



5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

# 5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

---

REF.: 5CFE01-398

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León  
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009  
ISBN: 978-84-936854-6-1  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Resultados preliminares del estudio dendrogeomorfológico de las avenidas torrenciales en la cuenca del río Pelayo (Sierra de Gredos, Ávila)

RUIZ VILLANUEVA, V.<sup>1</sup>; BODOQUE DEL POZO, J. M.<sup>2</sup>; BALLESTEROS CÁNOVAS J.A.<sup>1</sup> y DÍEZ-HERRERO, A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Ríos Rosas 23, Madrid, 28003.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Fábrica de Armas, Toledo, 45071.

### Resumen

El uso de las técnicas dendrogeomorfológicas en las cuencas torrenciales permite obtener datos de frecuencia y magnitud de eventos, complementando el registro sistemático y mejorando con ello los análisis estadísticos y la modelación hidráulica.

En este trabajo se presentan los primeros resultados para un tramo estudiado del río Pelayo, perteneciente al término municipal de Guisando, en la vertiente sur de la Sierra de Gredos.

Se han empleado métodos de análisis dendrogeomorfológico convencionales, que se han complementado con la caracterización geomorfológica de detalle mediante fotointerpretación y descripción de las formas y depósitos en campo. El muestreo de ejemplares, llevado a cabo en la primera fase del estudio, se ha realizado en aquellos árboles que mostraban indicios externos. El mismo consistió en la extracción de testigos cilíndricos en un centenar de ejemplares de *Pinus pinaster* Ait. de edades comprendidas entre unos 30 y 140 años, utilizando para tal fin una barrena Pressler estándar.

Los primeros resultados obtenidos aportan información sobre varios eventos históricos y su magnitud. La comparación de los indicios dendrogeomorfológicos con la detallada cartografía del cauce y las márgenes del torrente ha permitido correlacionar la dinámica de los procesos torrenciales con las afecciones a la vegetación. Los indicios propios de dinámicas más energéticas (árboles en candelabro, descortezados, bifurcaciones, raíces expuestas...) se localizan en los elementos geomorfológicos que concentran el flujo, como los bancos de orilla del canal principal, barras e islas laterales y centrales, canales secundarios de desbordamiento, o barras y lóbulos de derrame en la llanura aluvial. Por el contrario, aquellos otros indicios de menor energía (abrasiones en la corteza, aterramiento de fustes...) se asocian a elementos geomorfológicos con flujos menos efectivos como las márgenes de los diques naturales, o las orillas internas de curvas de meandro incipientes.

### Palabras clave

dendrogeomorfología, riada, inundación, dinámica torrencial, anillos de crecimiento.

### 1. Introducción

El análisis de la peligrosidad por avenidas e inundaciones debe realizarse combinando una serie de métodos, geológicos-geomorfológicos, históricos-paleohidrológicos e hidrológicos-hidráulicos (DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2008b). Sin embargo, en cuencas torrenciales de montaña el uso de estos métodos está condicionado a la falta de datos de partida (falta de estaciones de aforos, meteorológicas o datos históricos de eventos pasados). La aplicación de técnicas dendrogeomorfológicas en las cuencas de este tipo permite obtener datos de frecuencia y magnitud de eventos (DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2007; BALLESTEROS *et al.*, 2008a), complementando el registro sistemático, mejorando con ello los análisis estadísticos y la modelación hidráulica. Generalmente, las cuencas de montaña conservan



abundantes masas boscosas, lo que favorece la aplicación de estas técnicas. Cuando tienen lugar procesos geomorfológicos activos, como deslizamientos, caídas de rocas, aludes, corrientes de derrubios o avenidas torrenciales, con una carga sólida muy abundante, ésta puede producir perturbaciones en la vegetación que se encuentra en el área afectada por el proceso. La Dendrogeomorfología estudia la respuesta en el patrón de crecimiento y las señales dejadas en los árboles, con el objetivo de datar eventos ocurridos en el pasado, y calcular su magnitud (ALESTALO, 1971; STRUNK, 1997; SHRODER, 1978; STOFFEL and BOLLSCHWEILER, 2008).

