



# Infiltración de suelos yesosos tras quemas controladas en laboratorio

## Post-burning hydrological behavior of gypsum soils.

Javier León (1\*), David Badía (2)

(1) Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain

(2) Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Universidad de Zaragoza, Huesca, España

\*Corresponding author: fjavierlmiranda@gmail.com

### Keywords (3-5)

Forest fires  
Gypseous soils  
Hydraulic conductivity  
Mini Disk Infiltrometer  
Soil Water Repellence

### Abstract

Fire is a natural factor of landscape evolution of Mediterranean ecosystems. Due to social and economic changes, forest fires have caused even more pronounced hydrological and geomorphological changes, causing increased soil erosion. This process is exacerbated in areas with underdeveloped soils and over gypsum soils, mainly with shrub and semiarid environments. This experiment aims to reproduce the hydrological disturbance involving the effect of a fire along a hillside, by burning unchanged blocks. To quantify the changes experienced by these gypseous soils, employ the Mini Disk Infiltrometer (MDI) of Decagon, to measure the hydraulic conductivity of the soil and hydrophobicity or soil water repellency (SWR), obtaining higher hydraulic conductivity and hydrophobicity in the blocks that have been subjected to burning.

### Keywords (3-5)

Incendios forestales  
Suelos yesosos  
Conductividad hidráulica  
Infiltrómetro de mini disco  
Repelencia al agua del suelo

### Resumen

El fuego es un factor natural de la evolución paisajística de los ecosistemas Mediterráneos. Debido a los cambios sociales y económicos, los incendios forestales han causado cambios hidrológicos y geomorfológicos aún más pronunciados, provocando una mayor erosión del suelo. Este proceso se agudiza en sectores con suelos poco desarrollados y sobre yesos, con una vegetación fundamentalmente arbustiva y en entornos semiáridos. Este experimento pretende reproducir la perturbación hidrológica que supone el efecto de un fuego a lo largo de una ladera, mediante la quema de bloques inalterados. Para cuantificar las modificaciones experimentadas por estos suelos yesosos, se emplea el Infiltrómetro de mini disco (MDI) de Decagon, para medir la conductividad hidráulica del suelo y la hidrofobicidad o repelencia al agua del suelo (SWR), obteniéndose mayores tasas de conductividad hidráulica y de hidrofobicidad en los bloques que han sido sometidos a la quema.

## 1 INTRODUCCION

En las últimas décadas los incendios forestales han crecido en número y en su severidad, no sólo en los ecosistemas Mediterráneos, donde la superficie quemada puede superar las 600.000 ha, sino también en otras partes del mundo. Además, están directamente relacionados con el almacenamiento de carbono, la calidad del agua, y la perturbación de los ecosistemas de segundo orden, pero sobre todo, están relacionados con el aumento de la población próxima a áreas propensas a tener incendios

forestales, donde los efectos tras un incendio forestal pueden provocar un aumento de la escorrentía y la erosión, dando lugar a catastróficos daños y pérdidas de vidas por las inundaciones y procesos de *flash floods*, tras eventos de lluvias (Moody et al., 2013).

Los incendios forestales producen cambios en la hidrología del suelo durante los primeros días o semanas siguientes a dicha perturbación, debidos a la brusca reducción de la cubierta vegetal, la pérdida de hojarasca superficial y la materia orgánica superficial (Cerdà, 1998), la cubierta

superficial del suelo y sus propiedades, y la modificación de la estructura del suelo por efecto del calentamiento (Mataix-Solera & Doerr, 2004) y, en algunos casos, los cambios en la repelencia al agua del suelo (Doerr et al., 2000). A pesar de la cantidad de trabajos relativos al estudio del impacto del fuego en los suelos, existen pocos trabajos relacionados con suelos yesosos (Herrero et al., 2009). Con todo ello, hay algunos trabajos centrado en su génesis, clasificación, y recuperación vegetal post-incendio (Badía & Martí., 2000; Herrero et al., 2009), los procesos de erosión (Desir, 2001) o la mineralogía (Laya et al., 1998; Porta, 1998), o modificación de sus propiedades en profundidad (Aznar et al., 2013), pero hay pocos estudios sobre la respuesta hidrológica post-incendio (León et al., 2015) y la erosionabilidad (León et al., 2013, 2014).

