

## CAMBIOS EN LA EROSIÓN HÍDRICA TRAS EL INCENDIO FORESTAL DE SIERRA BERMEJA (MÁLAGA) DE 2021

ANTONIO GALLEGOS REINA ([id](#))<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Geografía de la Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, Boulevard Louis Pasteur, 27,  
29010 Málaga, Spain*

Autor de correspondencia: [a.gallegos@uma.es](mailto:a.gallegos@uma.es)

**Resumen.** Los riesgos naturales normalmente actúan de manera asociada, generando sinergias y nuevas peligrosidades que en ocasiones no solo incrementan el riesgo inicial, sino que también pueden ocasionar otras problemáticas derivadas de la original. Tal es el caso del incendio forestal que se produjo en Sierra Bermeja, en el tercio occidental de la provincia de Málaga, en septiembre de 2021. Este trabajo cartografía y cuantifica espacialmente la afección que dicho evento tuvo en la potencial pérdida de suelos en los municipios afectados por la erosión hídrica. El análisis se ha realizado utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (RUSLE), trabajando en celdas de 10x10 metros para la totalidad de las 10.000 hectáreas afectadas. La erosión potencial se ha comparado con la situación previa al incendio, obteniendo resultados muy destacados, que muestran incrementos de entre el 25% y el 188% para los distintos municipios afectados por la superficie quemada. Conocer estos parámetros resulta de especial interés para entender las magnitudes del desastre y las posteriores necesidades de gestión y rehabilitación de la zona, dado que, si bien la regeneración de la masa forestal afectada por el incendio es relativamente rápida en especies mediterráneas, la regeneración de los suelos es un proceso bastante más lento e incierto, que requiere de la acción de las administraciones.

**Palabras clave:** erosión hídrica, incendios forestales, riesgos naturales, Sierra Bermeja.

### CHANGES IN WATER EROSION AFTER THE FOREST FIRE IN SIERRA BERMEJA (MÁLAGA) IN 2021

**Abstract.** Natural risks act interrelated, generating synergies and new hazards that increase the initial risk and can cause other problems derived from the original one. Such is the case of the forest fire that occurred in Sierra Bermeja, in the western third of the province of Malaga, in September 2021. This paper maps and spatially quantifies the effect that this event had on the loss of soil in the affected municipalities. by water erosion. The analysis has been carried out using the Universal Soil Loss Equation (RUSLE), with 10x10 meter cells for the entire 10,000 hectares affected. The potential erosion has been compared with the situation prior to the forest fire, obtaining very outstanding results, which show increases of between 25% and 188% for the different municipalities affected by the burned area. Knowing these parameters is of special interest to understand the importance of the disaster and the subsequent management and rehabilitation needs of the area. Although the regeneration of the forest mass affected by the fire is relatively fast in Mediterranean species, the regeneration of the soil is a much slower and more uncertain process, which requires the action of the administrations.

**Keywords:** water erosion, forest fires, natural hazards, Sierra Bermeja.

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los riesgos naturales normalmente actúan de manera asociada, generando sinergias y nuevas peligrosidades que en ocasiones pueden generar otras problemáticas derivadas de la original (Liu *et al.*, 2016, Kappes *et al.*, 2012, Gallegos y Perles, 2021). Tal es el caso del incendio forestal que se produjo en Sierra Bermeja, en el tercio occidental de la provincia de Málaga, en 2021. El área incendiada casi alcanzó las 10.000 hectáreas, dejando una persona fallecida y grandes pérdidas ecológicas y económicas.

No obstante, la transformación de una gran área forestal próxima a la aglomeración urbana de la Costa del Sol en terreno quemado tiene otras repercusiones. Al desastre natural del incendio en sí le seguirán en los próximos años otros de no menor importancia, como la pérdida de suelos por erosión hídrica (Martínez *et al.*, 2016; Cerdà y Jordán, 2010).

El objetivo de este trabajo es cartografiar y cuantificar espacialmente la afección que dicho evento tuvo en la potencial pérdida de suelos en los municipios afectados por el incendio.

