



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-442

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cambios en el carbono orgánico y en propiedades físicas del suelo después de incendios de distinta severidad

FONTÚRBEL LLITERAS, M.T.¹, FERNÁNDEZ FILGUEIRA¹, VEGA HIDALGO, J.A.¹, MERINO, A.²

¹ Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Consellería do Medio Rural. Xunta de Galicia. Apdo 127, 36080. Pontevedra. España.

² Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 27002 Lugo. España

Resumen

Los incendios forestales pueden tener efectos notables sobre la erosión y el comportamiento hidrológico del suelo. La magnitud de los cambios producidos depende estrechamente de la severidad del fuego en el suelo. En este trabajo se analizan los cambios inducidos por incendios de distinta severidad en un conjunto de propiedades del suelo mineral superficial relacionadas con su susceptibilidad a la erosión. Se utilizó una clasificación visual con cinco categorías de severidad del fuego en el suelo, función del grado de alteración de la cubierta orgánica y suelo superficial, comparándose suelos afectados por esos niveles de severidad en tres incendios ocurridos en Galicia. Los resultados obtenidos mostraron un buen ajuste entre los niveles de severidad y los cambios en el carbono orgánico, la distribución de los agregados del suelo, la estabilidad de los mismos al impacto de la lluvia simulada, y la repelencia al agua del suelo, que disminuyeron notablemente en los niveles de severidad del fuego alto o muy alto. Lo anterior apoya la utilización operativa de este sistema de clasificación visual de la severidad del fuego y refleja cambios que favorecen las pérdidas de suelo por erosión tras incendio.

Palabras clave

Severidad del fuego, estabilidad de agregados, repelencia al agua del suelo

1. Introducción

Los incendios son una de las perturbaciones con mayor impacto en los ecosistemas forestales de la península ibérica, lo que se ve acrecentado por el aumento de la severidad y la recurrencia de los fuegos en los últimos decenios. La situación en Galicia es particularmente grave y está acentuada por el alto riesgo erosivo post-incendio existente en la zona (VEGA et al., 2013a). Para reducir la degradación y pérdida de suelo después de los incendios pueden utilizarse diversas técnicas de estabilización y rehabilitación del suelo. Una etapa crítica en la toma de decisiones para la selección de las zonas prioritarias a ser tratadas es la evaluación de la severidad del fuego en el suelo (PARSONS et al., 2010; JAIN et al., 2012). Para realizarla se está usando en Galicia una clasificación visual de la severidad del fuego, con cinco niveles, basada en el grado de alteración de la cubierta orgánica y suelo mineral superficial (VEGA et al., 2013 a, 2013 b) que ha mostrado un buen ajuste con una serie de propiedades químicas y microbiológicas del suelo, indicadoras de su calidad (VEGA et al., 2013 a, 2013 b; MERINO et al., 2014) y también con propiedades físicas, relevantes desde el punto de vista de su relación con la erosión (FERNÁNDEZ et al., 2013; FONTÚRBEL et al., 2015; REGUEIRA et al., 2015).

Los efectos de los incendios en el carbono orgánico del suelo (COS) son complejos y variados, pudiendo haber incrementos o disminuciones de su contenido, así como cambios en su composición, generalmente asociados a la severidad del fuego (GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2004; CERTINI, 2005; NEARY et al., 2005; CARBALLAS et al., 2009).

La estabilidad de los agregados (EA) del suelo también puede verse alterada tras el paso del fuego. Generalmente se detectan reducciones asociadas a la pérdida de COS, aunque en otros casos

