

REVISTA DE ARBORICULTURA

La cultura del ÁRBOL



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE ARBORICULTURA

DENDROGEOMORFOLOGÍA:

LOS ÁRBOLES COMO FUENTE DE CONOCIMIENTO DE LOS DESASTRES NATURALES

J. A. Ballesteros¹, J.M. Bodoque², A. Díez-Herrero¹

(1) Instituto Geológico y Minero de España (MCI).

(2) Universidad de Castilla-La Mancha.

1. INTRODUCCIÓN A LA DENDROGEOMORFOLOGÍA

De todos es sabido que los árboles nos aportan un sin fin de beneficios que van, desde los propios recursos explotables económicamente (forestales, agrícolas, ocio-recreativos...); hasta los más medioambientales como la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas donde se enmarcan. Menos gente conoce que los árboles nos suministran también una valiosa información acerca de la evolución climatológica de nuestro Planeta, a través de las secuencias de anillos que nos permiten identificar años secos y húmedos, cálidos y fríos, en las últimas centurias. Pero lo que muy pocas personas saben, es que, además, en esas secuencias de anillos quedan registrados algunos de los desastres naturales (inundaciones, deslizamientos, aludes, incendios, erosión de suelos, etc.) que han assolado la superficie terrestre en los últimos siglos; y que, el estudio de este archivo de los desastres naturales nos permite analizar la frecuencia y magnitud de estos eventos en el pasado, lo que es imprescindible para predecir su ocurrencia en el futuro, y mitigar sus efectos sobre los seres humanos y el medio ambiente.

La disciplina que estudia la relación entre los anillos de crecimiento de los árboles y los procesos geomorfológicos (fluviales, glaciares, gravitacionales, eólicos, volcánicos, etc.) se denomina Dendrogeomorfología. Se trata de una rama científica relativamente

reciente, sobre todo si se compara con otras subdisciplinas próximas, como la Dendroclimatología. En realidad, todas ellas derivan de la Dendrocronología, ciencia que data los anillos de crecimiento de los árboles, con el fin de caracterizar y sincronizar los cambios de índole ambiental que tienen lugar en el medio, o de datar restos arqueológicos. Los orígenes más remotos se remontan a las observaciones de Leonardo da Vinci en el tránsito entre los siglos XV y XVI, pero no es hasta inicios del siglo XX cuando Andrew E. Douglass, conocido como 'El padre de la Dendrocronología' establecen los fundamentos teóricos de esta ciencia y, en particular del principio de la datación cruzada. A pesar de ello, sus leyes y principios no se enuncian explícitamente hasta el último tercio del siglo XX (Fritts, 1976): uniformitarismo, factores limitantes, amplitud ecológica, crecimiento agregado de anillos, selección del emplazamiento, réplica, y datación cruzada.

Los primeros estudios dendrogeomorfológicos datan de la década de 1960 (La Marche, 1963), pero no es hasta unos años después, cuando aparecen las primeras publicaciones en las que se introduce ese término (Alestalo, 1971). En general se trata de aplicaciones de las técnicas dendrocronológicas al estudio de procesos erosivos de degradación de suelos, nivales (aludes de nieve), movimientos de ladera

(desprendimientos, avalanchas de rocas...) y datación de superficies.

Por lo que se refiere a la investigación dendrogeomorfológica en España, apenas existe media docena de grupos que hayan usado estas técnicas aplicadas a riesgos naturales, principalmente movimientos de ladera (caídas de rocas, deslizamientos...), aludes de nieve, avenidas torrenciales, incendios y erosión de suelos (Díez *et al.*, 2007).

2. LOS MÉTODOS DENDROGEOMORFOLÓGICOS

La aplicación de la Dendrogeomorfología al estudio de los desastres naturales históricos requiere hacer uso de una combinación e integración de técnicas y métodos procedentes, tanto del ámbito de la Dendrocronología (Botánica, Ecología, Fisiología y Anatomía Vegetal, Histología...), como de las ciencias dedicadas al estudio de la dinámica geomorfológica (Mecánica, Geotecnia, Hidrología, Hidráulica...). El uso de esta rama de la ciencia necesita del desarrollo de las etapas siguientes: a) caracterización geomorfológica; b) caracterización florística; c) muestreo de ejemplares; d) adquisición de datos topográficos detallados; e) preparación de las muestras; f) conteo y medida de la anchura de los anillos de crecimiento; g) estudio anatómico e histológico; h)

sincronización de las series y datación de anillos; i) detección y datación de eventos; j) cartografías de las áreas de peligrosidad y mapas de riesgo.

