

APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DENDROGEOMORFOLÓGICAS AL ESTUDIO DE LAS AVENIDAS TORRENCIALES

J.A. Ballesteros (1), J.M. Bodoque (2) y A. Díez-Herrero (1)

(1) Área de Investigación en Peligrosidad y Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España.

(2) Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Universidad de Castilla-La Mancha.

Contacto: ja.ballesteros@igme.es / Teléfono: 913495807

Resumen

A través de la localización de indicios dendrogeomorfológicos en las márgenes de los ríos, el estudio anatómico de la madera de los árboles afectados por avenidas, y la implementación de marcas y señales en los modelos hidráulicos, es posible mejorar la estimación de la frecuencia, magnitud y características físicas (carga sólida, régimen de flujo...) de las avenidas torrenciales en aquellas cuencas montañosas donde no existe información foronómica y/o pluviométrica estadísticamente representativa.

Palabras clave: Dendrogeomorfología, avenida torrencial, hidrología.

1. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO

El estudio de las avenidas torrenciales desde un punto de vista hidrológico-hidráulico está subordinado, en gran medida, a los datos de partida que alimentan los modelos. Por otra parte, en España son pocas las cuencas que cuentan con datos de pluviometría y/o de aforos y, casi inexistentes, aquéllas cuyo registro de datos sean lo suficientemente largos en el tiempo para ser estadísticamente representativos en el tiempo y en el espacio. Esto hace que, para llevar a cabo estudios en los que es necesario conocer el comportamiento geodinámico de una cuenca torrencial (correcciones hidrológicas, estudios de riesgos, etc.), sea necesario avanzar en el conocimiento de la aplicación de técnicas y métodos complementarios capaces de mejorar el estado del conocimiento de este proceso natural.

En este sentido, entre las distintas aproximaciones que pueden desarrollarse para dar respuesta al cómo, cuándo, dónde y por qué de las avenidas torrenciales (métodos geomorfológicos, hidrológicos e históricos), pueden incluirse los métodos botánicos (Díez-Herrero, 2008).

Los métodos botánicos, focalizados en el análisis dendrogeomorfológico (Alestalo, 1971; Bodoque, 2007; Ballesteros, 2008 y Díez *et al.*, 2008a) de las cuencas vertientes, permiten incorporar al estudio información sobre fechas de eventos pasados y sus ordenes de magnitud, que de otra manera, sería imposible obtener debido a la falta de un registro histórico, por inaccesibilidad del terreno y su lejanía a los centros de administrativos y focos de producción, y la dificultad de encontrar material detrítico depositado (debido a la alta energía de transporte) susceptibles de ser estudiados mediante técnicas paleohidrológicas.

Sin embargo, la abundante vegetación que aún se conserva en las márgenes de estos cauces, es una útil y precisa fuente de información espacio-temporal. La interacción de la vegetación con las áreas de influencia de procesos reiterados permite localizar formas o señales sobre los árboles denominados indicios dendrogeomorfológicos (Fig. 1; Díez-Herrero *et al.*, 2008a) dejando su impronta en el registro anual de anillos de crecimiento. La localización sobre el terreno de estos árboles y de dichas señales en la serie anual de crecimientos permite reconstruir eventos pasados espacial y temporalmente (Ballesteros, 2008; Díez Herrero *et al.*, 2008a).

No obstante, no sólo es posible obtener información espacio-temporal mediante técnicas dendrogeomorfológicas (métodos botánicos). A través del estudio e interpretación de los distintos indicios dendrogeomorfológicos, se puede inferir información cualitativa y cuantitativa del proceso,

como los caudales circulantes, carga sólida transportada, altura mínima de la lámina de agua, velocidades, etc. (Díez-Herrero *et al.*, 2008b).

