

## **PROPIEDADES HÍDRICAS DE LOS SUELOS DE OLIVAR MEDIANTE SIMULACIÓN DE LLUVIA.**

A. IRIARTE\*, M. SIMON \*\*, I. GARCÍA \*\*, E. BARAHONA \* e I.ORTIZ \*\*

\*Estación Experimental del Zaidín, C.S.I.C., Profesor Albareda, nº 1. Granada.

\*\* Dpto de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias, Avda. Severo Ochoa, s/n. Granada.

### **Resumen**

En tres de los suelos mas representativos de la comarca olivarera de La Loma (Jaen) llevamos a cabo un estudio de las propiedades hídricas mediante simulación de lluvia. Las intensidades de lluvia utilizadas estuvieron en torno a 40, 60, 80 y 100 mm h<sup>-1</sup>. Partiendo de suelo seco, en todos los casos la tasa de infiltración decrece en función del logaritmo del tiempo de experimentación, hasta alcanzar un valor constante o tasa de infiltración final que puede ser diferente para cada intensidad de lluvia. La acumulación de agua en la superficie del suelo, textura, estructura y pedregosidad superficial, son los parámetros que fundamentalmente regulan la tasa de infiltración final para cada intensidad de lluvia. En los suelos laboreados, en relación a los no laboreados, se incrementan las tasas de infiltración final pero también se incrementa considerablemente la erosión. La pedregosidad del suelo favorece la infiltración y reduce la erosión. La intensidad de lluvia a la cual se inicia la escorrentía, y por tanto la erosión, está más relacionada con la textura del horizonte superficial que con las prácticas de laboreo.

### **INTRODUCCIÓN**

Actualmente, en el mundo hay unos 10 millones de hectáreas dedicadas al

cultivo del olivar, el 98% de las cuales se concentran en la cuenca Mediterránea. En España se cultivan 2,3 millones de hectáreas de olivar, distribuidas en 33 provincias. Nuestro estudio se centra en la comarca de La Loma, localizada aproximadamente en el centro de la provincia de Jaén, donde se cultiva la variedad "picual".

La pluviometría de la zona es escasa e irregular, lo que junto a la revalorización del aceite de oliva en los últimos años, han hecho que sean cada vez más el número de plantaciones puestas en regadío, impulsando así la necesidad de un mejor conocimiento de las propiedades hídricas de los suelos.

La cantidad y tipo de poros del suelo son los que regulan tanto la tasa de infiltración como la escorrentía. La tasa de infiltración se define como la cantidad de agua que penetra en el suelo por unidad de área y tiempo (Richard, 1952). Generalmente en el estado inicial es alta, especialmente si el suelo está seco, y decrece progresivamente, tendiendo asintóticamente a un valor constante (Dunin, 1976) que se conoce como tasa de infiltración final. Son numerosas las ecuaciones que se han propuesto para describir la evolución de la infiltración con el tiempo (Green and Ampt, 1911; Horton, 1940; Philipp, 1954; Holtan, 1961). La variación de la razón de infiltración con el tiempo depende del contenido en humedad inicial, textura y estructura del suelo. En algunos casos, un descenso en la razón de infiltración es una consecuencia de la degradación de la estructura del suelo, especialmente en suelos que no están protegidos del impacto directo de las gotas de lluvia, como es el caso que nos ocupa.

Generalmente, la infiltración final se considera como un valor constante que caracteriza cada tipo de suelo y consecuentemente debe ser independiente de la intensidad de lluvia. Sin embargo, hay muchos estudios que muestran que la intensidad de lluvia puede afectar a la intensidad de infiltración. (Nassif and Wilson, 1975; Johnson et al., 1980; Simón et al, 1995)

En el presente trabajo analizamos, mediante simulaciones de lluvia, las tasas de infiltración, escorrentía y erosión en tres de los más representativos suelos de la Comarca de La Loma (Marañés, A. 1997), con el objetivo de contribuir a un mejor conocimiento de las propiedades hídricas de los suelos y lograr un mejor aprovechamiento de este bien tan escaso.

