

COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES FORMAS PARA EXPRESAR LA GENERACIÓN DE ESCORRENTÍA EN PARCELAS DE MEDIDA DE EROSIÓN

A.J. Espejo-Pérez¹, J.V. Giráldez², A. Rodríguez-Lizana¹, R. Ordóñez³

¹ Asociación Española Agricultura de Conservación/Suelos Vivos. Centro Alameda del Obispo. IFAPA. Junta de Andalucía. 14080. Córdoba. aespejo@aeac-sv.org, arodriguez@aeac-sv.org

² Depto. de Agronomía. Universidad de Córdoba. Avda. Menéndez Pidal s/n, y Depto. de Agronomía, IAS-CSIC, Alameda del Obispo, 14004. Córdoba. ag1gicej@uco.es

³ Depto. de Producción Ecológica y Recursos Naturales. IFAPA, Centro Alameda del Obispo. Junta de Andalucía. 14080. Córdoba. rafaella.ordonez.ext@juntadeandalucia.es

RESUMEN. La variabilidad espacial intrínseca del suelo, la inducida en los horizontes superficiales por el manejo y la de la precipitación requieren una estimación promediada de la infiltración del agua de lluvia y la producción de escorrentía. Para ello se analizan algunas expresiones propuestas en la literatura, aplicándolas a los datos obtenidos en una red de microparcels de erosión dispuesta en olivares representativos de Andalucía-

Las ecuaciones que reconocen la variabilidad espacial del suelo reproducen mejor los datos de escorrentía obtenidos en las microparcels que las ecuaciones basadas en propiedades uniformes. Así, las fórmulas basadas en suelo variable, e incluso la representación del suelo como un cubo sencillo se comportan mejor que la ecuación tradicional del número de curva.

La implantación de una cubierta vegetal entre los olivos disminuye la producción de escorrentía en casi todos los casos, en un 20%, si bien hay gran variabilidad en los resultados.

En casi todos los casos se precisa una información meteorológica más precisa, pues la influencia del relieve y la presencia de los árboles modifican la precipitación que cae en las calles entre líneas de olivos, alterando la relación entre la lluvia y la escorrentía.

ABSTRACT. The intrinsic spatial variability of soil, that induced in surface horizons by management, and that of rainfall require an averaged estimation of the rain water infiltration in rainfall-runoff processes. These processes have been analyzed using several available expressions in the literature, applying them to data obtained in an erosion network of microplots set up in olive groves representative of Andalusia. The equations explicitly including soil spatial variability predict the cumulative runoff in plots better than those not including it. Even the simple linear equation with a threshold performs better than the traditional Curve number equation.

The use of Cover Crops in olive tree farms reduces runoff in almost all cases by 20%, although there is a great variability in the results.

In nearly all the cases, more precise meteorological information would be necessary as the influence of the relief and the tree presence modify the precipitation falling

into the lanes between the rows of olives and alter the relation between rain and runoff

1.- Introducción.

La erosión del suelo es un grave problema agronómico y ambiental, tanto por los propios daños que en sí causa, como por la escasez de información adecuada tanto sobre dichos daños como de los posibles sistemas o métodos de control (Wilkinson y McElroy, 2007). Con el fin de evitar, o al menos reducir los daños de la erosión, tratando de conservar simultáneamente el suelo y el agua, se han propuesto diversas prácticas como plantas que cubren temporalmente la superficie desnuda que queda entre los árboles cultivados, lo que se conoce como cultivos de cubierta.

En los últimos años se ha iniciado una campaña de medidas de la eficacia de los cultivos de cubierta en los olivares andaluces, comparando esta práctica con los sistemas tradicionales de cultivo (Espejo-Pérez, 2004). Para ello se han dispuesto en los olivares unas parcelas cuadradas de 1 m de lado con baldas de separación que permiten la medida de la producción de escorrentía y sedimentos producidos por la lluvia.

Los datos recogidos en los años agrícolas 2003-04 y 2004-05 indican que los cultivos de cubierta aumentan la infiltración del agua en el suelo, contribuyendo a ello la reducción de pérdidas del material de superficie así como al alivio de la compactación que supone la vegetación (Espejo-Pérez et al. 2005). Sin embargo es preciso explorar los mecanismos de esta conservación del agua.