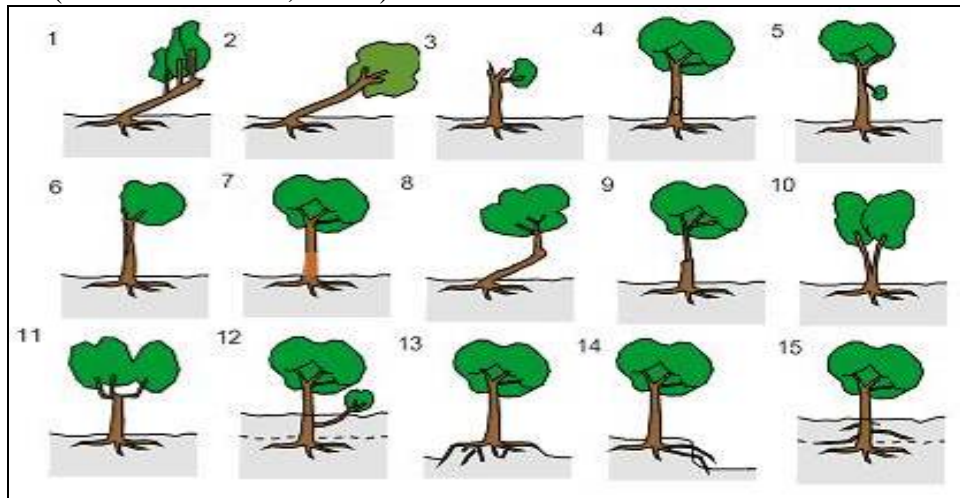


Fig. 1. Principales indicios dendrogeomorfológicos macroscópicos: 1- árbol en candelabro; 2- pies inclinados; 3- decapitados; 4- descortezados; 5- arranque de ramas; 6- rozamientos por caídas de otros árboles; 7- erosiones; 8- codos y ángulos; 9- estrechamientos bruscos del fuste; 10- bifurcaciones; 11- codos y ángulos en ramas; 12- rebrotes desde troncos enterrados; 13- raíces expuestas; 14- raíces flotantes; 15- nuevas raíces desde troncos enterrados (Díez-Herrero *et al.*, 2008a).

Por lo tanto, el objetivo de la presente comunicación es mostrar a la comunidad científico-técnica la utilidad de las técnicas dendrogeomorfológicas en el estudio de la frecuencia y magnitud con la que acontecen eventos torrenciales en zonas de montaña donde otras aproximaciones no son posibles o presentan grandes incertidumbres.

2. EL PROYECTO DENDRO-AVENIDAS

Con el propósito de investigar sobre la aplicación de técnicas dendrogeomorfológicas para el estudio y mejora en la estimación de frecuencias y magnitudes de avenidas torrenciales, se puso en marcha en octubre de 2007 el proyecto de investigación Dendro-Avenidas desarrollado en el IGME (Instituto Geológico y Minero de España) y con la participación de universidades (Universidad Politécnica de Madrid -Escuela de Montes y Forestales; Universidad de Castilla la Mancha; Universidad de Texas A&M, EE.UU; Universidad de Friburgo-Suiza) y entes públicos y privados (Montes de Valsaín; Protección Civil Segovia, Ávila y Castilla-La Mancha; Arnaiz Consultores). Más información en www.dendro-avenidas.es.

En esta primera fase del proyecto, la actividad principal se está desarrollando en la cuenca torrencial de Venero Claro, instrumentalizada con 6 pluviómetros, 2 limnímetros y un medidor de humedad (TDR- *Time Domain Reflectometry* - , Bodoque *et al.*, 2006), de 15,5 km² de superficie y situada en la falda norte de la Sierra del Valle, Navaluenga (Ávila) (Fig. 2).

El motivo de la elección de esta zona de estudio es triple: por una parte, el estado de conocimiento del evento extraordinario acontecido en 1997 (Díez, 2001-2003) asegura la calibración de las observaciones realizadas; por otra parte, el nivel de instrumentación de dicha cuenca, asegura la posibilidad de validación de los resultados con eventos registrados con posterioridad (Bodoque, 2007; Ballesteros, 2008) y, por último, la zona fue seleccionada como idónea para su estudio dendrogeomorfológico a través de una metodología integrada basada en análisis SIG y evaluación multicriterio (Ballesteros *et al.*, 2008a).

