

Flash floods y fuegos en ámbitos semiáridos

F.J. León Miranda¹, M^a T. Echeverría Arnedo¹, A. Serreta Oliván², D. Badía Villas³

¹ Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza, Campus Pza. San Francisco, 50.009 Zaragoza.

² Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte, s/n. 22.071 Huesca.

³ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior, Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte, s/n. 22.071 Huesca.

mtecheve@unizar.es, fjavierlmiranda@gmail.com, serreta@unizar.es, badia@unizar.es

RESUMEN: Los incendios introducen variaciones en el comportamiento hidrogeomorfológico de los escenarios afectados por el fuego. En ámbitos semiáridos la presencia de un incendio acarrea un aumento de los valores de escorrentía superficial y transporte de sedimento en el periodo inmediato al fuego. Por todo ello, tras el fuego, en ámbitos semiáridos de bosques repoblados de coníferas, matorrales esteparios, suelos degradados, pendientes fuertes, litologías lábiles y precipitaciones tormentosas, la puesta en marcha de *flash floods* resulta frecuente. En el incendio de agosto de 2008 en los Montes de Zuera y Castejón de Valdejasa (sector central de la Depresión del Ebro, Zaragoza, España), ardieron más de 2000 ha de bosque y tierras de labor. En las lluvias que siguieron al incendio, durante el mes de septiembre y octubre del mismo año y en eventos posteriores, se movilizaron cenizas, sedimentos finos y gruesos desde las laderas hacia los fondos de valle, dando lugar a procesos de transferencia rápidos mediante *flash floods* y sedimentación de abanicos aluviales. Precisamente, en pequeños barrancos cuya desembocadura natural está frenada por obstáculos artificiales, como las pistas forestales que atraviesan el espacio incendiado, algunos de estos *flash floods* dieron lugar a abanicos aluviales que han sido monitorizados mediante el uso de varillas de erosión y del láser escáner, llegando a la reconstrucción tridimensional de este tipo de morfologías en el tiempo. La acumulación de sedimentos finos y gruesos presenta en torno a 1 m de espesor en unas morfologías de perímetro triangular y de unos 68 m² de superficie.

Palabras-clave: Fuegos forestales, *flash floods*, agujas de erosión, láser escáner, semiárido, Depresión del Ebro.

1. LOS FUEGOS FORESTALES EN EL ENTORNO MEDITERRÁNEO

Los incendios aumentan en frecuencia y en extensión en la cuenca europea del mediterráneo desde 1960 (Shakesby y Döerr, 2006; Shakesby, 2011), ayudados por un calentamiento generalizado y sequías, pero impulsados principalmente por cambios socio-económicos, como la despoblación rural, el abandono de tierras y la repoblación con especies inflamables. Los incendios con frecuencia son considerados como el principal agente de la erosión y degradación del suelo. Incluso se ha sugerido para algunos lugares como el mayor agente responsable del cambio geomorfológico (Debano et al., 2005).

Una mayor preocupación por los incendios forestales y sus efectos en la región mediterránea comienza en los años 1960, a partir del riesgo exponencial de la actividad del fuego, con una media de 600.000 ha quemadas anualmente debidas a 50.000 fuegos a finales del siglo pasado (Lloret et al., 2009). A pesar de que existen evidencias de una disminución de la precipitación total y un aumento de la temperatura en las últimas décadas (Harding et al., 2009), la influencia humana, incluyendo los cambios en el uso del suelo y la expansión urbana han sido vistos como los principales impulsores del aumento de la actividad de los incendios forestales.

La erosión hídrica del suelo es un proceso que implica el desprendimiento de partículas del suelo por efecto del *splash* o salpicadura de las gotas de lluvia y la escorrentía, y su transporte ladera abajo, principalmente por el agua o el viento. Además, no sólo la vegetación sino también la hojarasca o *litter* y la pedregosidad cumplen un papel importante en la modificación de la respuesta de la superficie del suelo a la erosión (Wainwright y Thornes, 2004; Zavala et al., 2010). La parcial o completa combustión de la vegetación y la hojarasca por el fuego tiene una importante respuesta hidrológica post-fuego (Imeson et al.,

1992). Esto conduce a una reducción de (i) la superficie sobre la que puede producirse la transpiración y la evaporación; (ii) la capacidad de almacenamiento para la retención y detección de agua, y (iii) obstáculos para el flujo superficial (Shakesby and Döerr, 2006).

Como consecuencia de los cambios en las propiedades del suelo y su cubierta, la producción de flujo y sedimento a cualquier escala tiende a aumentar tras un incendio forestal (Cannon et al., 2009, 2010, 2011; Tillery et al., 2011). La severidad del fuego se considera una variable clave que controla la cantidad de suelo erosionado, siendo estas cantidades mayores donde la severidad del fuego fue alta (Benavides-Solorio y McDonald, 2005).