se observa la respuesta contraria o bien, ausencia de cambios (BENITO et al., 2009; VARELA et al. 2010a, 2010b; VEGA y FERNÁNDEZ, 2010; MATAIX-SOLERA et al., 2013; VARELA et al. 2015). La repelencia al agua (RA) es una propiedad de los suelos que reduce su afinidad por el agua, lo que implica una reducción de la capacidad de infiltración, favorece la escorrentía superficial y la erosionabilidad de los suelos (DOERR et al., 2000). Muchos suelos con alto contenido de COS presentan RA de forma natural (RODRÍGUEZ-ALLERES et al., 2007). Los incendios pueden causar disminuciones o aumentos de la RA (SHAKESBY y DOERR, 2006; ARCENEGUI et al., 2008; VARELA et al., 2010a; GRANGED et al., 2011; FERNÁNDEZ et al., 2013) en función de la temperatura de la combustión, el tiempo de residencia del calor, la cantidad y el tipo de combustible y la humedad del suelo previa a la acción del fuego, así como el tipo de suelo (DOERR et al., 2000; LEWIS et al., 2006). Aunque existen abundantes estudios sobre la influencia del fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo, en pocos de ellos se ha tenido en cuenta el factor severidad del fuego en el suelo, evaluado en campo y asignado a una clasificación categórica. Este trabajo analiza los cambios en propiedades del suelo que reflejan su susceptibilidad a la erosión tras incendio en relación a los niveles de severidad del fuego en el suelo, obtenidos mediante un sistema de clasificación visual.

2. Objetivos

El principal objetivo de este estudio es evaluar los cambios inducidos por incendios, en los que se registraron diferentes niveles de afectación del suelo, determinados según una clasificación visual de 5 niveles de severidad, en el contenido de carbono orgánico, la estabilidad de los agregados y la repelencia al agua del suelo mineral superficial (0-2 cm), inmediatamente después del fuego.

3. Metodología

Se seleccionaron cuatro sitios afectados por tres incendios de verano en Galicia. Dos sitios están localizados en la Serra de Outes (Coruña), uno de ellos (42° 50' 57" N- 8° 59' 54" O) es un pinar y el otro, un área de matorral (42° 50' 34" N- 8° 59' 28" O). Los otros dos sitios están localizados en la provincia de Lugo, Edreiras (42° 10' 3.5" N- 7° 25' 30.9" O) y Ferreirós (42° 36' 36" N- 7° 10' 48" O) y son áreas de matorral. Los dos primeros, en Serra de Outes, tienen como sustrato granitos y granodioritas y los otros, esquistos. Todos ellos se caracterizan por su textura franca o franco-arenosa, alto contenido de COS y muy bajo pH. Inmediatamente después del incendio se establecieron un número variable de transectos en función de la superficie quemada, en los que se estimó visualmente el nivel de severidad del fuego mediante un sistema de clasificación visual con 5 categorías (VEGA et al., 2013 a, 2013 b): 1 (muy bajo) hojarasca total o parcialmente consumida y mantillo inferior consumido sólo parcialmente, 2 (bajo) restos carbonosos de la consunción de la cubierta orgánica sobre el suelo mineral intacto, 3 (moderado) suelo desnudo sin alterar, 4 (alto) suelo desnudo con pérdida de estructura y 5 (muy alto) suelo desnudo con pérdida de estructura y cambio de color (naranja a rojizo).

En cada uno de sitios, se recogieron submuestras del suelo mineral superficial (0-2 cm), en varios puntos (entre 3 y 5) de cada nivel de severidad. Además se tomaron muestras de suelos similares no quemados que se utilizaron como testigos. Las muestras obtenidas fueron secadas al aire para los análisis físicos y tamizadas y molidas para el análisis del COS.

El contenido de C total fue analizado por combustión seca (en analizador elemental). La distribución de agregados se analizó mediante el método de KEMPER y ROSENAU (1986), tamizando las muestras en seco con tamices de 5, 2, 1, 0,25 y 0,05 mm y calculando el porcentaje de agregados de cada grupo de tamaño y el diámetro medio ponderado (mm). La determinación de la estabilidad de agregados al impacto de la lluvia se realizó mediante el test de lluvia simulada (BENITO et al., 1986; ROLDÁN et al., 1994), basado en el suministro de un volumen determinado de agua (150 ml) en forma de gotas de energía conocida (270 J m⁻²) sobre la muestra de suelo. Se obtiene el porcentaje de agregados estables al impacto de la lluvia. La repelencia al agua del suelo fue

analizada en laboratorio mediante el test del tiempo de penetración de la gota de agua (WESSEL, 1988). Los valores obtenidos se agrupan en 5 categorías, siguiendo la clasificación propuesta por DOERR (1998) y se calcula la clase mediana de repelencia para cada muestra. El nivel 0 de esta clasificación significa suelo no repelente y en los siguientes niveles va aumentando el grado de repelencia hasta los niveles 4 y 5 que son suelos extremadamente repelentes.