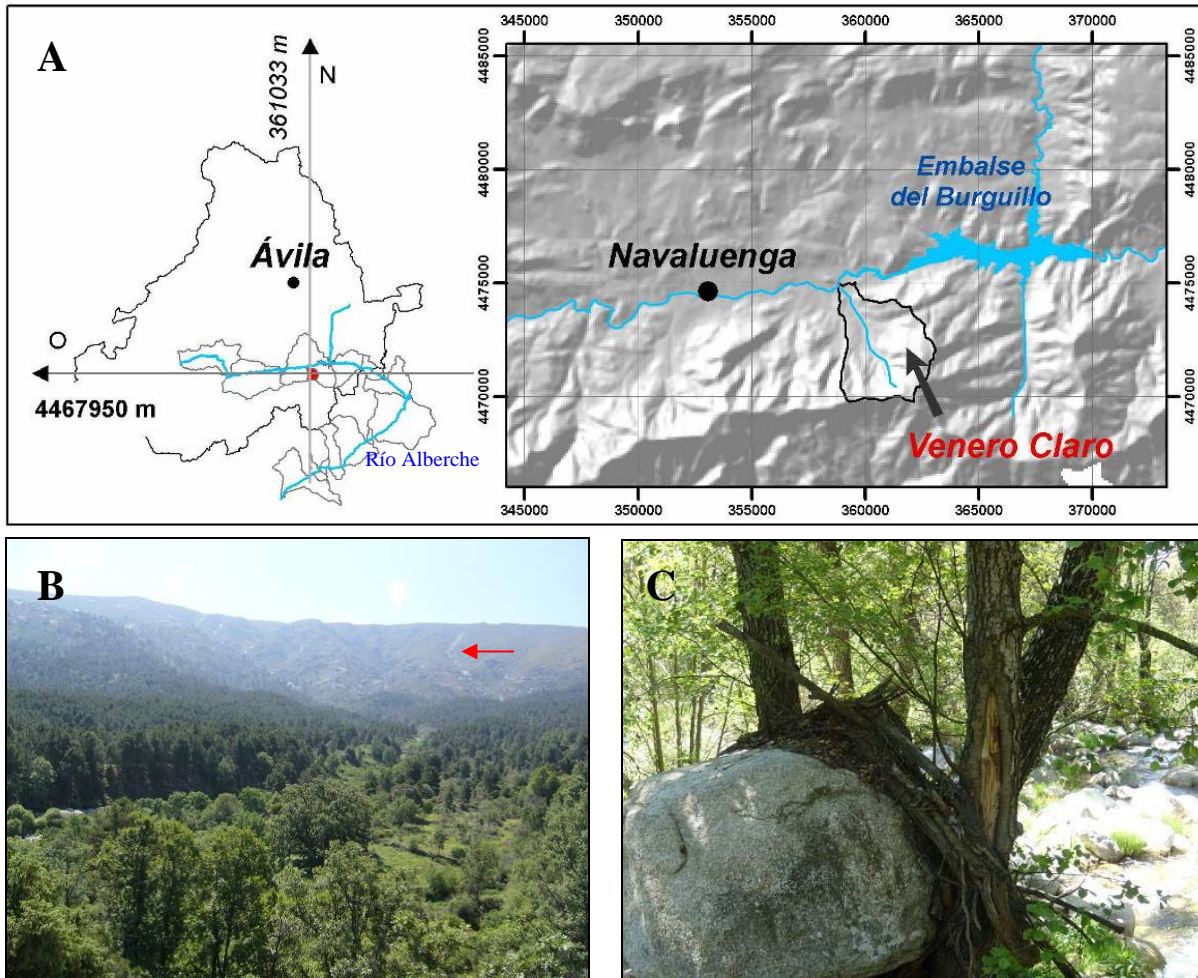


Fig. 2. A- Esquema de localización de la cuenca torrencial de Venero Claro (Navaluenga, Ávila). B-Vista oblicua de la zona media-alta de la cuenca Venero Claro. La flecha indica la cicatriz generada por un movimiento gravitacional que dio lugar a la alta carga sólida de la avenida extraordinaria del 17 de diciembre de 1997. C- Impacto sobre alisos provocado por la carga sólida transportada durante dicho evento.