## **MATERIAL Y METODOS**

Los suelos seleccionados, según F.A.O (1998), son un Calcisol Háplico

desarrollado sobre margas (LOM-1), un Calcisol Hipercálcico desarrollado sobre areniscas margosas (LOM-2) y un Calcisol Epipétrico desarrollado sobre antiguos glaciares (LOM-3). Las características morfológicas y analíticas de estos suelos están en la [Tabla 1](#). La descripción macromorfológica se ha realizado según la FAO (1977). Los métodos analíticos utilizados han sido: carbonato cálcico equivalente, según Barahona et al. (1984); textura por el método de la pipeta de Robinson (Soil Conservation Service, 1972).

En LOM-2 y LOM-3 los suelos estaban sometidos al laboreo tradicional, mientras que en LOM-1 existen parcelas con laboreo tradicional (LOM-1A) y otras en las que hace 4 años que no se laboreaban (LOM-1B). En cada uno de estos cuatro suelos se realizaron experiencias de simulación de lluvia con intensidades aproximadas de 40, 60, 80 y 100 mm h<sup>-1</sup>. El simulador utilizado consta básicamente de una placa de goteros de 50 cm de lado, con una densidad de 4900 goteros por m<sup>2</sup>. La placa reposa sobre un soporte telescópico de hierro, cerrado por sus cuatro laterales con un plástico transparente semirrígido para proteger la lluvia del viento, el cual se nivela mediante una estructura metálica en forma de trípode. La lluvia se simula aportando un caudal constante de agua desionizada a la placa de goteros con una bomba peristáltica, conectada a un generador portátil y regulada mediante un microprocesador que permite simular la intensidad de precipitación exacta que se desee. El agua de escorrentía se recoge en una bandeja triangular fijada al suelo a unos 2 cm de profundidad. La fijación se realiza mediante una resina saran, que es hidrófoba. Así la perturbación de la microtopografía es mínima (Simon y col. 1998)

En cada experiencia, la escorrentía se mide desde el momento de su inicio y posteriormente a intervalos de 5 minutos. Su intensidad se calcula en función del tiempo de llenado de un frasco de 150 cm<sup>3</sup>, estimándose la tasa de infiltración por la diferencia entre la intensidad de lluvia aplicada y la tasa de escorrentía. La experiencia se mantiene hasta que la escorrentía alcanza un valor constante durante al menos tres medidas sucesivas. A lo largo de las experiencias se fueron recogiendo muestras de agua de escorrentía, en las que se determinó la cantidad de material en suspensión a fin de estimar la tasa de erosión. En cada parcela, estas experiencias se repitieron 5 veces.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

*Tasa de infiltración en función del tiempo*

Para estimar la tasa de infiltración en función del tiempo de experimentación, en las cuatro zonas estudiadas partimos de suelo seco y aplicamos una intensidad de lluvia de unos 45 mm h<sup>-1</sup>. Los resultados (Fig.1) ponen de manifiesto que en todos los casos la tasa de infiltración del suelo disminuye en función del tiempo de experimentación, hasta alcanzar un valor estable o *tasa de infiltración final* en torno a la hora de iniciada la experiencia. Este comportamiento puede ser atribuido, como ya se indicó anteriormente, a la disminución de la succión del suelo conforme se incrementa su humectación y a la destrucción de la estructura superficial por el efecto del impacto directo de la gota de lluvia sobre estos suelos desprovistos de vegetación. En los suelos labreados, la tasa de infiltración suele disminuir irregularmente (Fig.1) debido a la rugosidad del terreno, formandose pequeñas pozas de agua que se rompen esporádicamente (especialmente en los suelos LOM-1A y LOM-2); mientras que en el suelo no labreado (LOM-1B), donde las pequeñas pozas que se forman son más estables y no se rompen, y en el suelo LOM-3, donde apenas se aprecia la formación de pozas, esta disminución es mucho más regular.