Un análisis de varianza fue empleado para determinar la existencia de diferencias en las variables analizadas en función del nivel de severidad. Se exploraron posibles relaciones entre estas variables y la infiltración en campo medida con infiltrómetro de disco (FERNÁNDEZ et al., 2013) y los cambios sufridos por la materia orgánica del suelo analizada con calorimetría diferencial de barrido (MERINO et al., 2014) mediante regresión lineal simple.

4. Resultados

El C orgánico del suelo (Figura 1a) sufrió un descenso significativo en relación al aumento del nivel de severidad, aunque entre los suelos testigo y los de baja o muy baja severidad no se observaron diferencias significativas. En el nivel de severidad más alta se registraron reducciones entre el 51 y 77% respecto a los suelos control. El diámetro medio ponderado (DMP) de los agregados del suelo (Figura 1b) fue muy bajo para los suelos no afectados por el incendio ($0,78 \text{ mm} \pm 0,20$) y se redujo significativamente con el aumento del nivel de severidad. En contraste, la estabilidad de los agregados al agua (AEA) (Figura 1c) fue relativamente alta y, aunque también sufrió disminuciones con el aumento de severidad, las reducciones relativas respecto al control fueron de menor cuantía que las detectadas en otras propiedades. La repelencia al agua (RA) (Figura 1d) mostró una disminución clara según aumentaba el nivel de severidad, llegando a desaparecer en el nivel de severidad muy alta. Los resultados de las relaciones entre las variables físicas analizadas (DMP, AEA y RA) y el carbono del suelo mostraron un alto grado de asociación ($R^2 = 0,74, 0,55$ y $0,75$, respectivamente; $p < 0,001$, en los tres casos). La relación entre RA y la infiltración del suelo medida en campo con mini-infiltrómetro de disco mostró una asociación negativa significativa de escasa magnitud en la superficie del suelo ($R^2 = 0,33$, $p = 0,01$) y ausencia de relación a 3 cm por debajo de la superficie. Entre los parámetros obtenidos por el método DSC, los que tuvieron una relación más estrecha con las propiedades analizadas fueron el calor de combustión de la materia orgánica (R^2 entre $0,76$ y $0,96$; $p < 0,001$) y el calor de combustión parcial correspondiente a la materia orgánica lábil (R^2 entre $0,72$ y $0,92$; $p < 0,001$) y a la materia orgánica recalcitrante (R^2 entre $0,73$ y $0,92$; $p < 0,001$). En los tres casos la correlación más estrecha fue con el COS y la más débil con AEA.

5. Discusión

Los resultados hallados en los suelos no quemados analizados en este estudio respecto a contenido de COS, DMP, AEA y RA están en el rango observado en diferentes suelos forestales de Galicia, aunque con valores algo inferiores de DMP (VARELA, 2007).

La reducción de COS con la severidad coincide con resultados previos (VEGA et al., 2013b) y probablemente estuvo favorecida por el alto contenido de carbono de los suelos gallegos, en contraste con la escasa respuesta al fuego registrada en suelos mediterráneos en los que ese contenido es considerablemente más bajo (GIMENO-GARCÍA et al., 2000; FONTÚRBEL et al., 2011). Por otra parte, con la clasificación visual utilizada se detectaron disminuciones de COS en algunos de los incendios estudiados en los niveles de severidad moderada, lo que sugiere que pudieron alcanzarse temperaturas en el suelo lo suficientemente elevadas (generalmente superiores a 220°C) como para que hubiera una pérdida de materia orgánica, según se ha puesto de manifiesto en experimentos de calentamiento de suelo en condiciones de laboratorio (ALMENDROS et al., 1984; GIOVANNINI et al., 1990; GARCÍA-CORONA et al., 2004; VARELA et al., 2015).

La fuerte disminución del DMP de los agregados en los niveles más altos de severidad del fuego y la ausencia de cambios apreciables en los niveles más bajos concuerda con lo hallado en otros estudios (MATAIX-SOLERA y DOERR, 2004; BENITO et al., 2009; VARELA et al., 2010a; BENITO et al., 2014; REGUEIRA et al., 2015). La reducción de DMP después de fuegos severos puede atribuirse a la combustión de la materia orgánica del suelo durante el incendio, ya que esta es el principal agente cementante en los suelos gallegos ante la escasez de arcillas (BENITO y DIAZ-FIERROS, 1992). No obstante, nuestros resultados contrastan con otros hallados en suelos afectados por incendios en los que hubo aumentos de la estabilidad de agregados, si bien el factor severidad del fuego no fue evaluado como en este estudio (VARELA et al. 2010b; MATAIX-SOLERA et al., 2011).

