

DINÁMICA ECOGEOMORFOLÓGICA POST INCENDIO EN LA SIERRA DE MIJAS (MÁLAGA, ESPAÑA)

CONCEPCIÓN MORENO ALARCÓN¹

JOSÉ ANTONIO SILLERO MEDINA^{1,2}

JOSÉ DAMIÁN RUIZ SINOGA^{1,2}

Resumen.

Los incendios forestales son considerados como uno de los principales problemas ambientales a los que se enfrenta la sociedad actual. Así, procesos como la industrialización o el abandono del campo ha motivado que el número de estos se haya visto incrementado, especialmente desde la segunda mitad del siglo XX. Por su parte, las modificaciones en la dinámica climática reciente están jugando un papel fundamental, al existir unas condiciones cada vez más extremas en temperaturas y precipitaciones, que favorecen la aparición y la intensidad de estos incendios. En este contexto, los efectos del fuego y la recuperación de la cubierta vegetal post-incendio tienden a presentar una elevada variabilidad espaciotemporal, siendo clave analizar la evolución del área quemada desde cada uno de los factores que componen el sistema ecogeomorfológico. Esta investigación ha marcado como objetivo analizar la dinámica ambiental posterior al incendio de la Sierra de Mijas en Málaga, acontecido en julio de 2022. Para ello se ha hecho uso de las TIG y, además, se ha llevado a cabo trabajo de campo y laboratorio, analizando diferentes muestras edáficas.

Palabras clave: Mediterráneo, Suelo, Incendios, Ecosistemas.

POST-FIRE ECOGEOMORPHOLOGICAL DYNAMICS IN SIERRA MIJAS (MÁLAGA, SPAIN)

Abstract.

Forest fires are one of the main environmental problems facing society today. Processes such as industrialisation and the abandonment of the countryside have led to an increase in the number of forest fires, especially since the second half of the 20th century. For their part, changes in recent climatic dynamics are playing a fundamental role, with increasingly extreme conditions in terms of temperature and rainfall, which favour the appearance and intensity of these fires. In this context, the effects of fire and the recovery of the post-fire vegetation cover tend to present a high spatio-temporal variability, and it is essential to analyse the evolution of the burned area from each of the factors that make up the ecogeomorphological system. The aim of this research is to analyse the environmental dynamics after the fire in the Sierra de Mijas in Malaga in July 2022. To this end, GIS has been used and, in addition, field and laboratory work has been carried out, analysing different soil samples.

Keywords. Mediterranean, Soil, Fire, Ecosystems.

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Los incendios forestales son un elemento natural en los ecosistemas mediterráneos (Keely et al., 2011; Bodí et al., 2012), de hecho, estos son considerados como una de las perturbaciones en el sistema eco-geomorfológico más frecuentes de estos ambientes. Sin embargo, a pesar de ser algo recurrente en este tipo de territorios, el incremento en su intensidad y frecuencia identificado en las últimas décadas ha desembocado en una mayor atención en este fenómeno por parte de la comunidad científica (Bodí et al., 2012). Desde los años 80 en adelante, los cambios de uso del suelo, las modificaciones en el patrón climático y el aumento de la población mundial son considerados como los tres principales factores explicativos de este incremento en el número de incendios forestales (Prieto F, Campillos M; 2010)

Su estudio atiende principalmente a los efectos de este fenómeno sobre los ciclos biogeoquímicos, la cubierta vegetal, el componente edáfico, la fauna, los procesos hidrológicos, entre otros (Raison et al., 2009). Así, este tipo de investigaciones se consideran fundamentales, ya que dentro una misma zona, un contraste espacial derivado de la litología, la orientación, la pendiente, el tipo de uso o cualquier otro elemento de carácter geográfico, puede generar efectos y consecuencias muy variadas (Kutiel, 2006).

En este sentido, desde una perspectiva post incendio y en un contexto de recuperación, los efectos del fuego sobre los suelos y la vegetación son esenciales, ya que influyen directamente sobre la evolución del resto del ecosistema, al jugar este recurso un papel fundamental en la dinámica eco-geomorfológica (Bodí et al., 2012).

En el caso de los suelos, los efectos de los incendios forestales pueden generar cambios, tanto directos, vinculados al propio calentamiento y combustión del incendio; como indirectos, por pérdida de vegetación, presencia de ceniza y condiciones climáticas específicas (Mataix-Solera y Guerrero, 2007). No obstante, las modificaciones edáficas van a estar principalmente vinculadas a la temperatura alcanzada durante el propio incendio (Neary et al., 1999; Malvar et al., 2016).

