un marco de 8x6 m². Los olivos están plantados sobre caballones, para evitar problemas de encharcamiento. Son de la variedad gordal y están regados por goteo. Hay especies perennes entre las malas hierbas (malváceas, coniza (*Coniza bonariensis* L.)) y especies de primavera (tomatito (*Solanum nigrum* L.)).

- H1 y H2: están separadas entre sí tan sólo 220 m. La pendiente media en H1 es del 8,7% y en H2 es 9,7%. Es una plantación de olivar arbequino de 7 años, con un marco de 6x8 m². Ambas poseen cubiertas vegetales espontáneas de malas hierbas entre las calles de la plantación, prevaleciendo en la primera las malváceas y en la segunda algunas gramíneas y relojito (*Erodium malacoides* L.), que son eliminadas mediante desbroce mecánico, recurriendo a la siega química con glifosato, en el caso de existir rebrotes de las hierbas.

Se han realizado salidas periódicas a campo, entre noviembre del año 2003 y septiembre del 2005, en las que cada 4-5 semanas o tras cada evento de lluvia, se extrajeron muestras de suelo con una barrena Edelman para cada uno de los sistemas de manejo, cubierta vegetal y laboreo convencional, en los intervalos de humedad 0-0.05, 0.05-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.4 y 0.4-0.6 m. La densidad aparente se midió con cilindros huecos de acero inoxidable de 0.06 m de altura y 0.052 m de diámetro interior. El grado de cobertura de suelo se midió con fotografías realizadas sobre una retícula de 1 m².

2.2. Análisis de datos

El coeficiente del cultivo para el cálculo de la evapotranspiración, K_c , se estimó con el modelo de Ritchie (1972), que separa la transpiración de la evaporación desde la superficie del suelo.

$$K_c = 0.14 + 1.08 \cdot f_{sc} + \frac{13.3 - 5.2 \cdot f_{sc}}{IL \cdot ET_0} \quad (1)$$

siendo ET_0 la intensidad de la evapotranspiración de referencia, mmd^{-1} , IL la duración del intervalo entre lluvias en días, y f_{sc} la fracción de suelo cubierto.

Se han usado los valores de precipitación y evapotranspiración de referencia diarias de las estaciones agroclimáticas de la Junta de Andalucía cercanas: Baena, para C3 y C4; Adamuz para la C5; Higuera de Arjona para J1 y J2; Lora del Río para S2 y la Palma del Condado para H1 y H2. La evapotranspiración en la parcela, ET , se obtiene aplicando la fórmula

$$ET = K_c \cdot ET_0 \quad (2)$$

Esta expresión es válida mientras no aparezca estrés hídrico suficiente en la planta que restrinja el flujo de agua, lo que normalmente sucede cuando se ha agotado el 80% del agua extraíble del suelo. Por debajo de ese valor el valor del coeficiente K_c desciende linealmente hasta alcanzar el valor 0 cuando se alcanza el punto de marchitez permanente del suelo (Villalobos *et al.* 2002).

Para estimar la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, se midieron las humedades correspondientes a unas componentes matriciales del potencial de -0.033 y -1.5 MPa, mediante el equipo de placas y membrana de presión (Dane y Hopmans, 2002).

El balance anual de agua en el suelo se ha aproximado con el modelo de Thornthwaite y Mather (Steenhuis y van der Molen, 1986), basado en una pérdida de agua por evaporación proporcional a la humedad presente en el suelo,

$$\frac{dS}{dt} = (EP - P) \frac{S}{S_{max}} \quad (3)$$

Donde EP es evapotranspiración potencial diaria, P es la precipitación diaria, S la humedad almacenada en el perfil del suelo y S_{max} su valor máximo o capacidad total.

De esta forma a medida que el suelo se seca aumenta su resistencia a perder un mayor volumen de agua.

Las variables del modelo son la precipitación y la evapotranspiración diarias recogidas en las estaciones meteorológicas cercanas (Junta de Andalucía, 2006), y los datos de humedad registrados en los muestreos efectuados.

