



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-052

---

---

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## QUEMAS CONTROLADAS EN PLANTA PILOTO ECOTRON FORESTAL MEDITERRANEO: VARIACION DE ACTIVIDAD ENZIMATICA Y GLOMALINA POR SEVERIDAD

Moya D<sup>1</sup>, Plaza-Álvarez PA<sup>1</sup>, Sagra J<sup>1</sup>, Lozano-Guardiola E<sup>2</sup>, Alfaro-Sánchez R<sup>1</sup>, Lucas-Borja ME<sup>1</sup>, Arcenegui V<sup>2</sup>, Morugán-Coronado A<sup>2</sup>, Ferrandis P<sup>1</sup>, García-Orenes F<sup>2</sup>, Mataix-Solera J<sup>2</sup>, De las Heras J<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Técnica Superior Ingenieros Agrónomos y Montes, Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario. 02071, Albacete

<sup>2</sup>GEA (Grupo de Edafología Ambiental), Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, Universidad Miguel Hernández, Avda. De la Universidad s/n, 03202 Elche

Autor para correspondencia: DANIEL.MOYA@UCLM.ES

### Resumen

Una de las herramientas usadas como prevención de incendios y mitigación de sus efectos adversos son las quemas prescritas o controladas, especialmente usadas en bosques mediterráneos por su adaptación y resiliencia a este tipo de perturbación.

Con el objetivo de determinar los efectos sobre el medio de estas quemas se realiza el estudio en un ecotrófon forestal mediterráneo situado en el campo de prácticas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Albacete, donde se implantaron seis monolitos de dimensiones 2x2x1 m procedentes del municipio de Ayna (SO Albacete; piso mesomediterráneo). En julio de 2016 se quemaron cuatro de estos monolitos, incrementando el combustible en dos para lograr una mayor intensidad de quemado, dejando otros dos intactos como control.

Se caracterizó la intensidad y severidad de la quema, evaluando sus efectos sobre el suelo mediante la caracterización de la actividad microbiana por monitoreo de actividad enzimática (ureasa, fosfatasa,  $\beta$ -glucosidasa y deshidrogenasa) y de la glomalina. Los resultados muestran mayores variaciones de la mayoría de las variables en las quemas de mayor severidad. En las de menor severidad las diferencias fueron poco significativas, aunque el estudio aún está en sus primeras etapas.

### Palabras clave:

Severidad del fuego, fuego prescrito, quemas controladas, ecología y fuego, edafología, resiliencia

## 1. Introducción

Los incendios forestales son un factor natural de la Región Mediterránea que moldean los rasgos de las plantas en los ecosistemas terrestres mediterráneos llevando a desarrollar estrategias adaptativas (Keeley et al., 2012). Sin embargo, el cambio climático y en la gestión y el uso del suelo, pueden provocar un aumento de su severidad y del período de alto riesgo (Dale et al. 2001) lo que puede conllevar cambios en el estado de las comunidades vegetales, modificando su vulnerabilidad y resiliencia, incluso para comunidades adaptadas (Tessler et al. 2014)

Para hacer frente a estos escenarios futuros, se impone una gestión integrada del fuego que incluya el uso del fuego, principalmente quemadas prescritas bajo arbolado, como herramienta de gestión de los ecosistemas mediterráneos (Biro et al. 2009).

Los efectos en la interfaz planta-suelo son sólo parcialmente comprendidas. En este sentido, los experimentos manipulativos, interdisciplinarios y multiescalares son una prioridad de investigación para mejorar la gestión de los ecosistemas, con el fin de incrementar su resiliencia, incluyendo protocolos estandarizados a largo plazo para facilitar la identificación de mecanismos clave y su integración (Doblas-Miranda et al., 2015). Para desarrollar estrategias adecuadas en la restauración post-incendio, debemos conocer la evolución de los suelos después de incendios forestales, incluyendo interacciones entre las propiedades físicas, químicas y biológicas y su tiempo de recuperación después del fuego (Zavala et al., 2014), sobre todo en escenarios donde la interacción de fuego y sequía hace prever un aumento de la erosión y disminución de calidad del suelo, especialmente en zonas áridas (Doblas-Miranda et al. 2017).