Las características climáticas de la cuenca mediterránea le hacen propensa a la ocurrencia de incendios forestales y de erosión del suelo post-incendio (Shakesby, 2011).

2. FUEGOS Y FLASH FLOODS

Las alteraciones en el comportamiento hidro-geomorfológico de un espacio quemado suponen:

- Un aumento de la actividad de la salpicadura o splash, relacionado con la vegetación quemada (en función de la severidad) y un aumento de la energía cinética de la lluvia sobre el suelo. El resultado es la producción de sedimento preparado para ser evacuado.
- Una reducción de la cantidad de materia orgánica en los centímetros superficiales del suelo, lo que favorece la erosión del mismo. Esta reducción puede ir acompañada por una pérdida de estabilidad estructural de los agregados edáficos.
- Una reducción de la capacidad de infiltración del suelo, una vez que las cenizas superficiales son transportadas por el agua o el viento, u ocupan y sellan algunos poros del suelo. Por lo tanto, tiene lugar un aumento de la escorrentía superficial que transporta el sedimento producido por el splash sobre el suelo desestructurado y afectado por la disminución de materia orgánica.
- Algún cambio de tipo mineralógico en el suelo que se acompaña con una mayor actividad del splash, tal y como ocurre tras la transformación del yeso en basanita, en algunos suelos quemados en el área de estudio.
- Un cierto aumento de la hidrofobicidad en el caso de suelos calcáreos y yesosos, que incrementa a su vez el coeficiente de escorrentía.
- Un encostramiento superficial en escenarios semiáridos sujetos a incendios, también provoca bajas tasas de infiltración sobre el suelo quemado.

Por lo tanto, un aumento en la escorrentía superficial y en la producción de sedimentos. Tras un fuego, la combustión de la vegetación y la génesis en el entorno mediterráneo semiárido de encostramientos superficiales, incrementan el flujo superficial, que provoca un mayor trabajo tanto por *splash*, como por arroyada.

La presencia de suelos pedregosos –lavados de finos- y el abundante sedimento producido en superficie por salpicadura, pueden poner en marcha los *flash floods* con eventos intensos de precipitación post-incendio. Las abruptas laderas en el entorno mediterráneo incrementan la energía de flujos superficiales canalizados en cortos barrancos de incisión lineal con un comportamiento claramente estacional.

Los *flash floods* constituyen uno de los procesos geomorfológicos más conocidos de entornos mediterráneos y responden a rápidos flujos de alta energía, ligados a una escasa cubierta vegetal y laderas con abundantes materiales no consolidados.

En escenarios en los que ha tenido lugar un fuego de elevada severidad, las laderas quedan desnudas de vegetación, con suelos y abundantes coluvios en las laderas de umbría, y fuertes pendientes en relación con procesos denudativos ligados a barrancos de incisión lineal estacional, se ponen en marcha *flash floods* por parte de las intensas lluvias, que siguen a los incendios estivales. Sempere et al. (1994) tras analizar los cambios hidrológicos producidos en una pequeña cuenca mediterránea, afectada por un fuego forestal, obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El volumen total de agua escurrida a nivel anual y mensual aumenta entre un 25 y un 30% tras el fuego.
- Los caudales punta posteriores al incendio pueden llegar a ser un 280% superiores a la situación previa al fuego.

- La frecuencia de las avenidas aumenta considerablemente. El caudal con un periodo de retorno de 10 años pasa a ser asociado a un retorno de 5 años tras el fuego.

En el área de estudio del presente trabajo, las tormentas otoñales tras el incendio de agosto de 2008 en los Montes de Castejón, arrastraron el material de las laderas y de los fondos de valle, dando lugar a *flash floods* acompañados por depósitos de abanicos aluviales allí donde determinados obstáculos frenaron el flujo lineal.

3. ÁREA DE ESTUDIO

Las áreas experimentales se localizan en el dominio de los Montes de Castejón (Zaragoza), paisaje sometido a frecuentes incendios en el último siglo y con una elevada capacidad de regeneración en laderas orientadas al norte (Figura 1).