Las principales señales que se pueden observar en los árboles afectados por las avenidas torrenciales son los llamados indicios macroscópicos (DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2007; DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2008a; DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2008b), como descortezados, erosiones, inclinación del fuste, raíces expuestas, arranque de ramas y decapitación o crecimiento en candelabro. Estas perturbaciones están relacionadas con la dinámica del proceso, y en el caso de las avenidas torrenciales, existe una correlación entre su origen y la ubicación geomorfológica en la que se encuentra el árbol afectado.

## 2. Objetivos y área de estudio

El objetivo general de este trabajo es realizar el análisis dendrogeomorfológico en un tramo del río Pelayo en el término municipal de Guisando, Ávila (Figura 1), que comprende un área afectada por avenidas torrenciales en el que además se encuentran ubicados emplazamientos recreativos especialmente vulnerables (el camping Los Galayos y el campamento Luis Manuel López).

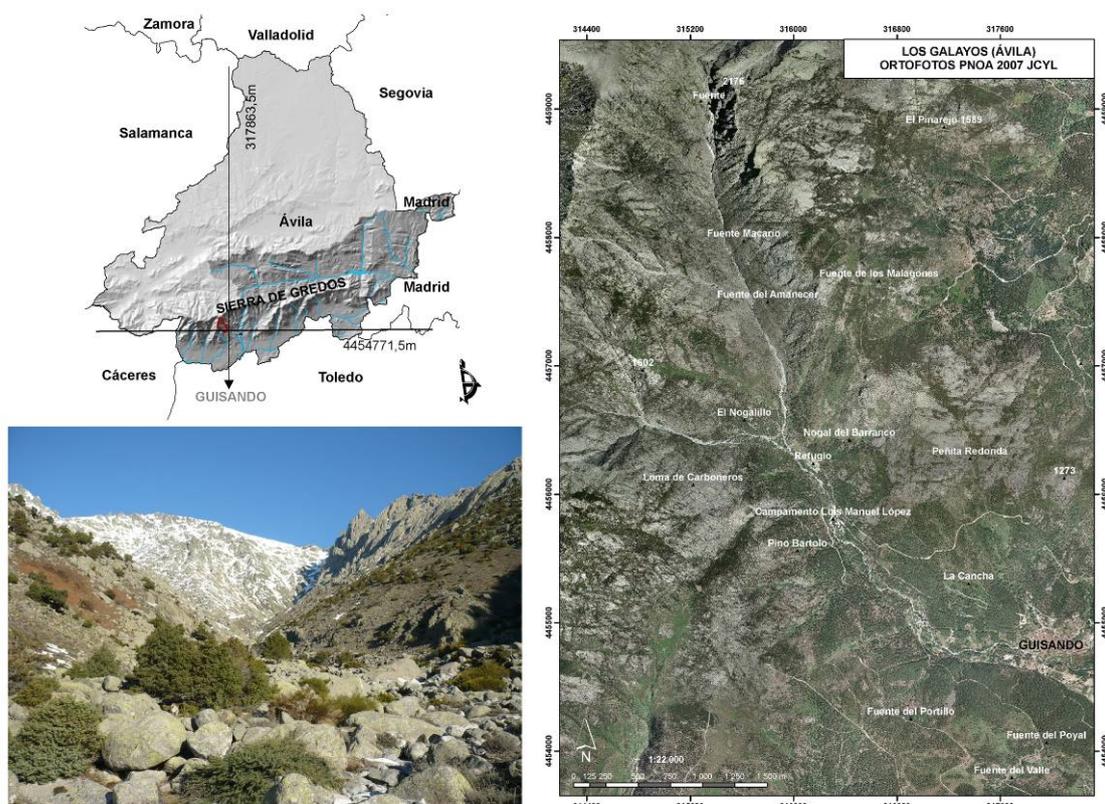


Figura 1: Localización del área de estudio. Vertiente sur de la Sierra de Gredos (Ávila), río Pelayo. En la parte inferior izquierda, una imagen de la zona alta del canal torrencial (marzo de 2008).