2.1. Caracterización geomorfológica

La caracterización geomorfológica de las zonas de estudio se realiza mediante métodos clásicos de cartografía y descripción de formas y depósitos,

utilizando tanto fotointerpretación de pares estereoscópicos de fotografías aéreas verticales (distintas fechas y escalas), como interpretación de la cartografía básica (morfometría, hidrografía, toponimia...) y temática (mapas geológico, geomorfológico, formaciones superficiales, procesos activos...). Ello requiere además la realización de recorridos de campo

para comprobar la cartografía, resolver zonas problemáticas, evaluar el grado de actividad de los procesos activos, y determinar la potencia y origen de las formaciones superficiales. Paralelamente se hace la necesaria caracterización geológica-litológica de las zonas, estudio del contexto climatológico y edáfico, y análisis de la dinámica hidrológica superficial y subterránea.

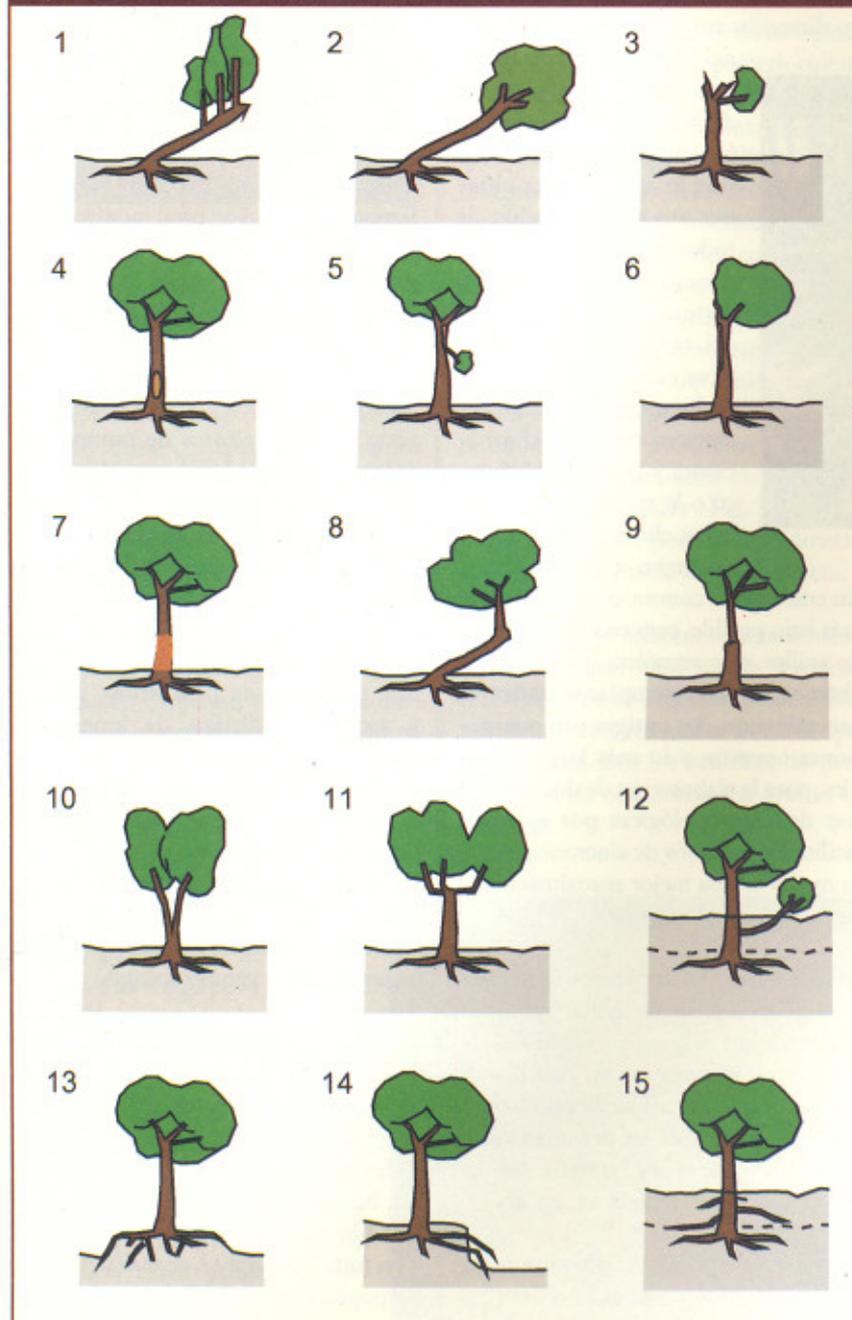
2.2. Caracterización florística

La caracterización florística de las zonas de estudio y su entorno se realiza también empleando métodos clásicos, como: la cartografía de la vegetación mediante fotointerpretación de ortofotos y fotografías aéreas verticales (distinguiendo especies, asociaciones, edades y grado de cobertura); la realización de inventarios florísticos mediante parcelas homogéneas (10x10 m) evitando cambios bruscos relacionados con el sustrato y la topografía; y los transectos o catenas, tanto longitudinales a lo largo del desarrollo altitudinal de las laderas, como transversales a las zonas estudiadas, indicando distintos parámetros cuantitativos y estructurales de la vegetación, algunos de ellos reflejando los daños en los árboles (árboles vivos y muertos, adultos o jóvenes, con heridas visibles o no, forma del tronco, distancias, y diámetro a la altura del pecho). De forma directa, una simple combinación de la información derivada de la caracterización geomorfológica y vegetal, permite poner de manifiesto las áreas de interacción del proceso estudiado con la vegetación, revelando las zonas más interesantes para llevar a cabo la fase de muestreo.

2.3. Muestreo de ejemplares

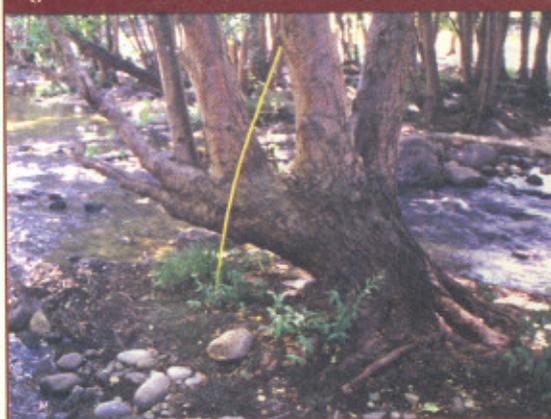
El muestreo de ejemplares individuales de árboles y arbustos comienza con una rigurosa y objetiva selección de los mismos, basada en criterios de caracteres externos susceptibles de evidenciar la interferencia entre el ejemplar y los procesos geomorfológicos. Estas evidencias externas, denominadas indicios dendrogeomorfológicos (Díez

Fig. 1