Como indicador de influencia de incendios sobre el suelo se ha utilizado el estudio de cambios en la actividad de la comunidad microbiana, ya que reflejan las relaciones entre la microflora del suelo y los principales cambios en los suelos (Bárceñas-Moreno et al., 2011, Hedo et al., 2016). Las actividades de enzimas del suelo son una expresión directa de la comunidad microbiana del suelo, que relaciona la disponibilidad de recursos, la estructura y función de la comunidad microbiana y los procesos de los ecosistemas (Cadwell 2005).

Para abordar estos temas, centramos nuestro estudio en los bosques de pino de Alepo (*Pinus halepensis* Mill.) ya que la estructura de los grupos funcionales de las plantas y la gravedad del fuego influyen en la actividad enzimática del suelo (López-Poma y otros, 2014). El estudio se planteó a escala de mesocosmos, en un ecotrópico definido como un conjunto terrestre construido artificialmente en un ambiente controlado para simular escenarios relacionados con condiciones climáticas, atmosféricas y de estrés (Gaston 2006) con el que poder validar resultados y conclusiones tomados a otras escalas de estudio.

## 2. Objetivos

El objetivo principal de los experimentos realizados en esta planta piloto es generar conocimiento clave en el estudio de ecosistemas y procesos terrestres, necesarios para entender de manera global el funcionamiento de ecosistemas y las relaciones entre las interfaces suelo-planta-atmósfera. Los ecosistemas y procesos seleccionados en este estudio son los propios de un ecosistema mediterráneo seco, compuestos por pinares de pino carrasco. Pretendemos obtener datos que describan procesos edáficos para conocer la dinámica de los ecosistemas tras incendios y generar información con la que alimentar modelos que evalúen la respuesta de los ecosistemas mediterráneos a la severidad de los incendios forestales. Este conocimiento pretende ser base en la mejora del manejo forestal adaptativo para mejora y restauración de zonas propensas a incendios.

## 3. Metodología

Ecotron es una instalación desarrollada por el grupo de Investigación de Ecología Forestal (ECOFOR) de la Universidad de Castilla-La Mancha. En 2011 se extrajeron 6 bloques de suelo con perfiles intactos (monolitos de 2x2x1 m) procedentes de una masa de pino carrasco (*P. halepensis*) localizada en el municipio de Ayna (Albacete). Estos monolitos se trasladaron a la planta piloto “Ecotrón forestal mediterráneo” situada en el campo de prácticas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Albacete de Albacete (Figura 1). Para la conocer los efectos de la severidad de incendio, ejecutamos calentamientos a varias temperaturas, registrando los parámetros ambientales más influyentes en cada monolito mediante componentes e información obtenida de equipos portátiles y sensores, incluyendo procesamiento de datos de la rutina y procedimientos de control de calidad para garantizar su calidad y diagnosticar errores. Se obtienen datos en continuo de temperatura, humedad, radiación solar y flujo de CO<sub>2</sub> (atmosféricos, dentro y fuera de los monolitos) y temperatura y humedad de suelo.

En julio de 2016 se realizaron quemaduras en cuatro monolitos, incrementando el combustible en dos de ellos para lograr una mayor intensidad de quemado, quedando dos como control (Figura 2). Los valores de intensidad, duración y severidad de quemadura fueron caracterizados por la temperatura alcanzada sobre la superficie del suelo y a 2 cm de profundidad medidas con termopares TC6-K almacenados mediante dataloggers protegidos del fuego (HOBO Temperature Data Logger UX120-006M). También se obtienen datos de la variación del peso de los lisímetros que indican la disminución de biomasa y evaporación del agua durante el tiempo de quemado y rescoldo.

Para evaluar los efectos de la severidad sobre el suelo, realizamos una caracterización de la actividad microbiana por monitoreo de actividades enzimáticas y del análisis del contenido de glomalina. Para ello, se tomaron 3 muestras compuestas de suelo conformadas por seis submuestras de 10x10 cm y 2 cm de profundidad, antes y cinco días después de la quemadura. Tras eliminar restos vegetales y tamizarlas fueron analizadas para conocer la actividad de la ureasa (Tabatabai 1994), deshidrogenasa (García et al. 1997), fosfatasa y  $\beta$ -glucosidasa (Tabatabai 1994). La glomalina analizada en este estudio fue la Glomalina fácilmente extraíble ( $\mu\text{g}$  proteína  $\text{g}^{-1}$ ), siendo aquella fracción depositada en suelo y obtenida en un solo ciclo de extracción (Lozano 2015).