La relativa menor afectación de la estabilidad de los agregados del suelo al agua por la severidad del fuego probablemente estuvo relacionada con los altos valores de esta propiedad en suelos no quemados, aunque sí hubo disminuciones a medida que aumentaba la severidad del fuego, coincidiendo con análisis previos (REGUEIRA et al., 2015) y con experimentos de calentamiento de suelo en laboratorio en los que se sobrepasaron los 380°C (GARCÍA-CORONA et al., 2004), lo que probablemente ocurrió en los niveles 4 y 5 de este estudio.

La presencia de repelencia al agua (RA) extrema en los suelos no quemados y quemados con niveles bajos de severidad, y su disminución hasta desaparecer por completo con el aumento de la severidad, concuerda con estudios realizados en diferentes ecosistemas y en suelos que presentan esta característica (RODRIGUEZ-ALLERES et al., 2007; MATAIX-SOLERA et al., 2013; VARELA et al., 2015). Las diferentes respuestas en la RA inmediatamente después del fuego han sido atribuidas a los picos de temperatura y su tiempo de residencia en el suelo durante la combustión (JORDÁN et al., 2011). Estudios de laboratorio han puesto de manifiesto incrementos de la RA con el calentamiento del suelo hasta alcanzar un grado máximo alrededor de los 200°C, seguido por un brusco descenso hasta su total desaparición entre los 250°-400°C (DOERR et al., 2004; VARELA et al., 2010b).

La débil asociación significativa de la RA con la infiltración medida en campo y las diferentes respuestas de esta propiedad con la profundidad del suelo (FERNÁNDEZ et al., 2013) indica que algunos métodos de laboratorio, como el aquí utilizado, pueden no reflejar adecuadamente la variabilidad de las propiedades del suelo medidas en campo. Por otro lado, la alta asociación de COS, DMP, AEA y RA con los cambios cualitativos de la materia orgánica del suelo, evaluados mediante el análisis DSC, confirma la alteración de un conjunto de diferentes propiedades del suelo en función del nivel de severidad del fuego, estimado visualmente en campo.

6. Conclusiones

Este estudio muestra una buena correspondencia entre los niveles visuales de severidad del fuego y el grado de alteración de algunas propiedades del suelo, como el carbono orgánico, el diámetro medio ponderado de los agregados del suelo, la estabilidad de los agregados a la acción de la lluvia simulada y la repelencia al agua del suelo. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos previamente por este grupo de investigación, en otros incendios y en otras propiedades del suelo y confirman la utilidad de la clasificación visual de la severidad del fuego usada actualmente en Galicia para reflejar cambios en propiedades del suelo ligadas con su susceptibilidad a la erosión.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el INIA a través del proyecto RTA2014-00011-C06-02 “Reducción de la severidad del fuego mediante nuevas herramientas y tecnologías para la gestión integrada de la protección de los incendios forestales” e INDITEX. Un agradecimiento especial a Antonio Arellano por su apoyo en la selección de las áreas de estudio, instalación de dispositivos

experimentales y mediciones de campo. Gracias también a todos los que han colaborado en los trabajos de campo, especialmente José Ramón González, José Gómez, Jesús Pardo, y de laboratorio, Dolores Cernadas y Marina Peleteiro.

8. Bibliografía

ALMENDROS, G.; POLO, A.; LOBO, M.C.; IBAÑEZ, J.J.; 1984. Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. II. Transformaciones del humus por ignición en condiciones controladas de laboratorio. *Revue d'Écologie et Biologie du Sol* 21: 145-160.

ARCENEGUI, V.; MATAIX-SOLERA, J.; GUERRERO, C.; ZORNOZA, R.; MATAIX-BENEYTO, J.; GARCÍA-ORENES, F.; 2008. Immediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. *Catena* 74: 219-226.

BENITO, E.; GÓMEZ, A.; DÍAZ-FIERROS, F.; 1986. Descripción de un simulador de lluvia para estudios de erodibilidad del suelo y estabilidad de los agregados al agua. *Anales de Edafología y Agrobiología* 9-10: 1115-1126.

