



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-441

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Efectos inmediatos de quemas prescritas bajo arbolado en masas puras y mixtas (*Pinus nigra*, *Pinus pinaster*) de la provincia de Cuenca en propiedades del suelo

FONTÚRBEL LLITERAS, M.T.¹, JIMÉNEZ CARMONA, E.¹, FERNÁNDEZ FILGUEIRA, C.¹, VEGA HIDALGO, J.A.¹

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

Resumen

Los tratamientos de quema prescrita en áreas forestales constituyen una potente herramienta de prevención de incendios y de manipulación del combustible. En su ejecución se pretende obtener intensidades de fuego suficientes para reducir combustibles al tiempo que se minimicen sus efectos negativos en el ecosistema. Sin embargo, algunas propiedades del suelo pueden resultar afectadas negativamente, lo que condiciona la evolución posterior del ecosistema. En este trabajo se analizan los cambios cuantitativos en algunas propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo mineral superficial (0-2 cm) tras la aplicación de quema prescrita en masas arboladas puras y mixtas (*Pinus nigra*, *Pinus pinaster*) de la provincia de Cuenca, en relación con el régimen térmico producido durante las quemas. Las quemas prescritas, ejecutadas en primavera y en otoño, no afectaron negativamente a las propiedades del suelo estudiadas, en consonancia con la moderada consunción del estrato orgánico y el escaso calentamiento del suelo registrado.

Palabras clave

Severidad del fuego, estabilidad de agregados, repelencia al agua del suelo, carbono orgánico del suelo, biomasa microbiana

1. Introducción

Los incendios constituyen una de las perturbaciones más frecuentes e importantes que sufren los ecosistemas forestales españoles (VÉLEZ, 2000), con importantes impactos medioambientales, socioeconómicos y sociales. Este problema se verá agravado en el futuro según las proyecciones de cambio climático que prevén incendios más severos y frecuentes (VEGA y FERNÁNDEZ, 2010). Los tratamientos de quema prescrita constituyen una potente herramienta para su prevención (VEGA et al., 2000b; FERNANDES et al., 2013). En su ejecución se pretende obtener intensidades de fuego suficientes para reducir combustibles al tiempo que se minimicen sus efectos negativos en el ecosistema. Sin embargo, dependiendo de factores tales como las características del sitio y las condiciones en las que se ejecutan los tratamientos, pueden producirse efectos negativos, positivos o neutros sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. De forma inmediata, o a muy corto plazo, la magnitud y signo de estos efectos depende fundamentalmente de la severidad del fuego en el suelo (CERTINI, 2005; NEARY et al., 2005; MATAIX-SOLERA et al., 2009).

Varios estudios han encontrado aumentos o ausencia de cambios inmediatos del contenido de C orgánico del suelo (COS) después de fuegos de baja a moderada severidad (VEGA et al., 2000 a, b; VEGA, 2001; ÚBEDA et al., 2005; KNICKER, 2007; AFIF y OLIVEIRA, 2006; CATALANOTTI, 2011; FONTÚRBEL et al., 2012, 2016; ALCANIZ et al., 2016), aunque también se han detectado disminuciones (CATALANOTTI, 2011; ARMAS-HERRERA et al., 2016). En cuanto a la respuesta al fuego de propiedades físicas del suelo relevantes desde el punto de vista de su relación con la erosión, puede destacarse que los agregados del suelo presentan cambios bastante variables,

