

## INCIDENCIA DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DE SUELOS EN SU RESPUESTA HIDROLÓGICA ANTE DIFERENTES USOS BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS (MONTES DE MÁLAGA)

J.F. MARTÍNEZ MURILLO, J.D. RUIZ SINOGA

Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Málaga.  
Campus de Teatinos, s/n. 29071, Málaga.

**Abstract.** Opposite to the classical runoff generation models (Horton and Hewlett), and therefore, related to the infiltration soils behavior, several authors coincide to give hydrological differences in Mediterranean areas. Such models attend to what is called “discontinuous hortonian” (Calvo Cases, 2003) or mixed (Imeson & Laveeh, 1998). Both attribute a differential hydrodynamic behavior along climate gradient and even in the same slope, what it will have a repercussion in the soil erosion processes. The present research analyses the soil hydrological behaviors at the Montes de Málaga at five different landuse, attending to the variability along the study slopes at each one of them.

**Key words:** Soil hydrology, infiltration, physic soil properties.

**Resumen.** Frente a los modelos clásicos de generación de escorrentía -Horton y Hewlett-, por tanto, relacionados con el comportamiento de los suelos frente a la infiltración, diversos autores coinciden en otorgar diferencias de comportamiento hidrológico en áreas mediterráneas. Dichos modelos atienden a lo que denominan “hortoniano discontinuo” (Calvo Cases, 2003), o “mixto” (Imeson & Laveeh, 1998). Ambos, atribuyen un comportamiento diferencial hidrodinámico a lo largo de gradientes climáticos, e incluso en la misma ladera, lo que repercutirá en los procesos de erosión de suelos. La presente comunicación analiza el comportamiento hidrológico de suelos en los Montes de Málaga en cinco condiciones de uso diferentes, analizando en cada uno de ellos la variabilidad de tal comportamiento a lo largo de las laderas estudiadas.

**Palabras claves:** Hidrología, infiltración, física de suelos.

### INTRODUCCIÓN

La adecuación del comportamiento hidrológico de las formaciones superficiales en laderas mediterráneas, a patrones o modelos -Horton y Helwett- generalmente admitidos por la literatura geomorfológica, ha sido

estudiado por algunos investigadores. Imeson (1998), Laveeh (1999), Calvo Cases (2003), entre otros, en trabajos publicados recientes han abordado la especificidad del funcionamiento hidrológico de laderas dentro del sistema ecogeomorfológico mediterráneo. Otros investigadores, Cammeraat,

Boix y Cerdá, han centrado sus trabajos en los últimos años en algunos aspectos específicos del ciclo hidrológico en condiciones mediterráneas, como la infiltración o el papel de la estructura en los procesos hidrológicos.

En la mayor parte de los casos, dichas investigaciones han sido llevadas a cabo en áreas con predominio de litológicas calcáreas o margosas, concretadas en la cuenca del río Segura o del río Jucar. En la presente investigación analizamos el proceso de infiltración en litologías metamórficas de la Cuenca Sur, como las constituidas por los esquistos y filitas, en los Montes de Málaga.

Relacionamos a lo largo de varias laderas representativas del paisaje de los Montes de Málaga, algunas propiedades físicas de las formaciones superficiales incidentes en sus respuesta hidrológica, infiltración y escorrentía, con resultados experimentales realizados mediante el uso del infiltrómetro de cilindro y un simulador de lluvia (Calvo Cases, 1988).

Las laderas de estudio (Tabla 1) se localizan en la vertiente Sur de la unidad natural de los Montes de Málaga, de relieve compartimentado, altitudes que apenas superan los 1000 m pero muy próximas al litoral, con elevadas pendientes que favorecen los procesos erosivos hídricos. La litología es metamórfica (filitas y esquistos) y el clima mediterráneo, con un gradiente de semiárido a subhúmedo en laderas de exposición Sur.

Este conjunto natural ha sufrido una intensa antropización desde el siglo XV, basada principalmente en la roturación a base de cultivos arborescentes, y posterior abandono en diferentes fases a lo largo del siglo XX.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En este trabajo se compara el comportamiento hidrológico de laderas con similares condiciones topográficas y geológicas, pero bajo diferentes usos del suelo.