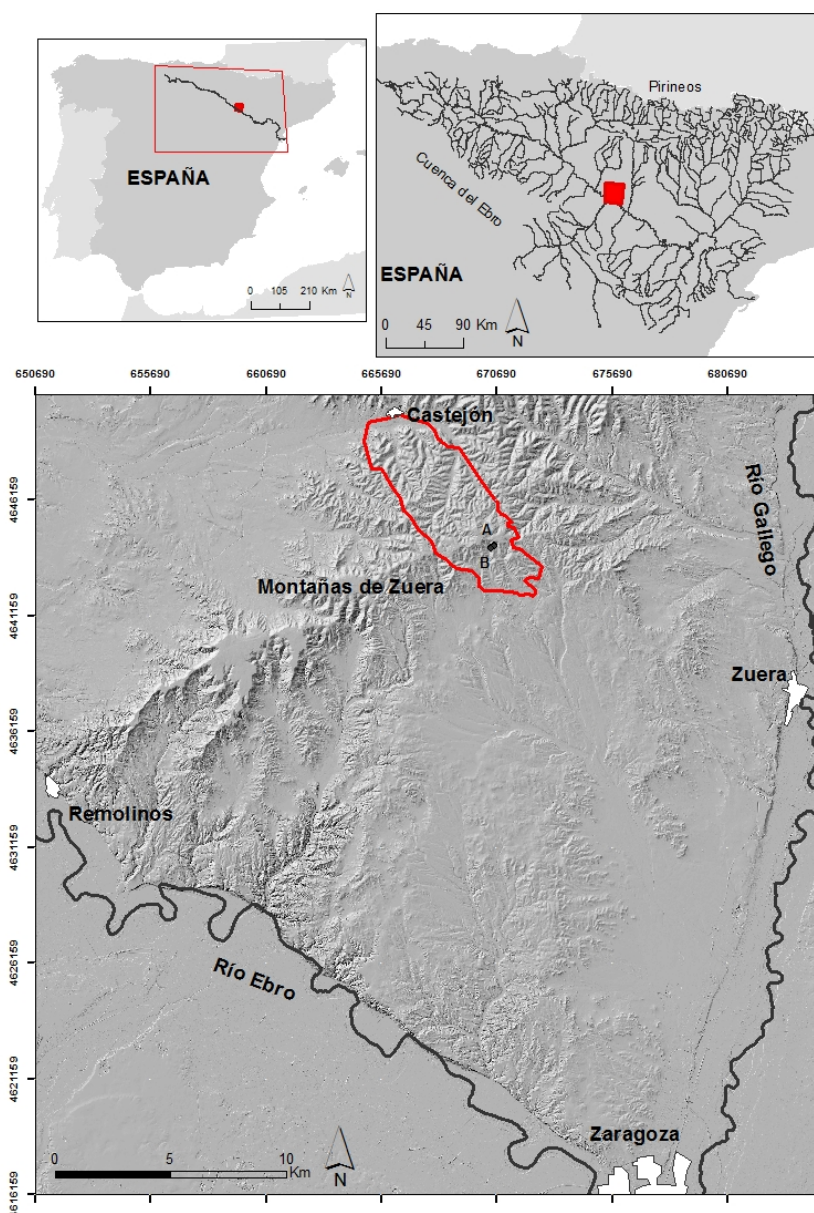


Figura 1. Localización del área de estudio. Incendio de Castejón/Zuera de 2008 (2800 ha).

El área de estudio se sitúa en el sector central de la Depresión del Ebro. El corredor del Ebro alberga depósitos cuaternarios de terrazas y glaciares, que arrancan desde las plataformas estructurales de calizas neógenas, entre 600 y 750 m, con piedemontes esculpidos sobre los yesos también neógenos. Las formas de relieve responden a un modelado con recortadas plataformas tabulares, limitadas por taludes abruptos, en

margas y yesos, bien cubiertos por depósitos detríticos coluviales, más espesos en las laderas de umbría, y amplias valladas de fondo plano -vales-, incididas por surcos lineales activados por el *piping*. En general, la circulación hídrica superficial es escasa y discurre ocasionalmente por las laderas, en forma de arroyada (*rill-wash*, *sheetwash*), ligada a un flujo hortoniano ante precipitaciones intensas, o concentrada en los barrancos (*gullies*) tanto en ladera como, en los fondos de valle, donde el *piping* acelera los procesos de incisión.