generalmente asociados a las variaciones del COS (MATAIX-SOLERA & DOERR, 2004; BENITO et al., 2009; VARELA et al., 2010 a, b; JORDÁN et al., 2011). La repelencia al agua del suelo (RA) puede disminuir o aumentar después del fuego (ARCENEGUI et al., 2008; VARELA et al., 2010a) dependiendo del tipo de suelo y sus características, especialmente de la humedad, y de la cantidad y tipo de combustible, así como de las temperaturas alcanzadas en el suelo durante la quema (DOERR et al., 2000). Las comunidades microbianas del suelo se consideran sensibles indicadores de perturbaciones y, en general, tienden a reducir su tamaño o actividad inmediatamente después del fuego (BOERNER et al., 2000), aunque otras veces hay aumentos de corta duración (FULTZ et al., 2016) o ausencia de efectos (CATALANOTTI, 2011; DOOLEY & TRESEDER, 2012). En pinares de Galicia y Andalucía quemados por prescripción se encontraron pocos cambios en parámetros químicos y microbiológicos del suelo en relación al escaso impacto térmico producido por el fuego en los primeros cm de suelo mineral y la rápida recuperación de su cubierta orgánica (FONTÚRBEL et al., 1995; VEGA et al., 2000a, 2000b). La época del año durante la cual se ejecutan los tratamientos es otro factor a tener en cuenta, ya que puede afectar a la magnitud y dirección de los efectos biogeoquímicos producidos en el suelo a través de diferencias en la severidad del fuego y condiciones atmosféricas post-fuego (HAMMAN et al., 2008).

El presente trabajo analiza el impacto inmediato producido por fuegos prescritos, ejecutados en primavera y otoño, en propiedades del suelo que juegan un papel fundamental en el mantenimiento de funciones esenciales del ecosistema edáfico.

2. Objetivos

El principal objetivo de este estudio es evaluar si propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo mineral superficial (0-2 cm), relevantes desde el punto de vista de la calidad del suelo, se modifican como consecuencia de la aplicación de la quema prescrita en masas arboladas (*Pinus nigra*, *Pinus pinaster*) y averiguar si los posibles cambios guardan relación con el régimen térmico producido durante las quemas y con la época del año en la que se ejecutan los tratamientos.

3. Metodología

En el área de estudio, situada en el norte de la provincia de Cuenca, se instalaron dos dispositivos experimentales, uno de ellos en una masa de pinar mixto (*Pinus nigra* y *Pinus pinaster*) en el municipio de El Pozuelo (40° 33' 42" N; 2° 15' 54" O) y el otro, en un área de pinar puro (*Pinus nigra*) en el municipio de Beteta (40° 33' 13" N; 2° 6' 34" O). Se dispuso una red de 9 parcelas de 50 m x 50 m en cada masa de pinar, correspondientes a los 3 tratamientos ensayados (quema de primavera, quema de otoño y testigo) con 3 réplicas cada uno. En los dos sitios se ejecutaron quemas prescritas en la primavera y otoño de 2016. Más detalles del área experimental y de la ejecución de los tratamientos pueden verse en ESPINOSA et al. (2017).

Se efectuó un muestreo antes de los tratamientos, otro inmediatamente posterior a los mismos y un tercero a los 6 meses de las quemas prescritas de primavera. Se recogieron submuestras del suelo mineral superficial (0-2 cm) en 20 puntos por parcela escogidos aleatoriamente, y se mezclaron para formar una muestra compuesta por parcela. Inmediatamente después de quemar se recogieron además de las muestras medias por parcela, otras muestras próximas a cada uno de los termopares para analizarlas por separado, en caso de que se registrara puntualmente una temperatura más elevada. Estas muestras se utilizaron en fresco para las determinaciones microbiológicas y fueron secadas al aire para los análisis físicos y químicos.

La distribución de agregados se analizó mediante el método de KEMPER & 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 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. El pH del suelo fue medido en pH-metro en una suspensión suelo/agua 1:2,5. El contenido de C total fue analizado por combustión seca (en analizador elemental CNS) y el de C inorgánico por combustión seca de las muestras previamente calcinadas a 360°C durante 2 h. El C orgánico se calculó por la diferencia entre el C total y el C inorgánico. La biomasa microbiana fue determinada mediante el método de fumigación-extracción (VANCE et al., 1987) y determinación colorimétrica.

Un análisis de varianza fue empleado para determinar la existencia de diferencias en las variables analizadas en función del tratamiento de fuego prescrito y de la época en la que fue aplicado, considerando cada sitio por separado.

