

IMPLICACIONES DE LA REPELENCIA AL AGUA DEL SUELO EN LA GENERACIÓN DE ESCORRENTÍA Y EN LA EROSIÓN EN UN ÁREA QUEMADA DEL NW DE ESPAÑA

M. Rodríguez-Alleres, E. Benito y E. de Blas

Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Edificio de Ciencias Experimentales. 36310 Vigo, Spain; rueda@uvigo.es

RESUMEN. La repelencia al agua inducida por el fuego ha sido citada frecuentemente como una de las principales causas del incremento de la escorrentía superficial y la erosión acelerada del suelo en las áreas quemadas.

En este trabajo se analizaron los efectos de un incendio forestal de alta intensidad (ocurrido el 16 de junio de 2004) sobre la repelencia al agua del suelo y sus implicaciones en la generación de escorrentía superficial y en la erosión del suelo. La repelencia al agua del área quemada se comparó con la de un área próxima no quemada que presentaba al inicio del estudio (1 de julio de 2004) una repelencia extrema (WDPT entre 3-6 h y >6 h) hasta los 10 cm de profundidad. Después del incendio la repelencia al agua desapareció o disminuyó fuertemente en los dos primeros cm del suelo, siendo sin embargo extrema entre 2 y 20 cm de profundidad.

La aplicación de lluvia simulada en el área incendiada (intensidad de 50 mm·h⁻¹ durante 30 min) en parcelas de 1 m² y con una pendiente media del 20% mostró cómo la fuerte repelencia al agua del suelo favoreció la formación de importantes volúmenes de escorrentía, obteniéndose coeficientes de escorrentía en torno al 50% que a esta escala de trabajo no se tradujeron en tasas de erosión elevadas. Sin embargo, las fuertes precipitaciones caídas en el mes de agosto de 2004 ocasionaron procesos erosivos de gran magnitud en la zona incendiada que han sido analizados de forma cualitativa a escala de ladera.

ABSTRACT. Fire-induced water repellency has frequently been cited as a major source of increased surface runoff and accelerated erosion of soil in burnt areas.

In this work, the effects of a wildfire that started on 16 June 2004 on the soil water repellency and its consequences on surface runoff and soil erosion were examined. To this end, the water repellency of the burnt area was compared with that of a nearby unburnt area which exhibited an extreme repellency (WDPT between 3-6 h and >6 h) down to 10 cm at the beginning of the study (1 July 2004). The fire destroyed or strongly reduced the soil water repellency within the shallowest 2 cm surface soil, but extreme repellency was observed at depths from 2 to 20 cm.

Application of simulated rainfall to the burnt area (intensity of 50 mm·h⁻¹ for 30 min) in 1 m² plots with an average slope of 20% revealed that the high water repellency of the soil facilitated the formation of large runoff volumes; runoff coefficients were about 50% but, at this work scale, the resulting soil erosion was small. However, high precipitation during August 2004 led to strong erosion in the burnt area that is currently being studied at the hillside scale.

1. Introducción

La repelencia al agua es un fenómeno que ocurre de forma natural en los suelos pero que puede verse intensificada como resultado del calentamiento del suelo durante el fuego. Después del fuego la repelencia se manifiesta como una capa de espesor y continuidad variable en la superficie del suelo o a pocos centímetros por debajo y paralela a la superficie del suelo (DeBano, 2003). El grado y distribución de la repelencia al agua en el perfil del suelo dependerá de la temperatura alcanzada en el suelo durante el incendio. La temperatura se incrementa con la carga de combustible y se reduce al aumentar el contenido en humedad del suelo (Letey, 2001).