Figura 1. Planta piloto “Ecotrón forestal mediterráneo” situada en el campo de prácticas de la ETSIAM de Albacete de Albacete (Universidad de Castilla-La Mancha). Vista general de mini-invernaderos conformando los monolitos (imagen izquierda), cobertura vegetal (imagen central) y lisímetro de pesada bajo suelo (Imagen derecha).



Figura 2. Quemadas experimentales realizadas en monolitos (julio 2016) del “Ecotron forestal mediterráneo”. Detalle de una parcela durante la quema (imagen izquierda) y vista cenital de los seis monolitos una semana después de las quemadas (imagen derecha).

#### 4. Resultados

En los monolitos donde se aportó alta carga de combustible (alta severidad de quemado) se obtuvo una temperatura media máxima de 595°C sobre suelo y 289°C a 2 cm bajo suelo, siendo el tiempo de residencia (>100°C) de 6.5 horas y de 7 horas bajo suelo. En los de baja carga de combustible (baja severidad de quemado) la temperatura media máxima fue de 547°C sobre suelo y 132°C bajo suelo, siendo el tiempo de residencia (>100°C) de 17 min y de 10 min bajo suelo. La reducción de peso registrada por los lisímetros de pesada hasta quince minutos tras la ignición fue de  $20.5 \pm 1.5$  kg en los monolitos de alta carga de combustible (alta severidad),  $9.75 \pm 0.25$  kg en los de baja carga (baja severidad), siendo prácticamente nula en los control.

La variación de la actividad de las cuatro enzimas, analizadas mediante modelos lineales generales y análisis de varianza, no mostró efectos significativos debido al paso del fuego, con excepción de la dehidrogenasa (Figura 3). Así, encontramos que las actividades de fosfatasa y  $\beta$ -glucosidasa no mostraron ningún resultado, aunque se observó un aumento de la actividad de ureasa tras quema pero no de manera significativa. La actividad de la dehidrogenasa que no mostraba diferencias antes de las quemadas ( $2.710 \pm 0.13$ ,  $2.73 \pm 0.87$  y  $2.37 \pm 0.24$  mg INTF g<sup>-1</sup> en los monolitos control, baja carga y alta carga combustible, respectivamente) pero que eran significativamente inferior según aumentaba la severidad de quemado ( $1.79 \pm 0.45$  en baja severidad y  $1.17 \pm 0.30$  mg INTF g<sup>-1</sup> en alta severidad).

Respecto a la glomalina, observamos diferencias significativas entre las zonas control ( $1365.41 \pm 78.23$   $\mu$ g proteína g<sup>-1</sup>) y quemadas ( $1924.96 \pm 106.54$   $\mu$ g proteína g<sup>-1</sup>). La severidad también resultó ser un factor influyente aunque sin diferencias significativas entre alta y baja severidad para los valores de glomalina (Figura 4).