4. Resultados

Los datos obtenidos del régimen térmico durante las quemas (ESPINOSA et al., 2017) indican que el calentamiento del suelo fue escaso y solamente en algún punto de medición se sobrepasaron los 60°C a nivel de la superficie del suelo. No hubo cambios significativos en el diámetro medio ponderado (DMP) de los agregados del suelo (Figura 1) en relación al tratamiento de quema en ninguno de los dos sitios de estudio.

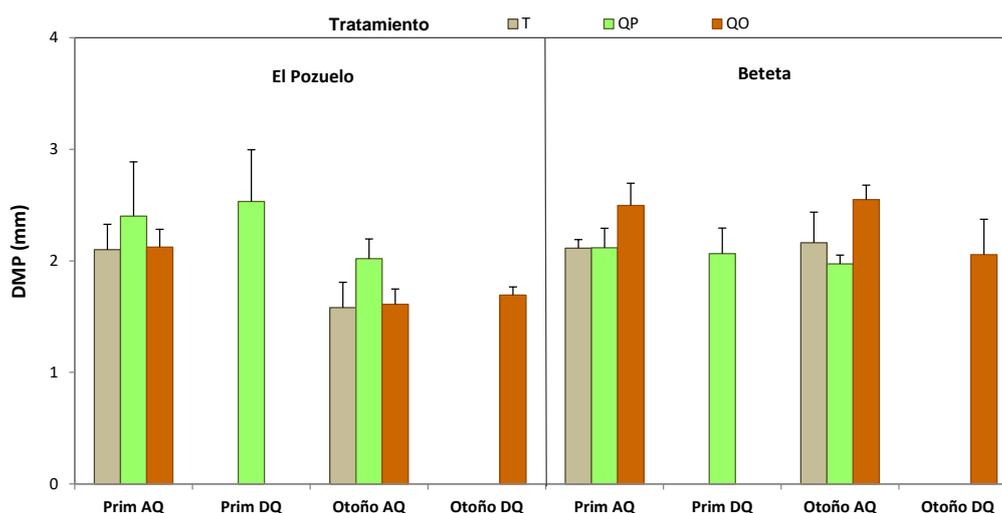


Figura 1. Diámetro medio ponderado (DMP) de los agregados del suelo en los dos sitios experimentales, en primavera (Prim) y otoño, antes (AQ) y después de quemar (DQ), respectivamente. Las líneas verticales indican el valor del error estándar.

La repelencia al agua del suelo presentó una alta variabilidad espacial y temporal, oscilando entre los niveles 0 y 4 (suelo no repelente y extremadamente repelente, respectivamente) y no varió significativamente como consecuencia de los tratamientos. Solo se encontró una relación significativa con el contenido de humedad del suelo en el muestreo de otoño en Beteta.

El contenido de COS (Figura 2) fue relativamente elevado en los suelos analizados, especialmente en Beteta, donde también se apreciaron valores entre 2-6% de C inorgánico, relacionados con el contenido de caliza. El fuego prescrito no afectó significativamente a este parámetro.