En este contexto, el objetivo de este trabajo ha pasado por analizar los efectos del incendio ocurrido en el pasado mes de julio de 2022 en Sierra de Mijas (Málaga), especialmente, a través del estado en el que, seis meses después del mismo, se encuentran los suelos afectados. Para ello, el análisis se ha visto precedido de una diferenciación espacial según el grado de severidad, pudiendo encontrar claros contrastes derivados de esta premisa.

El incendio de Sierra Mijas ha afectado a un total de 1994 hectáreas de masa forestal, la Sierra Mijas tiene una extensión total aproximada de 7.815 hectáreas, el incendio comenzó el día 15 de julio de 2022 en el pasaje natural del Higuerón (Mijas, Málaga), afectando a los municipios de Mijas, Benalmádena, Alhaurín de la Torre y Alhaurín el Grande; siendo controlado el 19 de julio de 2022 y extinguido el 3 de agosto de 2022, 20 días después de su comienzo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

Este trabajo se desarrolla en la Sierra de Mijas (Figura 1), cordón montañoso situado en el sector suroccidental de la provincia de Málaga, con una ocupación de 79 km². Esta área forma parte del arco montañoso que se extiende desde la vega del Guadalhorce hasta el oeste de Sierra Blanca (Marbella). En este sentido, en cuanto a sus límites, estos vienen definidos por (i) el valle del río Guadalhorce al Noreste; (ii) el valle del Río Alaminos, al Sur; (iii) el Puerto de los Pescadores y la sierra Alpujata, al Oeste.

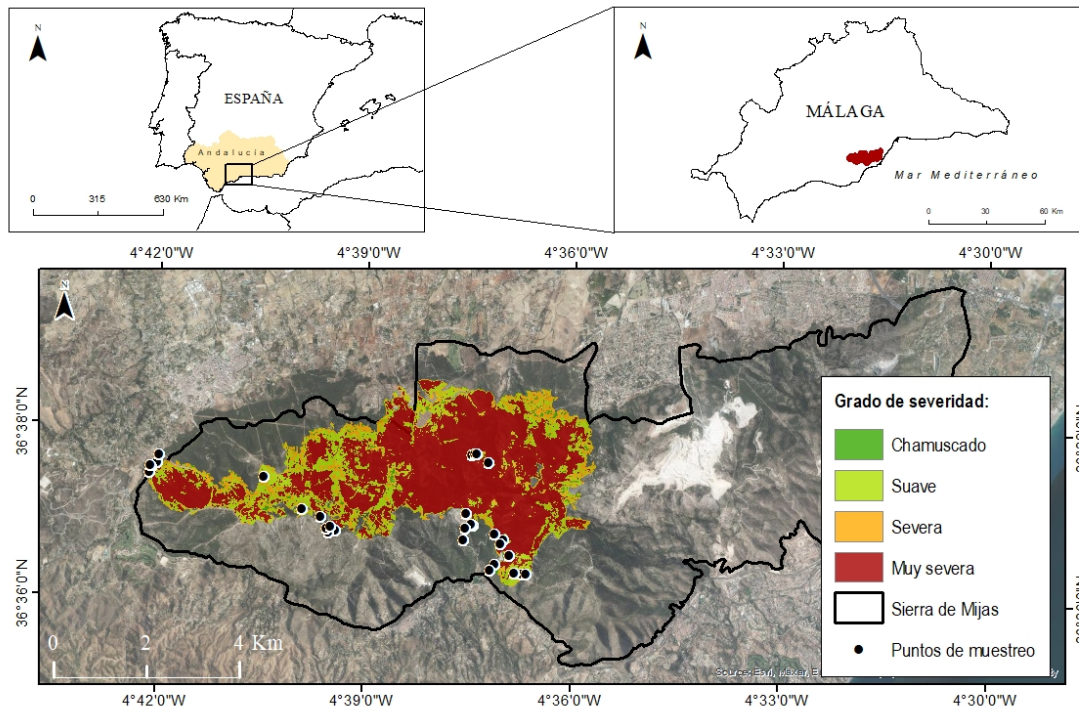
En su conjunto, el relieve de la sierra de Mijas es abrupto, con laderas con pendientes muy pronunciadas expuestas hacia la costa (Pérez-Sans et al., 1987). Identifica dos líneas de cumbres principales: la primera de ellas tiene una orientación Este-Oeste, con las mayores elevaciones de la sierra, Pico de Mijas (1.150 metros), Pico Mendoza (1.103 metros) y Castillejos (955 metros). En la segunda, con orientación Noreste- Suroeste, con los picos Calamorro (72 metros) y Albacuzá (606 metros).