3. LOS PRIMEROS TRABAJOS: LA RESPUESTA ANATÓMICA

Uno de los objetivos concretos del proyecto Dentro-Avenidas es la detección de eventos pasados en el registro de anillos de crecimiento de los árboles. Hasta el momento, la detección de eventos de procesos activos (tales como aludes, caídas de rocas, movimientos de laderas, corrientes de derrubios, etc.) se ha llevado a cabo a través de la localización de las denominadas *grow disturbances* (anomalías de crecimiento; Stoffel, 2005). Dicha localización se realizaba por medio de la comparación del registro de crecimiento de árboles afectados con series patrón o de referencia (Génova, 1998). Sin embargo, es posible ir más allá. A través del estudio anatómico e histológico de la madera de árboles afectados (Ballesteros *et al.*, 2008b), se puede detectar la respuesta anatómica a dicho fenómeno, para después utilizarla en la prospección de eventos pretéritos. Los primeros esfuerzos del proyecto han consistido en definir anatómicamente el comportamiento vegetal ante las avenidas torrenciales hiperconcentradas.

Inicialmente se ha elegido para su estudio, por presentar daños del tipo descortezado, especies climáticas y riparias como el *Pinus pinaster*, *Quercus pyrenaica*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus angustifolia*, *Populus nigra* y *Salix atrocinerea*.

Durante el verano de 2007 se obtuvieron más de 100 muestras en forma de cuñas y de testigos cilíndricos con barrena Pressler de los árboles afectados (Fig. 3).

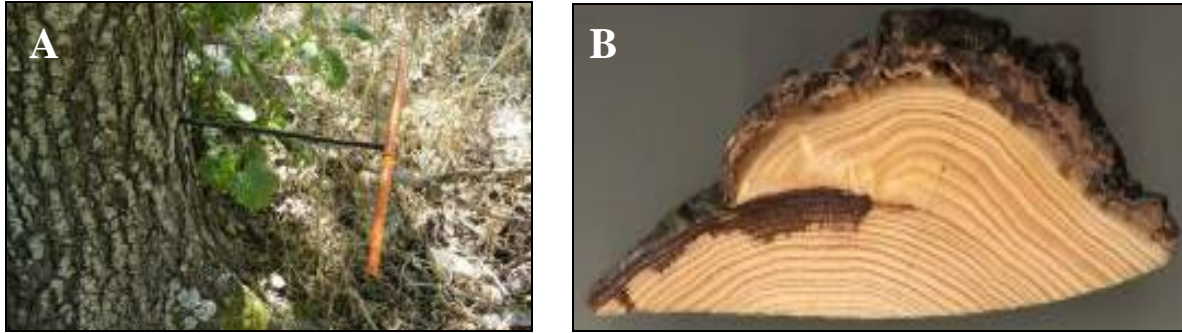


Fig. 3. A- Obtención de testigos cilíndricos con barrena Pressler sobre un ejemplar de aliso. B- Muestra en forma de cuña sobre un descortezado producido por la carga sólida en un pino resinero.

La preparación de las muestras y su posterior análisis se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio *Dendrolab* del Departamento de Geografía de la Universidad de Friburgo (Suiza). Durante estas fases se siguieron los procedimientos descritos por Schweingruber (1990) y Stoffel (2005).

Por medio de programas informáticos de análisis de tejidos leñosos (TSAP y WinCell - Rinntech y Regent Instrument, respectivamente) se llevaron a cabo una serie de medidas anatómicas dirigidas a la localización de un cambio anatómico atribuible al proceso de avenidas torrenciales (Ballesteros, 2008 y Ballesteros *et al.*, 2008b).