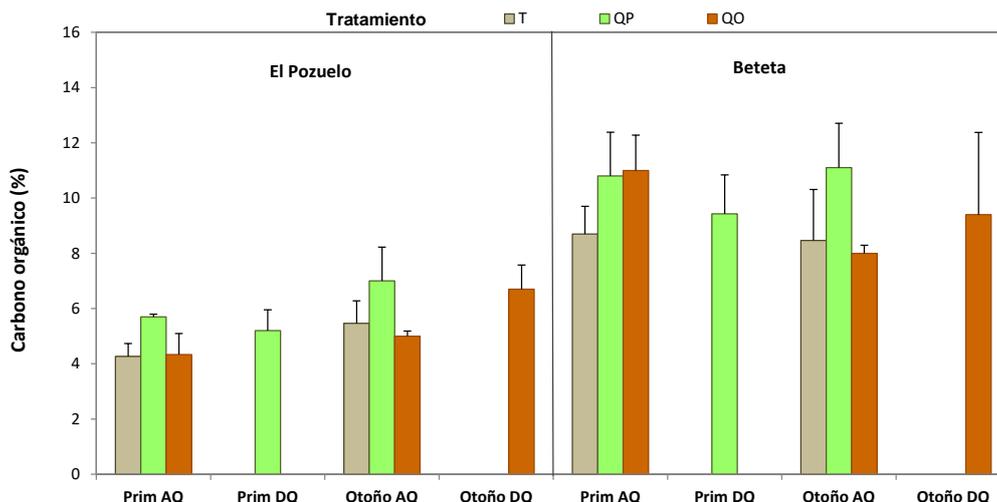


Figura 2. Carbono orgánico del suelo (COS) en los dos sitios experimentales, en primavera (Prim) y otoño, antes (AQ) y después (DQ) de quemar, respectivamente. Las líneas verticales indican el valor del error estándar.

El pH del suelo (Figura 3), fue ligeramente más alto en Beteta, variando en este último sitio entre neutro y ligeramente básico, y no sufrió cambios significativos tras los tratamientos.

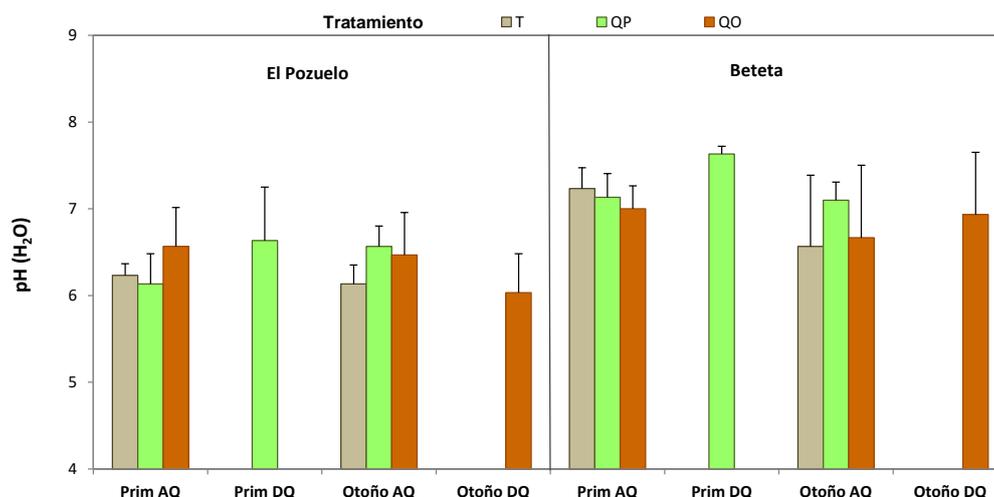


Figura 3. pH del suelo en los dos sitios experimentales, en primavera (Prim) y otoño, antes (AQ) y después de quemar (DQ), respectivamente. Las líneas verticales indican el valor del error estándar.

Los valores más altos de C de la biomasa microbiana (Figura 4) se encontraron en Beteta, observándose en los dos sitios una variabilidad temporal bastante alta, que superó a la producida por la quema prescrita. No se apreció ningún efecto de la época de realización de las quemas en los parámetros estudiados. Las relaciones de estos parámetros y las temperaturas alcanzadas en el suelo durante las quemas no fueron significativas.

