

NOTA TÉCNICA

INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN EL CICLO HIDROLÓGICO, FACTORES ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN

Alberto García Prats¹, José Andrés Torrent Bravo¹, María Leticia López Sardá¹ y Antonio D. Del Campo García²

¹E.P.S. Gandía. Depto. Ing. Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Paraninfo n°1. 46730-GANDÍA (Valencia, España). Correo electrónico: agprats@upv.es

²E.T.S.I.A.M.N. Depto. Ing. Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Camí de Vera s/n. 46022-VALENCIA (España). Correo electrónico: ancanga@dihma.upv.es

Resumen

La vegetación influye en los elementos del ciclo hidrológico de manera distinta. Se sabe que el bosque reduce los caudales originados por los aguaceros, causa de avenidas e inundaciones. El objeto de las experiencias que se plantean, es cuantificar, la influencia de la vegetación en el ciclo hidrológico, a partir de la determinación estadística de los números de curva mediante análisis de episodios aislados de precipitación, incidiendo en los factores de la escorrentía e infiltración, dentro del ámbito mediterráneo de la Confederación Hidrográfica del Júcar, antes y después de la destrucción de la vegetación por un incendio. Los datos pluviométricos y de aforo proceden del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ). Los incendios forestales entre los años 1993 y 2007 han sido proporcionados por la Consellería de Medio Ambiente de la GVA. En el trabajo se determina la cuenca vertientes a cada estación de aforo existente y se compara con los incendios para determinar que cuenca es susceptible de ser estudiada por tener un alto porcentaje de superficie destruido y datos suficientes. Existen varias cuencas susceptibles, siendo la más completa la denominada "Alcora".

Palabras clave: *Incendios forestales, uso del suelo, cubierta vegetal*

INTRODUCCIÓN

Los beneficios, funciones y utilidades del monte mediterráneo se pueden distribuir en diferentes conceptos. Una de las funciones más conocidas es la función hidrológica.

La Función hidrológica del monte

La incidencia del bosque en la cantidad, formas, distribución e intensidades de precipitación

hídrica, régimen de vientos, humedad del aire y régimen de temperaturas es conocida desde hace tiempo. Todo ello se traduce en **modificaciones de las fases principales del ciclo hidrológico y de las intensidades de sus procesos.**

La estructura y naturaleza de la cubierta vegetal tiene influencia destacada en la posibilidad y cuantía de la precipitación horizontal, así como en la retención, por mojadura de cubierta muerta, suelo y tierras, de parte de la

precipitación vertical (RUIZ DE LA TORRE, 2006).

La mojadura del suelo tiene enorme importancia en el monte mediterráneo para que conserve horizontes edáficos, sobre todo cuando hay suelo completo, a cuya porosidad, que es capacidad geométrica de almacenamiento de agua, se une su estructura organizada en partículas coloidales de notable higroscopicidad, que retienen agua periférica no transferida al subsuelo y la pueden conservar durante largos meses. Así, el suelo maduro constituye un almacén de aguas en cantidad y tiempo que notablemente puede ser cedida a las raíces de los vegetales sobre él instalados. En las regiones de clima mediterráneo el efecto de la reserva edáfica de agua produce un acortamiento del período de sequía estival que puede llegar a una auténtica anulación del estiaje del suelo (RUIZ DE LA TORRE, 2006).

Finalmente, un suelo con bosque desarrollado, mantiene un nivel de materia orgánica en el suelo que favorece la estructura del mismo, aumentando su capacidad de infiltración. Si a esto le sumamos las vías preferentes de infiltración que suponen las raíces, se explica la mayor capacidad de infiltración que se encuentra en suelo forestales frente a suelos agrícolas (LÓPEZ CADENAS, 1990). Esta mayor capacidad de infiltración se traduce también en un mayor aporte a la fracción de escorrentía subterránea frente a la hipodérmica o la superficial.

El cambio de usos del suelo

Las áreas de montaña mediterránea han sufrido importantes cambios en los usos del suelo a lo largo del siglo XX, principalmente debido a la forestación espontánea, mayoritariamente por pinares, de los antiguos campos de cultivo (GARCÍA RUIZ *et al.*, 1996). Las consecuencias hidrológicas de estos cambios de uso han sido ampliamente demostradas a escala de cuenca (p. ej. BOSCH & HEWLETT, 1982; SAHIN & HALL, 1996) y concretamente en cuencas de cabecera Pirenaicas (GALLART Y LLORENS, 2004).