Los objetivos de este trabajo son la medición en campo de la escorrentía superficial s con el uso de microparcels de erosión, y la aplicación de varios modelos sencillos a estos datos. Se comparan dos manejos de suelo diferentes usados en olivar -Cubierta Vegetal frente a Laboreo Tradicional (CV y LT de aquí en adelante)-.

2.- Material y métodos

2.1. Caracterización de la infiltración del suelo en medios con gran variabilidad.

La infiltración del agua en el suelo y la escorrentía generada durante un chubasco, puede ser caracterizada de forma sencilla mediante expresiones como la del método del número de curva, NC, o NC constante en este trabajo, (e.g. Mockus, 1972), que se expresa como,

$$Q = \begin{cases} \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} & P \geq I_a \\ 0 & P < I_a \end{cases} \quad (1)$$

siendo P la precipitación, Q el exceso de lluvia, I_a un valor umbral de la infiltración, que incluye la retención superficial y la interceptación por la vegetación, y S un parámetro de retención del suelo, dependiente de las condiciones superficiales (e.g. Chow et al. 1988, § 5.5). Siendo esta fórmula muy eficaz, como primera aproximación para estimar el exceso de lluvia de un suelo, su fundamento físico fue explorado por Moore (1987). Analizando la generación media de exceso de lluvia en una cuenca sobre la que tanto la precipitación como el umbral de infiltración del suelo se distribuyen según una función de densidad de probabilidad, fdp, exponencial, Moore (1987) obtuvo la ecuación (1). Alternativamente la ecuación (1) puede ser considerada como una distribución de la fracción de superficie de la cuenca que produce exceso por saturación del perfil, como analizaron sucesivamente Hawkins (1982), Hawkins y Cundy (1987), Cundy y Hawkins (1989) y, más recientemente Steenhuis et al. (1995).

La misma representación del suelo como un cubo con un umbral de infiltración, I_a , y un coeficiente reductor c_r , permite usar otra relación entre escorrentía y precipitación, expresión de cubo sencillo en adelante,

$$Q = \begin{cases} c_r (P - I_a) & P \geq I_a \\ 0 & P < I_a \end{cases} \quad (2)$$

Si, por el contrario, se considera que el umbral de infiltración está espacialmente distribuido según una fdp, también exponencial, se deduce una expresión (Kirkby et al. 2005), cubo variable,

$$Q = c_r \{P - I_a [1 - \exp(-P/I_a)]\} \quad (3)$$

Yu et al. (2000) proponen otra expresión similar a ésta.

Para usar una fórmula con mayor base física hay que recurrir a la ecuación de Richards. La resolución de esta ecuación bajo las pertinentes condiciones inicial y de contorno da lugar a expresiones de la infiltración

acumulada en el tiempo similares a la del número de curva, aunque con un fundamento más sólido. Entre estas ecuaciones está la de Green y Ampt (Philip, 1954).

La forma elemental de la ecuación de Green y Ampt, es la relación entre la intensidad de infiltración, i , [LT^{-1}], y la infiltración acumulada, I , [L],

$$i = A + \frac{B}{I} \quad (4)$$

siendo A y B , sendas constantes, representando la primera la contribución del gradiente de la componente gravitatoria y la segunda la de la componente matricial del potencial del agua en el suelo. Kirkby et al. (2005) se basaron en esta ecuación para obtener una expresión para estimar la escorrentía que produce una precipitación, P ,

$$Q = \begin{cases} c_r I_a \left[\frac{P}{I_a} - \left(2 \frac{P}{I_a} - 1 \right)^{1/2} \right] & P \geq I_a \\ 0 & P < I_a \end{cases} \quad (5)$$

en la que c_r es un coeficiente reductor. Esta ecuación se usará en lo sucesivo como ecuación GA (Green y Ampt) modificada

2.2. Medida de la producción de escorrentía en microparcels

El ensayo se ha planteado en ocho parcelas distribuidas por la geografía andaluza, que representan distintos tipos de suelos de olivar, caracterizados por sus diferentes composiciones texturales, pendientes, especies implantadas, características de manejo de las mismas, y erosividad, entre otras variables. Dichas parcelas se localizan en las provincias de Córdoba (subbética: C3, C4 y zona norte: C5), Jaén (Torredonjimeno, J1 y Torredelcampo, J2), Sevilla (La Campana, S2) y Huelva (zona del Condado, 2 parcelas, H1 y H2). El periodo de estudio ha sido de dos campañas de Junio a Junio -1/6/03 al 1/6/05-. El experimento se ha diseñado por finca según un modelo de bloques completos al azar con medidas repetidas por finca, con 2 sistemas de manejo de suelo (laboreo convencional y cubierta vegetal) y 3 bloques por finca.