El valor de los parámetros del modelo, S_{max} y un coeficiente de cubeta (Cu), que reduce el valor medido de la evapotranspiración de referencia, se estiman minimizando la función objetivo U , suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores de humedad medidos, S_{oi} , y

estimados, S_{ci} , para el día i -ésimo, siendo n_0 el número total de observaciones.

$$U = \sum_{i=1}^{n_0} (S_{oi} - S_{ci})^2 \quad (4)$$

Se usó el algoritmo de Rosenbrock (*e.g.* Press *et al.*, 1992, § 16.6) para minimizar la función objetivo. Como parámetro de la bondad del ajuste, se ha adoptado el valor de la eficiencia de Nash y Sutcliffe (*e.g.* Beven, 2000, § 7.3), E ,

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n_0} (S_{oi} - S_{ci})^2}{\sum_{i=1}^{n_0} (S_{oi} - \bar{S}_{oi})^2} \quad (5)$$

siendo \bar{S}_{oi} la media de las observaciones.

3.- Resultados

Los parámetros del modelo, incluyendo la eficiencia E , aparecen en la tabla 1. S_{max} representa la humedad máxima capaz de almacenar el suelo, y Cu es el coeficiente de cubeta.

Tabla 1. Parámetros del modelo de Thornthwaite-Mather y marco de plantación, para el conjunto de parcelas de estudio. C cubierta vegetal y N laboreo tradicional. Periodo del 1 de noviembre del 2003 al 1 de septiembre del 2005.

Parcela	E		S _{max}		Cu		Marco m ²
	C	N	C	N	C	N	
C3	0.664	0.639	0.175	0.175	0.232	0.189	8x8
C4	0.738	0.783	0.172	0.169	0.232	0.22	7x7
C5	0.86	0.877	0.098	0.098	0.544	0.453	indefinido
J1	0.798	0.811	0.195	0.181	0.364	0.328	10x10
J2	0.752	0.828	0.178	0.173	0.367	0.328	12x12
S2	0.604	0.613	0.171	0.191	0.202	0.213	8x6
H1	0.737	0.708	0.179	0.177	0.414	0.364	8x6
H2	0.733	0.744	0.183	0.188	0.358	0.362	8x6

El ajuste del modelo es bastante bueno para ambos sistemas de manejo (cubierta vegetal y laboreo tradicional), alcanzando eficiencias que van desde 0,6 como valor mínimo para S2C y 0,877 para C5N.

Los coeficientes de cubeta obtenidos son bajos respecto a los que se pueden obtener en una pradera, encontrándose todos por debajo de 0,5, menos el de C5C, que toma el valor de 0,544, lo que se puede atribuir al efecto protector de la copa de los olivos sobre la superficie del suelo.

Como se observa en la figura 1, no existe una relación clara entre la fracciones texturales del suelo y el coeficiente de cubeta, si bien destaca el elevado valor, 0,544, que corresponde al suelo más arenoso y menos arcilloso. El resto de los datos no muestra relaciones claras, aunque corresponden a un intervalo similar de la fracción arcillosa.

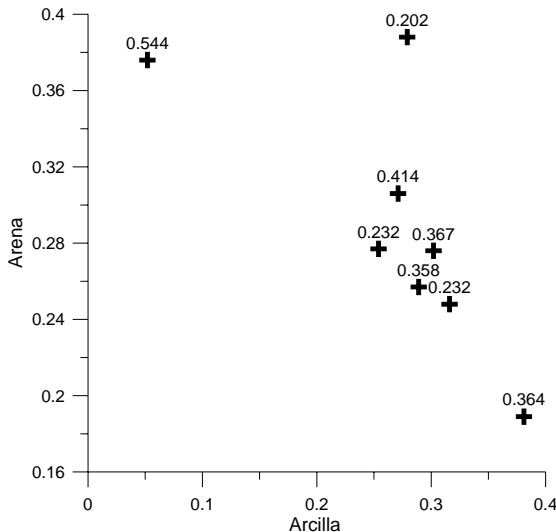


Fig. 1. Coeficientes de cubeta para el conjunto de parcelas experimentales estudiadas en función de las fracciones de arcilla y arena del suelo.