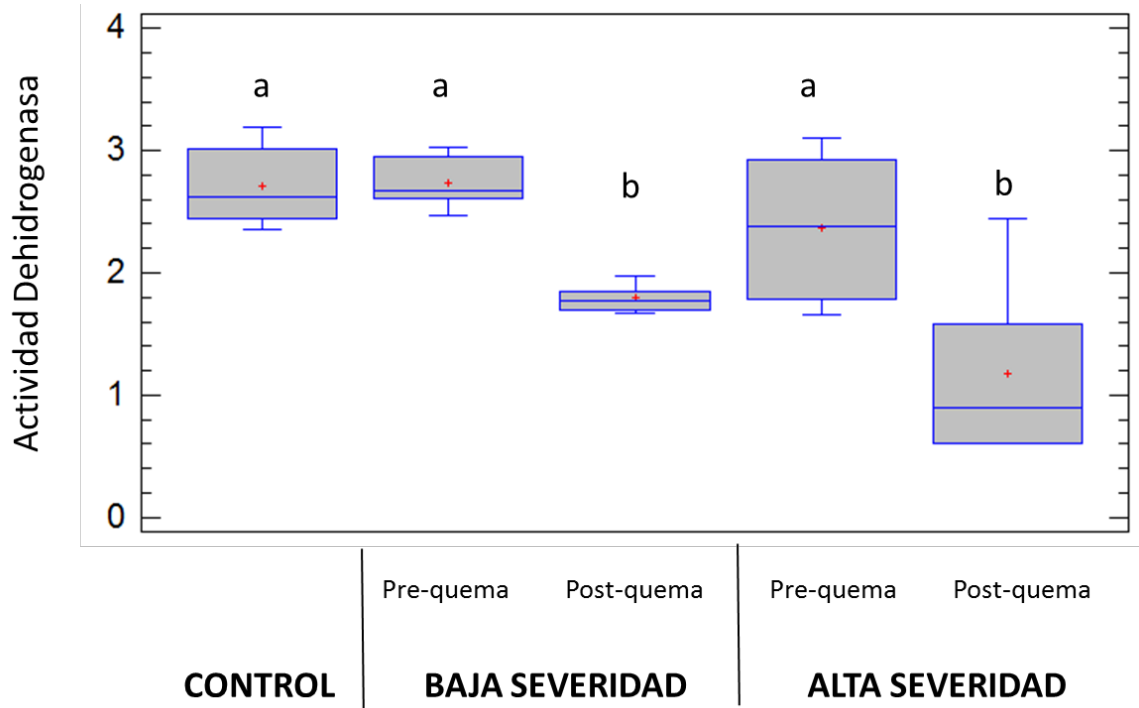


Figura 3. Diferencias significativas encontradas mediante análisis de varianza simple (one-way Anova) para los valores de actividad de la enzima dehidrogenasa (mg INTF g<sup>-1</sup>) en los monolitos del Ecotron forestal mediterráneo antes y después de quemas realizadas a dos severidades de quemado. Las letras minúsculas indican grupos distintos (método LSD, p>0.05)