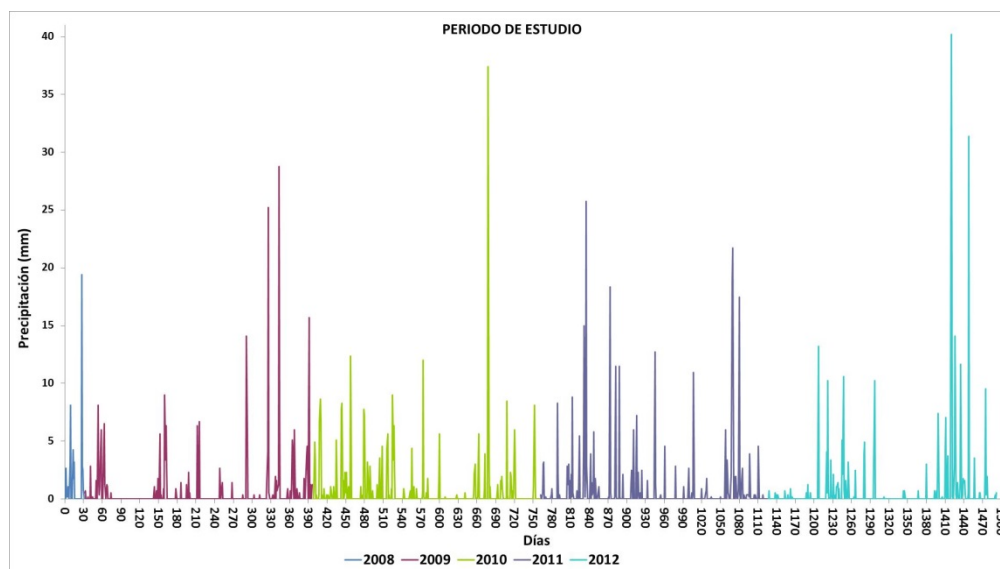


Figura 2. Precipitación total acumulada, para el periodo de estudio 2008-2012. Datos extraídos de la estación meteorológica localizada en el area de estudio -cada intervalo del eje de abscisas representa un mes a partir de noviembre de 2008-.

La distribución de las precipitaciones queda reflejada en la Figura 2, observándose una irregularidad en los meses de septiembre-octubre, relacionada con episodios de gota fría, que pueden suponer la mitad de la precipitación anual, mientras que el resto de precipitación queda más o menos repartida entre los meses de diciembre a mayo. Respecto a las máximas diarias en el 2009, se registran dos días con una precipitación de 30 mm (22/10/09 y 8/11/09), acumulada en unas horas. En el 2010 se registra un evento de más de 35 mm (9/10/10). En 2011 hay dos eventos inferiores a 25 mm en 24h y en 2012 se registraron dos eventos máximos, uno de más de 40 mm (20/10/12) y otro superior a 30 mm (17/11/12), ambos en menos de 24h. Las precipitaciones anuales registradas en el periodo 2008-2012 oscilan entre los 281 a los 330 mm, siendo el año 2011 el de mayor precipitación total acumulada con 330,2 mm.

El área quemada presenta características ambientales propias de este entorno ambiental (León, 2014): pendientes de rango variado; clima continental mediterráneo, con precipitaciones anuales entre 300 y 500 mm, máximos pluviométricos equinocciales y temperaturas extremas que pueden oscilar entre los -7,1° y los 36,5°. Algunas laderas aparecen ocupadas por terrazas de cultivo abandonadas. El fuego afectó a bosques con mosaicos irregulares de pino carrasco (*Pinus halepensis mill.*), coscoja (*Quercus coccifera*) y asociaciones de cervo-timo-aliagar sobre suelos clasificados como *Rendzic phaeozem*.

Como áreas test dentro de la superficie incendiada se han seleccionado dos abanicos aluviales de reducidas dimensiones (64 y 68 m²), correspondientes a dos barrancos de incisión lineal situados al sur de Vértice Esteban, ubicados en la Val de los Navarros (UTM 30N, 670302,84X, 4644156,62Y), cuyo curso se vio obstaculizado por la construcción de una pista forestal que retuvo el material transportado. El depósito adquiere una clara morfología de abanico aluvial (Figura 3) alimentado por *gullies*, que arrastraron material de calibre muy contrastado, desde limos, procedentes de la alteración de los yesos, clastos calcáreos desde las laderas y cenizas resultantes del propio incendio, las cuales marcan el nivel-guía a partir del cual se comienza a medir la erosión/sedimentación post-fuego.



Figura 3. Vista general de los dos abanicos aluviales (A derecha, B izquierda) en la Val de los Navarros (Zaragoza), en los que se realizó una corta de la vegetación para centrarse en la erosión.

4. METODOLOGÍA

El estudio de las variaciones que experimenta la superficie del terreno a partir de la producción de un *flash flood* es objeto del desarrollo de técnicas encaminadas, por un lado, al análisis de los cambios de las microformas y, por otro, a la obtención de tasas de erosión. En el primer caso, estas metodologías son de gran utilidad en Geomorfología y permiten analizar las variaciones del relieve en un breve lapso de tiempo. En relación con la tasa de erosión se calculan datos de rebajamiento o acreción, que corresponden al volumen de suelo erosionado (de Ploey y Gabriels, 1980). Mediante las agujas de erosión se puede obtener una colección de datos que representan las variaciones medias de la superficie, así como modificaciones temporales del microrelieve (Benito et al., 1992). La presencia en el área de estudio de grupos de jabalíes interrumpió la medición a los dos años de comenzar el seguimiento, por destruir el dispositivo de la Figura 3 (izquierda) e introducir variaciones microtopográficas en los abanicos aluviales.