Respecto a su origen geológico, Sierra Mijas ha sido incluida en la denominada "Unidad Blanca" (Blumenthal, 1949), es una unidad tectónica perteneciente al Complejo Alpujárride de las Zonas Internas de la Cordillera Bética, caracterizada por el metamorfismo de alto grado que afecta a sus materiales. La serie estratigráfica reconocidas en esta unidad está constituida principalmente por migmatitas, plagioclasas, anfíbolitas gneises y esquistos. Los mármoles presentan dos series, una inferior de mármoles masivos blancos y otra superior de mármoles tableados azules, de naturaleza

predominantemente caliza, donde se puede reconocer la estratificación. Esta sierra se encuentra independizada estructuralmente hacia el Oeste por una cuña peridotítica. La vegetación principal está compuesta por un conjunto de matorrales mediterráneos y pinos carrascos (*Pinus halepensis*); existen pequeñas islas dentro de la sierra donde podemos encontrar otras especies con una presencia más escasa como el algarrobo (*Ceratonia siliqua*), almecino o almez (*Celtis australis*), algarrobo (*Quercus suber*).

En cuanto a sus condiciones climáticas, Sierra de Mijas se encuadra en lo que Gómez-Zotano (2015) denomina clima mediterráneo seco-subhúmedo temperado de valles y laderas perimediterráneas. De este modo, su régimen térmico presenta unas medias anuales comprendidas entre 14,5°C a 18,2°C y, para el caso de la pluviometría, unos registros de entre 930 y 350 mm/año. Esta disimetría en ambas variables se encuentra directamente relacionada con factores de altitud y, por otro lado, por la orientación y exposición a los flujos atlánticos.

Figura 1. Localización de Sierra de Mijas, grado de severidad del incendio y muestras de suelo recogidas.



Fuente: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía y Red de Información Ambiental de Andalucía. Lozano y Jiménez-Pinilla, 2013. Elaboración propia.

2.2. Muestreo de suelo en campo

El trabajo de campo se determinó en varias salidas al área del incendio (Tabla 1), recogiendo las diferentes muestras de suelo a partir de la delimitación territorial previa de diferentes grados de severidad del incendio (Tabla 1). De este modo, se han obtenido un total de 12 para suelo "no quemado", y 12 para cada una de las categorías definidas en la Tabla 1. De este modo, se han recogido un total de 60 muestras superficiales de suelo (0-10 cm de profundidad), tanto alteradas (1 kg aproximadamente) como inalteradas (dos cilindros de 100 cm³), escogiendo, además, réplicas para una mejor validez estadística.

Paralelamente, en esta campaña de trabajos de campo se han tomado fotografías de forma evolutiva, pudiendo así observar la dinámica seguida por cada zona afectada en los primeros meses post incendio. En definitiva, destacan cinco grandes áreas de Sierra de Mijas en donde se ha desarrollado de forma más concreta esta investigación, siendo estas la Cantera Arenales, Osunilla, Pinos de Alhaurín el Grande, Jarapalos y Puerto de la Encina.

Tabla 1. Leyenda utilizada para la categorización de las diferentes afecciones y posterior identificación de las muestras.

Nomenclatura	Severidad del	Descripción
--------------	---------------	-------------

utilizada	incendio	
NQ	No quemado / Nulo	Suelo y vegetación no alterada por el fuego del incendio.
V1	Chamuscado	Vegetación no quemada, pero si afectadas por efecto del calor del fuego.
V2	Suave	Copas de árboles con hojas verdes, pero tallos chamuscados. Hojarasca, musgos y hierbas carbonizadas o consumidas. Horizontes orgánicos del suelo intactos o parcialmente afectados solo en los primeros milímetros de profundidad.
N	Moderado/Severo	Árboles con parte de las copas muerta, pero hojas no consumidas. Sotobosque carbonizado o consumido. Ramas finas muertas en superficie del suelo y troncos carbonizados. Horizontes orgánicos del suelo casi completamente consumidos.
R	Muy severo	Copas de árboles muertas y hojas consumidas. Hojarasca de todos los tamaños y horizontes orgánicos de suelo completamente consumidos. Deposición de cenizas blancas y materia orgánica carbonizada a varios centímetros de profundidad.