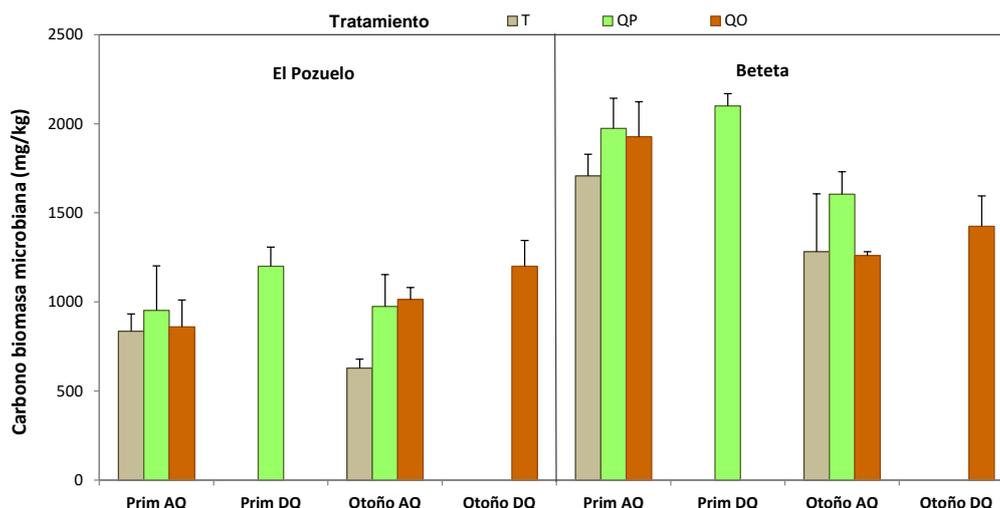


Figura 4. C de la biomasa microbiana del suelo en los dos sitios experimentales, en primavera (Prim) y otoño, antes (AQ) y después de quemar (DQ), respectivamente. Las líneas verticales indican el valor del error estándar.

5. Discusión

La ausencia de cambios en el contenido de COS después del fuego puede atribuirse a la baja severidad de las quemaduras y básicamente coincide con lo encontrado por diversos autores (VEGA et al., 2000 a, b; VEGA, 2001; ÚBEDA et al., 2005; AFIF y OLIVEIRA, 2006; GRANGED et al., 2011; FONTÚRBEL et al., 2012, 2016) después de fuegos prescritos en los que las temperaturas alcanzadas en el suelo fueron bajas o moderadas. Estos resultados contrastan con los de otros autores que encuentran disminuciones de hasta un 41% del COS de los 3 cm superficiales del suelo después de fuegos prescritos en los que el calentamiento del suelo fue más pronunciado, con temperaturas de 400°C a 1 cm de profundidad (ARMAS-HERRERA et al., 2016), o bien aumentos, después de quemaduras en las que la temperatura media en la superficie del suelo alcanzó 324°C (ALCAÑIZ et al., 2016) y que fueron atribuidos a la adición de cenizas. Los anteriores resultados están en línea con la falta de respuesta del pH del suelo al fuego prescrito y concuerdan con estudios previos (VEGA et al., 2000 a, b; VEGA, 2001; FONTÚRBEL et al., 2012) reflejando el escaso impacto térmico producido por el fuego a nivel de los primeros cm del suelo mineral. La estrecha relación entre el COS y los agregados del suelo, puesta de manifiesto en distintos estudios, explica parcialmente la escasa respuesta observada en la agregabilidad del suelo después de fuego prescrito y contrasta con lo observado después de incendios y experimentos de calentamiento del suelo en laboratorio (MATAIX-SOLERA & DOERR, 2004; BENITO et al., 2009; VARELA et al., 2010 a, b; JORDÁN et al., 2011). La ausencia de cambios de la repelencia al agua del suelo también puede atribuirse al bajo impacto de estas quemaduras en el suelo (VARELA et al., 2005; BENITO et al., 2009; FERNÁNDEZ et al., 2013). Por otro lado, el hecho de que la biomasa microbiana del suelo no haya sufrido reducciones significativas tras las quemaduras prescritas (DE MARCO et al., 2005; RUTIGLIANO et al., 2007; CATALANOTTI, 2011; FONTÚRBEL et al., 2012), apunta en el mismo sentido, es decir, a la baja severidad alcanzada por el fuego durante los tratamientos, dado que habitualmente es más sensible que otras propiedades físicas y químicas del suelo y responde en mayor medida a las perturbaciones (DOOLEY & TRESEDER, 2012). Las disminuciones drásticas (53%) del contenido de C de la biomasa microbiana señaladas por ARMAS-HERRERA et al. (2016) después de fuegos prescritos pueden atribuirse al elevado calentamiento del suelo producido durante el fuego. Los efectos de quemaduras prescritas en las que la severidad del fuego es baja pueden restringirse a cambios en el estrato orgánico sin resultar apenas modificadas las del estrato del suelo superficial (CATALANOTTI, 2011; FONTÚRBEL et al., 2016). En conjunto, la ausencia de cambios significativos producidos por los