El incendio citado se produjo el 8 de septiembre de 2021. Tardó 17 días en poder ser extinguido, llegando a convertirse en uno de los mayores incendios forestales de Andalucía en los últimos años, tanto por la extensión como por su virulencia. Para entender este incendio debemos tener presente el efecto combinado en las regiones mediterráneas del éxodo rural y la falta de gestión forestal. Esto ha desembocado en un significativo aumento de la carga de combustible forestal en sus montes, dando como resultado una creciente incidencia, en recurrencia e intensidad, de los incendios forestales (Alcasena *et al.*, 2019; Pausas y Fernández, 2012; Seijo y Gray, 2012). A ello deben sumarse, además, las condiciones meteorológicas extremas del clima mediterráneo y la acción del cambio climático por el aumento de temperaturas medias. La principal característica del clima mediterráneo es la coincidencia de la época seca con la cálida. En verano, el Mediterráneo se encuentra bajo la influencia de los anticiclones subtropicales secos, que se retiran en invierno hacia latitudes más bajas dejando paso a las borrascas atlánticas de latitudes templadas. Esta peculiaridad propicia que la vegetación se encuentre muy seca en verano, lo que junto a su naturaleza inflamable favorece la aparición y expansión de los incendios forestales (Bodi *et al.*, 2012; Naveh, 1991). Otros factores a tener en consideración han sido las repoblaciones de coníferas y el aumento de zonas residenciales en la interfaz urbano-forestal (Vallejo *et al.*, 2009; Pausas *et al.*, 2008).

En relación a la erosión hídrica, el área mediterránea presenta precipitaciones escasas, que no favorecen la presencia de cubierta vegetal, y además dichas precipitaciones son frecuentemente de alta intensidad y distribución muy irregular. El cambio climático incide precisamente en estas características, reduciendo las precipitaciones medias y aumentando a su vez la torrencialidad (Olcina, 2020; Camarasa, 2020; Cortés *et al.*, 2019, MedECC, 2019). De otro lado, la hidrofobicidad causada por los incendios en los suelos forestales incrementa la escorrentía y la erosión hídrica. Según Francos *et al.* (2016), la acumulación de cenizas, la volatilización de compuestos orgánicos durante la combustión y su posterior condensación alrededor de los agregados del suelo, pueden inducir a formar una capa repelente al agua. Este hecho se producirá en el caso de que la temperatura del suelo durante el incendio incremente hasta los 200-250 °C (Osborn *et al.* 1964). Entre los efectos de la repelencia al agua, cabe destacar la disminución de la humedad del suelo disponible para las plantas, la incapacidad del suelo para infiltrar agua o, en el caso de una escorrentía elevada, el arrastre de suelos (Francos *et al.*, 2016; Bodi, 2012; Martin y Moody, 2001).

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

Sierra Bermeja se localiza en la provincia de Málaga (España), en las Alpujárrides occidentales, en la Zona Interna de las Cordilleras Béticas (Figura 1).

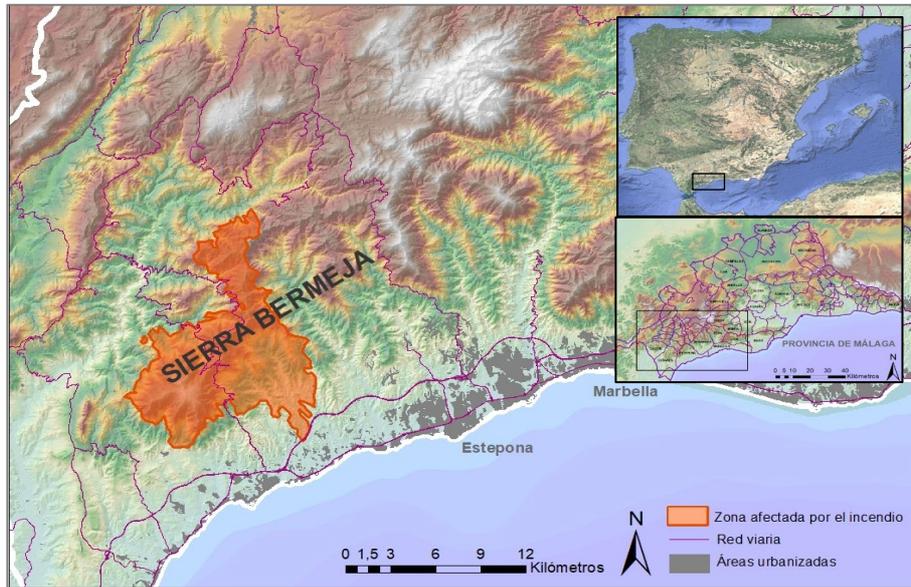
Se individualiza claramente dentro de estas por tratarse de un afloramiento peridotítico, procedente de las zonas profundas del interior de la Tierra, que intruyen en la corteza y ascienden tectónicamente hasta la superficie (Serrano & Guerra, 2004). Estos afloramientos representan uno de los conjuntos de rocas ígneas ultrabásicas de mayor extensión a escala mundial.