et al., 2008) (Fig. 1), pueden ser: descortezados y marcas de impacto; crecimientos de ramas en candelabro (Fig. 2); pérdida de copas y partes culminantes; erosiones, bifurcaciones e inclinaciones en los troncos; y raíces expuestas. También se muestrean ejemplares no perturbados (alejados de la zona con procesos activos), para que sirvan de patrón de comparación (series de referencia) de los ritmos de crecimiento, y discernir anomalías debidas a variabilidad climatológica, plagas y epidemias.

Fig. 2



Asimismo se procura que el muestreo se realice de forma ordenada y científica, para que su posterior tratamiento estadístico sea representativo. Además se seleccionan especies vegetales de crecimiento homogéneo, dando prioridad a aquéllas incluidas como más idóneas en los listados especializados (preferiblemente coníferas; ver idoneidad de las especies en <http://web.utk.edu/~grissino/species.htm> o Grissino-Mayer, 1993), por su adecuado reconocimiento de los anillos anuales, y escasa tendencia a la formación de anillos ausentes o múltiples.

Cada ejemplar a muestrear es convenientemente localizado (mediante receptor GPS) y siglado (mediante etiquetado unívoco), apuntándose todos los caracteres del mismo (especie, subespecie, dimensiones, estado, grado de dominancia...) y del me-

dio circundante (sustrato, pendiente, orientación de la ladera, proximidad de otros ejemplares, distancia a la zona activa...) reseñables. Posteriormente se realiza, según la gestión forestal que se haga del mismo y el elemento a estudiar (tronco, ramas, raíces...), bien una extracción de testigo cilíndrico, o bien una cuña o rodaja (utilizando sierra manual o motosierra).

En el primer caso, la extracción de las muestras de árboles en pie se realiza en dirección aproximada a la del radio del fuste, utilizando la barrena de Pressler estándar de 400 mm de longitud y 5,5 mm de diámetro interior, lo cual permite obtener una representación de todos los anillos de crecimiento formados desde la corteza hasta el interior del tronco. Habitualmente se extraen a 1,30 m del suelo, excepto en aquellos casos en que, por deformaciones y defectos del tronco o la aparición de ramas bajas, ello no sea posible y se toman a menor altura;

sin embargo es conveniente extraerla lo más bajo posible, para recopilar la serie de anillos más completa que se pueda obtener. De cada ejemplar se obtienen, generalmente, dos testigos con orientaciones opuestas y lo más largos posibles, pues la elaboración de dos secuencias dendrocronológicas por ejemplar facilita los procesos de sincronización y su media es una mejor aproximación al crecimiento real en grosor.