BENITO, E.; DÍAZ-FIERROS, F.; 1992. Estudio de las sustancias estabilizantes de la agregación en suelos ricos en materia orgánica. I. Composición de los agregados estables. *Agrochimica* 36: 324-339.

BENITO, E.; SOTO, B.; VARELA, E.; RODRÍGUEZ-ALLERES, M.; RODRÍGUEZ, J.A.; 2009. Modificaciones inducidas por los incendios forestales en las propiedades físicas de los suelos del noroeste de España: implicaciones de la respuesta hidrológica y en la erosión hídrica. En: CERDÁ A.; MATAIX-SOLERA, J. (Eds.). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos de España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Cátedra de Divulgación de la Ciencia. Universitat de Valencia: 303-323.

BENITO, E.; VARELA, M.E.; RODRÍGUEZ-ALLERES, M.; 2014. Efectos de los incendios forestales en la erosionabilidad de los suelos en Galicia. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 40 (2): 353-370.

CARBALLAS, T.; MARTÍN, A.; DÍAZ-RAVIÑA, M.; 2009. Efecto de los incendios forestales sobre los suelos de Galicia. En: CERDÁ A. y MATAIX-SOLERA, J. (eds.). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos de España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Cátedra de Divulgación de la Ciencia. Universitat de Valencia: 271-301.

CERTINI, G.; 2005. Effects of fire on properties of forest soils, a review. *Oecologia* 143: 1-10.

DOERR, S.H.; 1998. On standardizing the "water drop penetration time" and the "molarity of ethanol droplet" techniques to classify soil hydrophobicity: a case of study using medium textured soils. *Earth Surface Processes Landforms* 23: 663-668.

DOERR, S.H.; SHAKESBY, R.A.; WALSH, R.P.D.; 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth Science Review* 51: 33-65.

DOERR, S.H.; BLAKE, W.H.; SHAKESBY, R.A.; STAGNITTI, F.; VUURENS, S.H.; HUMPHREYS, G.S.; WALLBRINK, P.; 2004. Heating effects on water repellency in Australian eucalypt forest soils and their value in estimating wildfire soil temperatures. *International Journal of Wildland Fire* 13: 157-163.

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; FONTURBEL, M.T.; JIMÉNEZ, E.; FERREIRO, A.; SANDE, B. 2010. Fire severity and soil water repellency after fire in Galicia (NW Spain). En: VIEGAS D.X. (Ed.). Proc. VI International Conference on Fire Research.

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; FONTURBEL, T. 2013. Severidad del fuego y repelencia al agua en el suelo después de incendios forestales en Galicia. 6º Congreso Forestal Español.

FONTURBEL, M.T.; VEGA J.A.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; FERNÁNDEZ, C.; ALONSO, M.; CUIÑAS, P.; JIMÉNEZ, E. 2011. Effects of soil burn severity on germination and initial establishment of maritime pine seedlings in two contrasting experimentally burned soils. *International Journal of Wildland Fire* 20: 209-222.

GARCÍA-CORONA, R.; BENITO, E.; DE BLAS, E.; VARELA, M.E.; 2004. Effects of heating on some soil physical properties related to its hydrological behaviour in two north-western Spanish soils. *International Journal of Wildland Fire* 13: 195-199.

GIMENO-GARCÍA, E.; ANDREU, V.; RUBIO, J.L.; 2000. Changes in organic matter, nitrogen, phosphorous and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *European Journal of Soil Science* 51: 201-210.

GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S.; GIACHETTI, M.; 1990. Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth. *Soil Science* 149: 344-350.

GONZÁLEZ-PÉREZ J.A.; GONZÁLEZ-VILA F.J.; ALMENDROS G.; 2004. The effect of fire on soil organic matter - a review. *Environment International* 30: 855-870.

GRANGED, A.J.P.; ZAVALA, L.M.; JORDÁN, A.; BÁRCENAS-MORENO, G.; 2011. Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: a 3-year study. *Geoderma* 164: 85-94.

JAIN, T.B.; PILLIOD, D.S.; GRAHAM, R.T.; LENTILE, L.B.; SANDQUIST, J.E.; 2012. Index for characterizing post-fire soil environments in temperate coniferous forests. *Forests* 3: 445-466.

