

RECONSTRUCCION DEL CAUDAL PUNTA ASOCIADO A AVENIDAS TORRENCIALES USANDO PALEOINDICADORES EN LOS ÁRBOLES

Ballesteros, J.¹, Eguibar, M.A.², Bodoque, J. M.³, Díez-Herrero, A.¹, Gutierrez, I⁴, Stoffel, M.⁵

RESUMEN

Se ha estimado el caudal punta asociado a un evento de avenida torrencial de magnitud desconocida mediante el empleo de marcas de paleonivel localizadas sobre árboles de ribera. El estudio pormenorizado de las desviaciones entre dichas marcas y los resultados de un modelo hidráulico bidimensional, alimentado de una topografía de la zona de estudio realizada con láser escáner terrestre, ha permitido definir tres escenarios posibles que cuantifican el grado de incertidumbre en la estimación. En el tramo de estudio en Venero claro (Ávila), utilizando la metodología presentada, se estimó un caudal punta de $78,6 \pm 14,8 \text{ m}^3/\text{s}$ asociado al evento de 1997.

Palabras clave: dendrogeomorfología, avenida torrencial, marcas de palaeoestado, caudal, Ávila.

ABSTRACT

Peak flow discharge associated to a flash flood event have been estimated using palaeostage indicators (PSI) on trees. A study of the deviation between PSI and results from the two-dimensional hydraulic model, which was defined from a detailed topography based on terrestrial laser scanning, has

¹ Área de Investigación en Peligrosidad y Riesgos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, España. ja.ballesteros@igme.es, andres.diez@igme.es. ² Departamento de Hidráulica e Ingeniería Ambiental. Universidad de Valencia, Valencia, España. ³ Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Fábrica de Armas, Toledo, España. Josemaria.bodoque@igme.es. ⁴ Ferrovial-Agroman. ignaciogutierrezperez@gmail.com. ⁵ Laboratorio de Dendrogeomorfología dendrolab.ch, Universidad de Berna, Suiza. Markus.stoffel@dendrolab.ch.

allowed to define three possible scenarios that make quantification of the uncertainty in the peak discharge estimation possible. Our methodology enabled to estimated in the reach studied a peak flow, associated with the event in 1997 in Venero Claro (Ávila), of 78.6 ± 14.8 in m^3/s .

Key words: dendrogeomorphology, flash flood, palaeostages, peak discharge, Ávila.

INTRODUCCION: DENDROGEOMORFOLOGÍA APLICADA AL ESTUDIO DE PALEOINUNDACIONES

Se entiende por paleoinundación todos aquellos eventos de inundaciones que no han podido ser registrados por estaciones de aforos o a través de observaciones in situ (Baker, 2008). Entre las distintas técnicas que pueden emplearse para la datación y/o estimación de la magnitud y frecuencia de paleoinundaciones encontramos los métodos históricos, las técnicas geológico-sedimentológicas, y métodos botánicos (Benito y Thorndycraft, 2004). Podría decirse que el empleo de una u otra técnica responde a la tipología de datos indirectos que se disponen en la zona de estudio; y, estos a su vez, pueden estar condicionados a las características intrínsecas del proceso.

En el caso concreto de las avenidas torrenciales que tiene lugar en zonas de montaña, su lejanía e inaccesibilidad respecto a los centros de documentación, así como las características hidráulicas del proceso que dificultan la permanencia de depósitos sedimentológicos, limitan el uso de los métodos históricos y técnicas geológicas-sedimentológicas. Sin embargo, en estas áreas montañosas los métodos botánicos, focalizados en las técnicas dendrogeomorfológicas (Diez-Herrero et al., 2007), han resultado ser eficientes para la datación de paleo-eventos (Ballesteros et al., 2010; Ruiz-Villanueva et al., 2010).

En este estudio, se presenta de forma sucinta los resultados obtenidos del uso de forma combinada, tanto de técnicas dendrogeomorfológicas para la localización y datación de paleoniveles; así como un modelo hidráulico bi-dimensional para estimar el caudal circulante en el tramo de río estudiado asociado a una avenida torrencial en un río de montaña. Por último, se discute la utilización de este tipo de paleoindicadores en el estudio de avenidas pretéritas.