La repelencia al agua por el suelo (SWR) o hidrofobicidad es una de las propiedades que son afectadas por efecto del calentamiento del suelo, ya sea por repelencia procedente del mismo suelo o por la inducida por las cenizas generadas sobre el mismo. Tres métodos de hidrofobicidad (SWR) son empleados con frecuencia para evaluar la severidad del fuego: (i) el test que mide cuanto tiempo tarda en penetrar una gota de agua el suelo (WDPT, DeBano, 1981); o la persistencia (Karunaratna et al., 2010); o el tiempo necesario para que se produzca la infiltración en función del ángulo de contacto (Regalado & Ritter, 2009). (ii) La molaridad con la gota de etanol (MED, Letey et al., 2000), que mide la tensión superficial crítica. (iii) Y el volumen de agua que se infiltra en 1 min mediante la aplicación de infiltrómetros de tensión (Robichaud et al., 2008).

Varios métodos más directos se han utilizado para medir las propiedades hidráulicas del suelo. La mayoría miden la infiltración acumulada,  $I(t)$ , y se centran en la medición de la conductividad hidráulica saturada,  $K_s$ , que puede variar en varios órdenes de magnitud ( $10^{-5}$  a  $10^1$  mm h<sup>-1</sup>, Rawls et al., 1982). Los métodos más comunes son los dispositivos de carga constante o de presión positiva como, el anillo por goteo, *falling head* (Nimmo et al., 2009), y el permeámetro de disco o simuladores de intensidad de las precipitaciones constantes (Robichaud, 2000). Los pocos valores disponibles de capacidad de absorción de los suelos afectados por los incendios se han medido con infiltrómetros de tensión (Mini Disco, Decagon, 2006), y con un intervalo de 4,5 a la de 49 mm h<sup>-0,5</sup> (Ebel et al., 2012).

El objetivo de este trabajo consiste en conocer la respuesta hidrológica de suelos yesosos en laboratorio, a partir de la quema de bloques inalterados de suelo, para conocer sus efectos en profundidad. Con metodologías ya empleadas por otros autores (Llovet et al., 2008; Aznar et al., 2013) e

incorporando el análisis de la conductividad hidráulica y la hidrofobicidad o repelencia al agua de un suelo (SWR) mediante un Mini Disk Infiltrometer (MDI).

## 2 MATERIAL Y METODOS

### 2.1 AREA DE ESTUDIO

Los suelos yesosos fueron muestreados en las montañas de Zuera en el Sector Central de la Depresión del Ebro (NE, España) cerca del pueblo de Remolinos, al norte de la ciudad de Zaragoza. Este área fue afectada por un incendio forestal en 2009, que afectó a una superficie de más de 6000 ha (UTM 30N, X656794, Y4639884), mayoritariamente de matorral (*Retama sphaerocarpa* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Lygeum spartum*, *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* and *Ononis tridentata* L.) y pequeños parches de bosque (*Pinus halepensis* Mill. y *Quercus coccifera* L.), cubriendo las laderas de orientación norte (León et al., 2015). El área de estudio muestra un relieve irregular (200-748 m), donde los suelos yesosos predominan en las laderas de poca elevación (Badía et al., 2013). El clima es Continental-Mediterráneo, con una precipitación media anual de 450 mm, con máximos de otoño, primavera y las temperaturas extremas pueden variar entre -7,1 y 36,5º C. La evapotranspiración media anual llega a 1200 mm (FAO56 por el método de Penman-Monteith) y se ve reforzada por los fuertes vientos, provocando que el déficit de agua sea uno de los más altos de Europa. Los suelos que se desarrollan sobre yesos son *Haplic Gipsisoles* (IUSS, 2007), con textura franca en el horizonte Ah (León et al., 2014).

### 2.2 METODOS

La metodología empleada para este trabajo ha consistido en la extracción de bloques inalterados de suelos yesosos de una dimensión de 35 x 35 cm y un espesor de unos 10-15 cm. Estos bloques son extraídos a lo largo de una ladera de unos 30 m de longitud, y se toman muestras en cabecera (ZC), en su parte media (ZB a 10 m de la anterior) y en el fondo (ZA a 20 m de la anterior). Las muestras se trasladan a un recipiente cuadrado (40 x 40 x 20 cm), donde se tiene una capa de unos 6-8 cm de arena fina y es rellenado con la misma arena por los laterales para evitar que el bloque se fracture.