Fuente: Lozano y Jiménez-Pinilla, 2013. Elaboración propia.

2.3. Análisis de propiedades del suelo

El tratamiento de las muestras de suelo se inició con el secado al aire y su posterior tamizado, eliminando aquella fracción con tamaños de partícula superior a 2 mm. Seguidamente, en el Laboratorio de Geomorfología y Suelos de la Universidad de Málaga, las propiedades analizadas fueron textura, pH, conductividad eléctrica, estabilidad de agregados, Carbono Orgánico y materia orgánica. Los métodos empleados fueron los descritos por Sillero-Medina (2022).

2.4 Análisis estadístico: Análisis de varianza con un factor (ANOVA) y prueba de Turkey y Games-Howell.

Las diferencias estadísticamente significativas se determinaron utilizando el análisis de varianza (ANOVA). Indistintamente, el supuesto de homocedasticidad fue comprobado usando la prueba de Levene. Las diferencias entre los diversos grados de afección del suelo se determinaron mediante la prueba de Tukey y Games-Howell. Durante todo el análisis, se utilizó el software estadístico SPSS para la Ciencias Sociales (versión 28; licencia corporativa de la Universidad de Málaga).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Dinámica percibida en campo

La Tabla 2 muestra las diferentes salidas de campo realizadas al área de estudio. En estas se realizaron una serie de anotaciones asociadas a la presencia de grandes cambios con respecto a la visita anterior al área incendiada.

Tabla 2. Periodicidad de las salidas de campo y anotaciones vinculadas a la dinámica territorial del área afectada por el incendio.

Visita	Fechas	Anotaciones
1	06/12/2022	Aún sin precipitaciones desde el invierno pasado, gran severidad de los procesos erosivos en zonas de gran afección del incendio (R, N); escasa aparición de vegetación repobladora en zonas de coníferas, en cambio las zonas de alcornocales y encinas muestran una menor recuperación de cobertura vegetal y de los individuos arbóreos a pesar de poseer de que el incendio haya actuado con la misma intensidad.
2	13/01/2023	Aparición de las primeras precipitaciones, muestras de erosión en zonas con suelos desnudos debido a la falta de cobertura

		vegetal; aparición de especies repobladoras, a pesar de que las algunas zonas siguen sin mostrar grandes cambios en la vegetación y la cobertura vegetal (R coníferas).
3	03/02/2023	Aparición de vegetación (especies repobladoras y recuperación de coníferas en zonas con menor afección), procesos de erosión tras las precipitaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Más detalladamente, en la Figura 2 puede observarse la situación del área de afección muy severa en la zona de Cantera de los Arenales (Mijas, Málaga), tanto en el primer mes de recogidas de muestras como dos meses después de la fecha anterior. En esta imagen no se identifican diferencias destacables, motivado principalmente por ser una de las zonas de mayor severidad del incendio y donde, por ende, la recuperación estará sometida a un proceso más lento que en condiciones donde el impacto del fuego haya sido menor.

Figura 2. Zona de afección en la zona seleccionada de Cantera Arenales en la zona R (muy severa) en diciembre (izquierda), y febrero (derecha).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Zona de afección en la zona seleccionada de Osunilla en la zona N (severa) en diciembre (izquierda), y febrero (derecha).



Fuente: Elaboración propia.

Por su lado, la figura 3 muestra una evolución completamente diferente a la mencionada con anterioridad. En este caso, a través de un primer acercamiento visual, se observa como las primeras precipitaciones que afectan a este territorio han motivado la aparición de una ligera cobertura vegetal en

las zonas de menor pendiente, suprimiendo las tonalidades pardas identificadas en el primer mes, cuando esta área aún no había recibido aporte pluviométrico.

3.2. Análisis edáfico en condiciones de post incendio

Los incendios forestales tienen un importante efecto sobre el sistema eco-geomorfológico, pudiendo generar grandes modificaciones sobre componentes fundamentales en la dinámica territorial como el suelo (Mataix-Solera y Guerrero, 2007). Así, a partir de las muestras recogidas y del análisis de sus principales propiedades hidrológicas, físicas y químicas, la Tabla 3 muestra los principales valores obtenidos.