Las muestras se insertan tras su extracción en un soporte de madera, con una ranura de un diámetro próximo al de la muestra, y se pegan con cola blanca de carpintería, lo cual facilita un secado paulatino e impide su deformación o rotura provocadas por las tensiones internas generadas durante su secado.

También se está ensayando otras técnicas de muestreo y estudio no destruc-

tivo del árbol, como la monitorización del tronco con resistógrafos o propagación de ultrasonidos, que permitan detectar en el interior la presencia de discontinuidades en la madera, y así dirigir el muestreo a esas zonas, no siendo preciso la extracción de cuñas, y bastando la obtención de testigos con barrena en esas zonas.

2.4. Adquisición de datos topográficos detallados

En los tramos donde se localicen y muestreen ejemplares con evidencias de interferencia con procesos geomorfológicos, se realizan levantamientos topográficos detallados a escala 1:200 ó superior, utilizando una combinación de receptores GPS en modo diferencial, y estación total taquimétrica, en función de las características topográficas y de vegetación del entorno. En dichas topografías se ubicarán los ejemplares muestreados con mayor precisión. Además se realizarán perfiles longitudinales y transversales a la zona activa y registro de puntos singulares de utilidad en los modelos matemáticos (geomecánicos, hidráulicos, geofísicos...). Todo ello se introduce y gestiona desde un sistema de información geográfica, que permita un adecuado almacenamiento y análisis de la misma (obtención de MDEs, vistas 3D, esquemas de pendientes, perfiles y secciones, cálculos de longitudes, áreas y volúmenes, etc.). También se puede estudiar el empleo de adquisición por barrido láser (*laser scanning*), una moderna técnica de adquisición de información topográfica muy detallada (millones de puntos por unidad de superficie), que está empezando a ensayarse para geomorfología.

2.5. Preparación de las muestras

Las muestras recogidas en campo (testigos, cuñas o rodajas -Fig. 4) son adecuadamente preparadas para su estudio, siendo preciso su cortado, pulido, limpieza y secado (en estufa o al aire libre). Una vez secas las muestras, y en toda su longitud, se realizan cortes perpendiculares a la dirección longitu-

Fig. 4



dinal de los elementos celulares. Para ello se colocan las muestras o testigos en un tornillo de carpintero y se cortan al ras lo más finamente posible con una cuchilla enmangada bien afilada, poniendo el máximo cuidado en evitar su rotura, con lo que se consiguen visualizar de forma correcta y adecuada los anillos de crecimiento. Posteriormente se contabilizan y marcan por grupos, los anillos de los testigos y se señalan las áreas que, eventualmente, pueden presentar problemas de medición. En otras ocasiones y especies no tan idóneas para la observación, las labores de preparación conllevan también las tinciones con colorantes, como el azul de metileno o safranina.

2.6. Conteo y medida de la anchura de los anillos de crecimiento

La medición de las muestras y la obtención de series dendrocronológicas datadas se lleva a cabo empleando equipos semiautomáticos, como el conocido LINTAB asociado al programa TSAP (*Time Series Analysis and Presentation*) acoplado al ordenador, que permite una precisión en la medida de hasta 0,01 mm. Otros equipos imprescindibles son: lupa binocular, fuente de luz fría y otros programas específicos para el tratamiento de

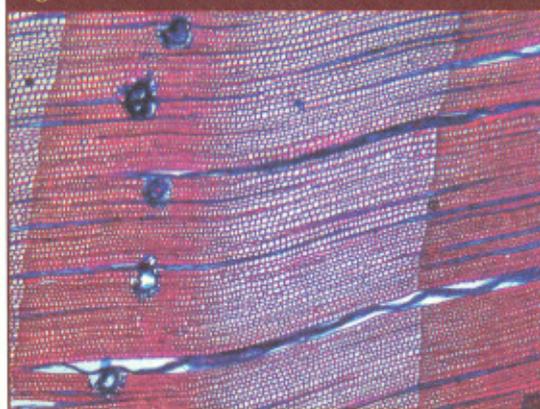
los datos dendrocronológicos, como WinDendro.

2.7. Estudio anatómico e histológico

Tras el tratamiento de las muestras mediante disolventes y tinciones (histoclear, alcohol, safranina...) y su preparación para observación microscópica (cortado de la lámina delgada con microtomo para su colocación sobre portaobjetos), se procede a su estudio en lupa binocular y microscopía óptica de luz transmitida con campo oscuro. Se adquieren imágenes microscópicas en formato digital para posteriormente procesarlas utilizando aplicaciones informáticas de tratamiento de imágenes, como Image Pro Plus. En las imágenes se observan las anomalías en los tejidos y células asociadas a eventos de desastres naturales, con especial incidencia en: anchura del anillo, número de células, tamaño de las células, volumen celular interno, espesor de la pared celular, tipo de límite madera tardía-temprana, porcentaje de madera tardía, canales resiníferos traumáticos (bandas tangenciales causadas por traumatismos, TRDs -Fig. 3), número de traqueadas por anillo, diámetro máximo de la luz de las traqueidas...