La toxicidad del substrato ha limitado la existencia de zonas de cultivo o núcleos de población, encontrándose en su mayor parte cubierto por formaciones arboladas densas (coníferas) y matorral disperso con pastizal.

Su peculiaridad geológica da lugar a un buen número de endemismos vegetales, y da lugar igualmente a la diferenciación de un sector biogeográfico propio (sector Bermejense). Dentro de esta riqueza florística

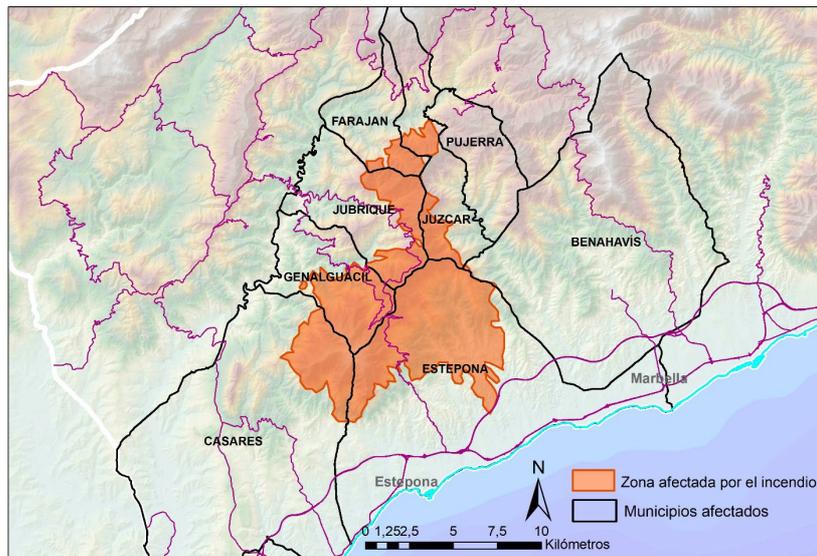
destaca el pinsapar de Los Reales, el único del planeta sobre peridotitas, que llegó a ser afectado parcialmente por el incendio.

Figura 1. Localización del área de estudio y afección del incendio forestal



Elaboración propia

Figura 2. Términos municipales afectados por el incendio forestal



Elaboración propia

Al pie de los relieves escarpados de la sierra, hacia el sur, las pendientes se suavizan a media ladera, en los materiales del Maláguide, y más aún en la proximidad de la costa, en el flysch del Campo de Gibraltar.

Los usos y aprovechamientos de la zona históricamente han estado condicionados por las características geológicas del macizo, conformado por peridotitas y serpentinas. Sus suelos han limitado las posibilidades agrícolas en la zona (Tabla 1). No obstante, sí llegó a existir un uso humano derivado de la extracción de resina y de carbón vegetal para las industrias de Marbella y Málaga durante los siglos XVII y XIX. A lo largo del siglo XX, estos usos fueron abandonados, provocando la recuperación de la cubierta vegetal, pero también la proliferación de incendios forestales (Martínez Murillo et al., 2016).

Atendiendo a los datos del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE), los principales usos del suelo en la zona afectada por el incendio de 2021 han sido los siguientes:

Tabla 1. Usos del suelo en el área de estudio

Uso del suelo	Superficie (m <sup>2</sup> )	% del total superficial
Formaciones arbóreas densas: coníferas	22.924.266	23,7
Matorral disperso con pastizal	14.062.260	14,6
Matorral denso	11.159.496	11,6
Matorral disperso arbolado con coníferas dispersas	10.198.557	10,6
Matorral disperso con pasto y roca o suelo	9.897.355	10,3
Matorral disperso arbolado con coníferas densas	7.580.877	7,9
Matorral denso arbolado con coníferas dispersas	7.024.856	7,3

Elaboración propia

### 3. METODOLOGÍA

En un principio se ha definido el perímetro del incendio, mediante la aplicación del índice NBR (*Normalized Burn Ratio*) a imágenes de satélite 'Sentinel 2', previas y posteriores al suceso.