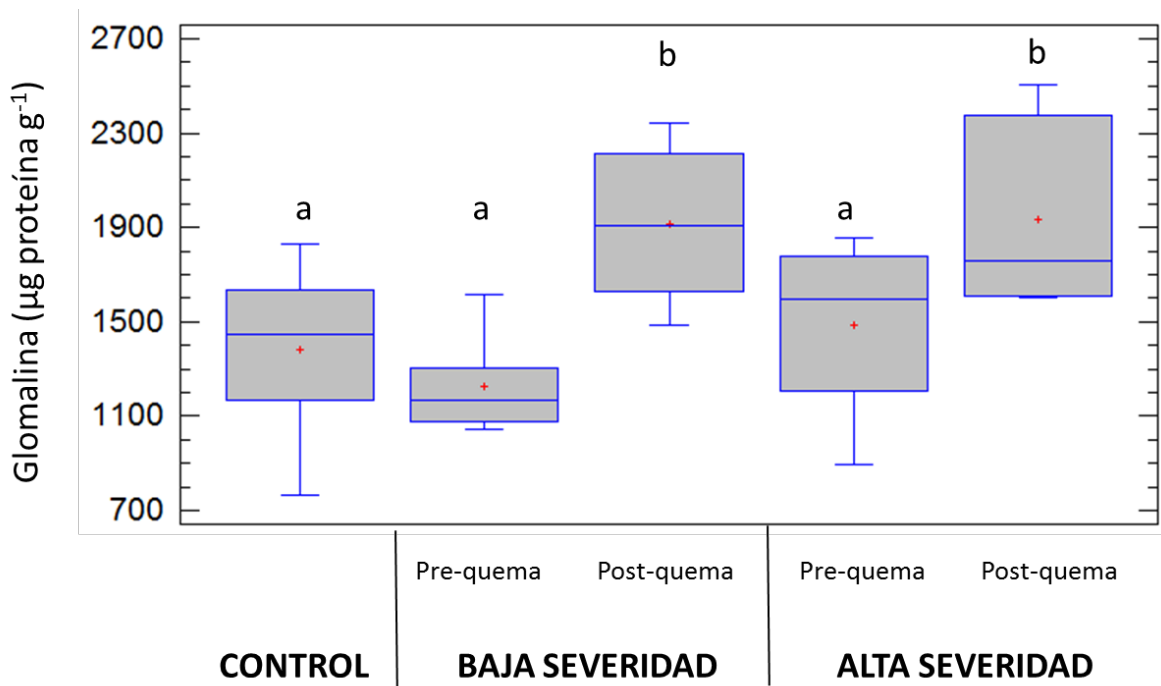


Figura 4. Diferencias significativas encontradas mediante análisis de varianza simple (one-way Anova) para los valores de glomalina en los monolitos del Ecotron forestal mediterráneo antes y después de quemas realizadas a dos severidades de quemado. Las letras minúsculas indican grupos distintos (método LSD, p>0.05).

## 5. Discusión y Conclusiones

Aunque nos encontramos en las fases iniciales del estudio, los resultados preliminares indican que las quemadas ocasionan alteraciones significativas, disminuyendo la actividad enzimática de la hidrogenasa y aumentando la presencia de glomalina. La severidad, además, parece incrementar la variación de actividad de deshidrogenasa, lo que puede estar relacionado con la alta evaporación de agua del suelo (datos no incluidos). Sin embargo, la recuperación de estas características está vinculada al paso del tiempo y muy relacionado con la recuperación de la vegetación, pudiendo ser éste más influyente en los cambios en la microflora del suelo que la propia severidad (Mataix-Solera et al. 2009). Tras el paso del fuego, los microorganismos del suelo son afectados, principalmente por las modificaciones en el pH del suelo y en la materia orgánica, por ejemplo, las diferencias en el pH del suelo debido a deposición de cenizas justo tras el fuego, explican los cambios en la presencia de hongos y bacterias (Barcenas-Moreno et al. 2016).

La planta piloto “Ecotron forestal Mediterráneo” es una potente herramienta de medición y control de diversas variables que caracterizan la interfaz suelo-planta-atmosfera, implementándose constantemente nuevos parámetros. Se obtiene así una herramienta versátil y que puede ser fácilmente adaptada a los distintos requerimientos que sean exigidos según el objetivo del estudio. Este diseño conecta y refuerza las conclusiones de los experimentos de campo y de laboratorio, reproduciéndolos en ambas escalas simultáneamente. La parte más innovadora será la introducción en lisímetros de comunidades vegetales naturales de zonas boscosas. Aplicando esta idea en el “Ecotrófon forestal mediterráneo” hemos estudiado los efectos de dos severidades de incendio en el funcionamiento de ecosistemas y las relaciones entre las interfaces de suelo y planta a meso-escala, siendo puente entre simulaciones en laboratorio y campo.

Los resultados obtenidos permitirán analizar la vulnerabilidad y la resiliencia de las réplicas de ecosistemas en diversos escenarios de incendio forestal, ayudando a conocer el efecto de la severidad sobre las características biológicas de los suelos forestales y mejorando el conocimiento de las relaciones en la interfaz suelo-planta para los componentes bióticos y abióticos. La respuesta de actividad enzimática y glomalina pueden ser utilizados como indicadores del efecto del fuego en ecosistemas mediterráneos, lo que puede servir de ayuda en la toma de decisiones sobre planificación y manejo forestal adaptativo para reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia y minimizar los efectos negativos ante nuevos incendios forestales. De esta manera, la validación de experimentos llevados a cabo desde la microescala hasta la macroescala ayudarán a los administradores forestales a establecer criterios para la conservación, prevención y mitigación de los grandes incendios forestales, con mucha superficie quemada con alta seriedad, en los ecosistemas mediterráneos del SE Peninsular. Las prácticas silvícolas y de restauración en la gestión adaptativa deben centrarse en la mejora de los sistemas vegetales confrontados con los escenarios de cambio que prevén un aumento del número y superficie quemada por grandes incendios forestales.

## 6. Agradecimientos

Agradecemos a los Servicios Forestales de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha el apoyo y colaboración en la obtención de los monolitos. También a los fondos procedentes del Programa de Infraestructura y Plan Propio de Investigación de la Universidad de Castilla-La Mancha y Instituto Nacional de Investigación Agraria (proyecto GEPRIF (RTA2014-00011-C06)).