En función de diferencias anatómicas, verificadas por análisis de varianza (ADEVA) en el conjunto de la muestra, se pueden reconocer eventos que pueden mejorar los estudios de probabilidad de ocurrencia del evento en cuestión.

Fig. 3



2.8. Sincronización de las series y datación de anillos

La datación consiste en la transformación de las series de incrementos de crecimiento en secuencias dendrocronológicas, mediante la asignación precisa de fechas que asegure que cada valor se corresponde con el año en que fue formado el anillo de crecimiento. Los análisis dendrocronológicos previos a la datación requieren la existencia de ciertas pautas comunes de variación en las series de crecimiento de los árboles. El grosor de los anillos formados simultáneamente en diferentes individuos no suele presentar coincidencias en sus valores, a causa de diferencias en cuanto a la edad o en relación con muchos otros factores intrínsecos o extrínsecos, pero tampoco cuando proceden de un mismo individuo en diferentes orientaciones (por razones similares) y por ello es preciso utilizar diversas técnicas que permitan comparar las series entre sí y localizar patrones sincrónicos de crecimiento. Asimismo es preciso detectar posibles errores de conteo y medida y, sobre todo, localizar determinadas anomalías en las series de crecimiento.

Las diferentes técnicas de sincronización consisten, básicamente, en la comparación de numerosas series de crecimiento mediante análisis cualitativos y cuantitativos que pueden emplearse alternativa o simultáneamente y que, en cualquier caso, resultan ser complementarios. En la aplicación de estas técnicas se utilizan programas específicamente dendrocronológicos, entre los que destaca la aplicación COFECHA. Ello sin descartar el uso de otras herramientas estadísticas, y de observaciones comparativas más intuitivas.

Los resultados de la aplicación de las distintas técnicas de sincronización permiten la corrección de las anomalías o errores detectados en las series y la aceptación o el rechazo de éstas como representativas o coincidentes con los patrones locales de crecimiento. Su

aplicación ofrece una gran complejidad y requiere un arduo aprendizaje para obtener la necesaria experiencia que permita tomar las decisiones más adecuadas en cada problema planteado. La comparación cruzada se realiza muchas veces utilizando diferentes series o, incluso, entre series parciales, medias individuales o cronologías cercanas ya establecidas, hasta verificar la correcta datación del conjunto de las secuencias de una localidad o región. Ello permite, finalmente, elaborar un banco de datos por localidad de series dendrocronológicas individuales datadas que, posteriormente, podrá utilizarse en diferentes aplicaciones.

2.9. Detección y datación de eventos

A partir de las series de anillos sincronizados se puede proceder a la datación de los elementos anatómicos asociados a procesos geomorfológicos (*growth disturbances* –GDs–, como TRDs, heridas, tejidos de callos, maderas de reacción, reducción o aumento del crecimiento); y a la obtención de un listado o base de datos de eventos de desastres o catástrofes con fechas asignadas, indicando si se trata de fechas fijas o aproximadas, y el tipo de evidencia marca nivel máximo, mínimo o exacto. Igualmente, en función de en qué parte del anillo se sitúen las GDs (madera tardía o temprana), puede incluso inferirse la época del año (a nivel estacional y en ocasiones con precisión mensual), en la que se produjo el evento. Estas fechas, especialmente las que se repitan y sean comunes, son contrastadas con los registros históricos próximos del registro documental o sistemático (precipitaciones, caudales, etc.; Stoffel *et al.*, 2003). Con la información se calculan índices de similitud y probabilidades condicionales.

También, al objeto de calibrar los elementos utilizados para la detección de eventos y su datación, se utilizan los mismos métodos y fuentes de datos aplicados sobre eventos recientes bien estudiados, y de los que se conservan numerosos efectos en la vegetación.

2.10. Cartografía de las áreas de peligrosidad y mapas de riesgo

Una vez establecidos y mejorados los cuantiles de frecuencia y magnitud de los eventos catastróficos gracias a los datos dendrogeomorfológicos, se procede a su expresión cartográfica mediante la realización de mapas de peligrosidad que combinen diferentes parámetros: áreas potencialmente afectadas, parámetros físicos (tasas, profundidad, velocidad...), duración, etc. Para ello se emplean modelos matemáticos de diferente naturaleza (geomecánicos, hidráulicos, geofísicos...) dependiendo de los parámetros físicos que se intentan modelar. Del cruce de estas cartografías en el SIG con las coberturas que contienen los elementos expuestos y su vulnerabilidad, derivará un mapa de riesgo en estas zonas.

3. CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA DENDROGEOMORFOLOGÍA

Los métodos dendrogeomorfológicos anteriormente descritos en el apartado 2 han sido utilizados con profusión a lo largo de las últimas cuatro décadas para el estudio de procesos geomorfológicos, y en particular para la detección y caracterización de desastres y catástrofes. Algunos de los procesos para los que se han empleado son (Stoffel & Bollschweiler, 2008):

Erosión de suelos

Los primeros trabajos dendrogeomorfológicos no se realizaron precisamente usando los troncos de los árboles, sino las raíces, y con la finalidad de estimar tasas de erosión de suelos en California (EE.UU.; La Marche, 1963). Estos estudios utilizan raíces expuestas (que han quedado en posición subaérea parcial o totalmente), principalmente de coníferas, para estimar las tasas de rebajamiento del nivel del suelo por procesos erosivos. El cambio de patrón de crecimiento de concéntrico a excéntrico (Fig. 5), y sobre todo diver-

Fig. 5



tos cambios anatómicos a nivel celular (Bodoque *et al.*, 2005), permiten reconocer la fecha de exposición subaérea de la raíz y los distintos impulsos o fases erosivas. También se han aplicado estas técnicas al estudio de erosión en zonas litorales o costeras, tanto de estuarios como de lagos. En la península Ibérica ha sido utilizado por equipos del consorcio UCM-UCLM-IGME-UPM (Bodoque *et al.*, 2002 y 2005; Rubiales *et al.*, 2008) en el estudio de la erosión acelerada en rutas de senderismo y zonas sobrepastoreadas en el entorno del Sistema Central; y para el análisis de la erosión en barrancos y cárcavas del sureste (Vanderkerckhove, *et al.*, 2001) y la cuenca del Ebro (Saz *et al.*, 2004.) y en el sureste de la Comunidad Autónoma de Madrid (Pérez-Rodríguez *et al.*, 2007).

Avenidas torrenciales e inundaciones

Algo más reciente aún es la aplicación de los análisis dendrogeomorfológicos al estudio de los eventos ligados a la dinámica torrencial, como las corrientes de derrubios (*debris flows*) y las avenidas instantáneas o relámpago (*flash floods*), en lo que se ha venido a llamar Dendrohidrología. Los primeros trabajos con estas aplicaciones se remontan también a la década de 1960, pero no es hasta la década de 1980 cuando se estandarizan, con los estudios de Yanosky y Hupp en los EE.UU. Los

Fig. 6

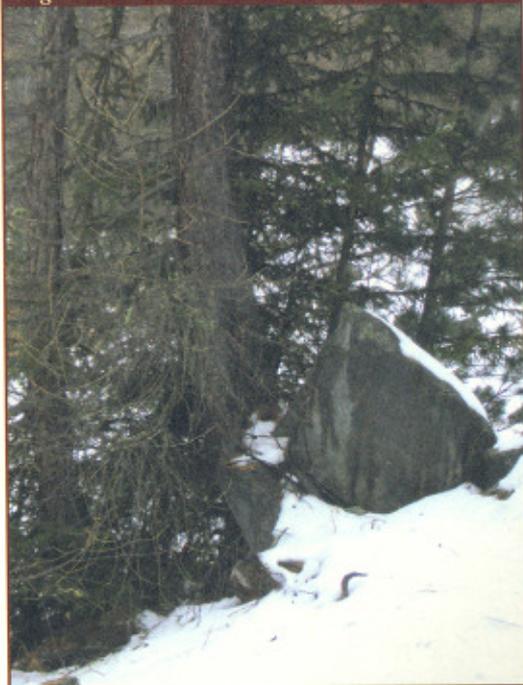


Fig. 7



únicos trabajos publicados que hasta el momento han empleado o citado el uso de técnicas dendrogeomorfológicas para el estudio de la dinámica fluvial y de las avenidas en la península Ibérica son los de Díez (2001-2003), Saz *et al.* (2004) y Díez-Herrero *et al.* (2008).