Este índice permite identificar áreas quemadas a partir de una fórmula, que combina el uso de imágenes de infrarrojo cercano (NIR) y de infrarrojo de onda corta (SWIR). La diferencia entre las respuestas espectrales de la vegetación saludable y las áreas quemadas alcanzan su pico en dichas regiones NIR y SWIR del espectro (Keeley, 2009).

Seguidamente se ha calculado la erosión potencial mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada, trabajando en celdas de 10x10 metros para la totalidad de las 10.000 hectáreas afectadas.

La cuenca mediterránea, y la región que nos ocupa en particular, se caracterizan por la coincidencia de los periodos de sequía con los eventos de precipitaciones torrenciales, que se convierte con ello en el principal agente erosivo y causante prioritario del arrastre del mayor volumen de sedimentos. El análisis de la generación de sedimentos se ha hecho por ello mediante un modelo de erosión hídrica. El método de más difusión es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE). Ésta nos da valores de toneladas métricas de suelo por hectárea y año. Esta erosión potencial o erosionabilidad hace referencia a la susceptibilidad a la erosión que se prevé va a tener lugar en el futuro bajo unas condiciones determinadas. No se mide directamente, sino que se obtiene a partir de las variables que van a condicionar el proceso erosivo: relieve (factor topográfico), clima (erosividad de la lluvia), suelo (mapa de erodabilidad del suelo), usos del suelo y factor de prácticas de conservación de suelos (Ecuación 1).

Se ha calculado tanto la erosión media (toneladas por hectárea y año) como la erosión total (toneladas anuales para una superficie determinada). Se ha trabajado, de igual modo, con los escenarios pre-incendio y post-incendio.

*Ecuación 1. Pérdida de suelo promedio anual según USLE revisada (RUSLE)*

$$A=R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

A = pérdida de suelo media anual por unidad de superficie (Tm · ha<sup>-1</sup> · año<sup>-1</sup>); R = factor de erosividad de las lluvias (KJ · mm · m<sup>-2</sup> · hora<sup>-1</sup> · año<sup>-1</sup>); K = factor de erodabilidad del suelo (Tm · m<sup>2</sup> · hora · ha<sup>-1</sup> · KJ<sup>-1</sup> · mm<sup>-1</sup>); L = factor longitud de pendiente (adimensional); S = pendiente (%) (adimensional); C = factor de cubierta vegetal (adimensional, tabulado según las características de la vegetación); P = factor de prácticas de conservación de cultivo (adimensional)

### 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El incendio afectó a los términos municipales de Genalguacil (47% del total superficial), Jubrique (33%), Estepona (32%), Júzcar (22%), Faraján (17%) y Casares (9%) (Figura 2). En esta zona de la provincia de Málaga, la tipología y densidad vegetal dan lugar a suelos muy desarrollados y con una tasa de erosión baja, que oscila entre las 15,8 toneladas por hectárea y año de Faraján y las 37,9 toneladas de Jubrique. Frente a ello, la erosión media de la provincia de Málaga asciende hasta las 46,6 toneladas por hectárea y año.

Tras el incendio, la erosión media en los municipios afectados se incrementó en 24,3 toneladas por hectárea y año (Tabla 2) (Figura 2).