La repelencia al agua es una propiedad muy extendida en los suelos forestales del NW de España y particularmente severa en condiciones secas (Benito et al. 2003; Varela et al. 2005). El grado de repelencia inicial de estos suelos condiciona claramente las variaciones producidas tras el paso del fuego, de forma que los suelos previamente muy repelentes apenas experimentan variaciones, mientras que la repelencia aumenta considerablemente en los suelos no repelentes antes del incendio (Varela et al. 2005). Esta fuerte repelencia al agua de los suelos quemados junto con la pérdida de cobertura vegetal se pueden considerar como las principales causas de los incrementos en la escorrentía superficial y en la erosión que diversos autores han cuantificado en áreas quemadas de la zona húmeda española (Díaz-Fierros et al. 1982, 1990; Soto et al. 1994 entre otros)

En este trabajo se analizaron los efectos de un incendio forestal de alta intensidad sobre la repelencia al agua del suelo y sus implicaciones en la generación de escorrentía superficial y en la erosión del suelo.

2. Material y métodos

La zona de estudio se encuentra situada en el municipio de Padrón (A Coruña) (42°45'11"N/8°38'44"W). La vegetación original de la zona corresponde a un pinar de repoblación de *Pinus pinaster* con sotobosque compuesto principalmente por *Ulex europaeus*, *Erica* sp. y *Pteridium aquilinum* L. Es una zona de fuertes pendientes desarrollada sobre material granítico. El clima es templado húmedo, con una precipitación media anual de 1800 mm y una temperatura media anual de 13 °C.

En esta zona, el 16 de junio de 2004, se produjo un incendio forestal de grandes dimensiones. En el área quemada se seleccionaron tres puntos de muestreo en una zona en que el fuego alcanzó una intensidad media-alta según los criterios de Chandler et al. (1983), con cenizas de color gris, desaparición de la hojarasca sobre la superficie del suelo, árboles totalmente calcinados que perdieron la totalidad de las hojas conservando solo algunas ramas en su parte superior y matorral que únicamente conservó ramas calcinadas de *Ulex* >2 cm de diámetro. También se seleccionaron tres puntos de muestreo en otra zona no quemada, próxima a la anterior, con igual vegetación y características fisiográficas, que se utilizó como control. El 1 de julio de 2004 (quince días después del incendio) se recogieron en cada punto de muestreo, muestras de suelo a 5 profundidades: 0-2, 2-5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm. En las muestras secas al aire y tamizadas por 2 mm se determinó el color utilizando el Código Internacional Munsell y la granulometría según el método internacional. La repelencia al agua del suelo se determinó por el método del tiempo de penetración de la gota de agua (WDPT) (Van't Woudt, 1959) que consiste en dejar caer gotas de agua destilada sobre la superficie de la muestra y medir el tiempo que tardan en penetrar en el suelo. La clase de repelencia al agua representativa para cada muestra se corresponde con la mediana de 15 medidas y se distinguieron las siguientes clases de repelencia: clase 0, no repelente (WDPT < 5 s); clase 1, ligeramente repelente (5-60 s); clase 2, fuertemente repelente (60-600 s); clase 3, severamente repelente (600-3600 s), y extremadamente repelente (>1 h) que se subdividió en clase 4 (1-3 h), clase 5 (3-6 h) y clase 6 (>6 h).

Las experiencias con lluvia simulada se realizaron en el área quemada, en dos parcelas de 1 m² mediante un simulador de lluvia descrito por Benito et al. (2001) aplicando una intensidad de lluvia de 50 mm·h⁻¹ y con una pendiente media del 20%. La escorrentía generada se midió a intervalos de 1 minuto y en 1 de cada 3 minutos se recogieron muestras para determinar las tasas de erosión.

3. Resultados y discusión

3.1. Efectos del fuego sobre la repelencia al agua del suelo

En la Tabla 1 se presenta la severidad de repelencia al agua observada en las áreas quemada y no quemada. El área no quemada presentó en los tres puntos muestreados una repelencia al agua extrema hasta los 10 cm de profundidad, con WDPT entre 3-6 h y >6 h. Entre los 10 y 20 cm de profundidad solo se observó repelencia al agua extrema en uno de los puntos, presentando los otros 2 una repelencia ligera. No se observó repelencia al agua por debajo de 20 cm. El incendio provocó una disminución importante de la repelencia en la capa más superficial (0-2 cm) desapareciendo totalmente en uno de los puntos de muestreo y oscilando entre 5 y 600 s en los otros dos. Sin embargo, entre 2 y 20 cm la repelencia fue extrema en todos los puntos muestreados y entre 20 y 40 cm los suelos quemados todavía presentaban una repelencia ligera.