4.1. Varillas de erosión

Las agujas de erosión constituyen una de las técnicas más simples y efectivas para medir pequeños cambios en la altitud de la superficie del terreno (Sancho et al., 1991). Este método consiste en introducir parcialmente en el suelo una aguja o varilla y medir cada cierto intervalo de tiempo la altura del extremo superior con respecto a la superficie topográfica. Los ascensos y descensos de la superficie del terreno pueden obedecer a procesos de erosión y sedimentación, aunque también pueden intervenir expansiones y contracciones del suelo, derivadas de las propiedades físico-químicas y mineralógicas del mismo o de la actuación de procesos de meteorización, entre los que jugarían un papel más significativo el contenido en arcillas hinchables y el levantamiento por helada. En España las agujas de erosión han sido utilizadas por Clotet y Gallart (1986) en áreas de montaña y *badlands* de Cataluña, por Scoging (1982) en el Sureste español, por Benito et al. (1992) en la Depresión del Ebro y por Pérez-Cabello et al. (2009) en espacios quemados del Prepirineo aragonés, entre otros.

La longitud de las agujas instaladas por diferentes investigadores es muy variable (Sancho et al., 1991) alcanzando en algunos casos hasta 1 m. Sin embargo, las medidas más utilizadas oscilan entre los 30 y 60 cm. Los valores de grosor de varilla utilizados varían entre los 2 y 10 mm. El intervalo de tiempo entre las distintas medidas en el área de experimentación está en función de la celeridad de los procesos geomorfológicos y puede fluctuar entre pocos días a más de un año, aunque se recomienda un intervalo de al menos 6 meses para llevar a cabo la toma de datos. No obstante, es conveniente después de cada suceso importante de lluvia efectuar un seguimiento de las agujas.

La técnica de las agujas de erosión presenta como grandes ventajas su bajo costo y su rapidez de instalación. Sin embargo, la utilización de esta técnica entraña diversos problemas, que Haigh (1977) engloba en lo que denomina ‘contaminación de datos’, ya que uno de los mayores inconvenientes se deriva de la distorsión producida en la superficie del terreno por el operador, tanto en el momento de la instrumentación como en la toma de medidas. También hay que tener en cuenta, como elemento distorsionante, el tránsito de personas y ganado por el área de experimentación.

En los dos abanicos aluviales se construyó una malla de cuadrados de 50 cm de lado, mediante cuerdas

y varillas fijas en los vértices, de la que se obtuvieron tres mediciones a lo largo del periodo de trabajo, con varillas de 70 cm de largo y 6 mm de grosor (Figura 4 izquierda).

4.2. Láser escáner

Se trata de un método desarrollado en los últimos años con el objetivo de optimizar en tiempo y resultados la documentación métrica de cualquier elemento, obteniendo una precisa información, análisis y control... y la creación de bases de datos interactivas bajo ficheros, por ejemplo en formato html, lo cual potencia un método divulgativo de libre acceso en red que hace más efectivo un carácter técnico científico. Las ventajas que ofrece esta aplicación respecto a la gran variedad de datos que obtenemos, se basan en la gran calidad del proceso de adquisición de información a través del escaneado láser, junto a una labor de tratamiento y postproceso de los datos obtenidos en el terreno (Angás y Serreta, 2010).

Actualmente existen numerosos modelos de laser escáner con un amplio espectro de tecnologías de trabajo para distintas aplicaciones, diferenciándose a efectos prácticos por su velocidad de muestreo, distancia a la que se puede medir y por la longitud de onda con la que trabajan (Revuelto et al., 2013). En el presente trabajo se ha utilizado el aparato *Leica ScanStation*, que permite una resolución inferior a 2 mm. Este aparato se apoya, para obtener una georreferenciación de los puntos, en una estación total GPS (*Leica TS02 estación total*) y, además, se emplearon 4 balizas de control, para obtener una mayor precisión a la hora de la georreferenciación (Figura 4 derecha).



Figura 4. Control y monitorización de cuencas experimentales, mediante varillas de erosión (izquierda) y láser escáner (derecha).

Con todo este equipo se obtuvo una resolución de 5 mm. El resultado es una nube de puntos superior a varios millones de puntos, sobre la superficie de 64 m². Esta nube de puntos se debe tratar, para eliminar elementos como la vegetación para, tan sólo trabajar con la micro-morfología del cono aluvial, mediante varios softwares como *Leica CloudWorx for SmartPlant® 3D*, software propio del *Leica ScanStation*, que convierte la nube de puntos en un formato que pueda ser interpretado por otro software (.las, .ASCI, .dxf...) y *3DReshaper®*, que procesa la nube de puntos generada por el láser escáner.

5. RESULTADOS

5.1. Varillas de erosión

En la figura 5 se recogen los datos relativos al seguimiento durante 2 años consecutivos de las varillas de erosión situadas en los dos abanicos aluviales ligados a *flash floods*. La variabilidad de la acumulación de sedimento post-fuego es evidente, desde 20 a 90 cm de espesor. Evidentemente, se trata de una variabilidad multicausal: incisiones previas al fuego del gully original, posibles irregularidades introducidas por la presencia de fauna local (jabalí) en lugares húmedos, como el fondo de los *gullies*, y labores de saca de la madera que han afectado a los abanicos de ambas cuencas. Las varillas de erosión en su representación tridimensional permiten observar (Figuras 5 y 6):

- Una variabilidad marcada del espesor de sedimento a lo largo del proceso de relleno del abanico aluvial, alcanzando valores máximos transcurridos dos años desde el incendio (90 cm).