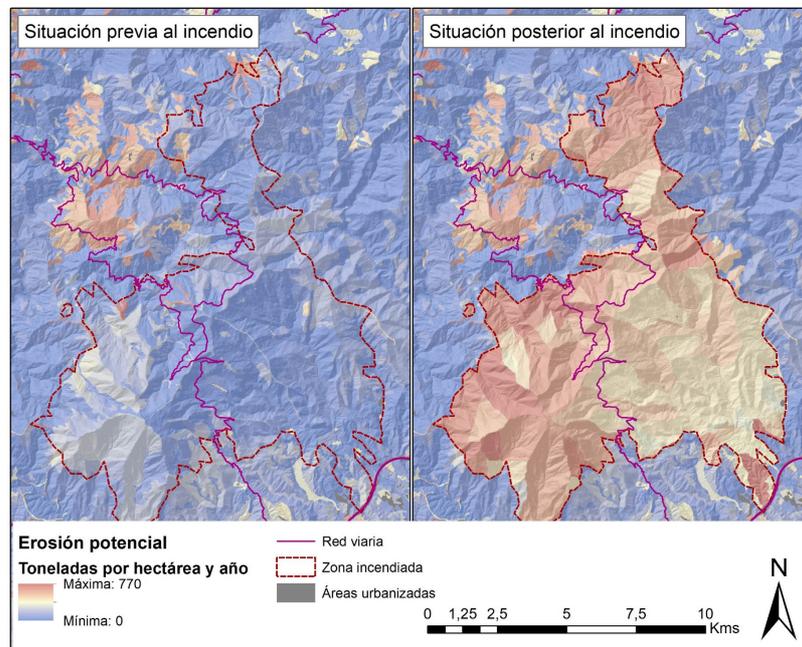
En cuanto a la erosión total anual, resulta un incremento del 70% para el conjunto de los municipios afectados con respecto a los valores previos al incendio. Así, en las condiciones iniciales resultaba una erosión total de 1,4 millones de toneladas anuales, y tras el incendio esta erosión asciende hasta los 2,4 millones de toneladas (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados estadísticos de la erosión media (por hectárea y año) y total antes y después del incendio de 2021

	Erosión media antes del incendio (Tm/ha/año)	Erosión media tras el incendio (Tm/ha/año)	Incremento de la erosión media (Tm/ha/año)	Erosión total antes del incendio (Tm/año)	Erosión total tras el incendio (Tm/año)	Incremento de la erosión total (Tm/año)	% Incremento erosión
1	46,6	48	1,4	33.444.450	34.453.611	1.009.160	3
2	53,2	60,7	7,4	4.058.167	4.624.213	566.046	13,9
3	40,3	43,9	3,5	4.986.000	5.429.154	443.154	8,9
4	34,7	59	24,3	1.436.645	2.441.973	1.005.328	70
5	36,1	45,1	8,9	575.638	718.739	143.101	24,9
6	36,8	69	32,2	479.865	898.938	419.073	87,3
7	15,8	35,9	20	32.582	73.853	41.271	126,7
8	28,8	83	54,2	90.778	261.221	170.442	187,8
8	37,9	74,1	36,2	148.096	289.569	141.473	95,5
10	32,9	59,9	27	109.685	199.654	89.968	82
11	19,3	121,1	101,7	186.962	1.169.803	982.841	525,7

1. Provincia de Málaga; 2. Comarca Costa del Sol; 3. Comarca Serranía de Ronda; 4. Municipios afectados; 5. Casares; 6. Estepona; 7. Faraján; 8. Genalguacil; 9. Jubrique; 10. Júzcar; 11. Área del Incendio  
Elaboración propia

Figura 2. Erosión potencial de suelos en los escenarios pre y post-incendio.



Elaboración propia

Conocer estos parámetros resulta de especial interés para entender las magnitudes del desastre y las posteriores necesidades de gestión y rehabilitación de la zona, dado que, si bien la regeneración de la masa forestal afectada por el incendio es relativamente rápida en especies mediterráneas, la regeneración de los suelos es un proceso bastante más lento e incierto, que requiere de la acción de las administraciones.

Estos datos nos sirven como aproximación teórica sobre la problemática en escenarios similares de regiones mediterráneas, y permite orientar las acciones que las administraciones responsables pueden y deben llevar a cabo mediante las herramientas de gestión y ordenación territorial. Es, asimismo, un trabajo que puede ser replicado en distintos casos, gracias al uso de materiales y métodos fácilmente accesibles y estandarizados.