Tabla 1. Clases de repelencia al agua de los suelos en las áreas no quemada y quemada

	Área no quemada			Área quemada		
	punto 1	punto 2	punto 3	punto 1	punto 2	punto 3
0-2 cm	5	5	6	1	0	2
2-5 cm	5	5	6	6	3	6
5-10 cm	6	5	5	6	6	6
10-20 cm	5	1	1	3	5	6
20-40 cm	0	0	0	1	1	1

Estos resultados indicarían un fuerte calentamiento de la superficie del suelo, con temperaturas que estarían próximas o habrían superado el umbral necesario para la desaparición de la repelencia al agua. Está perfectamente documentado que las altas temperaturas (mayores de 270-300° C) hacen desaparecer la repelencia al agua (Savage, 1974; DeBano et al. 1976; Varela et al. 2005, entre otros). La combustión de la materia orgánica produce compuestos orgánicos en forma de vapor que se mueven desde la superficie a capas inferiores más frías donde se condensan creando una capa subsuperficial fuertemente hidrófoba (DeBano et al. 1970).

3.2. Experiencias con simulación de lluvia

En la Tabla 2 se resumen los resultados de las experiencias de lluvia simulada realizadas en dos parcelas en el área quemada.

Tabla 2. Principales parámetros hidrológicos y erosivos de las experiencias con lluvia simulada

	Parcela 1	Parcela 2
Te	40"	4'36"
Em (mm·h ⁻¹)	19.69	27.1
Ce	0.39	0.54
f _c (mm·h ⁻¹)	22.76	23.06
Ts (g·m ⁻² ·h ⁻¹)	8.79	11.07

te: tiempo de inicio de escorrentía, Em: escorrentía media, Ce: coeficiente de escorrentía, f_c: tasa de infiltración final estable, Ts: tasa de erosión.

La humedad del suelo en el área quemada era muy baja antes de iniciar las experiencias con lluvia simulada con un valor medio de 5.15% (p/p) en la capa superficial (0-2 cm) y de 2.13% entre 2 y 10 cm. Si bien existieron ligeras diferencias entre ambas parcelas, la escorrentía se inició rápidamente en ambas debido a la inexistencia de vegetación y hojarasca recubriendo el suelo. Después de 30 minutos de aplicación de lluvia los caudales de escorrentía fueron muy elevados. Se obtuvieron coeficientes de escorrentía en torno al 50% que sin embargo, a esta escala de trabajo, no se tradujeron en tasas de erosión elevadas. Esto puede ser debido a que cuando trabajamos en parcelas de pequeña superficie (1 m²) y con episodios de lluvia relativamente cortos (30 min) no se llega a alcanzar una concentración y velocidad del flujo de escorrentía suficiente como para producir un arrastre de sedimentos importante.

Después de finalizadas las experiencias de simulación se comprobó que únicamente se humedecieron los 2 primeros cm del suelo en los que la repelencia al agua era muy baja mientras que el suelo, por debajo de 2 cm, se mantuvo muy seco y con una repelencia extrema. También se evidenció la circulación de agua en el suelo por flujos preferenciales a través de grietas, fisuras o canales de raíces así como patrones de humedecimiento irregulares e incompletos dando lugar al flujo digitado característico de los suelos con repelencia al agua (Dekker y Ritsema, 1996).

3.3. Estudio cualitativo de la erosión a escala de ladera

Las fuertes precipitaciones caídas durante el mes de agosto y principios de septiembre de 2004 (Fig. 1) ocasionaron en la zona incendiada procesos erosivos de gran magnitud que fueron descritos de forma cualitativa, a escala de ladera, el 21 de septiembre de 2004 (unos tres meses después de ocurrido el incendio).