La figura 2 muestra el balance anual de agua estimado por el modelo Thornthwaite-Mather y los datos muestreados en las parcelas de ensayo C4, J2 y H1, encontrando unos resultados muy parecidos en el resto de las parcelas; que se pueden encontrar en Márquez (2006). Como se observa en ésta, el modelo se ajusta bastante bien a los datos obtenidos mediante los muestreos de barrena durante los dos años de estudio y para ambos sistemas de manejo de suelo: cubierta vegetal (C) y laboreo tradicional (N).

4.- Discusión

Los bajos coeficientes de cubeta obtenidos al aplicar el modelo, son achacables a que los olivos al frenar las corrientes de aire y producir un sombreado de la superficie, provocan un descenso en la evapotranspiración de agua desde la superficie del suelo (Eagleson y Segarra, 1985).

Se aprecia en la tabla 1 que los valores de Cu en la zona cubierta son muy superiores a los del laboreo, salvo para las parcelas S2 y H2 en los que los valores son parecidos. Esto se debe a que la cubierta viva transpira agua para su desarrollo superando así al flujo de evaporación desde el suelo desnudo de los tratamientos labrados.

El coeficiente de cubeta, como se aprecia en la figura 1, parece estar más ligado a las condiciones meteorológicas y a las características geométricas de la parcela, como el marco de plantación o el volumen de la copa de los árboles, que ha las características texturales.

Los mayores valores del coeficiente de cubeta coinciden con los marcos de plantación superiores. El valor máximo Cu ocurre en la parcela de ensayo C5 debido al marco irregular de los olivos de esa finca y su pequeño volumen de copa.

Por el contrario en las parcelas H1 y H2 a pesar de no ser los que tienen un marco de plantación más amplio, hay valores de Cu elevados, los máximos tras los de C5. Estos valores se pueden atribuir a la influencia marítima que provoca un aumento de la evapotranspiración debido a los constantes vientos cálidos durante el invierno.

Las parcelas J1 y J2 poseen unos coeficientes de cubeta muy parecidos a las H1 y H2, debiéndose estos valores principalmente al marco de la plantación de las parcelas experimentales, $6 \times 8 \text{ m}^2$ para las H, $10 \times 10 \text{ m}^2$ para J1, y $12 \times 12 \text{ m}^2$, para J2. El aumento del marco provoca que el efecto de sombreado inducido por los olivos sea menor, de ahí ese incremento de la evapotranspiración.

Por otra parte, y como se ha comentado, el ajuste del modelo es bastante bueno, obteniendo unas eficiencias de ajuste elevadas. A pesar de ello, durante el primer año el modelo infraestima los valores de la humedad en el periodo lluvioso, debido al elevado número de chubascos caídos y la precipitación descargada en ellos, en todas las parcelas muestreadas. Durante el periodo de descarga del primer año el modelo realiza un ajuste muy cercano a los datos muestreados en la zona labrada para la mayoría de las fincas, excepto H1 y H2. En las parcelas con cubierta vegetal el modelo predice valores inferiores a los medidos en todas las parcelas excepto C4, ya que el residuo seco sobre el suelo disminuye la evaporación de agua en el mismo, situación que no está contemplada por el modelo.

Las parcelas H1 y H2 muestran unos valores muy bajos de humedad en el periodo de descarga de ambos años y para la primera lluvia del segundo año de estudio pudiendo achacarse esta situación a la cercanía de estas parcelas a la costa, sometidas a la influencia marina que aporte mayor humedad durante el verano debido a vientos cálidos y húmedos.