En todos los casos, la tasa de infiltración (*i*) en mm h<sup>-1</sup> disminuye en función del logaritmo del tiempo de experimentación (*t*) en minutos, ajustandose a las siguientes ecuaciones:

$$\text{LOM-1A } i = 121.1 - 54.4 \log t \quad r = 0.977 \quad (1)$$

$$\text{LOM-1B } i = 65.2 - 30.9 \log t \quad r = 0.986 \quad (2)$$

$$\text{LOM-2 } i = 80.3 - 35.9 \log t \quad r = 0.979 \quad (3)$$

$$\text{LOM-3 } i = 56.8 - 20.1 \log t \quad r = 0.965 \quad (4)$$

Las mayores tasas de infiltración parciales las presenta el suelo LOM-1A desarrollado sobre margas de textura muy fina (limo + arcilla >90%), lo que indica la alta tasa de succión de este suelo en estado seco o semiseco, consecuencia de su elevada proporción de poros finos; por el contrario, esta fina porosidad determina que su tasa infiltración final (medida cuando el suelo está ya en estado humedo) sea la menor de los suelos labreados. La comparación de los suelos LOM-1A y LOM-1B, revela que en los suelos no labreados decrecen considerablemente tanto las tasas de infiltración parciales como la final. La mayor tasa de infiltración final la presenta el suelo desarrollado sobre costra calcárea que aporta al suelo un elevado contenido en grava (LOM-3).

#### *Tasa de infiltración final e intensidad de lluvia*

A excepción de LOM-3, la tasa de infiltración final de los suelos (*if*) se

incrementa en función de la intensidad de la lluvia ( $I$ ), ambas estimadas en mm h<sup>-1</sup>, ajustándose a las siguientes ecuaciones:

$$\text{LOM-1A } if = -10.2 + 0.78 I - 3.92 I^2 \quad r^2 = 0.999 \quad (5)$$

$$\text{LOM-1B } if = 1.4 + 0.32 I - 1.54 I^2 \quad r^2 = 0.999 \quad (6)$$

$$\text{LOM-2 } if = 12.9 + 0.15 I \quad r^2 = 0.999 \quad (7)$$

Un hecho que podría explicar este comportamiento sería la formación de las pozas de agua en la superficie de los suelos, ya mencionadas anteriormente, cuyo número y contenido en agua se incrementa al aumentar la intensidad de lluvia. En estas pozas, la presión hidrostática del agua acumulada, que sería tanto mayor cuanto mayor fuese la cantidad de agua acumulada, incrementaría la tasa de infiltración. En el caso del suelo LOM 3, donde apenas se apreció la formación de pozas de agua, la tasa de infiltración permanece constante con la intensidad de lluvia.

En los suelos desarrollados sobre margas (LOM-1A y LOM-1B), el incremento de la tasa de infiltración final en función de la intensidad de lluvia es mayor en el suelo laboreado debido a un mayor desarrollo de las pozas de agua, pero en ambos casos describe una parábola en la que el incremento de la tasa de infiltración es proporcionalmente inferior al incremento en la intensidad de lluvia (Fig.2). Este comportamiento parece indicar que el aumento en la tasa de infiltración se ve en parte contrarrestado por una mayor destrucción de la estructura del suelo al aumentar la intensidad de lluvia. Las partículas finas arrancadas de la estructura, tanto más abundantes cuanto mayor fuese la energía cinética de la lluvia (directamente relacionada con la intensidad), sellarían parcialmente la porosidad interpedal y disminuirían la tasa de infiltración del suelo. En el suelo LOM-2, este efecto no se aprecia (relación lineal entre la tasa de infiltración y la intensidad de lluvia) debido probablemente a la textura más gruesa del suelo, de forma que el mayor tamaño de las partículas arrancadas de la estructura tendrían un menor efecto en el sellado de los poros interpedales.