- Un comportamiento irregular de ambos gullies, sujetos a tormentas y producción de flash floods, que explican los citados valores máximos en la primavera de 2010 en la cuenca B y en el otoño de 2009 en ambas cuencas.
- Un depósito alterado por la presencia de jabalíes, que destruyen la horizontalidad acumulativa en el sector izquierdo y distal del abanico en la cuenca B.
- Una alteración del proceso de deposición de materiales en el abanico aluvial ligado a las labores de saca de madera hacia la pista forestal que lleva acarreada la incisión del depósito.

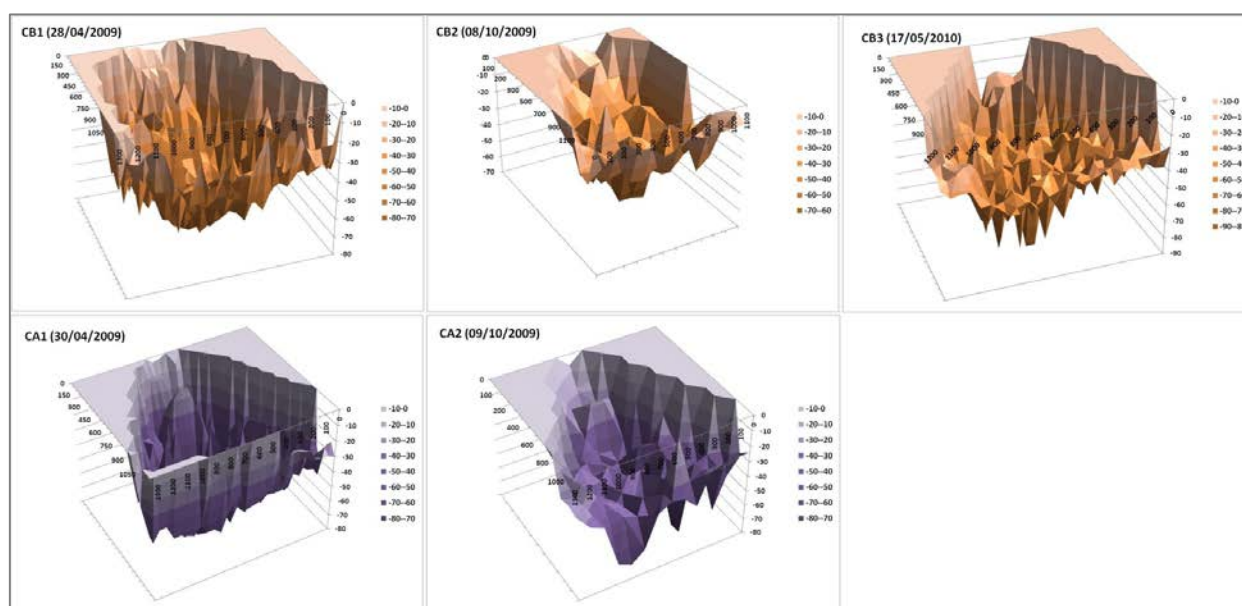


Figura 5. Representación de la profundidad alcanzada por las cenizas en cm.

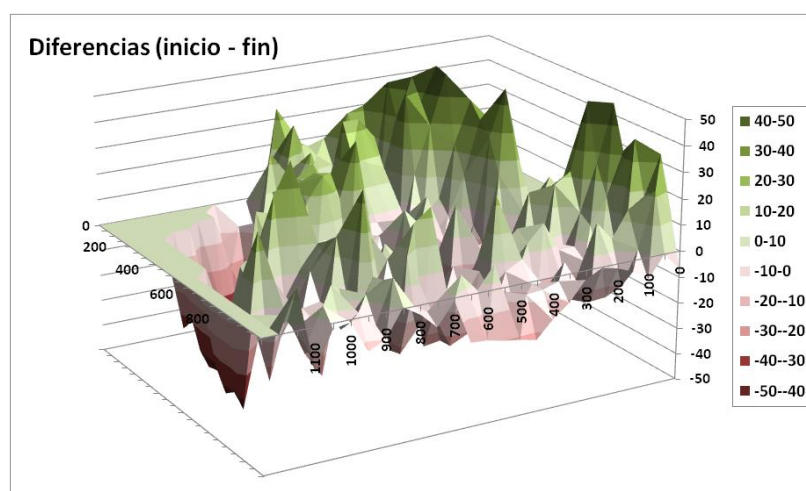


Figura 6. Diferencias observadas mediante el uso de varillas de erosión en la cuenca B (04/09 – 05/10).