tratamientos en las propiedades del suelo analizadas refleja el escaso impacto térmico de las quemaduras prescritas en los primeros cm de suelo mineral y está en consonancia con la moderada consunción del estrato orgánico.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos son todavía preliminares, pero muestran que las quemaduras prescritas, ejecutadas en masas arboladas en condiciones similares a las descritas en este estudio, pueden tener efectos muy reducidos o nulos en algunas propiedades del suelo determinantes de su calidad, al menos de forma inmediata o a muy corto plazo, en relación al escaso impacto térmico producido y la moderada consunción del estrato orgánico. El estudio de los efectos producidos, a corto y medio plazo, y la inclusión de análisis de otras propiedades del suelo mineral y de la cubierta orgánica del suelo, permitirá evaluar con mayor precisión la factibilidad de aplicación de esta herramienta preventiva de incendios.

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" cofinanciado por FEDER y el Plan de Mejora e Innovación Forestal de Galicia (2010-2020) e INDITEX.

8. Bibliografía

AFIF, K.E.; OLIVEIRA, J.A.; 2006. Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.*, 15: 262-270.

ALCAÑIZ, M.; OUTEIRO, L.; FRANCOS, M.; FARGUPELL, J.; ÚBEDA, X.; 2016. Long-term dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain). *Sci. Total Environ.* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.115>.

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.

ARMAS-HERRERA, C.; MARTÍ, C.; BADÍA, D.; ORTIZ-PERPIÑÁ, O.; GIRONA-GARCÍA, A.; PORTA, J.; 2016. Immediate effects of prescribed burning in the Central Pyrenees on the amount and stability of topsoil organic matter. *Catena* 147: 238-244.

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.

BOERNER, R.E.J.; DECKER, K.L.M.; SUTHERLAND, E.K.; 2000. Prescribed burning effects of soil enzyme activity in a southern Ohio hardwood forest: a landscape scale analysis. *Soil Biol. Biochem.* 32: 899-908.

CATALANOTTI, A.E.; 2011. Effects of prescribed burning on soil and vegetation. Tesis doctoral. Universidad de Nápoles, Federico II.

http://www.fedoa.unina.it/8771/1/Catalanotti_Ambra_Elena_24.pdf

- CERTINI, G.; 2005. Effects of fire on properties of forest soils, a review. *Oecologia* 143: 1–10.
- DE MARCO, A.; GENTILE, A.E.; ARENA, C.; DE SANTO, A.V.; 2005. Organic matter, nutrient content and biological activity in burned and unburned soils of a Mediterranean maquis area of southern Italy. *Int. J. Wildland Fire* 14: 365–377.
- 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.
- DOOLEY, S.R.; TRESEDER, K.K.; 2012. The effect of fire on microbial biomass, a meta-analysis of field studies. *Biogeochemistry* 109: 49–61.
- ESPINOSA, J.; MADRIGAL, J.; JIMÉNEZ, E.; MOYA, D.; ALMODOVAR, J.; DE LAS HERAS, J.; LUCAS-BORJA, M.; VEGA, J.A.; DE LA CRUZ, A. C.; ALFARO, R.; FERRANDIS, P.; PLAZA, P.A.; SAGRA, J.; GUIJARRO, M.; DÍEZ, C.; CARRILLO, C.; HERNANDO, C.; 2017. Evaluación de la severidad en suelo y la vegetación de tratamientos de quemas prescritas bajo arbolado en masas puras y mixtas (*Pinus nigra*, *Pinus pinaster*) de la provincia de Cuenca. En: *Actas 7º Congreso Forestal Español*.
- FERNANDES, P.M.; DAVIES, M.D.; ASCOLI, D.; FERNÁNDEZ, C.; MOREIRA, F.; RIGOLOT, E.; STOOFF, C.R.; VEGA, J.A.; MOLINA, D.; 2013. Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11: e4 - e14.
- 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.
- FONTÚRBEL, M.T.; VEGA, J.A.; BARÁ, S.; BERNÁNDEZ, I.; 1995. Influence of prescribed burning of pine stands in NW Spain on soil microorganisms. *Eur. J. Soil Biol.* 31: 13-20.
- FONTÚRBEL, M.T.; BARREIRO, A.; VEGA, J.A.; MARTÍN, A.; JIMÉNEZ, E.; CARBALLAS, T.; FERNÁNDEZ, C.; DÍAZ-RAVIÑA, M.; 2012. Effects of an experimental fire and post-fire stabilisation treatments on soil microbial communities. *Geoderma* 191: 51– 60.
- FONTÚRBEL, M.T.; FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; 2016. Prescribed burning versus mechanical treatments as shrubland management options in NW Spain: Mid-term soil microbial response. *Appl. Soil Ecol.* 107: 334-346.
- FULTZ, L.M.; MOORE-KUCERA, J.; DATHE, J.; DAVINIC, M.; PERRY, G.; WESTER, D.; SCHWILK, D.W.; RIDEOUT-HANZAK, S., 2016. Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biogeochemical processes and microbial communities: Two case studies in the semi-arid Southwest. *Appl. Soil Ecol.* 99: 118-128.
- 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.