Un parámetro interesante de conocer sería la intensidad de lluvia crítica (Simón et al. 1998); es decir, la intensidad de lluvia a partir de la cual se inicia la escorrentía. Con este fin establecimos las correlaciones entre la escorrentía ( $e$ ) y la intensidad de lluvia ( $I$ ) en cada suelo, ambas en mm h<sup>-1</sup>, obteniendo las siguientes ecuaciones:

$$\text{LOM-1A } e = -7.8 + 0.76 I \quad r^2 = 0.999 \quad (8)$$

$$\text{LOM-1B } e = -8.7 + 0.89 I \quad r^2 = 0.999 \quad (9)$$

$$\text{LOM-2 } e = -12.9 + 0.85 I \quad r^2 = 0.999 \quad (10)$$

$$\text{LOM-3 } e = -22.8 + 1.00 I \quad r^2 = 0.999 \quad (11)$$

a partir de las cuales se puede estimar la intensidad de lluvia para un valor cero de escorrentía o intensidad de lluvia crítica. El valor más alto lo presenta el suelo LOM-3 desarrollado sobre costra caliza (22.8 mm h<sup>-1</sup>), probablemente debido a su elevado contenido en grava; el suelo LOM-2, de

textura equilibrada, presenta un valor intermedio (15.2 mm h-1); mientras que los suelos de fina textura (LOM-1A y LOM-1B) presentan los menores valores que, por otra parte, son muy similares entre sí (10.3 y 9.8 respectivamente). Estos resultados apuntan a que la textura del suelo tiene un efecto más marcado en el valor de la intensidad de lluvia crítica que el laboreo.

### *Escorrentía y erosión*

Como ya mencionamos, el impacto de las gotas de lluvia rompen la estructura y las partículas elementales arrancadas son transportadas por el agua de escorrentía, provocando la erosión. Dado que la escorrentía se incrementa al aumentar la intensidad de lluvia (ecuaciones 8 a 11), también lo hace la tasa de erosión del suelo. No obstante, a este efecto hay que sumar la mayor destrucción de la estructura como consecuencia del mayor número de impactos, de ahí que en todos los casos el incremento en la erosión sea proporcionalmente superior al de la escorrentía ([Fig.3](#)).

Las mayores tasas de erosión se dan en el suelo laboreado de textura fina (LOM-1A), sobre todo a intensidades de lluvia superiores a 35 mm h-1; mientras que por debajo de esta intensidad es el suelo de textura franca (LOM-2) el que presenta mayores tasas de infiltración. Este comportamiento parece indicar que la estructura de los suelos de textura fina (margas) es más resistente al impacto de las gotas de lluvia de intensidad inferior a 35 mm h-1 (en las condiciones de experimentación) que aquella de los suelos de textura equilibrada; no obstante, bajo lluvias más intensas su estructura se destruye a un ritmo superior a la de los suelos equilibrados y la erosión se incrementa considerablemente. El suelo de textura fina no laboreado (LOM-1B) presenta unas tasas de erosión muy inferiores a las del suelo laboreado (LOM-1A), especialmente a altas intensidades de lluvia, lo cual hay que atribuir a la compactación de la superficie del primero, con formación de gruesas estructuras de 8-14 cm de anchura y 10-18 cm de profundidad, separadas por grietas de 0.4-1.2 cm de anchura, que resisten relativamente bien el impacto de las gotas de lluvia; de forma que, si bien la escorrentía en estos suelos es la más alta de todos los estudiados (ecuaciones 8 a 11), la estabilidad de la estructura superficial hace que sea uno de los que presentan menor erosión. Las menores tasas de erosión se producen en el suelo desarrollado sobre costra caliza (LOM-3), lo cual se puede atribuir tanto a sus mayores tasas de infiltración y menores tasas de escorrentía (sobre todo a intensidades de lluvia inferiores a 60 mm h-1), como a la pedregosidad superficial que protege al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia.