Por especies y entre las respuestas más sistemáticas y sintomáticas que se pudieron detectar, destacan por su intensidad de señal y su utilidad para la detección de eventos pasados las siguientes:

Pinus pinaster: se ha detectado una reducción significativa en el valor del área del lumen celular en las células de la madera temprana, justo en el año 1998, definido como año respuesta (Ballesteros, 2008) debido a que el evento de 1997 tuvo lugar durante la parada vegetativa (Fig. 4). De igual manera, se ha podido constatar el aumento en el porcentaje y en el grosor de la pared celular, así como un posible cambio morfométrico en las células (de poligonales a circulares).

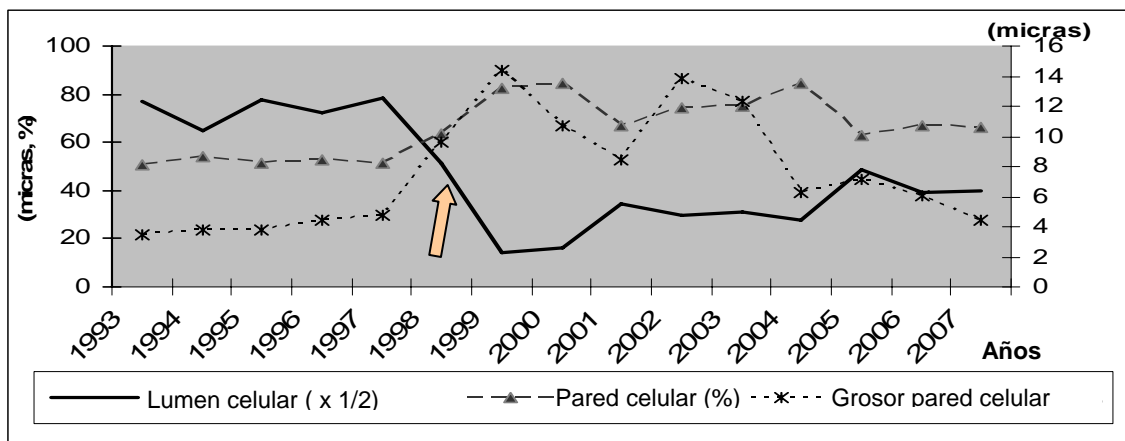


Fig. 4. Variación en 1998 de los valores del lumen celular, porcentaje de la pared celular y espesor de la pared celular en una muestra de *Pinus pinaster*.

Alnus glutinosa: se ha observado un aumento del lumen celular de la madera temprana y, en algunas muestras, la existencia de falsos anillos en el año siguiente al evento. Ningún cambio en la long. radial y tangencial de las células fue detectado (Fig. 5).

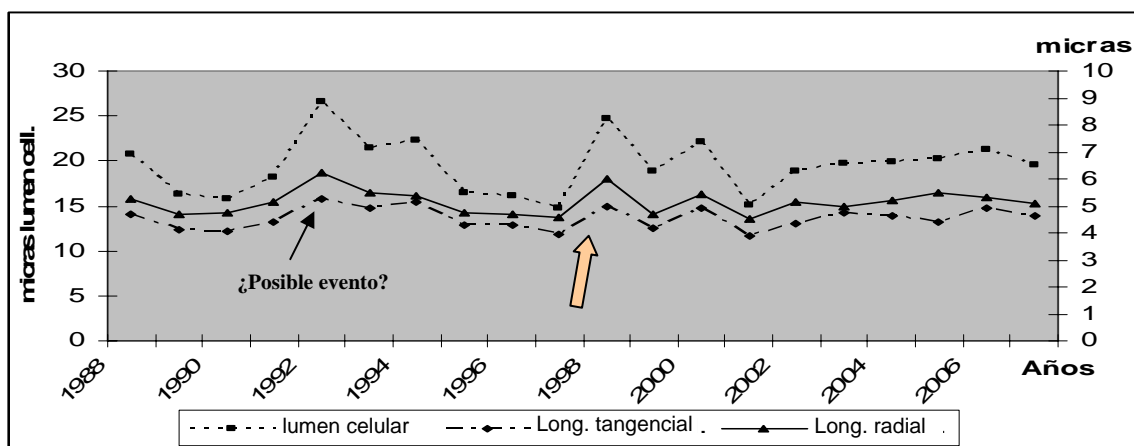


Fig. 5. Variación en 1998 de los valores del lumen celular y de la longitud en dirección radial y tangencial de las células.