Otros estudios por el contrario, se centran en la determinación, del efecto que presenta el tipo de cubierta vegetal en componentes concretos del ciclo hidrológico: LLORENS (1997), LLORENS *et al.*, (2003b) o GALLART *et al.*, (2002) estudian

la incidencia de la intercepción en distintas condiciones de trabajo, así como el análisis del papel de las condiciones meteorológicas en la intercepción del agua de lluvia a escala de evento. GRANIER & LOUSTAU (1994), LLORENS *et al.*, (2003c), OLIVERAS & LLORENS, (2001); POYATOS Y LLORENS, (2003); POYATOS *et al.*, (2005) estudian la transpiración que se produce en distintas parcelas de bosque. Los mismos autores, a los que sumamos VACHAUD *et al.*, (1985), han estudiado el efecto del bosque en el contenido de humedad del suelo a lo largo de periodos que incluyen varios años hidrológicos.

Los incendios forestales

No obstante, el mayor y más repentino de los cambios que puede sufrir el monte es su destrucción por un incendio forestal. Las consecuencias medioambientales de éstos se dejan notar no sólo en la vegetación, sino en los suelos afectados por el incendio (SHAKESBY & DOERR, 2006), modificando su estabilidad estructural (MOLINA *et al.*, 1994; MARTÍNEZ FERNÁNDEZ & DÍAZ PEREIRA, 1994; FERNÁNDEZ *et al.*, 2005) y, por lo tanto, su susceptibilidad a la erosión (DE BANO *et al.*, 1979; DÍAZ-FIERROS *et al.*, 1987; DÍAZ-FIERROS Y RUBIO, 1990; COELHO *et al.*, 1990; SOLER & SALA, 1992; SALA & RUBIO, 1994; SOLER *et al.*, 1994; KUTIEL *et al.*, 1995; ÚBEDA & SALA, 1998) y su comportamiento hidrológico, al reducir tanto la cantidad de materia orgánica (GIOVANNINI & LUCCHESI, 1983; SÁNCHEZ *et al.*, 1994), como la tasa de infiltración (DEBANO *et al.*, 1970; DEBANO, 1971; DÍAZ-FIERROS *et al.*, 1987; MARQUÉS & MORA, 1992; CALVO-CASES Y CERDÀ, 1994; SOTO *et al.*, 1994; CERDÀ *et al.*, 1995; BISSONNAIS, 1996; CERDÀ *et al.*, 1998; PÉREZ-CABELLO *et al.*, 2003 a y b; STRUNK, 2005).

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es determinar el papel hidrológico del bosque a través del análisis de episodios de precipitaciones anteriores y posteriores a un incendio forestal en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Dado que se trata de una investigación en curso, se presentan únicamente resultados parciales y una metodología de trabajo, pero no los resultados definitivos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para conseguir el objetivo marcado se requiere por un lado datos de incendios forestales y por otro lado las estaciones de aforo disponibles. Sobre la red de estaciones de aforo se delimitan las cuencas aguas arriba de las mismas, y se comparan con las superficies de incendios, de forma que se puedan seleccionar aquellas estaciones de aforo que tengan un porcentaje de cuenca quemada importante. Seguidamente se busca la disponibilidad de registros foronómicos. Si existen registros anteriores y posteriores al incendio la cuenca se selecciona.

La información relativa a incendios forestales se obtiene de la Consellería de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana, entre los periodos 1993-2007.

Los datos hidrometeorológicos se obtienen del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), el cual constituye una red de recogida de datos de precipitación y de control de los caudales circulantes (incluyendo niveles en embalses, cauces y canales, posiciones de compuertas, etc.), que cubre todo el territorio adscrito a la CHJ. El SAIH del Júcar fue el primero en realizarse y está en funcionamiento desde finales de 1989, sustituyendo a las tradicionales estaciones de aforo existentes hasta el momento. La red inicial constaba de un total de 121 puntos de toma de datos.

Para las cuencas que cumplen todos los requisitos de existencia de estación de aforos, elevado porcentaje incendiado y existencia de registros pluviométricos y foronómicos, se procede a su caracterización desde el punto de vista hidrológico. El método que emplearemos será el de la generación probabilística de su Número de Curva mediante el análisis de tormentas aisladas y de la escorrentía registrada en la estación de aforo (HJELMFELT *et al.*, 1982; HJELMFELT, 1991). El método del número de curva calcula la escorrentía como:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Donde Q es la escorrentía superficial (mm), P es la precipitación total (mm), y S es el máximo almacenamiento en retención (mm) después

de que la escorrentía se inicie, asumiendo que la abstracción inicial vale $0.2 \cdot S$.