Atendiendo al análisis estadístico realizado, la estabilidad de agregados se destaca como el principal cambio significativo entre las diferentes zonas analizadas. Se observa como el incremento en la severidad del incendio ha desembocado en que una menor estabilidad de agregados, incluso seis meses después del propio incendio (Varela et al., 2010).

Esta pérdida de agregación se puede atribuir a la degradación de la materia orgánica, sin embargo, en este caso concreto, la materia orgánica ha tenido una tendencia al alza mientras mayor ha sido la severidad del incendio, pudiendo existir una acumulación de materia vegetal semipirrolizada en el suelo y una menor severidad a la definida en la cartografía (Fernández et al., 1997).

Las tendencias observadas en propiedades químicas, como pH, determinan un aumento de sus valores, pudiendo generar importantes cambios en el suelo que reduzcan su capacidad de recuperación (Ferreira et al., 2016; Pereira et al., 2017). En cuanto a la textura, se define una ligera tendencia hacia una degradación en el contenido en arcillas en zonas de mayor severidad, siendo aquellas muestras con texturas más gruesas donde la estabilidad de agregados recoge igualmente los valores más bajos (Varela et al., 2010).

Tabla 3. Propiedades de suelo analizadas en las respectivas muestras.

Propiedad	Severidad	Promedio	Desviación Estándar
pH	R	8,78	0,21
	N	8,45	0,09
	V2	8,28	0,17
	V1	8,28	0,09
	NQ	8,35	0,29
CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	R	147,13	41,09
	N	169,45	111,08
	V2	210,63	53,95
	V1	173,98	5,28
	NQ	305,93	97,24
EA (%)	R	49,494*	1,29
	N	53,494*	1,29
	V2	56,994*	1,00
	V1	60,494*	1,29
	NQ	64,49	1,29
CO (%)	R	4,70	5,62
	N	3,64	2,99
	V2	3,84	1,22
	V1	3,07	1,65
	NQ	3,23	0,73
MO (%)	R	8,11	9,69
	N	6,27	5,16
	V2	6,62	2,10
	V1	5,29	2,84

	NQ	5,56	1,25
A (%)	R	59,10	18,60
	N	66,83	10,09
	V2	46,00	4,45
	V1	57,64	18,23
	NQ	58,75	13,82
L (%)	R	39,17	17,68
	N	29,75	10,67
	V2	52,62	4,57
	V1	41,23	18,13
	NQ	39,55	12,85
Ar (%)	R	1,65	0,99
	N	0,65	0,38
	V2	1,25	0,19
	V1	1,13	0,18
	NQ	1,68	1,00

Leyenda: pH = pH; CE = Conductividad eléctrica; EA = Estabilidad estructural; CO = Carbono Orgánico; MO = Materia orgánica; A = Arenas; L = Limos; Ar = Arcillas; *Indica diferencias significativas con respecto a las muestras de suelos de áreas no quemadas ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIÓN

Los incendios forestales han estado presentes en la región mediterránea desde épocas geológicas anteriores dando lugar a la configuración vegetal de sus ecosistemas. De un modo y otro, el paisaje actual mediterráneo, especialmente en la montaña mediterránea, es fruto de la interacción de factores físico-naturales y humanos, y su configuración actual no puede entenderse sin prestar atención al impacto territorial del fuego. El ejemplo estudiado en este trabajo pone de relieve este aspecto. El fuego transforma radicalmente el aspecto visual del paisaje y los diferentes aspectos que conforman el sistema eco-geomorfológico. La eliminación de la cubierta vegetal lo lleva a un estado rexistásico, el cual es, además, exacerbado por la gestión post-incendio del área quemada, sin tener en cuenta, no ya aspectos relacionados con la dinámica hidro-geomorfológica y sus consecuencias directas, sino con la calidad visual del paisaje y la recuperación de esta en la situación post-incendio, que podría ser además determinante en la escala económica local. Como se ha comprobado, la estabilidad de agregados ha disminuido en las muestras analizadas, ocasionando una considerable fragilidad del suelo frente a la erosión. Además, han aparecido costras superficiales, que han provocado un condicionamiento ante los procesos de infiltración hídrica y, por ende, han modificado la dinámica hidrológica del suelo. Este trabajo supone una primera aproximación en el análisis de la dinámica eco-geomorfológica en un área mediterránea recientemente afectada por un incendio forestal. Sin embargo, en este tipo de investigaciones y, en consideración de la actual dinámica paisajística en un contexto de Cambio Global, el análisis de la evolución del sistema se constituye como una tarea fundamental, siendo necesaria una aproximación temporal más continuada en el tiempo para determinar claros comportamientos y delimitar áreas de tendencias contrastadas.