***Fraxinus angustifolia*, *Quercus pyrenaica* y *Populus nigra*:** en estas especies se ha observado un cambio en la tendencia del tamaño del lumen de los vasos. Mientras que en el fresno y el chopo se produce una disminución brusca, en el caso de los robles esta disminución es más leve. En el caso de los robles y fresnos, se detectaron depósitos gomosos producidos por la cavitación de los vasos originada por el traumatismo y se observó una disminución del área de los elementos prosenquimatosos y parenquimatosos acompañantes; así como cambios en el porcentaje de la pared celular (Fig. 6).

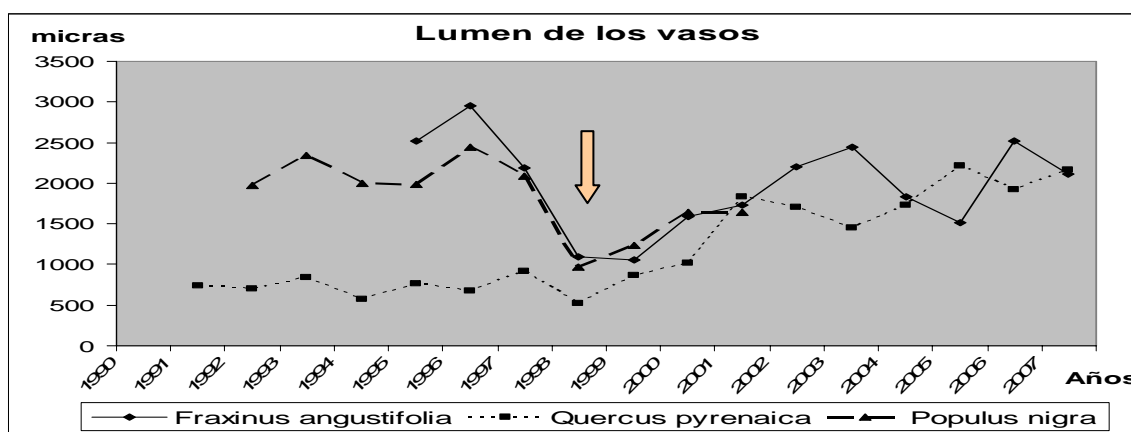


Fig. 6. Variación en 1998 de los valores del área de los vasos en tres especies frondosas.

***Salix atrocinerea*:** En este caso, la avenida extraordinaria del 1997 arrasó la vegetación (fundamentalmente salicáceas) más próxima al canal, impidiendo encontrar ejemplares adultos dañados. Sin embargo, en las escasas muestras estudiadas se observó una disminución en el área de las células de la madera temprana.

4. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Tras definir y contrastar los parámetros anatómicos útiles para detectar procesos de la naturaleza estudiada, los siguientes pasos a desarrollar en Venero Claro consistirán en llevar a cabo un muestreo completo y dirigido de la vegetación para detectar las anomalías descritas y asociarlas, con significación estadística, a eventos torrenciales. Para ello se diseñará una estrategia de muestreo basada en la interacción del mapa de vegetación y geomorfológico de detalle realizado para tal fin. Por otro lado, la obtención de datos topográficos detallados con métodos clásicos (Estación total) y con métodos sofisticados (Laser Scanner) en zonas estratégicas (resaltos hidráulicos donde el flujo vaya a crítico y con abundantes indicios dendrogeomorfológicos) para intentar reconstruir el flujo circulante en 1997.

Agradecimientos

Este comunicación se encuentra dentro de la línea de difusión del proyecto del Plan Nacional I+D+i Dendro-Avenidas (CGL2007-62063/HID). Los autores quieren agradecer especialmente a Ignacio Gutiérrez y Jose Luis Galán, su inestimable ayuda durante los trabajos en campo realizados.