Dados ciertos pares de valores medidos de P y Q para tormentas aisladas, despejamos S de la expresión anterior y obtenemos su correspondiente valor:

$$S = 5(P + 2Q - \sqrt{4Q^2 + 5PQ})$$

La relación en el número de curva (CN) y S viene dada por la expresión:

$$CN = \frac{25400}{254 + S}$$

Según HJELMFELT *et al.*, (1982) y HJELMFELT (1991), los valores de S pueden ser ajustados a una distribución lognormal por el método de los momentos. El valor de del número de curva CN que corresponde a un valor de S con un 50% de probabilidad de ocurrir corresponde con el valor en condiciones normales de humedad. Los números de curva con un 10 y un 90% de probabilidad de ocurrir corresponden a los CN en condiciones de humedad seca y saturada respectivamente.

Aplicando esta metodología a tormentas aisladas antes del incendio e inmediatamente después de este podemos evaluar el papel hidrológico del bosque mediante la variación del número de curva. Aplicando igualmente esta metodología a tormentas que tengan lugar varios años después podemos evaluar el papel hidrológico que tiene la recuperación de la cubierta vegetal.

Por otro lado, una vez caracterizado el complejo CN con los números de curva que realmente tienen lugar en cada episodio, se pueden realizar simulaciones del funcionamiento hidrológico de la cuenca. Se implementan los datos en el modelo hidrológico HEC-HMS. Calibrando el modelo para episodios representativos, dado que los datos de CN, P y Q son datos reales, podemos evaluar como se ve modificado el parámetro “tiempo de concentración” y como se ve afectada la propagación de la avenida y la laminación natural por efecto de la destrucción del bosque. Al igual que anteriormente, se analizan episodios antes y después del incendio, pero también episodios de años posteriores para ver la evolución a medida que la cuenca se regenera de forma natural, y la vegetación de nuevo hace acto de presencia.

Tal y como se mencionó anteriormente se trata de una investigación en curso. Actualmente

estamos en la fase de implementación del modelo hidrológico, por lo que los resultados que se presentan son los de la selección de las cuencas candidato.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 podemos ver la superposición de la cartografía de incendios forestales con la red SAIH.

Sobre la anterior figura se superponen las cuencas que drenan por cada una de las estaciones de aforo y nos aparecen 7 candidatos:

- Estación Aforo 08007 - Cuenca de Villahermosa
- Estación Aforo 08113 - Cuenca de Alcora
- Estación Aforo 08904 - Cuenca de Montan
- Estación Aforo 08020 - Cuenca de Domeño
- Estación Aforo 08031 - Cuenca de Buseo
- Estación Aforo 08057 - Cuenca de Montaverner
- Estación Aforo 08080 - Cuenca de Benejama

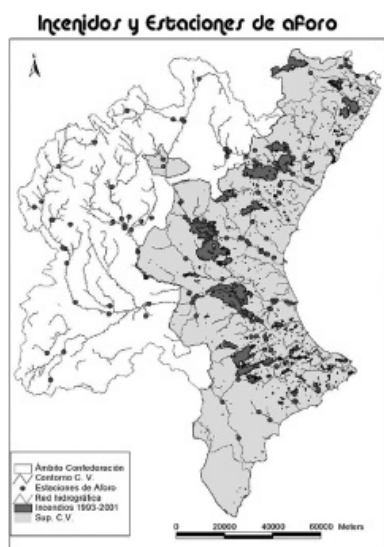


Figura 1. Incendios forestales y estaciones de aforo (SAIH)