Una vez seleccionadas las laderas, hemos llevado a cabo un trabajo de campo consistente, por un lado, en la realización de pruebas de infiltración en cada ladera, mediante el uso de un infiltrómetro de cilindro –de 22 cm. de diámetro– en las partes altas, medias y bajas de cada una de ellas, y con un simulador de lluvia para obtener la respuesta hidrológica. La intensidad de la precipitación simulada oscilaba entre 63-66 mm h<sup>-1</sup>, y la duración de 30 minutos. Por último, en cada uno de los puntos donde se realizaron las pruebas de infiltración, tomamos muestras de suelo de los primeros 5 cm., dado que interesa conocer en primer lugar, las propiedades del suelo en la zona de contacto con el agua durante el comienzo del proceso de infiltración. A partir de estas muestras se analizaron en el laboratorio las siguientes propiedades edáficas mediante las metodologías que se indican:

**TABLA 1:** Características geográficas de las laderas analizadas en la vertiente Sur de los Montes de Málaga.

Ladera / uso	Orientación	Altitud (m)	Pendiente (%)	Pp anual (mm)	T <sup>a</sup> anual (°C)
Viñedo	SE	500	42	586.1	15.6
Almendra-olivo	SW	500	45	586.1	15.6
Matorral	S	636	20	643.8	13.6
Pinar	S	800	48	746	12.5
Alcornocal	SW	870	36	746	12.5

**TABLA 2:** Resultados del análisis de las propiedades edáficas y de la medida de la infiltración, en las zonas altas, medias y bajas de las laderas de la vertiente Sur de los Montes de Málaga estudiadas. (1: profundidad del endopedón –cm-; 2: porosidad -%-; 3: densidad aparente –g cm<sup>-3</sup>-; 4: densidad real –g cm<sup>-3</sup>-; 5: pedregosidad -%-; 6: materia orgánica -%-; 7: tasa de infiltración (infiltrómetro de cilindro) – mm h<sup>-1</sup>); 8: Escorrentía-mm h<sup>-1</sup>.(simulación de lluvia); 9: Sedimentos emitidos (g L<sup>-1</sup>). (A: zona alta de ladera; M: zona media de ladera; B: zona baja de ladera; m: promedio de ladera).

Ladera	Viñedo				Almendro-olivo				Matorral				Pinar				Alcornocal			
	A	M	B	m	A	M	B	m	A	M	B	m	A	M	B	m	A	M	B	m
1	27	29	29	28.3	24	27	26	25.7	20	22	26	22.7	20	23	23	22	31	31	34	32
2	31	34	35	33.3	42	46	46	44.7	42	41	43	42	46	57	43	48.7	37	42	56	45
3	1.68	1.69	1.69	1.69	1.62	1.47	1.51	1.53	1.45	1.51	1.51	1.49	2.24	1.08	1.45	1.59	0.86	1.41	1.36	1.21
4	2.55	2.58	2.56	2.56	2.79	2.72	2.72	2.74	2.51	2.58	2.51	2.53	2.3	2.51	2.54	2.45	1.96	2.44	2.15	2.18
5	58.8	49.3	50.2	52.8	53.6	42	48.9	48.2	46.3	49.2	51.3	48.9	30.2	47.1	45.5	40.9	33.1	54.3	55.3	47.6
6	0.73	2.6	2.6	1.98	1.7	2.33	2.12	2.05	3.83	5.6	2.76	4.06	2.5	3.76	1.72	2.66	6.76	8.83	7.6	7.73
7	54	50	65	56.3	80	85	85	83.3	135	125	125	128	75	85	85	81.7	120	140	140	133
8	57	62	55	58	49	54	60	51	15,6	18,3	12	15,3	41,6	63,2	35,6	46,8	36,7	47,3	25,8	36,6
9	11	18	7	12	7	11	12	10	2,4	0,5	1	1,3	0,15	0,06	0,07	0,1	0,27	0,16	0,47	0,3

la porosidad, densidad real y aparente de muestras de suelo inalterado en cilindros de 90 cm<sup>3</sup>, mediante el uso del picnómetro; el contenido en gravas mediante el procedimiento de separación de la fracción de tamaño superior a 2 mm. mediante tamizado; y el contenido de carbono orgánico por el método AFNOR que utiliza la espectrofotometría (Cobertera, 1993), y posterior obtención del contenido de materia orgánica mediante la aplicación del factor 1,72. De acuerdo con Boix-Fayos (2001), se ha considerado que estas podrían ser las propiedades edáficas que una mayor incidencia podrían ejercer en la determinación del proceso de infiltración en función del método utilizado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de las laderas analizadas tienen el material parental, filitas, a 30 cm.

como máximo, salvo en el caso del alcornocal, que están algo más desarrollados (Tabla 2). En general, la profundidad se incrementa hacia las áreas bajas de las laderas, es decir, hacia las zonas de acumulación. La porosidad y las densidades aparente y real, que hacen referencia a la estructura de los suelos, es superior en las laderas con formaciones arbóreas (pinar y alcornocal) y similares en el almendral/olivar y matorral; los valores más bajos los encontramos en la ladera de viñas.