## 7. Bibliografía

Bárcenas-Moreno G., García-Orenes F., Mataix-Solera J., Mataix-Beneyto J, Baath E. 2011. Soil microbial recolonisation after a fire in a Mediterranean forest. *Biology and Fertility of Soils* 47 (3): 261-272

Biro Y (Ed). 2009. Living with wildfires: what science can tell us. Joensuu, Finland: European Forest Institute. Discussion Paper 15.

Caldwell BA. 2005. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. *Pedobiologia* 49: 637–644.

Dale VH, Joyce, L. A., McNulty, S., Neilson, R. P., Ayres, M. P., Flannigan, M. D., & Hanson, P. J. (2001). Climate change and forest disturbances. *BioScience*, 51(9), 723-734.

Doblas-Miranda, E., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Álvarez, A., Ávila, A., Bonet, F. J., Brotons, L., Castro, J., Curiel Yuste, J., Díaz, M., Ferrandis, P., García-Hurtado, E., Iriondo, J. M., Keenan, T. F., Latron, J., Llusià, J., Loepfe, L., Mayol, M., Moré, G., Moya, D., Peñuelas, J., Pons, X., Poyatos, R., Sardans, J., Sus, O., Vallejo, V. R., Vayreda, J. and Retana, J. 2015. Reassessing global change research priorities in Mediterranean terrestrial ecosystems: how far have we come and where do we go from here? *Global Ecology and Biogeography* 24: 25-43.

Doblas-Miranda E., R. Alonso, X. Arnan, V. Bermejo, L. Brotons, J. de las Heras, M. Estiarte, J.A. Hódar, P. Llorens, F. Lloret, F.R. López-Serrano, J. Martínez-Vilalta, D. Moya, J. Peñuelas, J. Pino, A. Rodrigo, N. Roura-Pascual, F. Valladares, M. Vilà, R. Zamora, J. Retana. 2017. A review of the combination among global change factors in forests, shrublands and pastures of the Mediterranean Region: Beyond drought effects, *Global and Planetary Change* 148: 42-54

García, C., Hernández, T., Costa, F., Ceccanti, B., Masciandaro, G., Calcinaï, M. 1993. Evaluation of the organic matter of raw and composted municipal wastes. *Soil Science and Plant Nutrition* 39: 99–108.

Gaston K.J. 1996. What is biodiversity? In: Gaston K.J. (Ed.), *Biodiversity: a biology of numbers and difference*. pp. 1-9 Oxford, U.K.: Blackwell Science Ltd.



Hedo, J., Lucas-Borja, M.E., Wic, B., Andrés Abellán, M., De las Heras, J., 2016. Effects of Thinning and Induced Drought on Microbiological Soil Properties and Plant Species Diversity at Dry and Semiarid Locations. *Land Degrad. Develop.* 27: 1151–1162.

López-Poma R, Bautista S. 2014. Plant regeneration functional groups modulate the response to fire of soil enzyme activities in a Mediterranean shrubland. *Soil Biology and Biochemistry* 79: 5–13.

Lozano, E. 2015. Sensibilidad de la glomalina a los efectos provocados por el fuego en el suelo y su relación con la repelencia al agua en suelos forestales mediterráneos. Universidad Miguel Hernandez, Elche, 175 pp.

Keeley JE, Bond WJ, Bradstock RA, Pausas JG, Rundel PW. 2012. *Fire in mediterranean ecosystems: ecology, evolution and management*. Cambridge: Cambridge University Press

Mataix-Solera, J., Guerrero, C., García-Orenes, F., Barcenas, G.M. and Torres, M.P. 2009. Forest fire effects on soil microbiology. En: A Cerdá y P.R Robichaud (Eds), *Fire effects on soil and restoration strategies*. Science publishers, Endfield, 133-176.

Tabatabai, M.A., 1994. Soil enzymes. En: Weaver, R.W., Angle, S., Bottomley, P. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. Soil Science Society of America, Madison, pp. 775-83

Tessler, N., Wittenberg, L., Provizor, E., Greenbaum, N., 2014. The influence of shortinterval recurrent forest fires on the abundance of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) on Mount Carmel, Israel. *For. Ecol. Manag.* 324, 109–116.

Zavala, L.M., de Celis, R., Jordán, A. 2014. How wildfires affect soil properties. A brief review. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 40 (2), 311-331