En el segundo año en la parcela con cubierta vegetal J2 se observa un gran descenso de la humedad del suelo, que no está recogido por el modelo. Esta situación se debe a que las precipitaciones durante ese año fueron muy escasas, en torno a 200 mm, lo que provocó un pobre desarrollo de la cubierta vegetal y que se tomara la decisión de no segar ésta, creyendo que su transpiración sería escasa y no desecaría mucho el suelo. Para explorar este punto se han calculado las intensidades de evapotranspiración en ambos tratamientos usando la ecuación (2), como se muestra en la figura 3. al no segar la cubierta, se produjo una gran evapotranspiración durante los meses de marzo y abril del año 2005, que unido a las escasas precipitaciones provocó un fuerte desecamiento del suelo (Márquez *et al.* 2006), que no es contemplado por el modelo, de ahí las diferencias que se observan entre los valores calculados y los muestreados para la primavera del año 2005 en la parcela J2C.

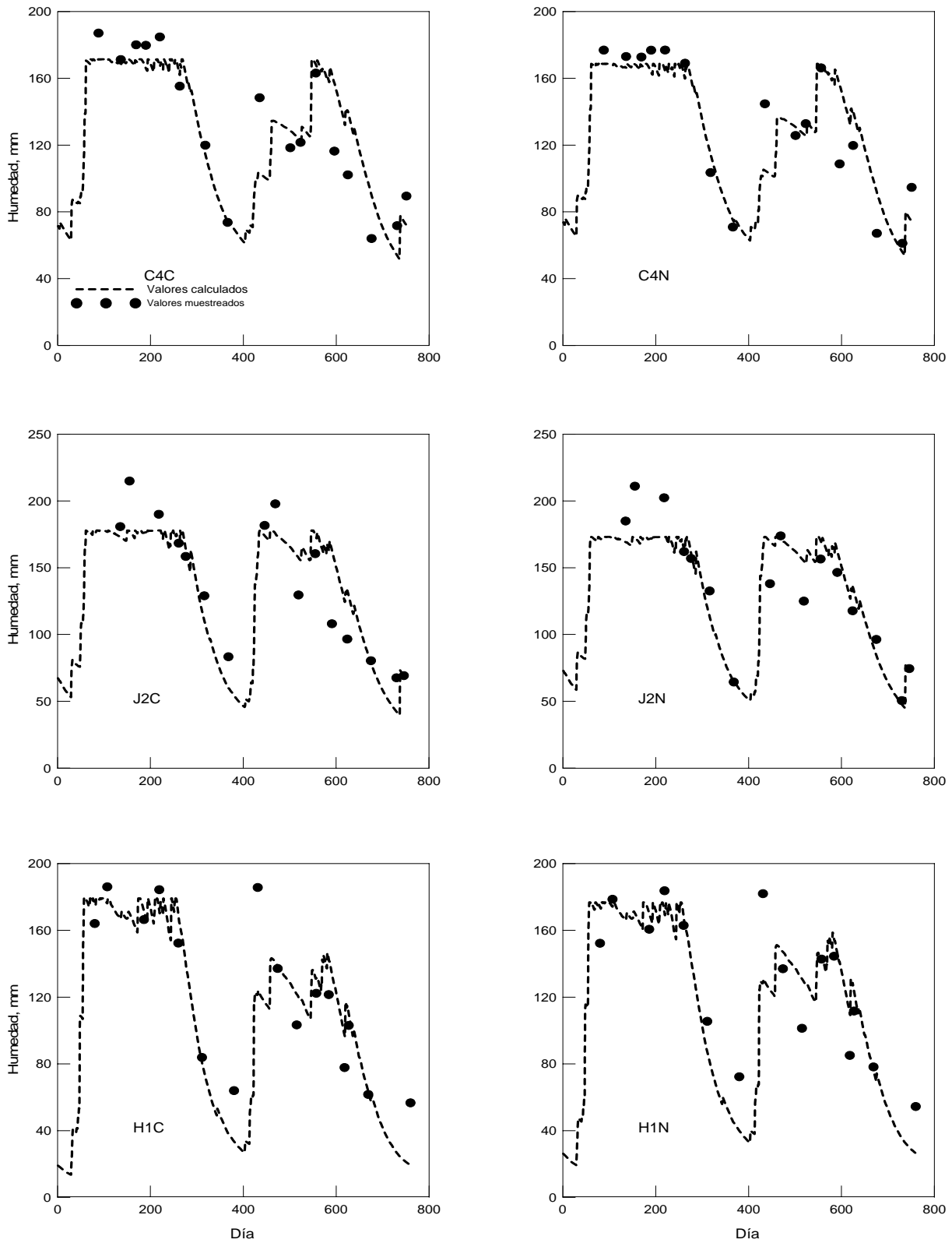


Fig. 2. Datos observados y estimación del modelo de Thornthwaite-Mather para los procesos de carga y descarga del perfil del suelo. C cubierta vegetal y N laboreo tradicional. Periodo del 1 de noviembre del 2003 al 1 de septiembre del 2005. Parcelas H1 y H2.

A pesar de esta situación, se aprecia, como el proceso de descarga en ambos sistemas de manejo de suelo, se produce de manera muy rápida ambos años, con unas pendientes de la curva cercanas a 1, debido a la gran evaporación de agua desde el suelo provocada por la súbita subida de temperaturas y el elevado número de horas de sol.