5.2. Láser escáner

El láser escáner es una herramienta que puede producir mucha información, si bien es complicado trabajarla en algunos casos, debido a la elevada resolución aplicada (Figura 7). No obstante, se pueden obtener resultados de mucha precisión como los observados en dos años consecutivos de medición, diferenciando zonas que se han rebajado, colores de gama fría, y otras que han acumulado sedimento en superficie, colores de gama cálida.

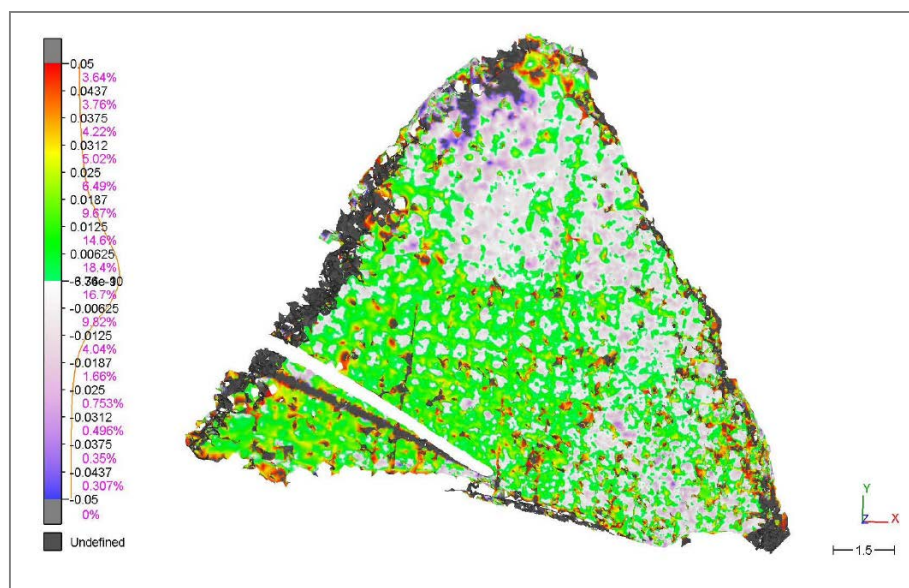


Figura 7. Comparativa de las mediciones tomadas del sedimento acumulado en dos años consecutivos en la cuenca B, mediante el uso de láser escáner. Se observa una mancha blanca en el ángulo izquierdo que corresponde a un tronco quemado caído. Igualmente el láser detecta la red de varillas.

6. CONCLUSIONES

Los incendios forestales producen de forma generalizada una activación de la erosión, llegando a poner en marcha *flash floods* en ambientes contrastados; el entorno mediterráneo afectado por fuegos frecuentes, con lluvias intensas, pendientes fuertes, sedimento preparado por *splash* y bajos coeficientes de infiltración hídrica en el suelo y sustrato es un escenario idóneo para este tipo de flujos.

La morfogénesis tras un incendio en ámbito semiárido es tremendamente activa a partir de tormentas intensas (>30-35 mm/día en escasas horas), que producen eventos de *fast floods*, transfiriendo tanto sedimento como cenizas desde las laderas hacia niveles de base locales (alrededor de 35 m³ en cada uno de los abanicos). El lavado de las laderas, una vez transportada la ceniza inicial inmediata al fuego, es una labor de la arroyada superficial, rápidamente canalizada hacia barrancos de incisión lineal que, alimentados por flujos de alta energía, desarrollan formas de acumulación rápidas. En algunos casos, obstáculos antrópicos como la construcción de pistas forestales, representan nuevos niveles de base para estas avenidas rápidas.

La medición de material acumulado en estos abanicos aluviales obtenida con láser escáner es más precisa que la llevada a cabo con las varillas de erosión, ya que la toma de datos se realiza bajo parámetros constantes (metodología y operador).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha realizado en el contexto del proyecto de investigación *Comportamiento y modelización espacio-temporal del transporte de sedimento en distintos usos de suelo: el papel de los incendios forestales* CETSUS (CGL2007-66644-C0A-04/HID-CLI), Plan Nacional de I+D+I (2004-2007), Ministerio de Ciencia y Tecnología

7. BIBLIOGRAFÍA

- Angás, J. y Serreta, A. (2010): Valorización y difusión del patrimonio arqueológico mediante un entorno web 3D. Documentación de Santa María de Iguacel (XI dC) mediante láser escáner 3D. *Virtual Archaeology Review*, vol. 1, 1, 63-67.
- Benavides-Solorio, J.D.D., MacDonald, L.H. (2005): Measurement and prediction of post-fire erosion at the hillslope. *International Journal of Wildland Fires*. 14, 457-474.
- Benito, G., Gutierrez, M., Sancho, C. (1992): Erosion rates in badlands areas of the central Ebro Basin (Ne-Spain). *Catena*, 19, 3-4, 269-286.