La pedregosidad alcanza los valores más elevados en las viñas y los más bajos en las zonas forestadas. Por último, los contenidos de materia orgánica acompañan a la cubierta vegetal de cada ladera: las cultivadas, con menor presencia de vegetación, son las de menor contenido, seguidas del pinar, el matorral y el alcornocal, la de mayor contenido. Es decir, suelos poco desarrollados y en estrecha relación con la actividad bioló-

VARIABLES	PREDICTORAS				
DEPENDIENTES	Viñas	Alm-olivar	Matorral	Pinar	Alcornocal
Infiltración	Mat. Org (0.78)	Mat. Org (0.89)	D aparente (0.97)	Profundidad (0.98)	Mat. Org (0.68)
Escorrentía	Mat. Org. (0.76)	Mat. Org. (0.75)	Mat. Org. (0.81)	Mat. Org. (0.88)	Profundidad (0.92)

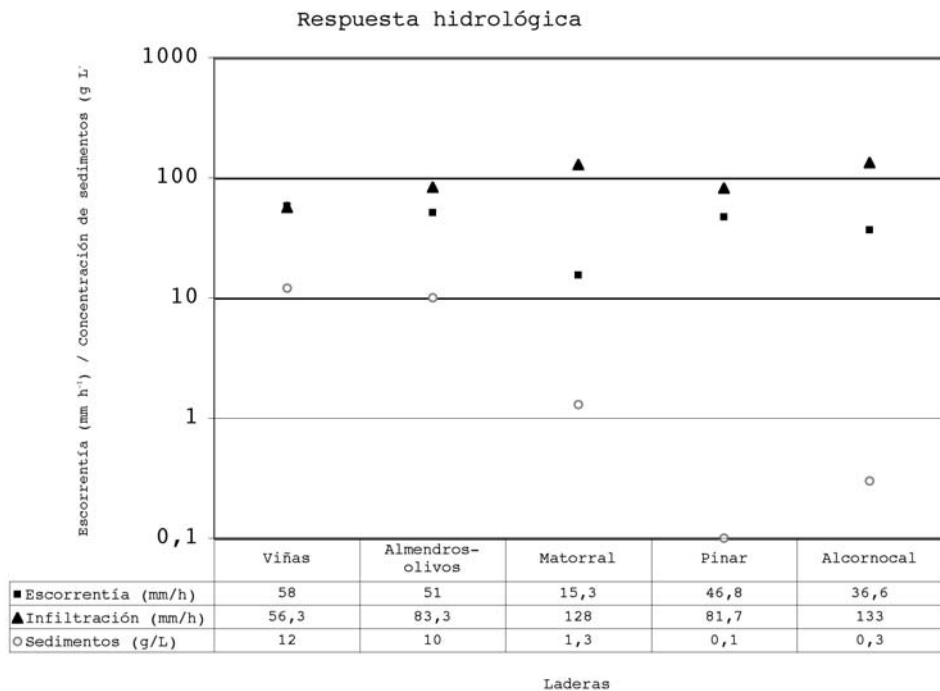
**TABLA 3:** Resumen de cuadros estadísticos de variables predictoras según análisis de regresión lineal. Entre parentesis los coeficientes de correlación  $R^2$  (SPSS-V11).

gica que soportan.

Aplicando un análisis de regresión lineal, la relación entre las variables consideradas, estableciendo como variables dependientes a la infiltración y la escorrentía, obtuvimos como principales variables predictoras a la materia orgánica, la densidad aparente y la profundidad (Tabla 3).