Esta situación genera que a partir de la fecha de comienzo de la descarga de agua del suelo, ésta esté controlada casi por completo por las condiciones atmosféricas, teniendo el sistema de manejo una escasa influencia en este declive de humedad. Lo que se ha de intentar evitar es que la cubierta vegetal no consuma grandes cantidades de agua antes de que la pérdida de humedad esté regida por las condiciones atmosféricas, debiendo segar ésta en el momento en que se produzca esta situación.

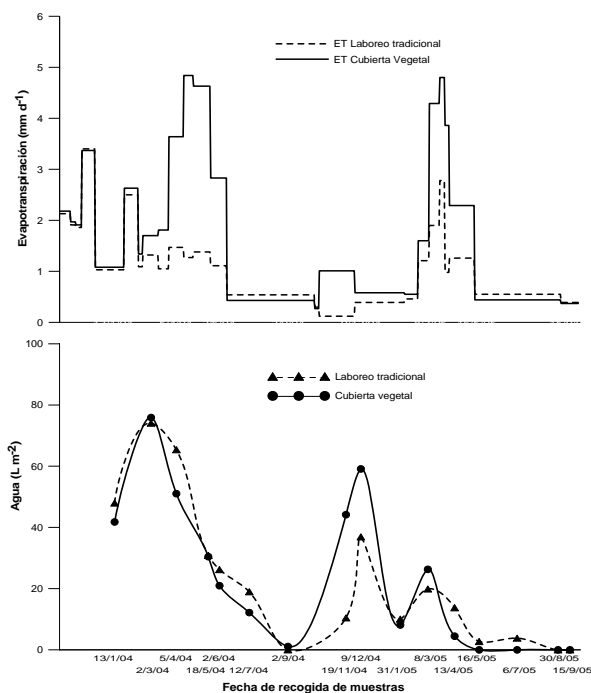


Fig. 3 Evolución de la evapotranspiración y del contenido de agua disponible para la planta. Periodo del 1 de Noviembre del 2003 al 30 de Septiembre del 2005. Parcela J2.

5.- Conclusiones

El modelo de Thornthwaite y Mather permite conocer el balance anual de humedad de un suelo de forma sencilla, describiendo de manera efectiva, tanto en la zona labrada como en la cubierta, la evolución del contenido de agua a lo largo del año.

Además se observa como los procesos de descarga del perfil están fuertemente influenciados por las condiciones atmosféricas y escasamente por el sistema de manejo de suelo realizado.

Mediante esta premisa se pretende conocer la correcta fecha de siega de las distintas cubiertas, ya que ésta se debería realizar en el momento en la que las hierbas empiecen a consumir grandes cantidades de agua del suelo,

y la descarga súbita del perfil como consecuencia de las condiciones atmosféricas no haya comenzado. Una vez que ocurren éstas, las pérdidas de agua imputables a la presencia de hierbas vivas son casi nulas.