La caracterización de los suelos en los que se implantan los campos de experimentación se puede encontrar en Márquez et al. (2007, estas Jornadas).

La unidad experimental usada es una microparcels cerrada de 1 m² constituida por chapa de acero galvanizado, con cisternas cilíndricas de polietileno de 25 y 50 L de capacidad como sistema de recogida. Se han instalado en total 48 dispositivos. El manejo de suelo realizado a cada microparcels es el practicado en la parcela por parte del agricultor, para el caso de cubierta, y en laboreo el empleado en la zona.

Se ha cuantificado en cada salida a campo la cobertura de suelo del interior de las trampas según el método desarrollado por Agrela et al. (2003), y se han medido los pulsos de lluvia con el uso de un registrador, obteniendo así las intensidades instantáneas de las lluvias. Con estos datos se han caracterizado los chubascos, calculando la erosividad de los mismos siguiendo la metodología descrita en la RUSLE (Renard et al. 1997).

3.- Resultados

3.1. Datos medidos en campo

Los resultados medidos en las microparcels experimentales denotan la eficacia de la cubierta vegetal en la reducción de la escorrentía. Se ha obtenido una reducción global promedio del 20.8% (tabla 1), con unos valores mínimos y máximos de 8.4% y 56.6%. Las pérdidas acumuladas en los tres años oscilaron entre 13.2 mm en la parcela S2 para el caso de la CV y 107.1 mm para el tratamiento de LT en la parcela J2. En las parcelas J1 y H2 la escorrentía ha sido mayor con el empleo de la CV, pero con porcentajes significativamente bajos.

Las parcelas donde más precipitación acumulada se ha recogido es en C5, y donde menos en S2. No obstante, las parcelas con mayor precipitación no coinciden con aquellas donde la escorrentía ha sido mayor.

Tabla 1. Datos globales de pérdida de suelo medida en las microparcels durante el periodo 1 Junio 2003-1 Junio 2006. CV: cubierta vegetal; LT: laboreo tradicional.

Parcela	Escorrentía (mm)			Precipitación (mm)
	CV	LT	Reducción (%)	
C3	37.7	46.3	-18.6	689
C4	40.0	92.3	-56.6	834
C5	54.8	98.8	-44.6	1016
J1	54.6	47.4	15.1	648
J2	74.8	107.	-3.2	628
S2	13.2	24.7	-46.6	496
H1	52.6	67.0	-21.4	770
H2	62.0	57.2	8.4	770

La figura 1 representa la escorrentía relativa acumulada total en el periodo de estudio en la parcela J2, pudiéndose extrapolar los resultados al resto de parcelas. Se han ordenado las escorrentías de forma descendente, de tal manera que los primeros chubascos han sido los que han tenido mayores valores de escorrentía.

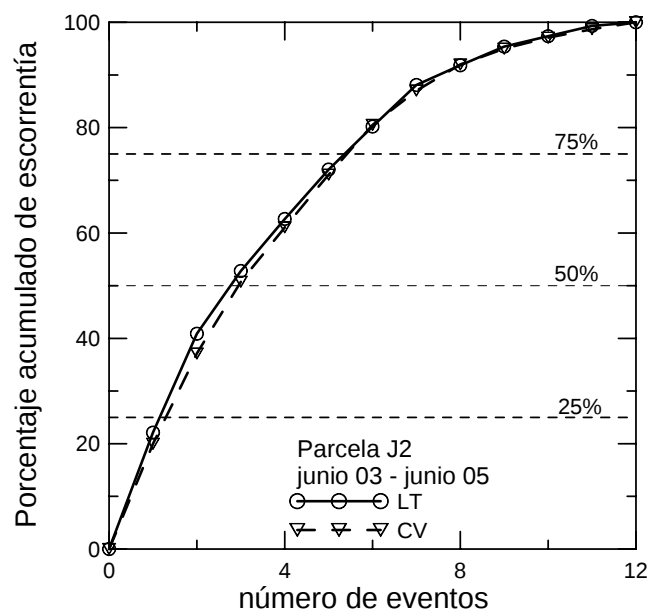


Fig. 1. Porcentaje de escorrentía respecto a la pérdida total de los diferentes eventos. Parcela J2. Junio 2003-Junio 2006.