## **CONCLUSIONES**

Partiendo de suelo seco, la tasa de infiltración tiende a decrecer en función del logaritmo del tiempo de duración de la lluvia, hasta alcanzar un valor constante o tasa de infiltración final. La tasa de infiltración final puede no ser un parámetro constante del suelo, incrementándose generalmente con la intensidad de lluvia. La acumulación de agua en la superficie del suelo, así como la textura, estructura y pedregosidad superficial, son los factores que fundamentalmente regulan dicho incremento. En los suelos labreados se incrementa la tasa de infiltración final en relación a los no labreados, pero también se incrementa considerablemente la erosión. La intensidad de lluvia a la cual se inicia la escorrentía, y por tanto la erosión, parece estar más relacionada con la textura del horizonte superficial que con las prácticas de laboreo. La pedregosidad del suelo, incluida la superficial, incrementan las tasas de infiltración al tiempo que reducen la erosión.

**AGRADECIMIENTOS.** Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto del Programa Sectorial de Promoción General del Conocimiento n° PB97-1204.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Barahona Fernández, E. et al. (1984). Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos I.V. Determinación de carbonatos totales y caliza activa (Grupo de Trabajo de Normalización de Métodos Analíticos). En: Actas del I Congreso de la Ciencia del Suelo. Madrid I, 53-69.
- Dunin, F.X.(1976). Infiltration: Its simulation for fields conditions. Facets of hydrology. Rodda, J.C.(ed). John Willey & Sons. Bristol, 199-227
- F.A.O. (1977). Guía para la descripción de perfiles de suelos. Roma, 70pp
- F.A.O. (1998). SWorld Reference Base for Soil Resources. Roma, 91pp
- Green, W.H. & Ampt, G.A.(1911) Studies on soil physics: I.Flow of air and water through soils. J. Agr. Sci., 4, 1-24.
- Holtan H.N.(1961). A concept for infiltration estimates in watershed ingeneering. U.S. Dept. Agr., Agr. Res. Service Publ. 41-51.
- Horton, R.E(1940). An approach toward a physical interpretatin of infiltration-capacity. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 5:399-417.
- Johnson, H.T., El-Sawy, E.M.& Cochrane, S.R. (1980). A study of the

infiltration characteristics of undisturbed soil under simulated rainfall. *Earth Surface Processes*, 5, 159-174.

Marañés, A. (1977). Suelos de olivar de La Loma (Jaén). Tesis Doctoral de la Universidad de Granada, 413 pp

Nassif, S.H. & Wilson, E.M. (1975). The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration. *Hydrol. Sci. Bull.*, 20, 539-533.

Philipp, J.R.(1954). An infiltration equation with physical significance. *Soil Science*, 77:153-157.

Richard, L.A (1952). Report of the subcommittee on permeability and infiltration. Committee on terminology. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 16, 85-88

Simón, M.; Iriarte, A. Guardiola, J.L.; Barahona, E. and García, I.(1998). Soil-Infiltration rate under different vegetation cover using a rain simulator of variable intensity. In: *The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures. Canary Islands*, 177 188 pp.

Soil Conservation Service (1972). Soil Survey laboratory methods and procedures for collecting soils samples. *Soil Survey Report*, 1 U.S.D.A. Washington.