ZONA DE ESTUDIO

El evento de avenida torrencial objeto de estudio tuvo lugar en el arroyo Cabrera ($40^{\circ} 24' \text{ N}$; $4^{\circ} 39' \text{ W}$), tributario del río Alberche (cuena hidrográfica del Tajo) y localizado en la vertiente septentrional de la Sierra del Valle (Sis-

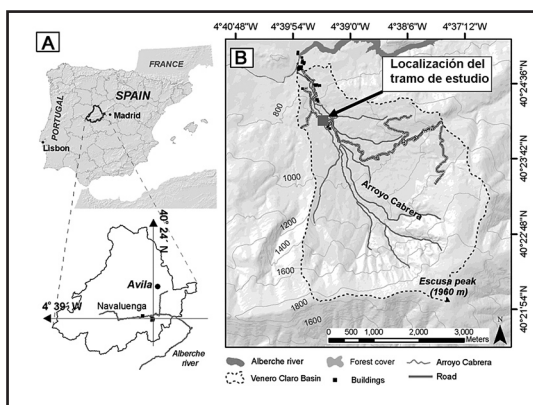


Figura 1. A) Localización espacial del tramo estudiado en la cuenca del arroyo Cabrera

tema Central, provincia de Ávila). El 18 de diciembre de 1997, tras un periodo de lluvias generalizadas en la zona, tuvo lugar un episodio de intensas lluvias que provocaron una avenida torrencial altamente cargada en sedimentos, favorecido por pequeños deslizamientos superficiales en cabecera. La intensidad de este evento torrencial generó numerosos daños en la vegetación colindante y redefinió parcialmente la red de drenaje en su parte media, dando lugar a avulsiones, lóbulos de derrame, abanicos, etc...).

El tramo elegido para llevar a cabo la estimación del caudal circulante se sitúa en la parte baja de la cuenca (Fig. 1). Este tramo fue elegido por: 1) presentar un lecho rocoso estable (minimizando los errores cometidos en la estimación hidráulica por una posible variación en la topografía y en la rugosidad); y por 2) presentar una elevada densidad de PSI en árboles.

RESUMEN METODOLÓGICO

La metodología empleada es una combinación de diferentes técnicas que envuelven métodos dendrogeomorfológicos e hidráulicos; así como métodos topográficos basados en láser escáner terrestre (Terrestrial laser scanner- TLS). El muestreo y análisis de los indicadores dendrogeomorfológicos que definen marcas de paleonivel sobre los árboles se realizó mediante técnicas dendrogeomorfológicas clásicas (Diez-Herrero et al., 2007). Una descripción más exhaustiva de las sucesivas etapas puede encontrarse en Ballesteros et al., (2010). Posteriormente, mediante un TLS y estación total, se llevó a cabo el levantamiento topográfico del tramo de estudio y localización de los árboles y PSI analizadas.

El modelo hidráulico bidimensional empleado para estimar el caudal fue MIKE 21. Las condiciones iniciales necesarias para ejecutar el modelo hidráulico se establecieron previamente, debido a que la estimación del caudal supone el problema inverso (Benito y Thorndycraft, 2004). Se definieron tres escenarios de altura de agua esperables (escenario mínimo, máximo y medio) en función del tamaño de los descortezados y de la desviación observada entre su altura y la profundidad modelada para el caudal que sumergía todos ellos. Por último, el resultado se obtuvo para el caudal que presentara mínimas desviaciones en cada escenario.

RESULTADOS y DISCUSION

Como resultado de la metodología empleada, el caudal estimado para el evento de 1997 en el tramo de estudio fue de $78,6 \pm 14,8 \text{ m}^3/\text{s}$, con una desviación metodológica mínima de 1,15%, lo que supone un evento cuatro veces mayor que el evento más intenso registrado ($20,3 \text{ m}^3/\text{s}$) desde el año 2004 (Ballesteros et al., 2010).