En la tabla 2 se representa para la parcela H1 y ambos tratamientos (CV y LT) la escorrentía relativa (porcentaje de escorrentía de cada episodio de lluvia respecto a la escorrentía acumulada total), precipitación, coeficiente de escorrentía, erosividad y cobertura. Se observan unos elevados coeficientes de escorrentía cercanos y superiores en algunos casos a 0.2. La infiltración es mayor en el tratamiento LT inmediatamente después de dar una labor, y con chubascos de baja precipitación. A partir de este umbral mínimo en el que la infiltración es mayor para el caso de laboreo, ésta empieza a decrecer siendo menor que la observada en el caso de cubierta, produciéndose elevados arrastres de suelo (Saavedra y Pastor, 2002).

Asimismo, las mayores escorrentías se han dado para los casos en que la erosividad ha sido mayor, y por tanto la intensidad de infiltración es inferior a la de la lluvia (procesos hortonianos). Resultados similares se han dado en el resto de parcelas.

3.2. Parámetros de los modelos

Los parámetros de los modelos aplicados, obtenidos con el algoritmo de optimización de Rosenborg, aparecen en la tabla 3, en la que se incluye la eficiencia de Nash-Sutcliffe para el ajuste (e.g. Beven, 2000, § 7.3). I_a es un valor umbral de la infiltración y c_r es un coeficiente reductor.

Los modelos que presentan mejor ajuste son los que consideran un umbral de infiltración I_a variable en el suelo. Las mayores eficiencias se han dado para el caso del sistema de cubierta vegetal.

Tabla 2. Valores de escorrentía relativa, coeficiente de escorrentía, precipitación, cobertura y erosividad. Parcela H1. Junio 03 – Junio 05.

Eventos	Precipitación	Escorrentía relativa (%)		Coef. Escorrentía		Cobertura (%)		Erosividad R (MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹)
		LT	CV	LT	CV	LT	CV	
1	195	29.5	38.5	0.15	0.20	13	45	311
2	180	34.4	29.7	0.19	0.17	44	53	195
3	75	6.4	2.4	0.08	0.03	23	70	22
4	62	5.1	1.7	0.08	0.03	27	79	85
5	106	17.1	23.4	0.16	0.22	19	76	164
6	50	1.1	0.7	0.02	0.01	67	83	35
7	41	5.5	2.9	0.14	0.07	13	92	12
8	31	0.3	0.5	0.01	0.01	45	95	74
9	30	0.5	0.1	0.02	0.01	3	75	46

Tabla 3. Parámetros de los modelos aplicados para el conjunto de las parcelas de estudio. Periodo: 1 de Junio 2003 – 1 de Junio 2005. Parcela H1.

Parcelas	Laboreo tradicional			Cubierta vegetal		
	I_a	c_r	eficiencia	I_a	c_r	eficiencia
C3	1.54	0.070	0.520	.447	0.056	0.545
C4	.014	0.113	0.730	904.	1.000	0.475
C5	.001	0.087	0.643	.001	0.047	0.554
J1	254.	0.562	0.401	12.6	0.100	0.701
J2	.515	0.172	0.531	.001	0.115	0.580
S2	254.	0.406	0.390	70.7	0.107	0.625
H1	41.7	0.146	0.935	68.4	0.149	0.914
H2	146.	0.230	0.841	721.	0.958	0.882

Parcelas	Laboreo tradicional			Cubierta vegetal		
	I_a	c_r	eficiencia	I_a	c_r	eficiencia
C3	4.65	0.074	0.522	1.92	0.057	0.545
C4	13.2	0.132	0.726	1.83	0.050	0.586
C5	.001	0.093	0.639	.001	0.035	0.406
J1	25.0	0.129	0.395	11.0	0.097	0.700
J2	.057	0.170	0.523	.001	0.125	0.575
S2	no determinado					
H1	26.7	0.131	0.934	45.3	0.131	0.915
H2	30.2	0.115	0.829	38.6	0.139	0.857