HAMMAN, S.T.; BURKE, I.C.; KNAPP, E.E.; 2008. Soil nutrients and microbial activity after early and late season prescribed burns in a Sierra Nevada mixed conifer forest. *For. Ecol. Manage.* 256: 367-374.

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.

KNICKER, H.; 2007. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochem.* 85: 91-118.

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.; GUERRERO, C.; GARCÍA-ORENES, F.; BÁRCENAS, G.M.; TORRES, M.P.; 2009. Forest fire effects on soil microbiology. En: Cerdà, A.; Robichaud, P.R. (Eds.), *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies. Land Reconstruction and Management Series, vol. 5.* Science Publishers, Enfield, Jersey, Plymouth, pp. 133-175.

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).

RUTIGLIANO, F.A.; DE MARCO, A.; D'ASCOLI, R.; CASTALDI, S.; GENTILE, A.; DE SANTO, A.V.; 2007. Impact of fire on fungal abundance and microbial efficiency in C assimilation and mineralization in a Mediterranean maquis soil. *Biol. Fertil. Soils* 44: 377-381.

ÚBEDA, X.; LORCA, M.; OUTEIRO, L.R.; BERNIA, S.; CASTELLNOU, M.; 2005. Effects of prescribed fire on soil quality in Mediterranean grassland (Prades Mountains, north-east Spain). *Int. J. Wildland Fire* 14: 379-384.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S.; 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil. Biol. Biochem.* 19: 703-707.

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.; 2010 a. Wildfire effects on soil erodibility of woodlands in NW Spain. *Land Degrad. Dev.* 21: 75-82.

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

VEGA, J.A.; 2001. Efectos del fuego prescrito sobre el suelo en pinares de *Pinus pinaster* Ait. De Galicia. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid.

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.; LANDSBERG. J.; BARÁ, S.; PAYSSEN, T.; FONTÚRBEL, M.; ALONSO, M.; 2000a. Efectos del fuego prescrito bajo arbolado de *P. pinaster* en suelos forestales de Galicia y Andalucía. *Cuadernos de la S.E.C.F*, N° 9, pp. 123-136.

VEGA, J. A.; CUIÑAS, P.; FONTÚRBEL, T.; FERNÁNDEZ, C.; 2000b. Planificar la prescripción para reducir combustibles y disminuir el impacto sobre el suelo en las quemadas prescritas. *Cuadernos de la S.E.C.F*. 9: 189-198.

VÉLEZ, R.; 2000. Los incendios forestales en la cuenca Mediterránea. En: La Defensa Contra Incendios Forestales: Fundamentos y Experiencias, McGraw-Hill. pp. 3.1-3.31. Madrid.

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.