Movimientos de ladera

El uso de las técnicas dendrogeomorfológicas para los estudios de movimientos de ladera (deslizamientos, desprendimientos, avalanchas de rocas, flujos de barro...) comenzó en la

década de 1980 en Canadá y los Alpes franceses (Fig. 6). En la península Ibérica han sido llevados a cabo principalmente por personal de la Universidad Politécnica de Cataluña, en distintas zonas del Pirineo Oriental y Andorra, a lo largo de los últimos años (Corominas *et al.*, 2004; Moya y Corominas, 1996, 2004, 2005a y 2005b; Moya *et al.*, 1992).

Aludes y avalanchas de nieve

El estudio de la frecuencia y localización de aludes con técnicas dendrogeomorfológicas se inició a principios de la década de 1970 en Canadá. En la península Ibérica los principales trabajos sobre este tema han sido desarrollados por personal de la Universidad de Barcelona y el Instituto Geológico de Cataluña (Muntán *et al.*, 2004, 2005a, 2005b, 2006a y 2006b; Molina *et al.*, 2004), tanto en el Pirineo Oriental como Central (Fig. 7).

Otros procesos

De forma más restringida se ha utilizado la dendrogeomorfología para el estudio de procesos periglacia-

res (como los lóbulos de gelifluxión), procesos cársticos, o la medida de la subsidencia. También otros procesos endógenos, como el estudio de los terremotos a lo largo de zonas de falla, y las erupciones volcánicas han empleado estas técnicas (ver recopilación en Stoffel y Bollschweiler, 2008). Incluso se ha utilizado para fenómenos extraterrestres, como la caída de meteoritos, y procesos inducidos por la acción humana, como la subsidencia en zonas con minería bajo tierra o extracción de aguas subterráneas.

AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación Dendro-Avenidas (CGL2007-62063/HID) financiado por el Plan Nacional de I+D+i (Ministerio de Ciencia e Innovación). Asimismo desean agradecer la invitación efectuada por Enrique García, del Servicio de Medio Ambiente de la Diputación Provincial de Toledo, y vocal de la AEA, para publicar este artículo de divulgación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alestalo, J. (1971). Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia*, 105, 1-140.
- Bodoque, J.M., Díez, A., Martín-Duque, J.F., Gómez, M., Godfrey, A., Pedraza, J., Carrasco, R.M. y Sanz, M.A. (2002): Determinación de tasas de erosión utilizando métodos dendrocronológicos en raíces expuestas. Dos ejemplos en la vertiente septentrional de la Sierra de Guadarrama. En: E. Serrano, A. García de Celis, J.C. Guerra, C.G. Morales y M.T. Ortega (Eds.), *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, montaña y dinámica territorial*. Págs. 167-182. Sociedad Española de Geomorfología y Departamento de Geografía (Universidad de Valladolid), Valladolid.
- Bodoque, J.M., Díez-Herrero, A., Martín-Duque, J.F., Rubiales, J.M., Godfrey, A., Pedraza, J., Carrasco, R.M. y Sanz, M.A. (2005). Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: Two examples from Central Spain. *Catena*, 64, 81-102.
- Corominas J., Moya J., Masachs I., Baeza C., & Hürlimann M. (2004): Identificación de episodios de reactivación en grandes deslizamientos pirenaicos mediante técnicas dendrocronológicas. En: Benito, G. y Díez Herrero, A. (Eds.). *Riesgos Naturales y Antrópicos en Geomorfología*. VIII Reunión Nacional de Geomorfología (Vol. II), 403-411. Sociedad Española de Geomorfología y CSIC, Madrid.
- 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 (Mi-

nisterio de Ciencia y Tecnología), Madrid, 587 pp.+ anexo + CD-ROM.

Díez-Herrero, A.; Moya, J.; Corominas, J.; Bodoque, J.M.; Muntán, E.; Gutiérrez, E.; Oller, P.; Furdada, G.; Vilaplana, J.M.; Martín-Duque, J.F.; Rubiales, J.M.; Génova, M.; García, C.; Martí, G.; Ballesteros, J.A. (2007). Dendrogeomorphological studies for natural hazards research in the Iberian Peninsula (Spain and Andorra). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9, 07036.

Díez-Herrero, A.; Ballesteros, J.A.; Bodoque, J.M.; Eguibar, M.A.; Fernández, J.A.; Génova, M.; Laín, L.; Llorente, M.; Rubiales, J.M.; 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.

Fritts, H.C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press, New York, NY.

Grissino-Mayer, H.D. (1993). An updated list of species used in tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*, 53, 17-43.

La Marche, V.C. Jr. (1963). Origin and geologic significance of buttress roots of bristlecone pines, White Mountains, California. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 475-C, C149-C150.

Molina, R., Muntán, E., Andreu, L., Furdada, G., Oller, P., Gutiérrez, E., Martínez, P. y Vilaplana, J.M. (2004). Using vegetation to characterize the avalanche of Canal del Roc Roig, Vall de Núria, eastern Pyrenees, Spain. *Annals of Glaciology*, 38, 159-165.