Parcelas	Laboreo tradicional			Cubierta vegetal		
	I_a	c_r	eficiencia	I_a	c_r	eficiencia
C3	.574	0.079	0.521	.001	0.055	0.545
C4	2.88	0.150	0.741	1.70.	0.060	0.591
C5	.001	0.090	0.644	.001	0.046	0.554
J1	22.9	0.274	0.408	4.22	0.123	0.699
J2	.009	0.174	0.531	.001	0.119	0.583
S2	.001	0.049	0.513	11.9	0.089	0.621
H1	13.5	0.181	0.935	19.8	0.179	0.917
H2	17.6	0.171	0.835	24.5	0.222	0.869

Parcelas	Laboreo tradicional			Cubierta vegetal		
	I_a	NC	eficiencia	I_a	NC	eficiencia
C3	.000	13.0	0.242	.000	12.7	0.172
C4	1.00	29.7	0.488	.000.	7.81	0.409
C5	.001	7.86	-.023	.001	4.39	-.156
J1	5.99	24.2	0.402	.000	22.1	0.591
J2	.000	38.2	0.397	.000	29.9	0.335
S2	.000	16.8	0.385	.000	12.9	0.622
H1	.000	16.1	0.890	.000	12.8	0.897
H2	.000	13.5	0.838	.000	14.9	0.882

4.- Discusión

Los resultados encontrados manifiestan la variabilidad del comportamiento del proceso de escorrentía tanto en el espacio como en el tiempo. Las precipitaciones bienales medidas oscilan entre 496 mm en S2 y 1016 mm en C5. Se observan diferencias en los valores de la escorrentía recogida en las diferentes parcelas, así como dentro de una misma parcela en diferentes fechas del mismo año o incluso en años diferentes, donde dichas escorrentías son distintas. A mayor intensidad de lluvia mayor es también el coeficiente de escorrentía debido especialmente a los procesos hortonianos que no están recogidos en las fórmulas propuestas. Se pone de manifiesto también la relación de estos procesos con las diferentes características de los suelos. Asimismo, el sistema de manejo del suelo es un elemento clave en su comportamiento. La influencia de estos parámetros fue descrita por Kirkby et al. (2002), concluyendo la necesidad de estudiar estos procesos a escala inferior al de una cuenca en condiciones climáticas diferentes, y aislar factores para ver el comportamiento individual de los mismos.

Independientemente del manejo de suelo, con los datos medidos se observa cómo gran parte de la escorrentía anual se produce en tan sólo un par de eventos. Es decir, son sólo un par de eventos los importantes en lo que a generación de escorrentía se refiere (Fig. 1).

La influencia de la variable uso del suelo, como puede ser el empleo de un cultivo con cubierta, donde el suelo se encuentra protegido gran parte del año, es un método eficaz para aumentar la infiltración, según los datos encontrados. Con esta cubierta protectora se aumenta la aspereza de la superficie del suelo, disminuyendo la energía de la gota de lluvia y aumentando el tiempo de contacto de ésta con el suelo. Con ello, además de conseguirse una mayor recarga hídrica del suelo, muy importante para el caso de zonas semi-áridas como es el olivar andaluz, donde la mayoría es de secano (Márquez et al. 2006), se disminuyen las pérdidas de suelo por erosión hídrica (Espejo-Pérez et al. 2005). Reducciones similares en los volúmenes de escorrentía y erosión con el empleo de cubierta fueron encontrados por Durán-Zuazo et al. (2004) y Francia et al. (2000) mediante el uso de parcelas cerradas en cultivos de olivar en el sur de España.

Las características climáticas propias de la zona de estudio resaltan cómo tan sólo un par de eventos producen la mayoría de las pérdidas. Douglas et al. (1999) tras diez

años de estudio concluyeron que la mayoría del agua y los sedimentos recogidos en parcelas experimentales ocurrían en tan sólo un par de días al año. Sería de interés tener en cuenta la humedad inicial del suelo al comenzar la lluvia, que determina el comportamiento de la curva de infiltración (Reaney et al. 2007).