Nuestra metodología ha aportado un rango de incertidumbre en la estimación del caudal del 18,8% que se sitúa dentro de los límites establecidos en para este tipo de estudios (Jarrett y England, 2002). Por otro lado, el máximo rango obtenido entre las alturas esperadas de PSI y el modelo fue de $\pm 0,6\text{m}$, siendo ligeramente menor que las observadas por otros autores (Gottesfeld, 1996).

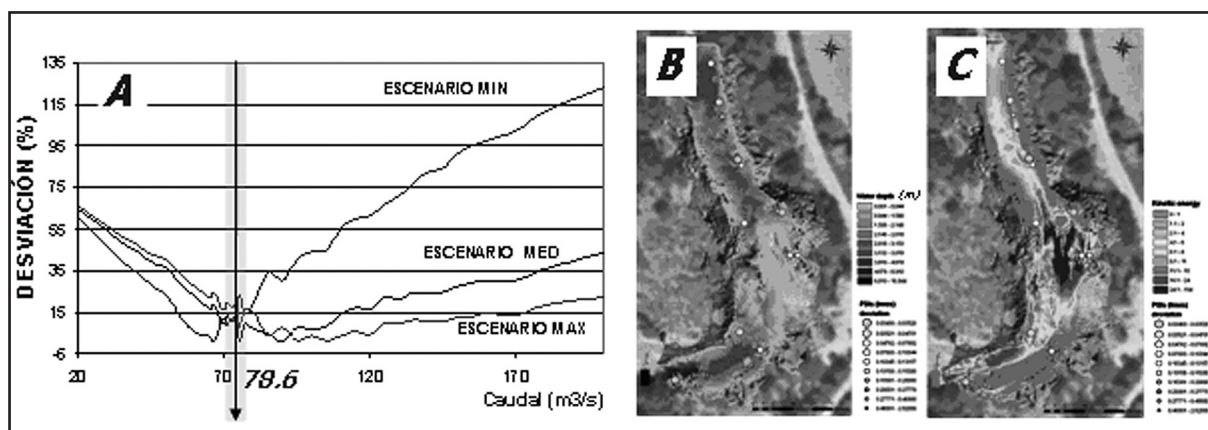


Figura 2. A) La mínima desviación entre las alturas esperadas definidas por los PSI y los resultados del modelo hidráulico permitió estimar el caudal asociado al evento de 1997 entorno a $78 \text{ m}^3/\text{s}$. B y C) Relación de la desviación observada con la profundidad del agua estimada y velocidad del flujo

Agradecimientos: Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación Dendro-Avenidas (CGL2007- 62063/HID) del ministerio de Ciencia e Innovación.

BIBLIOGRAFÍA

- Baker, V. (2008): Paleoflood hydrology: Origin, progress, prospects. *Geomorphology*. 101: 1-13.
- Ballesteros, J.A., Stoffel, M., Bodoque J.M., Bollschweiler, M., Hitz, O., and Díez-Herrero, A., (2010): Wood anatomy of *Pinus Pinaster* Ait. following wounding by flash floods. *Tree ring Research*. (aceptado)
- Benito, G., y Thorndycraft, V.R. (Eds.) (2004): Systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation, methodological guidelines. CSIC, Madrid, 115 pp.
- Díez Herrero, A., Ballesteros J.A., Bodoque, J.M., Eguibar, M.A., Fernandez, J.A., Génova, M., Lain, L., Llorente, M., and Stoffel, M. (2008): Mejoras en la estimación de la frecuencia y magnitud de avenidas torrenciales mediante técnicas dendrogeomorfológicas. *Boletín Geológico y Minero*, 118 (4), 789-802.
- Gottesfeld (1996): British Columbia flood scars: maximum flood-stage indicators. *Geomorphology* 14, 319-325.
- Jarrett, R. D., y England, J. F., Jr., (2002): Reliability of paleostage indicators for paleoflood studies. *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology*. AGU's Water Science and Application Series, vol. 5, p. 91-109.
- Ruiz-Villanueva, V.; Díez-Herreó, A.; Stoffel, M.; Bollschweiler, M.; Bodoque, J.M. y Ballesteros, J., (2010): Dendrogeomorphic analysis of flash floods in a small ungauged mountain catchment (central Spain). *Geomorphology*. (aceptado).