JORDÁN, A.; ZAVALA, L.M.; MATAIX-SOLERA, J.; NAVA, A.L.; ALANÍS, N.; 2011. Effect of fire severity on water repellency and aggregate stability on Mexican volcanic soils. *Catena* 84: 136-147.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C.; 1986. Aggregate stability and size distribution. En: KLUTE, A. (Ed). *Methods of soil analysis. Part 1: physical and mineralogical methods*. ASA, Madison, Wis, America.

LEWIS, S.A.; WU, J.Q.; ROBICHAUD, P.R.; 2006. Assessing burn severity and comparing soil water repellency, Hayman Fire, Colorado. *Hydrological Processes* 20: 1-16.

MATAIX-SOLERA, J.; DOERR, S.H.; 2004. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoil from fire affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma* 118: 77-88.

MATAIX-SOLERA, J.; CERDÀ, A.; ARCENEGUI, V.; JORDÁN, A.; ZAVALA, L.; 2011. Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews* 109: 44-60.

MATAIX-SOLERA, J.; ARCENEGUI, V.; TESSLER, N.; ZORNOZA, R.; WITTENBERG, L.; MARTÍNEZ, C.; CASELLES, P.; PÉREZ-BEJARANO, A.; MALKINSON, D.; JORDÁN, M.; 2013. Soil properties as key factors controlling water repellency in fire-affected areas: evidences from burned sites in Spain and Israel. *Catena* 108: 9-16.

MERINO, A.; FERREIRO, A.; SALGADO, J.; FONTURBEL, T.; BARROS, N.; FERNÁNDEZ, C.; VEGA J.A.; 2014. Use of thermal analysis and solid-state ¹³C CP-MAS NMR spectroscopy to diagnose organic matter quality in relation to burn severity in Atlantic soils. *Geoderma* 226-227: 376- 386.

NEARY, D.G.; RYAN, K.C.; DEBANO, L.F.; 2005. Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on soil and water. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-42-vol 4. (Ogden, UT).

PARSONS, A.; ROBICHAUD, P.R.; LEWIS, S.A.; NAPPER, C.; CLARK, J.T.; 2010. Field guide for mapping post-fire soil burn severity. USDA Forest Service. General Technical Report. RMRS-GTR-243.

RODRÍGUEZ-ALLERES, M.; BENITO, E.; DE BLAS, E.; 2007. Extent and persistence of water repellency in north-western Spanish soils. *Hydrological Processes* 21: 2291-2299.

RODRÍGUEZ-ALLERES, M.; BENITO, E.; 2011. Spatial and temporal variability of surface water repellency in sandy loam soils of NW Spain under *Pinus pinaster* and *Eucalyptus globulus* plantations. *Hydrological Processes* 25: 3649–3658.

RODRÍGUEZ-ALLERES, M.; VARELA, M.E.; BENITO, E.; 2012. Natural severity of water repellency in pine forest soils from NW Spain and influence of wildfire severity on its persistence. *Geoderma* 191: 125-131.

SHAKESBY, R.A.; DOERR, S.H.; 2006. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews* 74: 269–307.

VARELA, M.E.; DE BLAS, E.; BENITO, E.; LÓPEZ, I.; 2002. Changes induced by forest fires in the aggregate stability and water repellency of soils in NW Spain. IV International Conference on Forest Fire Research. Coimbra. Portugal.

VARELA, M.E.; BENITO, E.; DE BLAS, E.; 2005. Impact of wildfires on surface water repellency in soils of northwest Spain. *Hydrological Processes* 19: 3649-3657.

VARELA M.E.; BENITO, E.; KEIZER, J.J.; 2010a. Wildfire effects on soil erodibility of woodlands in NW Spain. *Land Degradation and Development* 21: 341-376.

VARELA M.E.; BENITO, E.; KEIZER, J.J.; 2010b. Effects of wildfire and laboratory heating on soil aggregate stability of pine forests in Galicia: The role of lithology, soil organic matter content and water repellency. *Catena* 83: 127-134.

VARELA, M.E.; BENITO, E.; KEIZER, J.J.; 2015. Influence of wildfire severity on soil physical degradation in two pine forest stands of NW Spain. *Catena* 133: 342-348.