Se emplea un infiltrómetro de mini disco (MDI modelo S, 2015) de la casa Decagon, de 4,4 cm de diámetro y 32,6 cm de alto, para calcular la repelencia al agua del suelo (SWR) y la conductividad hidráulica. La succión empleada para

realizar la infiltración ha sido de -2 cm y una duración mínima de 40 minutos. Mientras que para el cálculo de SWR se emplea el método del volumen infiltrado durante 1 minuto con una succión de -1 cm (Robichaud et al., 2008) en superficie. En cada bloque se realizan tres réplicas de medición de la conductividad hidráulica (dos veces al mes) y SWR (una vez al mes), dejando unos 10-14 días de separación entre repetición, y dejando que el bloque se seque a temperatura ambiente (Figura 1).

Para la realización de la quema de los bloques se empleó un soplete de llama de gas, cuyo tamaño de llama era similar al tamaño de la membrana del MDI. Además se empleó un equipo capaz de registrar los valores obtenidos con 4 termopares a la vez, los cuales se situaron en superficie y a un centímetro de separación cada uno. La duración de la quema es de 6 minutos y el registro de los cambios de temperatura dura 90 minutos.

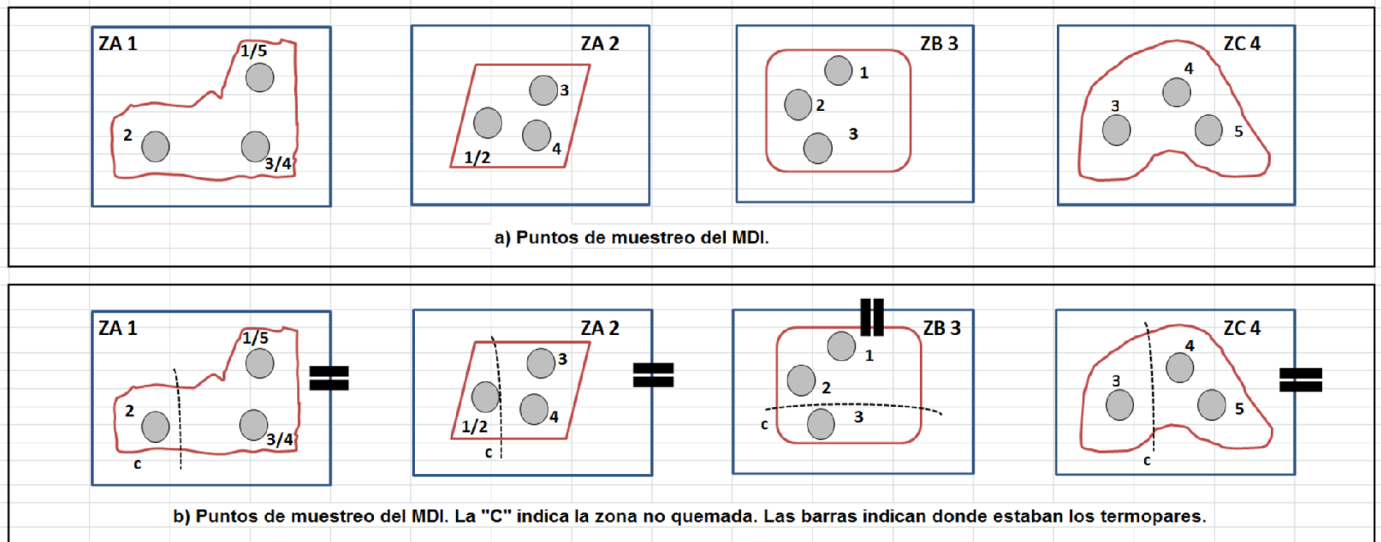


Figura 1. Puntos de muestreo de la conductividad hidráulica, termopares y SWR, de los bloques. La línea roja indica la morfología inalterada final del bloque de 35 x 35 cm

### 3 RESULTADOS Y DISCUSION

Las temperaturas alcanzadas fueron de  $261,3 \pm 117,5^\circ \text{C}$  en superficie, de  $108,5 \pm 42,6^\circ \text{C}$  a 1 cm, de  $67,1 \pm 8,7^\circ \text{C}$  a 2 cm y de  $55,5 \pm 9,0^\circ \text{C}$  a los 3 cm, de promedio. Estos valores muestran un descenso importante de la temperatura en profundidad, al igual que lo que señalan otros autores que emplearon una técnica similar (Llovet et al., 2008; Aznar et al., 2013). Además hay que tener en cuenta de que este tipo de suelo es susceptible a un cambio mineralógico cuando se superan los  $50^\circ \text{C}$  (Lebron et al., 2009), de manera que se pasa de tener yeso ( $\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ ) a basanita ( $\text{CaSO}_4 \times 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ). Los resultados obtenidos muestran un aumento de la conductividad hidráulica en los suelos quemados (representado con una *b*) en todos los puntos de la ladera como queda reflejado en la tabla 1.