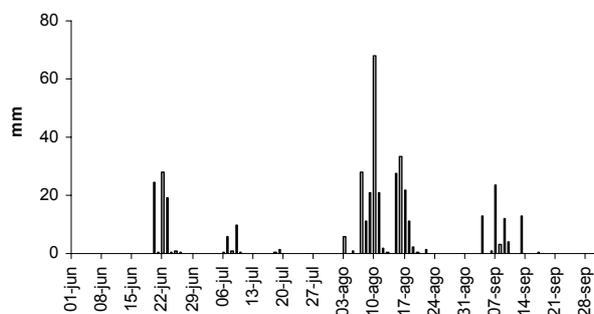


Fig. 1. Precipitaciones caídas en la zona de estudio entre junio y septiembre de 2004. Datos de la estación de Casas do Porto facilitados por el CMTG

La severidad de la erosión se estudió teniendo en cuenta distintos indicadores de campo y tomando como referencia en unos casos el área no quemada y en otras fotografías tomadas en el área quemada después del incendio (Fig. 2).

Los cambios en el color y en la textura del suelo son los primeros indicadores que evidenciaron la erosión producida en la zona quemada. La comparación de la granulometría de las áreas quemada y no quemada puso de manifiesto la

pérdida selectiva de las fracciones limo y arcilla en el área quemada con el consiguiente aumento de la fracción gruesa (Tabla 2).



Fig. 2. Aspecto del área quemada el 1 de julio de 2004.

Tabla 3. Análisis granulométrico del suelo en las áreas no quemada y quemada 3 meses después del incendio

	Área no quemada			Área quemada		
	Arena %	Limo %	Arcilla %	Arena %	Limo %	Arcilla %
0-2 cm	69	16	15	82	8	10
2-5 cm	71	13	16	80	10	10

El área no quemada presentaba un color pardo oscuro en seco (10YR 3/3) en los 10 primeros cm. Después del fuego los primeros 2 cm cambiaron a un color gris muy oscuro (10YR 3/1) y a pardo (10YR 4/3) entre 2 y 20 cm. Tres meses después del incendio la superficie del área quemada (entre 0-10 cm) presentó una coloración parda (10YR 4/3) lo que sería indicativo del arrastre de los primeros cm del suelo por efecto de las intensas lluvias del mes de agosto.

Tabla 4. Color en seco de los primeros 10 cm del suelo en el área no quemada y en el área quemada 15 días y 3 meses después del incendio

	Área no quemada	Área quemada 15 días después del incendio	Área quemada 3 meses después del incendio
0-2 cm	10YR 3/3	10YR 3/1	10YR 4/3
2-5 cm	10YR 3/3	10YR 4/3	10YR 4/3
5-10 cm	10YR 3/3	10YR 4/3	

El estudio morfológico de la superficie del terreno tres meses después del incendio y tras el período de fuertes lluvias mostró signos evidentes de erosión a lo largo de la ladera, entre los que destacaron: exposición de fragmentos de roca en la superficie del suelo, raíces laterales de los pinos parcialmente expuestas por encima de la superficie actual del suelo (Fig. 3), pérdida de suelo por "cascada de agua" junto a algunos árboles (Fig. 4) y zonas de depósito de materiales (Fig. 5) junto a obstáculos o en la parte baja de la ladera por atenuación de la pendiente.



Fig. 3. Raíz gruesa de pino en superficie. Se aprecia una marca en la base del tronco que indica el nivel de la superficie del suelo antes de producirse la erosión. También se evidencia la exposición de fragmentos de roca en superficie.



Fig. 4. Depresión excavada junto a un árbol, en la cara descendente de la pendiente por el efecto de cascada.



Fig. 5. Zona de acumulación de sedimentos por atenuación de la pendiente.