VEGA, J.A.; FERNÁNDEZ C.; 2010. Riesgos hidrológicos y erosivos después de los incendios forestales. En: FRA, U (Ed.). Riesgos naturales en Galicia: 79-102.

VEGA, J.A.; FONTURBEL, T.; FERNÁNDEZ, C.; ARELLANO, A.; DÍAZ-RAVIÑA, M.; CARBALLAS, M.T.; MARTÍN, A.; GONZÁLEZ-PRIETO, S.; MERINO, A.; BENITO, E.; 2013a. Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas: Guía para su planificación en Galicia. Santiago de Compostela. 139 pags.

VEGA, J.A.; FONTÚRBEL, T.; MERINO, A.; FERNÁNDEZ, C.; FERREIRO, A.; JIMÉNEZ, E.; 2013 b. Testing the suitability of visual indicators of soil burn severity to reflect changes in soil chemical and microbial properties in pine stands and shrublands. *Plant and Soil* 369: 73-91.

WESSEL, A.; 1988. On using the effective contact angle and the water drop penetration time for classification of water repellency in dune soils. *Earth Surface Processes and Landforms* 555-562.

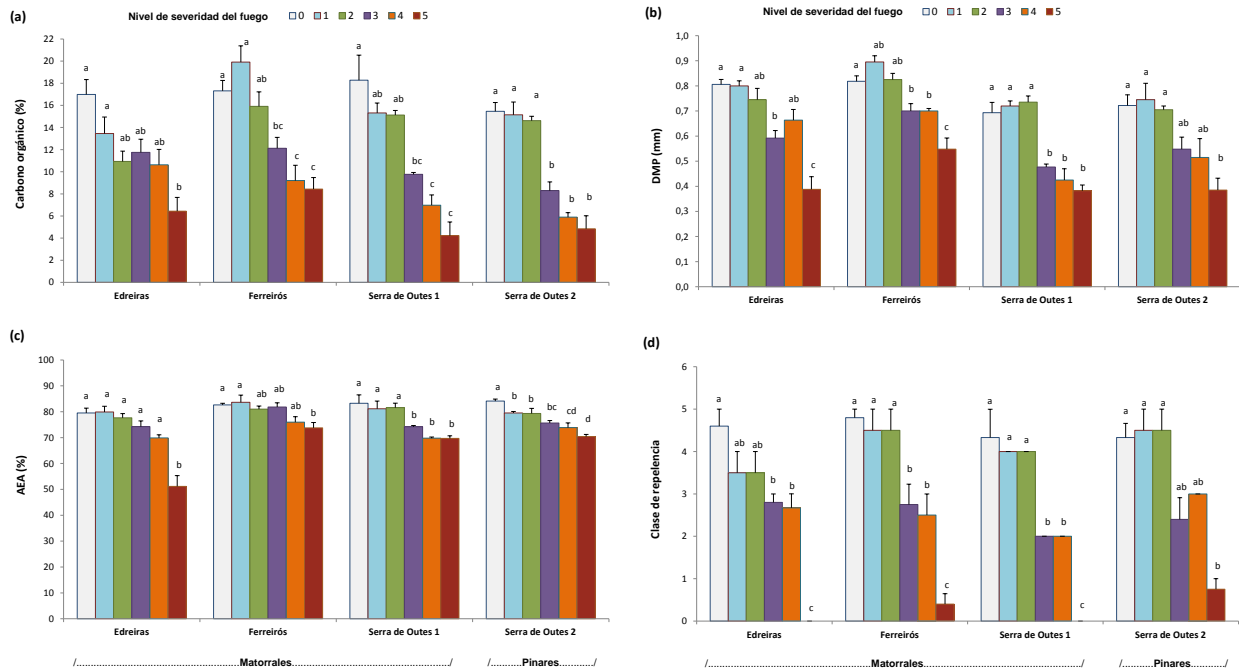


Figura 1. Cambios en (a) carbono orgánico del suelo, (b) diámetro medio ponderado de los agregados del suelo, (c) agregados estables al impacto de las gotas de agua y (d) clase mediana de repelencia en función del nivel de severidad del fuego en el suelo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos niveles de severidad en cada sitio según el test de Student-Newman-Keuls. Las líneas verticales indican el valor del error estándar.