Moya, J. and Corominas, J. (1996): Determination of the spatial and temporal activity of landslides based on tree-ring analysis. In: Senneset, K.(ed.): *Landslides*. Proceedings of 7th International Symposium on Landslides, Trondheim, vol. 1: 321-326. Moya, J. y Corominas, J. (2004). Determinación de la frecuencia de des-

prendimientos mediante la Dendrocronología. En: Benito, G. y Díez Herrero, A. (Eds.). *Riesgos Naturales y Antrópicos en Geomorfología*. VIII Reunión Nacional de Geomorfología (Vol. II), 379-387. Sociedad Española de Geomorfología y CSIC, Madrid. Moya, J. y Corominas, J. (2005a): Cálculo de la frecuencia de desprendimientos mediante la dendrocronología en el Solà d'Andorra (Andorra la Vella). *Actas del VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, Valencia, vol 2: 616-627.

Moya, J. & Corominas, J. (2005b). Assessment of rockfall frequency by dendrogeomorphological analysis. In: F. Gutiérrez, M. Gutiérrez, G. Desir, J. Guerrero, P. Lucha, C. Martín, J.M. García-Ruiz (Eds.), *Abstracts Volume, Sixth International Conference on Geomorphology*, pag. 342. Zaragoza (Spain) September 7-11, IAG-SEG-UZAR. Moya, J., Corominas, J., Gutiérrez, E. y Vilaplana, J.M. (1992): Datación de movimientos de ladera mediante la Dendrocronología. Ejemplos de aplicación en el Prepirineo Oriental. *Actas del III Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables*, La Coruña, vol 1: 27-38.

Muntán, E., Andreu, L., Oller, P., Gutiérrez, E. y Martínez, P. (2004). Dendrochronological study of the avalanche path Canal del Roc Roig: first results of the ALUDEX project in the Pyrenees. *Ann. Glaciol.*, 38, 173-179.

Muntán, E., Gutiérrez, E., Oller, P. and Martínez, P. (2005a) Dendrogeomorphological features of *Pinus uncinata* to study avalanche dynamics in the Pyrenees. *Eurodendro 2005, International Conference of Dendrochronology, 28th September - 2nd October, Viterbo, Italy, Abstract Book*, p. 30.

Muntán, E., Oller, P., Gutiérrez, E., Marturià, J. and Martínez, P. (2005b) Use of dendrogeomorphology to study avalanche frequency and extent in the Pyrenees. *Sixth International Conference on Geomorphology, September 7-11, Zaragoza, Spain, Abstracts Volume*, p. 138.

Muntán, E., Oller, P., Martínez, P., García, C., Martí, G., Gavalda, J., Xifre, D., García, A., Marturià, J. y Gutiérrez, E. (2006a). Reconstrucció d'allaus a partir de la dendrogeomorfologia als Pirineus. *Actes 2ª Jornada Tècnica de Neu i Allaus*, Institut Geològic de Catalunya, ICC y SMC, Barcelona, pp 81-83.

Muntán, E., Oller, P., Martínez, P., Martí, G., García, C., Gavalda, J., Marturià, J., Xifre de la Prada, D., García, A. and Gutiérrez, E. (2006b) Dendrogeomorphology to reconstruct snow avalanche events in the Pyrenees. *7th International Conference on Dendrochronology, Beijing, China, June 2-6, Programme and Abstract Book*. p. 95.

Pérez-Rodríguez, R., Marques, M. J., y Bienes, R. (2007). Use of dendrochronological method in *Pinus halepensis* to estimate the soil erosion in the South East of Madrid (Spain). *Sci. Total Environ.*, 378, 156-160. Rubiales, J.M.; Bodoque, J.M.; Ballesteros, J.A. & Díez-Herrero, A. (2008). Response of *Pinus sylvestris* roots to sheet-erosion exposure: an anatomical approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 223-231.

Saz, M.A., Peña, J.L., Longares, L.A., Creus, J., González-Hidalgo, J.C. (2004). Evolución reciente de fondos de valle holocenos en el sector central del Valle del Ebro a partir de series de crecimiento radial de *Tamarix canariensis*. En: J.L. Peña, L.A. Longares y M. Sánchez (Eds.), *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*, pp 315-328. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, Zaragoza.

Stoffel, M. & Bollschweiler, M. (2008). Tree-ring analysis in natural hazards research- an overview. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 187-202.

Vanderkerckhove, L., Muys, B., Poesen, J., De Weerd, B., Coppé, N. (2001). A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates. *Catena*, 45, 123-161.