4. Conclusiones

En este trabajo se puso de manifiesto la severidad de la repelencia al agua que presentaba el área forestal antes del incendio, en condiciones de verano secas, con una repelencia extrema en sus primeros 10 cm. El fuerte calentamiento de la superficie del suelo por el paso del fuego favoreció la reducción o desaparición de la repelencia al agua en los 2 primeros cm del suelo pero indujo, sin embargo, una repelencia extrema entre 2 y 20 cm de profundidad. Esta fuerte repelencia contribuyó a reducir la velocidad de infiltración del agua en el área quemada

obteniéndose, mediante las experiencias con simulación de lluvia, coeficientes de escorrentía en torno al 50 %. A esta escala de trabajo la repelencia al agua parece tener un mayor impacto sobre la generación de escorrentía y una influencia menos clara sobre las tasas de erosión del suelo ya que el transporte de sedimentos depende de factores adicionales que no se pueden considerar a esta escala de trabajo. A escala de ladera, las fuertes precipitaciones acaecidas en la zona después del fuego, la falta de protección por la vegetación y la fuerte repelencia al agua observada, favorecieron procesos erosivos de gran magnitud que fueron estudiados a través de cambios en la textura y color del suelo y mediante el análisis morfológico de la superficie del terreno.

Agradecimientos. Trabajo financiado por el Proyecto de la Xunta de Galicia PGIDIT02RFO30101PR. Agradecemos a Roberto Seoane su colaboración en los trabajos de campo y en las determinaciones analíticas.

Referencias

- Benito, E., de Blas, E., Santiago, J.L. y Varela, M.E. 2001. Descripción y puesta a punto de un simulador de lluvia de campo para estudios de escorrentía superficial y erosión del suelo. *Cad. Lab. Xeol. Laxe* 26: 211-220 pp.
- Benito, E., Santiago, J.L., de Blas, E. y Varela, M.E. 2003. Deforestation of water-repellent soils in Galicia (NW Spain): effects on surface runoff and erosion under simulated rainfall. *Earth Surf. Process. Landforms* 28: 145-155 pp.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. y Williams, D. 1983. *Fire in Forestry. Forest Fire Behavior and Effects*. Wiley, New York, vol. 1, 450 pp.
- DeBano, L.F. 2003. The role of fire and soil heating on water repellency. En: *Soil Water repellency : occurrence, consequences and amelioration*. (Eds. C.J. Ritsema y L.W. Dekker) Elsevier. 193-202 pp.
- Dekker, L.W. y Ritsema, C.J. 1996. Preferential flow paths in a water repellent clay soil with grass cover. *Water Resour. Res.* 32: 1239-1249 pp.
- DeBano, L.F., Mann, L.D. y Hamilton, D.D.A. 1970. Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 34: 130-133 pp.
- Díaz-Fierros, F., Gil Sotres, F., Cabaneiro, A., Carballas, T., Leirós de la Peña, M.C., y Vilar Celorio, M.C. 1982. Efectos erosivos de los incendios forestales en los suelos de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.*, 41: 627-639 pp.
- Díaz-Fierros, F., Benito, E., Vega, J.A., Castelao, A., Soto, B., Pérez, R. y Taboada, T. 1990. Solute loss and soil erosion in burnt soil from Galicia (NW Spain). En: *Fire and Ecosystem Dynamics*. (Eds. J. Goldammer y M. Jenkins). SPB Academic Publishing: The Hague: 103-116 pp.
- Letey, J. 2001. Causes and consequences of fire-induced soil water repellency. *Hydrol. Process.* 15: 2867-2875 pp.
- Savage, S.M. 1974. Mechanism of fire-induced water repellency in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 652-657 pp.
- Soto, B., Basanta, R., Benito, E., Pérez, R. y Díaz-Fierros, F. 1994. Runoff and erosion from burnt soils in NW Spain. En: *Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires* (Eds. M. Sala y J.L. Rubio). Geofoma Ediciones, Logroño, 91-98 pp.
- Van't Woudt, B.D. 1959. Particle coatings affecting the wettability of soils. *J. Geophys. Res.* 64: 263-267 pp.
- Varela, M.E., Benito E. y de Blas E. (en prensa). Impact of wildfires on surface water repellency in soils of NW Spain. *Hydrol. Process.*