Considerando la posición fisiográfica en las laderas, las mayores tasas de infiltración se producen en las zonas medias y

bajas; la excepción la marca la ladera con matorral (Figura 1). Esta circunstancia es inversa a la que se produce con la escorrentía. Si atendemos al uso del suelo, son las laderas con más vegetación las que alcanzan mayores tasas de infiltración y menores de escorrentía, mientras que es la ladera de viñas la que obtiene los mínimos valores. Además, las diferencias más interesantes están en la concentración de sedimentos en la escorrentía, donde son las



**FIGURA 1:** Respuesta hidrológica media de las laderas de estudio en los Montes de Málaga.

laderas de cultivos las que emiten mayor cantidad, al contrario de las que tienen una vegetación más desarrollada (pinar y alcornocal).

## CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en la investigación, planteamos que:

- a) Es el contenido de materia orgánica del suelo, la propiedad que una mayor incidencia ejerce en su respuesta hidrológica.
- b) Los comportamientos hidrológicos de las laderas analizadas difieren según el uso de suelo y la posición fisiográfica, de manera que se establecen diferencias entre laderas y a lo largo de una misma ladera, haciendo intuir la existencia de diferentes modelos de funcionamiento hidrológico a escala de ladera en los Montes de Málaga.
- c) Entre los usos de suelo tenidos en cuenta, son las áreas forestadas las que ofrecen unas menores emisiones de sedimentos durante las simulaciones de lluvia de elevada intensidad pluviométrica.

## REFERENCIAS

- Bergkamp, G. (1998): A hierarchical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and microtopography semiarid shrublands. *Catena*, 33. 201-220.
- Bergkamp, G., Cerdá, A., Imeson, A.C. (1998): Magnitude-frecuency analysis of water redistribution along a climate gradient in Spain. *Catena*, 37. 129-146.
- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A.C., Soriano-Soto, M.D., Tiemessen, I.R. (1998): Spatial and short-term temporal variations in runoff, soil aggregation and other soil properties along a mediterranean climatological gradient. *Catena*, 33. 123-138.
- Boix Fayos, C., Calvo Cases, A., Imeson, A.C., Soriano Soto, M.D., (2001): Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44, 47-67.
- Calvo, A., Gisbert, B., Palau, E., Romero, M., (1988): Un simulador de lluvia de fácil construcción. En: Sala, M., Gallart, F. (Eds.), *Métodos y técnicas para la medición en el campo de procesos geomorfológicos*, vol. 1. Sociedad Española de Geomorfología, Zaragoza, pp. 6 -15.
- Calvo Cases, A., Boix Fayos, C., Imeson, A.C. (2003): Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. *Geomorphology* 50, 269-291.
- Cerdá, A. (1997). Seasonal changes of the infiltration rates in a Mediterranean scrubland on limestone. *Journal of Hydrology*, 198. 209-225.
- Cerdá, A., Ibáñez S, Calvo-Cases, A. (1997): Design and operation of a small and portable rainfall simulator for rugged terrain. *Soil Technology*, 11. 163-170.
- Cobertera, E. (1993). Edafología aplicada. Cátedra, Madrid, 326 p.
- Imeson, A.C., Lavee, H. (1998): Soil erosion and climate change: the transect approach and the influence of scale. *Geomorphology*, 23. 219-227.
- Kosmas, C., Danalatos, N., Cammeraat, L.H., Chabart, M., Diamantopoulos, J., Farand, R., Gutierrez, L., Jacob, A., Marques, H., Martínez, J., Mizara, A., Moustakas, N., Nicolau, J.M., Oliveros, C., Pinna, G., Puddu, R., Puigdefabregas, J., Roxo, M., Simao, A., Stamou, G., Tomasi, N., Usai, D., Vacca, A. (1997): The effect of land

- use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena*, 29. 45-59.
- Lavee, H., Imeson, A.C., Sarah P. (1998): The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean - arid transect. *Land Degradation and Development*, 9. 407-422.
- López Bermúdez, F., Martínez Fernández, J., Romero Díaz, A. (1995): Land use and soil-vegetation relationships in a Mediterranean ecosystem: El Ardal Murcia, Spain. *Catena*, 25. 153-167.
- Smith, D.B., Wearn, H.J.(1970): Water movement in the unsaturated zone of high and low permeability strata. International Atomic Energy Authority, Vienna, 73-81.
- Yair, A., Laveeh, H. (1985): Runoff generation in arid and semiarid zones. En Anderson M.G. & Burt, T. P.: Hydrological Forecasting, John Willey and Sons LTD. 183-220.