- Cannon, S.H., Gartner, J.E., Rupert, M.G., Michael, J. A. (2010): Emergency assessments of postfire debris-flow hazards for the 2009 La Brea, Jesusita, Guiberson, Morris, Sheep, Oak Glen, Pendleton, and Cottonwood fires: in southern California, USGS Open-File Report 2010-1186, 31 p.
- Cannon, S.H., Michael, J.A. (2011): Emergency assessment of postwildfire debris-flow hazards for the 2011 Motor Fire, Sierra and Stanislaus National Forests, California, USGS Open-File Report 2011-1251.
- Cannon, S.H., Gartner, J.E., Rupert, M.G, Michael, J.A., Staley, D.R., Worstell, B.B. (2009): Emergency assessment of postfire debris-flow hazards for the 2009 Station Fire, San Gabriel Mountains, Southern California: , U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1227, 24 p.
- Clotet, N., Gallart, F. (1986): Sediement yield in a mountainous basin under high mediterranean climate. *Zeichrift für Geomorphologie*, Supp. 60, 205-216.
- DeBano, L.F., Neary, D.G., Folliott, P.F. (2005): Soil physical properties. Wildland fire in ecosystems. En Neary, D.G., Ryan, K.C., DeBano, L.F. (eds.): *Wildland Fire in Ecosystems. Effects of Fire on Soil and Water*. General Technical Report RMRS-GTR-42, Vol. 4. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 29-52.
- De Ploey, J., Gabriels, D. (1980): Measuring soil loss and experimental studies. En Kirkby, M.J. y Morgan, R.P.C. (Eds.). *Soil erosion*. J. Wiley, 63-108. Chichester.
- Haigh, M.J. (1977): The use of erosion pins in the study of slope evolution. *British Geomorphological Research Group. Technical Bulletin*, 18, 31-49.
- Harding, A., Palutikof, J., Holt, T. (2009): The climate system. En Woodward, J. (Ed.) *The Physical Geography of the Mediterranean*. Oxford University Press, Oxford, 69–88.
- Imeson, A.C., Verstraten, J.M., van Mulligen, E.J., Sevink, J. (1992): The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under Mediterranean type forest. *Catena* 19, 345–361.
- Lavabre, J., Sempere Torres, D., Cernesson, F., (1993): Changes in the hydrological response of a small Mediterranean basin a year after a wildfire. *J. Hydrol.*, 142, 273-299.
- Lloret, F., Zedler, P.H. (2009): The effect of forest fires in vegetation. En A. Cerdà, P.R. Robichaud (Coords.) *Fire effects on Soils and Restauration Strategies*, Enfield, Edit. Science Publishers, 257-295.
- Pérez Cabello, F., Echeverría, M.T., Ibarra, P., de la Riva, J. (2006): Erosión y regeneración vegetal post-fuego en ambientes submediterráneos pre-pirenaicos. *Geomorfología y Territorio*, 235-246.
- Revuelto, J., López-Moreno, J.I., Azorín, C., Arguedas, G., Vicente, S.M., Serreta, A. (2013): Utilización de técnicas de láser escáner terrestre en la monitorización de procesos geomorfológicos dinámica: el manto de nieve y heleros en áreas de montaña. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 39, 335-357.
- Sempere, D., Urbano, A., Lavabre, J., Dolz, J. (1994): Consecuencias hidrológicas de los incendios forestales. *Ingeniería del Agua*. 1, 4, 33-48.
- Sancho, C., Benito, G., Gutiérrez, M. (1991): *Agujas de Erosión y Perfiladores Microtopográficos*. Cuad. Téc. Soc. Esp. Geom., 2. Geofoma Ediciones. 28 p. Logroño.
- Scoging, H. (1982): Spatial Variations in infiltration, runoff and erosion on hillslopes in semi-arid Spain. En Bryan, R.B. y Yair, A. (Eds.). *Badland Geomorphology and Piping*. Geo Books, Cambridge, 89-112.
- Shakesby, R.A., Doerr, S.H. (2006): Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, 74, 268-307.
- Shakesby, R. (2011): Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: review and future research directions. *Earth-Sci. Rev.* 105, 71-100.
- Tillery, A. C., Darr, M. J., Cannon, S. H., Michael, J. A. (2011): Postwildfire flash floods hazard assessment for the area burned by the 2011 Track Fire, northeastern New Mexico and southeastern Colorado, USGS Open-File Report 2011-1257, 9 p.
- Wainwright, J., Thornes, J.B. (2004): *Environmental Issues in the Mediterranean*. Routledge, London.
- Zavala, L.M., Jordán, A., Bellinfante, N., Gil, J. (2010): Relationships between rock fragment cover and soil hydrological response in a Mediterranean environment. *Soil Science and Plant Nutrition* 56, 95–104.