Con el estudio dendrogeomorfológico se pretende obtener la frecuencia de las avenidas torrenciales ocurridas en el pasado, para con ello mejorar futuros análisis de la peligrosidad de la zona.

Para ello, en esta primera etapa del estudio se han marcado los siguientes objetivos concretos:

- Caracterización geomorfológica: realizar una cartografía detallada del cauce torrencial y sus márgenes.
- Identificación, selección y estudio de los ejemplares: seleccionar unos 100 ejemplares de *P. pinaster* que muestren indicios dendrogeomorfológicos relacionados con las avenidas torrenciales, y realizar un estudio minucioso de los indicios así como de la posición geomorfológica en la que se encuentra el individuo.
- Muestreo de los ejemplares seleccionados: realizar un muestreo sistemático de los individuos seleccionados para su posterior análisis microscópico en laboratorio, con el fin de obtener los patrones de crecimiento y detectar las anomalías asociadas a los indicios dendrogeomorfológicos observados.

### 3. Metodología

La metodología empleada en este trabajo se divide por tanto en varias etapas: en primer lugar se ha realizado la caracterización geomorfológica de la zona, con especial detalle en el cauce y las orillas del tramo del río Pelayo. Mediante fotointerpretación y un exhaustivo trabajo de campo, se han cartografiado y descrito las formas y depósitos asociados. En segundo lugar, se han identificado y seleccionado aquellos árboles que presentaban indicios dendrogeomorfológicos relacionados con la acción de las avenidas torrenciales (DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2007; DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2008a), realizando una descripción detallada del indicio, y su relación con la posición geomorfológica que ocupa el árbol. En tercer lugar, se ha llevado a cabo el muestreo sistemático de los árboles, mediante el uso de barrena Pressler estándar (GRISSINO- MAYER, 2003). A continuación se describe cada paso de forma detallada.

El análisis posterior de las muestras comprende también varias etapas: se deben preparar las muestras, primero colocándolas sobre un soporte de madera (ISELI & SCHWEINGRUBER, 1989); a continuación se pulen utilizando una pulidora y varios papeles de lija de tamaños de grano decreciente; y por último se procede al conteo de los anillos y la medida de los mismos para detectar patrones de crecimiento anómalos (SCHWEINGRUBER *et al.*, 1990). Esto se realizará en el laboratorio Dendrolab.ch en la Universidad de Berna (Suiza).

#### *Caracterización geomorfológica*

La caracterización geomorfológica se ha realizado siguiendo métodos clásicos de cartografía (fisiográfica y morfométrica; MARTÍN DUQUE, 1997 y 2000) y descripción de las formas y depósitos, mediante fotointerpretación de fotografías digitales verticales (vuelo PNOA del 2007, 25 cm de resolución), además de un exhaustivo trabajo de campo.

Se ha hecho una división del tramo estudiado en tres sectores; esta división se ha basado en la existencia de elementos estructurales (puentes) o naturales fácilmente reconocibles. El primero de ellos, desde la zona alta del torrente (a unos 1300 m de altitud) donde comienza la masa boscosa de pinos hasta la confluencia con el Arroyo del Portillo, a la altura del Nogal del Barranco; el segundo sector desde ahí hasta el puente aguas arriba del Campamento Luis



Manuel López; y el tercer sector hasta el puente del Camping Los Galayos, en el Charco Verde (a unos 900 m de altitud). En total son unos 2,5 km del torrente.

La génesis de barras es el principal proceso que tiene lugar en este canal torrencial, por lo que se ha realizado una clasificación simplificada de estos depósitos basada en las propuestas por SMITH (1971 y 1974) y BLUCK (1976 y 1979).