Agradecimientos: Este estudio forma parte del trabajo realizado en el proyecto de investigación denominado "Laboratorio de Cambio Climático Ambiental y Biodiversidad (Lifewatch EnBi2Lab)" (LW-2019-UMA-01-SU), siendo cofinanciado por la Unión Europea y la Universidad de Málaga mediante los Fondos de Desarrollo Europeo Regional (FEDER), a través de la convocatoria del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Además, buena parte de la investigación ha sido posible gracias a la financiación proporcionada por la Universidad de Málaga mediante el I Plan Propio de Investigación, Transferencia y Divulgación científica.

REFERENCIAS

- Blumenthal, M. (1949). Estudio Geológico de las Cadenas Costeras al Oeste de Málaga, entre el río Guadalhorce y el río Verde. *Bol. Inst. Geológico y Minero*, 62, 1-193.
- Bodi, M., Cerdá, A., Mataix-Solera, J., Doerr, S. (2012). Efecto de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58, 33–55. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2058>
- Fernández, I., Cabaneiro, A., Carballas, T. (1997). Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. *Soil Biology & Biochemistry*, 29, 1-11.
- Ferreira, R.V., Serpa, D., Cerqueira, M.A., Keizer, J.J. (2016). Short-time phosphorus losses by overland flow in burnt pine and eucalypt plantations in north-central Portugal: A study at micro-plot scale. *Science of The Total Environment*, 551–552, 631-639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.036>.
- Gómez Zotano, J., et al. (2015). La sistematización del clima mediterráneo: Identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista Geografía Norte Grande*, 61, 161-180.
- Keeley, J.E., Bond, W.J., Bradstock, R.A., Pausas, J.G., Rundel, P.W. (2011). *Incendio en los ecosistemas mediterráneos: ecología, evolución y gestión*. Cambridge, Reino Unido. Cambridge University Press. 522 p.
- Kutiel, P. (2006). Fire and ecosystem heterogeneity: A Mediterranean case of study. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19, 187, 194.
- Lozano, E., Jiménez-Pinilla, P. (2013). *Intensidad y severidad del fuego. Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED)*. Ficha técnica FGR2013/01.
- Malvar, M.C., Prats, S., Nunes, J.P., Keizer, J.J. (2016). Soil water repellency severity and its spatio-temporal variation in burnt eucalypt plantations in North-Central Portugal. *Land Degradation & Development*, 27, 1463–1478. <https://doi.org/10.1002/ldr.2450>.
- Mataix-Solera, J., Guerrero, C. (2007). Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*, 5-40.
- Neary, D.G., Klopatek, C., DeBano, L.F., Ffolliott, P. F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122, 51-71.
- Pereira, P., Cerdá, A., Martín, D., Úbeda, X., Depellegrin, D., Novara, A., Martínez-Murillo, J.F., Brevik, E.C., Menshov, O., Rodrigo Comino, J., Miesel, J. (2017). Short-term low-severity spring grassland fire impacts on soil extractable elements and soil ratios in Lithuania. *Science of The Total Environment*, 578, 469-475. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.210>.
- Pérez-Sanz, S., Nieto-Caldera, I. M., Cabezudo, B. (1987). Contribución al conocimiento florístico de la Sierra de Mijas (Málaga. España). *Acta Bol, Malacitana*, 12. Málaga.
- Raison, R.J., Khanna, P.K., Jacobsen, K., L.S., Romanya, J.; Serrasoles, I. (2009). Effect of fire on forest nutrient cycles», en *Fire effects on soils and restoration strategies* (Cerdà, A. y Robichaud, P. R., coord.). Enfield, Edit. Science Publishers, 225-256
- Sillero Medina, J.A. (2022). *Repercusiones eco-geomorfológicas de la dinámica paisajística reciente, en ambientes mediterráneos contrastados*. [Tesis Doctoral. Universidad de Málaga]. Recuperado de <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/24375>.
- Varela, M.E., Benito, E., Keizer, J.J. (2010). 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*, 6.