Respecto a los modelos aplicados a los datos medidos en campo, aquellos que consideran una intensidad de infiltración espacialmente constante, como es el número de curva, obtuvieron en su conjunto peores ajustes, aunque algunos de ellos individualmente son buenos. Este método tiene la ventaja de su fácil aplicación, requiriendo tan sólo la precipitación y una estimación del estado de la superficie del suelo de acuerdo con criterios establecidos por el SCS (hoy NRCS). No obstante, suponer una uniformidad de la infiltración en toda la superficie hace que los datos medidos difieran mucho de los calculados, incluso sin someter el modelo a la condición umbral $I_a=0.2$ S. Los números de curva calculados varían entre 16.1 para LT y 12.8 para CV, lo que hace suponer de todas formas la eficacia de la cubierta en la reducción de la escorrentía. De la misma manera, con el empleo de la expresión del método del número de curva alternativa propuesta por Hawkins y Cundy (1987) que considera un umbral de infiltración variable, se obtienen unos valores del número de curva de 13.5 para LT y 19.8 para el caso de CV respectivamente. Los menores valores del número de curva para laboreo (menor escorrentía) se deben al hecho de que al labrar se crea un espacio poroso temporal, y también aumenta la aspereza superficial, pero a la larga la infiltración disminuye (Or et al. 2000).

Se ha empleado el modelo empleando los coeficientes de escorrentía, según lo propuesto por Kirkby et al. (2005), sin mejorar esta aplicación la bondad de los modelos.

5.- Conclusiones

Igualmente con los datos de estas parcelas y de tres años se han obtenido datos similares a los encontrados en los dos primeros años. El mejor ajuste de los modelos que consideran un umbral de infiltración variable refuerza las conclusiones aportadas en sus estudios por Mishra et al. (2003).

Tras los datos medidos en el periodo de estudio, y la aplicación de modelos sencillos como son los propuestos por el SCS y algunas alternativas propuestas a éste, los aspectos más relevantes son:

1. La cubierta vegetal (CV de aquí en adelante) ha disminuido la producción de escorrentía en todas las parcelas en una cantidad variable, con valores de reducción que han oscilado entre unos valores mínimos y máximos de 8.4% y 56.6%, con una media del 20.8%.

2. El método de NC no es el mejor según los datos medidos, tanto para el caso de CV como de laboreo tradicional (LT de aquí en adelante). Incluso sin considerar la condición $I_a=0.2$ S se llega a tener un buen ajuste. Del resto de métodos los que consideran un umbral y la infiltración fijas, no son los más acertados, y de hecho los

mejores ajustes se han encontrado con los métodos que consideran estos parámetros variables.

3. La corrección de la interceptación de agua por la copa de los olivos puede mejorar la interpretación de los resultados.

4. Con todo, se observa la heterogeneidad del proceso que se estudia. No obstante, los datos medidos en el tratamiento de la cubierta tienen una menor dispersión que los datos medidos en el caso de laboreo, por lo que sería conveniente la experimentación durante un mayor número de años para poder extraer conclusiones al respecto, pues el olivo es un cultivo perenne en el que la observación y obtención de resultados requiere de varios años para poder obtener resultados fiables en base a unos ensayos de larga duración.

Agradecimientos. Al Contrato de Consultoría y Asistencia entre la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y la Asociación Española Agricultura de Conservación/ Suelos Vivos “Desarrollo de un Programa de Seguimiento para la Evaluación de la aplicación de las medidas de fomento de Cubiertas Vegetales en el Olivar de Andalucía”, que ha permitido la financiación de los ensayos de campo y laboratorio; al comité científico del Convenio por su labor de revisión; al personal de laboratorio por su ayuda en la labor de realización de análisis; y a los propietarios de las diferentes parcelas por permitir la continuación de los experimentos.