Desir (2001), estudiando suelos yesosos cubiertos por pequeños arbustos, observó que la infiltración del agua se produjo sólo en unos pocos centímetros del suelo, produciendo condiciones de saturación falsas. Sin embargo, otros autores encontraron lo opuesto en suelos yesosos, es decir, las tasas de infiltración eran muy bajas en condiciones

de suelo desnudo, pero muy alta cuando el suelo estaba cubierto por las plantas, líquenes y musgos (Cerdà, 1998).

Tabla 1. Datos obtenidos con el MDI. C1 es la conductividad hidráulica inicial y K es la conductividad hidráulica

	C1 (cm/s)	std desv	K (cm/s)	std desv
ZA 1	0,0014	6,09E-04	0,0006	2,51E-04
ZA 2	0,0008	1,90E-04	0,0003	7,81E-05
ZB 3	0,0010	5,13E-04	0,0004	2,11E-04
ZC 4	0,0018	1,34E-03	0,0007	5,51E-04
ZA 1b	0,0019	1,59E-03	0,0008	6,53E-04
ZA 2b	0,0015	5,16E-04	0,0006	2,13E-04
ZB 3b	0,0018	7,19E-04	0,0007	2,96E-04
ZC 4b	0,0027	1,90E-03	0,0011	7,83E-04

Los datos obtenidos de SWR con el método del volumen infiltrado en 1 minuto (Robichaud et al., 2008) mostraron una débil SWR antes de ser calentados. Pero se observó que esta SWR desaparece tras la combustión (Tabla 2).

Esta reducción de la SWR, puede estar relacionada con las altas temperaturas obtenidas en la superficie durante la

combustión ( $261,3 \pm 117,5^{\circ}$  C). Muchos otros estudios han informado anteriormente de una reducción drástica de la SWR por encima de esta temperatura, debido a la destrucción de las sustancias hidrofóbicas (Varela et al., 2005; Simkovic et al., 2008; León et al., 2014).

## 4 CONCLUSIONES

El análisis realizado con el MDI para la evaluación de la conductividad hidráulica en diferentes puntos de una ladera ha reflejado que se han obtenido las mayores tasas en los bloques correspondientes a la parte alta de la ladera. Además, con la combustión de las muestras se ha obtenido tasas de conductividad hidráulica que casi duplican su valor inicial, y al igual que sucede con los suelos calcáreos, el

efecto del aumento de la temperatura se ve muy reducido en profundidad, en los suelos yesosos. Respecto a la SWR, hay que señalar que por el efecto de la combustión, ha provocado que la hidrofobicidad desaparezca, posiblemente debido a que por efecto de la quema controlada tan elevada se eliminan sustancias hidrofóbicas del suelo.

**Tabla 2. Datos repelencia al agua en el suelo (SWR), obtenidos por el método del volumen infiltrado en 1 min, con el MDI.**

No quemado	08/06/2016	16/07/2016	22/07/2016	28/07/2016	22/08/2016	28/08/2016	17/09/2016	25/09/2016
ZC	9,0	5,7	5,3	5,3	5,0	4,5	5,0	5,5
ZB	7,3	4,7	5,2	5,2	5,5	5,5	5,5	5,5
ZA	5,3	4,2	4,3	4,0	4,5	4,5	4,8	3,3
					Quemado			
SWR (ml)	<3	elevada		ZC	22/08/2016	28/08/2016	17/09/2016	25/09/2016
	3 a 8	moderada		ZB	12,0	11,8	12,5	11,5
	>8	ninguna		ZA	13,8	13,3	13,5	12,3
					11,0	10,1	9,6	9,4