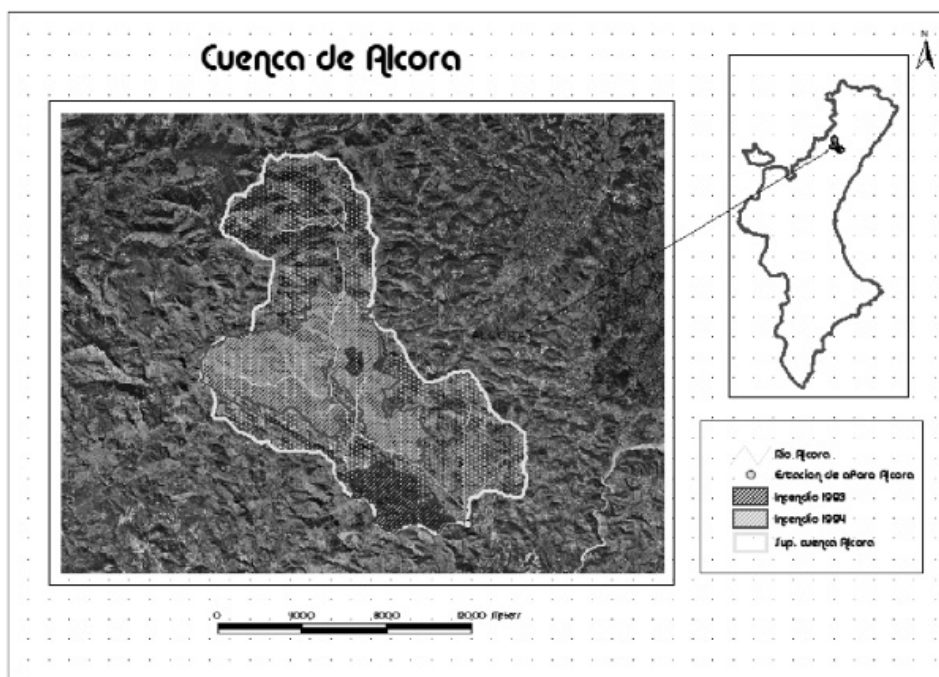


Figura 2. Cuenca seleccionada para su análisis

Nº	Estación Aforo SAIH	Sup.Cuenca(ha)	Sup.incend.ha.1993	Sup.incend.ha.1994	% incendiado
1	08080 Banejama	10.041,3	4.998,0	3.075,0	30,6
2	08057 Montaberner	26.304,0	159.685,0	10.550,0	40,7
3	08031 Buseo - embalse	22.318,8	-	6.852,8	30,7
4	08020 Domeño	42.184,6	-	299,7	0,7
5	08904 Montan	6.312,6	-	4.755,4	75,3
6	08113 Alcora - embalse	13.446,2	950.072,0	4.162,9	38,1
7	08007 Villahermosa	44.859,5	1.114.185,0	4.094,0	11,6

Tabla 1. Estaciones de aforo preseleccionadas y porcentajes incendiados

Nº	Estación Aforo SAIH	períodos con datos
1	08080 Banejama	1911 - 1931
2	08057 Montaberner	1915 -1984 y 1991-2008
3	08031 Buseo - embalse	1945-1967
4	08020 Domeño	1912-1951
5	08904 Montan	---
6	08113 Alcora - embalse	1970-2008
7	08007 Villahermosa	1913-1931

Tabla 2. Disponibilidad de registros en las estaciones de aforo

En la tabla 1 podemos ver los porcentajes de cuenca incendiada en cada estación de aforo, destacando la cuenca correspondiente a la estación de aforo de Montan (08904) con un 75% de su superficie quemada, el resto de las cuencas pre-seleccionadas para su posible estudio en detalle, tienen superficies afectadas entre el 30 y el 40% de su superficie total, exceptuando la de la estación de Villahermosa (08007) que tiene afectado el 11,6% de su superficie y la estación de Domeño (08020) con un porcentaje insignificante de su cuenca afectada por los incendios, la cual se ha seleccionado inicialmente ya que en sus inmediaciones se observan incendios de grandes dimensiones, aunque no le afecten directamente.

Según esta información, facilitada por la Confederación Hidrográfica del Júcar, de las estaciones de aforo pre-seleccionadas, sólo existen datos suficientes de la estación de aforo de Alcora, si bien la de Montaberner cuenta con datos desde 1991 hasta la actualidad y podrían analizarse los fenómenos de precipitaciones del período 1991 a 1994, para estimar si son suficientemente representativos como para compararlos con los datos de caudales de después de los incendios forestales. En la tabla 2 se muestra la disponibilidad de registros foronómicos.

CONCLUSIONES

La cuenca que mejor se adapta a los requisitos planteados es la correspondiente al Alcora (08113). Se ubica en las hojas del Mapa Topográfico Nacional, a escala 1:50.000 números 615 (29-24) y 592 (29-23), de Alcora y Villahermosa del Río, respectivamente.

Si bien la investigación se encuentra en fase de implementación del modelo hidrológico, se trata de una metodología de trabajo novedosa, no utilizada anteriormente en otros trabajos que han analizado el efecto de los incendios sobre el comportamiento hidrológico.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración del Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino, enmarcada en el convenio de colaboración con la UPV "Determinación de los factores hidrológicos y de recuperación de la cubierta forestal del monte mediterráneo y su percepción social".