Bibliografía

- Agrela, F., Gil, J.A., Giráldez, J.V., Ordóñez, R. y González, P. 2003. Obtention of reference value in the measurement of the cover fraction in conservation agriculture. En: Cury, B. y Canalli, L.B. (ed.). *Proceedings II World Congress on Conservation Agriculture, Iguazú, Brazil*. pp 44-47.
- Beven, K.J., 2000. Rainfall-runoff modelling. *The primer*, J. Wiley, Chichester.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. y Mays, L.W. 1988, *Applied hydrology*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Cundy, T.W. y Hawkins, R.H., 1989. Continuous distributed model of storage dominated watershed runoff. *J. Irrig. Drain. Engng.* 115:305-11.
- Douglas, I., Bidin, K., Balamurugan, G., Chappell, N.A., Walsh, R.P.D., Greer, T. y Sinun, W. 1999. The role of extreme events in the impacts of selective tropical forestry on erosion during harvesting and recovery phases at Danum Valley, Sabah. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 354:1749-61.
- Durán-Zuazo, V.H., Francia-Martínez, J.R. y Martínez-Raya, A. 2004. Impact of vegetative cover on runoff and soil erosion at hillslope scale in Lanjarón, Spain. *The Environmentalist*. 24: 39-48.
- 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*. 345-50.
- Francia, J.R., Martínez, A. y Ruiz, S. 2000. Erosión en suelos de olivar en fuertes pendientes. Comportamiento de distintos manejos de suelo. *Edafología* 7:147-55.
- Hawkins, R.H. 1982. Interpretations of source area variability in rainfall-runoff relations, en V.P. Singh, ed., *Rainfall-runoff relationships, Water Resources Pub., Littleton*, pp. 303-24
- Hawkins, R.H. y Cundy, T.W. 1987. Steady-state analysis of infiltration and overland flow for spatially varied slopes, *Water Resour. Bull.* 23: 251-6.