## REFERENCES

- Aznar J M, González-Pérez J A, Badía D, Martí C. 2016. At what depth are the properties of a gypseous forest topsoil affected by burning? *Land Degrad. Dev.* 27: 1344-1353.
- Badía D, Martí C. 2000. Seeding and mulching treatments as conservation measures of two burned soils in the central Ebro valley, NE Spain, *Arid Soil Research and Rehabilitation* 14: 219-232.
- Badía D, Martí C, Aznar JM, León J. 2013. Influence of slope and parent rock on soil genesis and classification in semiarid mountainous environments, *Geoderma* 193-194: 13-21.
- Cerdà A. 1998. Changes in overland flow and infiltration after a rangeland fire in a Mediterranean scrubland. *Hydrological Processes* 12: 1031-1042.
- DeBano LF. 1981. Water repellent soils: a state-of-the-art. U.S. Department of Agriculture, Forest Service General Technical Report PSW-46. (21 pp.).
- Desir G. 2001. Erosión hídrica en terrenos yesíferos en el sector central de la Depresión del Ebro. CPN 15, (Zaragoza).
- Doerr SH, Shakesby RA, Walsh RPD. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth-Science Reviews* 51: 33-65.
- Ebel, B.A., Moody, J.A., Martin, D.A., 2012. Hydrologic conditions controlling runoff generation immediately after wildfire. *Water Resources Research* 48. <http://dx.doi.org/10.1029/2011WR011470W03529>.
- Herrero J, Artieda O, Hudnall WH. 2009. Gypsum, a tricky material. *Soil Science Society American Journal* 73: 1757-1763.
- Karunaratna AK, Moldrup P, Kawamoto K, de Jonge LW, Komatsu T. 2010. Tworegion model for soil water repellency as a function of matric potential and water content. *Vadose Zone Journal* 9: 719-730.
- Laya D, Vanranst E, Herrero J. 1998. A modified parametric index to estimate yield potentials for irrigate alfalfa on soils with gypsum in Quinto (Spain). *Geoderma* 87: 111-122.
- Lebron I, Herrero J, Robinson DA. 2009. Determination of gypsum content in dryland soils exploiting the gypsum-bassanite phase change. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 73: 403-411.
- León J, Echeverría MT, Badía D, Martí C, Álvarez C. 2013. Effectiveness of wood chips cover at reducing erosion in two contrasted burnt soils. *Z. Geomorphol* 57 (Suppl. 1): 27-37.
- León J, Seeger M, Badía D, Peters P, Echeverría MT. 2014. Thermal shock and splash effects on burned gypseous soils from the Ebro Basin (NE Spain), *Solid Earth* 5: 131-140.
- León J, Echeverría MT, Martí C, Badía D. 2015. Can ash control infiltration rate after burning? An example

- in burned calcareous and gypseous soils in the Ebro Basin (NE Spain). *Catena* 135: 377-382.
- Letey J, Carrillo MLK, Pang XP. 2000. Approaches to characterize the degree of water repellency. *Journal of Hydrology* 231-232: 61-65.
- Llovet J, Josa R, Vallejo VR. 2008. Thermal shock and rain effects on soil surface characteristics: a laboratory approach. *Catena* 74: 227-234.
- Mataix-Solera J, Doerr SH. 2004. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in south-eastern Spain, *Geoderma* 118: 77-88.
- Moody JA, Shakesby RA, Robichaud PR, Cannon SH, Martin DA. 2013. Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes. *Catena* 122: 10-37.
- Nimmo JR, Schmidt KM, Perkin KS, Stock JD. 2009. Rapid measurement of fieldsaturated hydraulic conductivity for areal characterization. *Vadose Zone Journal* 8: 142-149.
- Porta J. 1998. Methodologies for the analysis and characterization of gypsum in soils: a review. *Geoderma* 87: 31-46.
- Rawls WJ, Brakensiek DL, Saxton KE. 1982. Estimation of soil water properties. *Transaction American Society Agricultural Engineers* 25 (5): 1316-1330.
- Regalado CM, Ritter A. 2009. A bimodal four parameter lognormal linear model of soil water repellency. *Hydrological Processes* 23: 881-892.
- Robichaud PR. 2000. Fire effects on infiltration rates after prescribed fire in northern Rocky Mountain forests, USA. *Journal of Hydrology* 231-232: 220-229.
- Robichaud PR, Lewis SA, Ashmun LE. 2008. New procedure for sampling infiltration to assess post-fire water repellency. U.S. Department of Agriculture, Forest Service Research Note RMRS-RN-33, U.S. Forest Service, W10506, pp. 1-14.
- Simkovic L, Dlapa P, Doerr S, Mataix-Solera J, Sasinkova V. 2008. Thermal destruction of soil water repellency and associated changes to soil organic matter as observed by FTIR spectroscopy. *Catena* 74: 205-211.
- Varela ME, Benito E, De Blas E. 2005. Impact of wildfires on surface water repellency in soils of NW Spain. *Hydrological Processes* 19: 3649-3657.