## REFERENCIAS

- Alcasena, F. J., Vega, C., Ager, A., Salis, M., Nauslar, N. J., Mendizabal, F. J., Castell, R. (2019). Metodología de evaluación del riesgo de incendios forestales y priorización de tratamientos multifuncionales en paisajes mediterráneos. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 45 (2), 571-600. <http://doi.org/10.18172/cig.3716>
- Bodí, M., Cerdá, A., Mataix Solera, J., Doerr, S. (2012). Efectos 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.
- Cerdá, A., Jordán, A. (2010). *Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales*. Cátedra de Divulgación de la Ciencia. Universitat de València.
- Cortés, M., Turco, M., Ward, P., Sánchez-Espigares, J.A., Alfieri, L., Llasat, M.C. (2019). Changes in flood damage with global warming in the east coast of Spain. *Natural Hazards Earth*, 19, 2855-2877. <https://doi.org/10.5194/nhess-2019-253>
- Francos, M., Pereira, P., Alcañiz, M., Mataix, J., Arcenegui, V., Úbeda, X. (2016). Efecto de una lluvia torrencial post-incendio en la repelencia al agua y la velocidad de infiltración de un suelo en un ambiente mediterráneo (NE España). En J.J. Durán, M. Montes, A. Robador, A. Salazar (Eds.). *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro* (81-88). Málaga: Instituto Geológico y Minero de España.
- Gallegos Reina, A., Perles Roselló, M.J. (2021). Relationships between peri-urbanization processes and increases of multi-hazard. Diachronic analysis compared in peri-urban basins of the Mediterranean coast. *International Journal of Geo-Information*, 10(11), 1-21. <https://doi.org/10.3390/ijgi10110759>
- Kappes, M. S., Keiper, M., Elverfeldt, K., Glade T. (2012). Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review. *Natural hazards*, 64, 1925-1958. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0294-2>
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116–126.
- Liu, B., Siu, Y. L., Mitchell, G. (2016). Hazard interaction analysis for multi-hazard risk assessment: a systematic classification based on hazard-forming environment. *Natural Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 629–642. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-629-2016>
- Martin, D.A., Moody J.A. (2001). Comparison of soil infiltration rates in burned and unburned mountainous watersheds. *Hydrological Processes*. 15, 2893-2903.
- Martínez Murillo, J.F., Remond, R., Hueso González, P., Ruíz Sinoga, J.D. (2016). Resiliencia de la cubierta vegetal en un área de montaña mediterránea afectada por el fuego: el caso del incendio de Río Verde (Provincia de Málaga, Sur de España). *Pirineos*, 171, <http://dx.doi.org/10.3989/pirineos.2016.171008>
- MedECC (2019). *Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region. Preliminary assessment by the MedECC Network Science-policy interface*. <https://www.medecc.org/medecc-booklet-isk-associated-to-climate-and-environmental-changes-in-the-mediterranean-region/>
- Naveh, Z. (1991). The role of fire in Mediterranean vegetation. *Botanika Chronika*, 10, 386-405.
- Olcina Cantos, J. (2020): Clima, cambio climático y riesgos climáticos en el litoral mediterráneo. Oportunidades para la Geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 66/1, 159-182. <https://doi.org/10.5565/rev/daq.629>
- Osborn, J.R., Pelishek, R.E., Krammes, J.S., Letey, J. (1964). Soil wettability as a factor in erodibility. *Soil Science Society of America Proceedings* 28, 294–295.
- Pausas, J.G., Fernández-Muñoz, S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic Change* 110, 215-226. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0060-6>
- Pausas, J. G., Llovet, J., Rodrigo, A., Vallejo, R. (2008). Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? A review. *International Journal of Wildland Fire*, 17, 713-723.

- Seijo, F., Gray, R. (2012). Pre-Industrial Anthropogenic Fire Regimes in Transition: The Case of Spain and its Implications for Fire Governance in Mediterranean Type Biomes. *Human Ecology Review* 19, 58-69.
- Serrano, F. y Guerra, A. (2004). *Geología de la provincia de Málaga*. Málaga: Ed. CEDMA.
- Vallejo, R., Serrasolses, J., Alloza, J. A., Baeza, M., Bladé, C., Chirino, E., Duguy, B., Fuentes, D., Pausas, J.G., Valdecantos, A., Vilagrosa, A. (2009). Long-term restoration strategies and techniques. En: A. Cerdà, P.R. Robichaud (coord.). *Fire effects on Soils and Restoration Strategies*, Enfield: Edit. Science Publishers, 373-398.