Agradecimientos: Los autores agradecen la financiación concedida por el Contrato de Consultoría y asistencia entre la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y AEAC/SV "Desarrollo de un programa de seguimiento para la evaluación de la aplicación de medidas de fomento de cubiertas vegetales en el olivar de Andalucía" y por el acuerdo de colaboración con Obra Social Caja Madrid relativo al proyecto "Influencia del sistema de manejo de suelo en la contaminación de las aguas en olivar ecológico".

Bibliografía

- Berengena, J., 1998. *Efectos del no laboreo sobre el contenido de agua en el suelo*. En García, L. y González, P. (Ed). Agricultura de Conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos. AEAC/SV. Córdoba, 52-74.
- Beven, K.J., 2000. *Rainfall-runoff modelling*. The Primer, Wiley, Chichester.
- Blevins, R.L., 1986. *Idoneidad del suelo para el laboreo nulo*. En: Philips, R.E. y Philips, S.H. Agricultura sin laboreo. Principios y aplicaciones. Bellaterra (Ed.). Barcelona.
- Dane, J.H. y Hopmans, J.W., 2002. *Water retention and storage*. En Dane, J.H. y Topp, G.C., eds. Methods of soil analysis, Part 4. Physical methods, Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. No. 5, Soil Sci.Soc. Am., Madison.
- Eagleson, P.S. y Segarra, R.I., 1985. Water-equilibrium of savanna vegetation systems. *Water Resour. Res.*, 21, 1483-1493.
- Eslava-Galán, J., 2003. *El Olivar Andaluz*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.
- Espejo-Pérez, A.J., 2004. *Análisis de la erosión y escorrentía en microcuencas*. Trabajo profesional fin de carrera. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba.
- Espejo-Pérez, A.J.; Rodríguez-Lizana, A.; Giráldez, J.V. y Ordóñez, R., 2005. *Influencia de la cubierta vegetal en la pérdida de suelo en olivar ecológico*. Congreso Internacional sobre agricultura de conservación. Córdoba, 345-350.
- Gómez, J.A., 2005. *Effects of soil management on soil physical properties and infiltration in olive orchards, implications for yield*. En: Benites, J.; Pisante, M. y Stagnari, F. (Ed.). Integrated soil and water management for orchard development. FAO. 65-70.
- Márquez, F., 2006. *Evolución espacial y temporal de la humedad del suelo en parcelas de olivar bajo distintos sistemas de manejo*. Trabajo profesional fin de carrera. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba.
- Márquez, F., Rodríguez-Lizana, A., Giráldez, J.V. y Espejo-Pérez, A.J., 2006. Evolución de la humedad en el suelo en parcelas de olivar. *Vida rural*, 236, 30-33.
- Milly, P.C.D., 1994. Climate, soil water storage, and the average annual water balance. *Water Resour. Res.*, 30, 2143-2156.
- Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.M. y Flannery, B.P., 1992. *Numerical recipes*. 2ª ed. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Ritchie, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.*, 8, 1024-1213.
- Steenhuis, T.S. y van der Molen, H.W., 1986. The Thornthwaite-Mather procedure as a simple engineering method to predict recharge. *J. Hydrol.*, 84, 221-229.
- Vanderlinden, K., Giráldez, J.V. y Van Meirvenne, M., 2005. Soil Water-Holding Capacity Assessment in Terms of the Average Annual Water Balance in Southern Spain. *Vadose Zone J.*, 4:317-328.
- Villalobos, F.J., Mateos, L., Orgaz, F. y Fereres, E., 2002. *Evapotranspiración y necesidades hídricas*. En: Mundi-Prensa (Ed.). Fitotecnia: Bases y tecnologías de la producción agrícola. Universidad de Córdoba e Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC). Madrid, 10, 105-124.

Márquez et al. Análisis sencillo para describir la influencia de diferentes sistemas de manejo de suelo sobre la evolución de la humedad edáfica en parcelas de olivar

Wilkinson, B.H. y McElroy, B.J., 2007. The impact of humans on continental erosion and sedimentation. *GSA Bulletin*, 119, 140-156.
<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/sanidadVegetal/raif/clima/estaciones.html>