REFERENCIAS

- ALESTALO, J.; 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic process. *Fennia*, 105, 1-140.
- BALLESTEROS, J.; 2008. *Métodos Dendrogeomorfológicos aplicados al estudio de procesos activos: Erosión Hídrica y Avenidas Torrenciales*. DEA. Departamento de Geografía y Geología. Universidad de León. 115 pp + Anexos. Inédito.
- BALLESTEROS, J; DÍEZ-HERRERO, A; BODOQUE, J.M; LLORENTE ISIDRO, M; LAÍN HUERTA, L; Y GARCÍA MELÉNDEZ, E.; 2008 a. Metodología para la localización de cuencas torrenciales idóneas para su estudio dendrogeomorfológico. *Actas X Reunión de Geomorfología*. Cádiz 2008. En imprenta.
- BALLESTEROS, J; DÍEZ-HERRERO, A; BODOQUE, J.M; STOFFEL, M; BOLLSCHWEILER, M Y HITZ, O.; 2008 b. Caracterización de la señal anatómica en la madera de árboles afectados por avenidas torrenciales. *Actas X Reunión de Geomorfología*. Cádiz 2008. En imprenta.
- BODOQUE, J.; 2007. *Ensayos metodológicos para la cuantificación de procesos activos asociados a la hidrología de superficie en la Sierra Guadarrama*. Tesis Doctoral. Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, UCM, Madrid. 444 pp.
- BODOQUE, J.M.; DÍEZ, A.; PEDRAZA, J.; MARTÍN-DUQUE, J.F.; OLIVERA, F.; 2006. Estimación de la carga sólida en avenidas de derrubios mediante modelos geomecánicos, hidrológicos e hidráulicos combinados: Venero Claro (Ávila). En Pérez A. y López J. (Eds.), *Geomorfología y territorio*. Universidad de Santiago de Compostela. pp 483-495.
- DÍEZ, A.; 2001-2003. *Geomorfología e Hidrología fluvial del río Alberche. Modelos y SIG para la gestión de riberas*. Serie Tesis Doctorales nº 2. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España (Ministerio de Ciencia y Tecnología), Madrid, 587 pp.+ anexo + CD-ROM.
- DÍEZ-HERRERO, A.; 2008. Prevención de inundaciones. En: Chicharro, E. y Alonso, C. (Dtors.), *Manual de Gestión Medioambiental 2008*, Biblioteca Empresarial Cinco Días. Arnaiz Consultores y acuaTajo (Ministerio de Medio Ambiente), Gestión del agua, Cap. 01, 18-24.
- DÍEZ-HERRERO, A.; BALLESTEROS, J.A.; BODOQUE, J.M.; EGUÍBAR, M.A.; FERNÁNDEZ, J.A.; GÉNOVA, M.; LAÍN, L.; LLORENTE, M.; RUBIALES, J.M. Y STOFFEL, M.; 2008a. Mejoras en la estimación de la frecuencia y magnitud de avenidas torrenciales mediante técnicas dendrogeomorfológicas. *Boletín Geológico y Minero*, 118 (4).
- DÍEZ-HERRERO, A., BALLESTEROS, J. A., LLORENTE, M., BODOQUE, J. M., STOFFEL, M., EGUÍBAR, M.A., FERNÁNDEZ, J.A., GÉNOVA, M. LAÍN, L. Y RUBIALES, J.M.; 2008b. Towards a classification of dendrogeomorphological evidences and their utility in flood hazard analysis. Book *Geophysical Research Abstracts 10: 07837*. European Geosciences 2008. (Póster presentado, disponible en www.dendro-avenidas.es).
- GÉNOVA, M.; 1998. Estudio de los anillos de crecimiento y su relación con las variables meteorológicas en el pinar de Lillo (León). *Ecología*, 12: 237-250.
- SCHWEINGRUBER, F.H. 1990. *Mikroskopische Holz Anatomie*. Birmensdorf, WSL, 226 pp.
- STOFFEL, M.; 2005. *Spatio-temporal analysis of rockfall activity into forests – results from tree-ring and tree analysis*. PhD thesis. Department of Geosciences, Geography, University of Fribourg. *GeoFocus* 12, 1–188.