BIBLIOGRAFÍA

BISSONNAIS, L.Y.; 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibi-

- lity: theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* S47: 425–437.
- BOSCH, J.M. Y HEWLETT, J.D.; 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55: 3–23.
- CERDÀ, A.; IMESON, A.C. Y CALVO, A.; 1995. Fire and aspect induced differences on the erodibility and hydrology of soils at La Costera, Valencia, southest Spain. *Catena* 24 (4): 289–304.
- COEHLO, C.O.; SHAKESBY, R.A.; WALSH, R.D.; TERRY, J. Y FERREIRA, A.; 1990. Responses of surface and sub-surface soil water movement and soil erosion to forest fires in Eucalyptus globulus and Pinus pinaster forest, Agueda basin. *In: Proceedings of International Conference on Forest Fire Research*. Coimbra.
- DE BANO, L.F.; 1971. The effect of hydrophobic substances on water movement in soil during infiltration, *Proc.-Soil Sci. Soc. Am.* 35: 340–343.
- DE BANO, L.F.; MANN, L.D. Y HAMILTON, D.A.; 1970. Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter, *Proc.-Soil Sci. Soc. Am.* 34: 130–133.
- DE BANO, L.F.; RICE, R.M. Y CONRAD, C.E.; 1979. Soil heating in Chaparral fires: effects on soil properties, plant nutrients, erosion and run-off. *Res. Paper PSW-145*. Forest Service. USDA.
- DÍAZ-FIERROS, F.; BENITO, E. Y PÉREZ, R.; 1987. Evaluation of the USLE for the prediction of erosion in burnt forest areas in Galicia (NW Spain). *Catena* 14: 189–199.
- DÍAZ-FIERROS, F. Y RUBIO, J.L.; 1990. Metodologías de estudio de los procesos de erosión hídrica del suelo en España. *Cuad. Área Cienc. Agrar.* 12: 7–46.
- FERNÁNDEZ, S.; MARQUÍNEZ, J. Y MENÉNDEZ-DUARTE, R.; 2005. A susceptibility model for post wildfire soil erosion in a temperate oceanic mountain area of Spain. *Catena* 61(2-3): 256–272.
- GALLART, F. Y LLORENS, P.; 2004. Observations on land cover changes and water resources in the headwaters of the Ebro catchment, Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth*, parts A/B/C (11-12): 769–773.
- GARCÍA-RUIZ, J.M.; LASANTA, T.; RUIZ-FLAÑO, P.; ORTIGOSA, L.; WHITE, S.; GONZÁLEZ, C. Y MARTÍ, C.; 1996. Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology* 11(5): 267–277.
- GIOVANNINI, G. Y LUCCHESI, S.; 1983. Effect of fire on hydrophobic and cementing substances of soil aggregates. *Soil Science* 136: 231–236.
- GRANIER, A. & LOUSTAUD, D.; 1994. Measuring and modelling the transpiration of a maritime pine Canopy for sap-flow data. *Agric. Forest Meteorol.* 71: 61– 81.
- KUTIEL, P.; LAVEE, H.; SEGEV, M. Y BENYAMINI, Y.; 1995. The effect of fire-induced surface heterogeneity on rainfall-runoff-erosion relationships in an eastern Mediterranean ecosystem, Israel. *Catena* 25(1-4): 77–87.
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F.; 1990. El papel del bosque en la conservación del agua y del suelo. *Ecología* 1: 141–156.
- LLORENS, P.; 1997. Rainfall interception by a Pinus sylvestris forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area II. Assessment of the applicability of Gash's analytical model. *Journal of Hydrology* 199: 346–359.
- LLORENS, P.; LATRON, J. Y GALLART, F.; 2003a. Dinámica espacio-temporal de la humedad del suelo en un área de montaña mediterránea. cuencas experimentales de Vallcebre (Alto Llobregat). *En: Álvarez-Benedí y P. Marinero (Eds): Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* VI: 71–76.
- LLORENS, P.; LATRON, J. Y OLIVERAS, I.; 2003b. Modelización del efecto del cambio global en la hidrología superficial. Ejemplo de aplicación a una cuenca Mediterránea de montaña. *In: Proceedings 3ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*. III: 1679–1681.
- LLORENS, P.; OLIVERAS, I. Y POYATOS, R.; 2003c. Temporal variability of water fluxes in a Pinus sylvestris forest patch in Mediterranean mountain conditions. (Vallcebre research catchments, Catalan Pyrenees). *IAHS Pub.* 278: 101–105.
- MARQUÉS, M.A. & MORA, E.; 1992. The influence of aspect on runoff and soil loss in