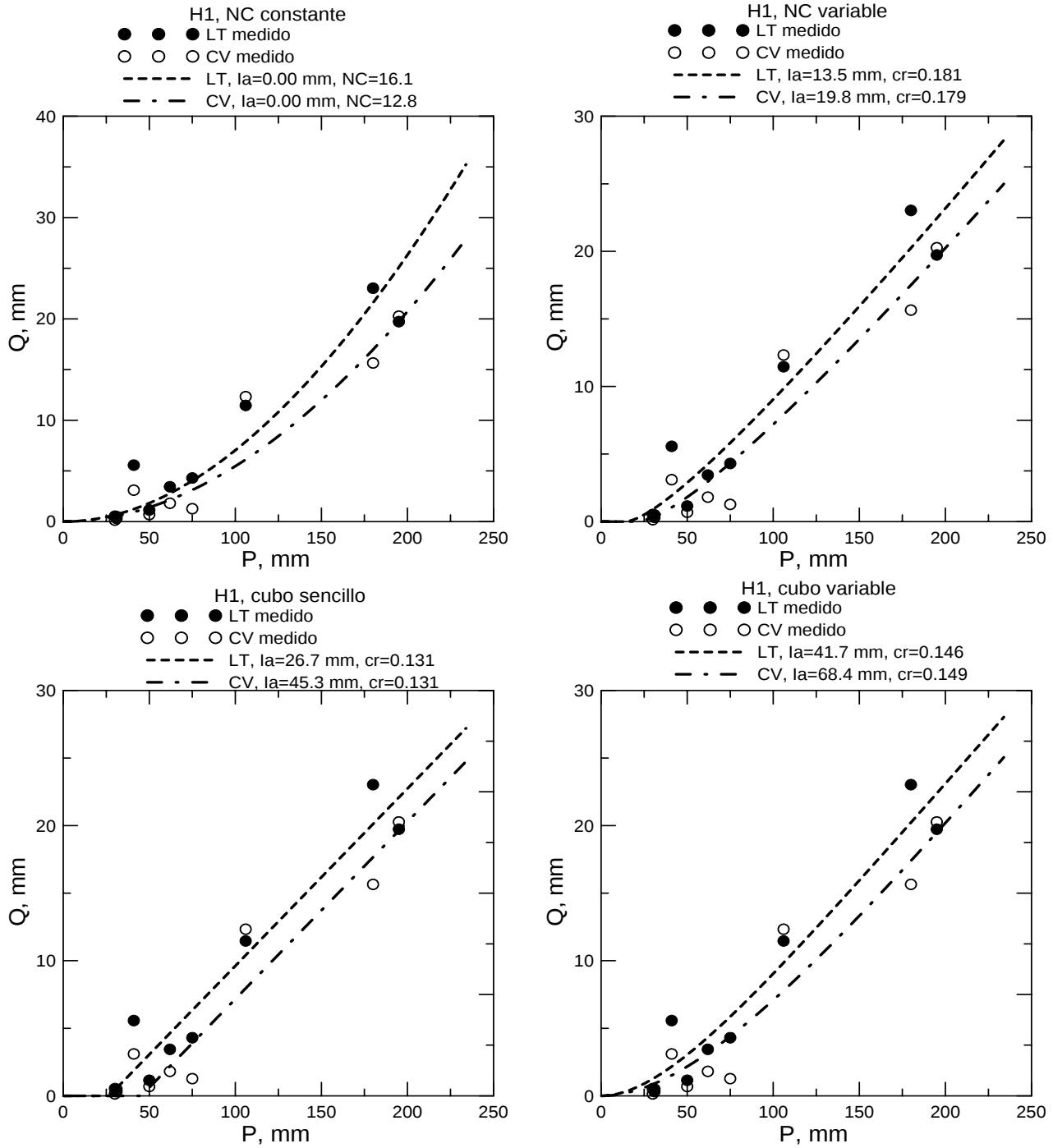


Fig. 2. Datos observados y estimación del modelo del Número de Curva del SCS con valor de infiltración umbral constante y variable propuesto por Hawkins, y de cubo sencillo de Green y Ampt y variable de Kirkby et al. CV: Cubierta Vegetal; LT: Laboreo Tradicional. Periodo: 1 Junio 2003 – 1 junio 2005. Parcela H1.

- Kirkby, M.J., Bracken, L.J. y Reaney, S. 2002. The influence of land use, soils and topography on the delivery of hillslope runoff to channels in SE Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*. 27: 1459-73.
- Kirkby, M.J., Bracken, L.J. y Shannon, J. 2005. The influence of distribution and morphological factors on runoff delivery from dryland catchments in SE Spain, *Catena* 62:136-56.
- Márquez, F., Giráldez, J.V., Rodríguez-Lizana, A. y Espejo-Pérez, A. 2006. Evolución de la humedad en el suelo en parcelas de olivar. *Vida Rural*. 236: 30-33.
- Márquez, F., Giráldez, J.V. y Rodríguez-Lizana, A. 2007. 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. *Jornadas sobre la Zona no Saturada 2007*.
- Mishra, S.K., Singh, V.P., Sansalone, J.J. y Aravamuthan, V. 2003. A Modified SCS-CN Method: Characterization and Testing. *Water Resour. Manag.* 17: 37-68.
- Mockus, V. 1972. Estimation of direct runoff from storm rainfall, Cap. 10. *National Engineering Handbook*, USDA-ARS, Washington, <http://www.info.usda.gov/CED/ftp/CED/neh630-ch10.pdf>.
- Moore, R.J. 1987. Cap. 17 de la monografía editada por V.K. Collinge y C. Kirkby, *Weather radar and flood forecasting*, J. Wiley, Chichester
- Or, D., Leij, F.J., Snyder, V., y Ghezzehei, T.A. 2000. Stochastic model for posttillage soil pore space evolution. *Water Resources Res.* 36: 1641-1652.
- Philip, J.R., 1954, An infiltration equation with physical significance, *Soil Sci.* 77:153-157.
- Reaney, S.M., Bracken, L.J. y Kirkby, M.J. 2007. Use of the Connectivity of Runoff Model (CRUM) to investigate the influence of store characteristics on runoff generation and connectivity in semi-arid areas. *Hydrol. Process.* 21: 894-906.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. y Poder, D.C. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *USDA. Washington*.
- Saavedra, M. y Pastor, M. 2002. Sistemas de cultivo en olivar. Manejo de malas hierbas y herbicidas. *Editorial Agrícola Española*.
- teenhuis, T.S., Winchell, M., Rossing, J., Zollweg, J.A., y Walter, M.F., 1995, SCS Runoff Equation Revisited for Variable-Source Runoff Areas, *J. Irrig. Drain. Engng.* 121:234-8.
- Wilkinson B.H. y McElroy, B.J. 2007. The impact of humans on continental erosion and sedimentation. *Geol. Soc. Am. Bull.* 119: 140-56.
- Yu, B., Sombatpanit, S., Rose, C.W., Ciesiolka, C.A.A. y Coughlan, K.J. 2000. Characteristics and modelling of runoff hydrographs for different tillage treatments, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1763-70.