## **FIGURAS Y TABLAS.**

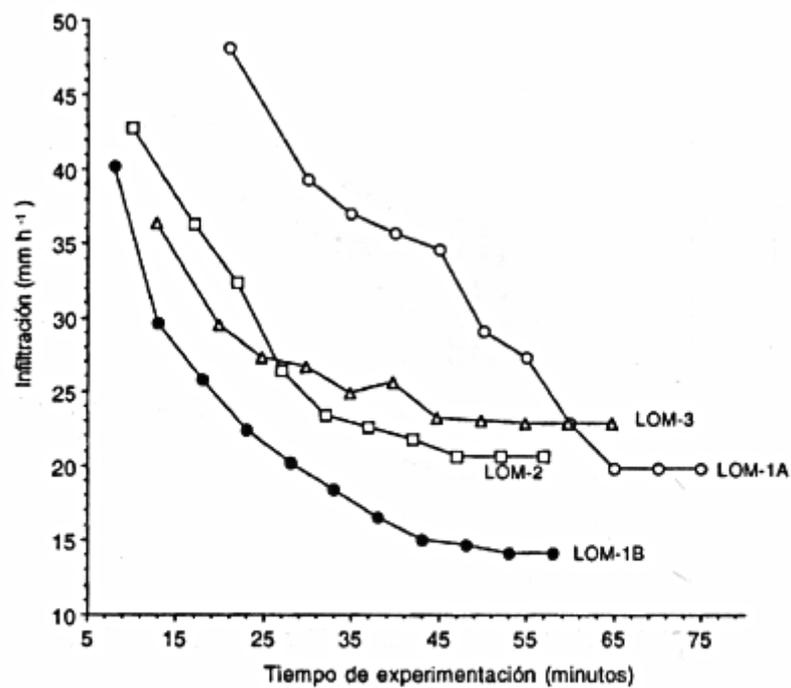


Fig. 1. Tasa de infiltración de los suelos en función del tiempo de experimentación.

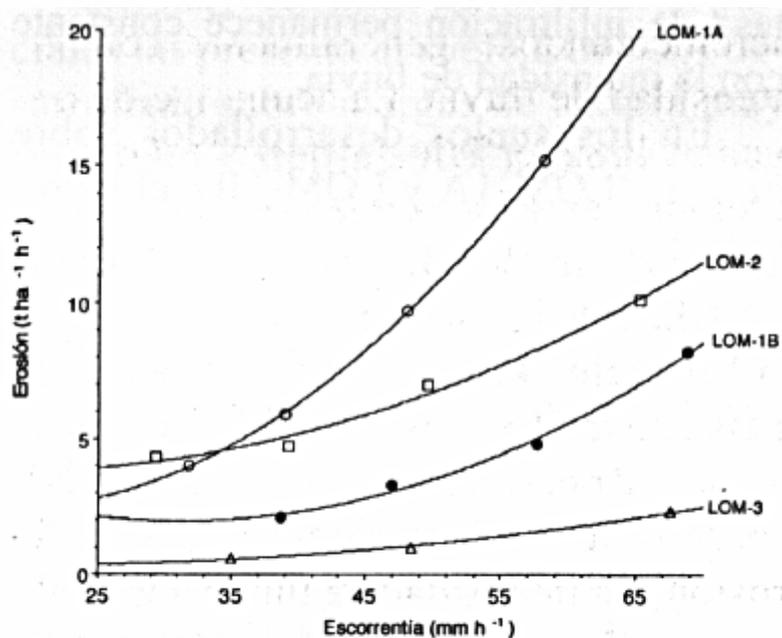


Fig. 3. Tasas de erosión de los suelos en función de la escorrentía.

Tabla 1. Características morfológicas y analíticas de los suelos.

Suelo	hor.	prof. (cm)	Estructura Tipo/Grado	CaCO <sub>3</sub> (%)	Grava (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
LOM-1	Ap1	0-16	bsg/f	43.5	0.6	9.0	43.8	47.2
	Ap2	16-32	bsmg/f	44.5	0.6	8.7	43.9	47.5
	Ck	32-85	bsg/f	49.6	0.0	3.7	54.5	41.6
	C	>85	ma	42.0	0.0	7.3	51.1	41.6
LOM-2	Apk	0-14	bsm/m	57.0	2.7	35.7	40.8	23.5
	Bwk	14-39	bsg/f	53.3	1.3	40.6	37.8	21.6
	BCK	39-105	bsm/f	54.0	1.5	42.5	40.4	17.1
	Ck	105-141	ma	51.7	1.1	48.3	36.2	15.5
	C	>141	ma	40.2	3.4	71.7	16.2	12.1
LOM-3	Ap1	0-5	bsf/m	32.7	52.8	41.5	32.8	25.7
	Ap2	5-22	bsm/f	31.6	30.2	39.8	32.6	27.6
	Ck	22-39	ma	67.6	31.5	30.0	41.4	28.6
	Cmk	39-190		94.8				

Estructura tipo: bsf = bloques subangulares finos, bsm = bloques subangulares medianos, bsg = bloques subangulares gruesos, bsmg = bloques subangulares muy gruesos.

Estructura grado: f = fina, m = mediana.

ma = sin estructura, masiva.