- a Mediterranean burnt forest. Spain. *Catena*, 19 (3-4): 333-344.
- MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J. & DÍAZ-PEREIRA, E.; 1994. Changes of the physical and chemical properties in a soil affected by forest fire in Sierra Larga (Murcia). In: M. Sala y J.L. Rubio (ed.), *Soil erosion as a consequence of forest fires*: 67-78. Geoforma Ediciones. Logroño.
- MOLINA, M.J.; GARCÍA-FAYOS, P. Y SANROQUE, P.; 1994. Short-term changes on aggregate stability and organic matter content after forest fire in a calcareous soil in Valencia. In: M. Sala y J.L. Rubio (ed.), *Soil erosion as a consequence of forest fires*: 43-52. Geoforma Ediciones. Logroño.
- OLIVERAS, I. & LLORENS, P.; 2001. Medium-term sap flux monitoring in a Scots pine stand: analysis of the operability of the heat dissipation method for hydrological purposes. *Tree Physiology* 21: 473-480.
- PÉREZ-CABELLO, F.; ECHEVERRÍA, M^a.T.; IBARRA, P. Y DE LA RIVA, J.; 2003a. Alteraciones edáficas en comunidades vegetales quemadas 15 años tras el fuego. En: R. Bienes y M.J. Marqués (ed.), *Control de la erosión y degradación del suelo*: 211-214. Madrid.
- PÉREZ-CABELLO, F.; SÁNCHEZ DE MENA, M^a.J.; ECHEVERRÍA; M^a.T. Y IBARRA, P.; 2003b. Comportamiento hidrogeomorfológico de un bosque quemado y sometido a labores de repoblación. El incendio de San Juan de la Peña (Huesca, España). In: I. Marzoloff, J. Ries, J. de la Riva y M. Seeger (eds.), *Landnutzungswandel und Landdegradation in Spanien*: 85-97. Universität Frankfurt am Main y Universidad de Zaragoza.
- POYATOS, R. Y LLORENS, P.; 2003. Influencia de la humedad del suelo y del período de actividad vegetal en la evapotranspiración de un pastizal montano mesófilo. En: *Actas del VII Congreso Nacional de la Asociación Española De Ecología Terrestre*: 182-196.
- POYATOS, R.; LLORENS, P. & GALLART, F.; 2005. Transpiration of montane *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pubescens* Willd. Forest stands measured with sap flow sensors in NE Spain. *Hydrology and Earth Systems* 9: 493-505.
- SALA, M. & RUBIO, J.L. (ED.); 1994. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoforma Ediciones. Logroño.
- SÁNCHEZ, J.R.; MANGAS, V.J.; ORTIZ, C. Y BELLOT, J.; 1994. Forest fire affect on soil chemical properties and runoff. In: M. Sala, y J.L. Rubio (ed.), *Soil erosion as a consequence of forest fires*: 53-65. Geoforma Ediciones. Logroño.
- SHAKESBY, R.A., & DOERR, S.H.; 2006. Wildfire as an hydrological and geomorphological agent. *Earth Science Reviews* 74: 269-307.
- SOLER, M. & SALA, M.; 1992. Effects of fire and of clearing in a Mediterranean *Quercus ilex* woodland: an experimental approach. *Catena* 19: 321-332.
- SOLER, M.; SALA, M. & GALLART, F.; 1994. Post fire evolution of runoff and erosion during an eighteen month period. In: M. Sala y J.L. Rubio (ed.), *Soil erosion as a consequence of forest fires*: 149-161. Geoforma Ediciones. Logroño.
- SOTO, B.; BASANTA, R.; BENITO, E.; PÉREZ, R. Y DÍAZ FIERROS, F.; 1994. Runoff and erosion from burnt soils in Northwest Spain. In: M. Sala y J.L. Rubio (ed.), *Soil erosion as a consequence of forest fires*: 91-98. Geoforma Ediciones. Logroño.
- ÚBEDA, X. & SALA, M.; 1998. Variation in runoff and erosion in three areas with different fire intensities. *Geoökodynamik* XIX: 179-188.
- VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANE, A.; BALABANIS, P. & VAUCLIN, M.; 1985. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Science Society American Journal* 49: 822-827.