#### *Identificación, selección y estudio de ejemplares*

La selección de los ejemplares se ha basado en criterios de caracteres externos que evidencian la interferencia entre éstos y la dinámica torrencial. De esta manera se han seleccionado 98 individuos de *P. pinaster* que mostraban uno o más indicios dendrogeomorfológicos, ubicados en el cauce o en sus cercanías. También se han seleccionado 16 ejemplares más, no afectados por avenida, para obtener una serie de referencia.

Cada individuo ha sido convenientemente localizado, siglado y marcado sobre la cartografía geomorfológica, tomando sus coordenadas mediante GPS. Además se han tomado las siguientes medidas de cada uno (Figura 2a): circunferencia y altura del árbol (utilizando un inclinómetro y un flexómetro), distancia al cauce, posición geomorfológica detallada (describiendo la faceta geomorfológica en la que se encuentra ubicado), posición social (dominancia, co-dominancia u opresión con respecto a sus vecinos) y descripción de los indicios presentes. Estas medidas se anotan en una ficha de campo, junto con un esquema detallado del ejemplar (indicando su posición y el indicio o indicios observados). Además, se tomaron numerosas fotografías que son de gran utilidad a la hora de interpretar los análisis y reconstruir los eventos.

Los principales indicios y las respuestas esperables en los patrones de crecimiento del árbol observados son las siguientes:

- Inclinación del fuste: debido al impacto de la carga sólida transportada, o por la presencia de obstáculos, el árbol se inclina. Para recuperar la verticalidad los *P. pinaster* forman madera de reacción, que genera un crecimiento excéntrico de los anillos (BRAAM *et al.*, 1987; FANTUCCI y SORRISO-VALVO, 1999; STOFFEL *et al.*, 2005).
- Golpeado por bloques: la carga sólida transportada por el torrente impacta en el ejemplar, en algunos casos el árbol crece a su alrededor, ‘absorbiéndolos’.
- Raíces expuestas o flotantes: debido a la erosión del lecho o del escarpe, el sistema radicular queda parcialmente expuesto. Esto genera en los años siguientes una limitación de absorción de nutrientes y agua, lo que hace disminuir el crecimiento en la serie de anillos (LAMARCHE, 1968; CARRARA & CARROLL, 1979; MCAULIFFE *et al.*, 2006).
- Abrasión o erosión del fuste: se produce debido al roce de la carga transportada por el torrente y la elevada velocidad del flujo de agua. La reacción es una disminución del patrón de crecimiento de los anillos (LAMARCHE, 1966; HUPP *et al.*, 1987).
- Erosión y descalzado de la base: la fuerza de la corriente o la carga sólida erosionan parte del lecho y el árbol queda descalzado; en general se observan también raíces expuestas o inclinación del fuste.
- Heridas o descortezados: en el área afectada, las células del cambium son destruidas y los anillos cambian la forma de crecimiento; desde el eje de la herida las células del cambium comienzan a crecer superponiéndose formando un callo (SCHWEINGRUBER, 1996; SACHS, 1991; LARSON, 1994; BALLESTEROS *et al.*, 2008b y 2008c).
- Depósito y enterramiento parcial. En estas circunstancias, el crecimiento de los árboles afectados se reduce debido a la limitación de acceso al agua y nutrientes (LAMARCHE,



1966). De forma excepcional, puede ocurrir que el material transportado sea rico en nutrientes y favorezca un aumento en la tasa de crecimiento (STRUNK, 1995).

- Decapitaciones, arranque de ramas, o crecimiento en candelabro: los árboles decapitados reaccionan con una disminución o paralización del crecimiento en los años siguientes. Generalmente una o varias ramas toman la dominancia creciendo en forma de candelabro (BUTLER *et al.*, 1987; SHRODER & BUTLER, 1987).

Se ha llevado a cabo un análisis cuantitativo de la relación entre la presencia de determinados indicios y la posición geomorfológica que ocupa el árbol. Y, como primera aproximación al estudio de la magnitud de los eventos torrenciales, se ha estudiado de forma cualitativa la relación entre la dinámica energética de las facetas geomorfológicas y de los indicios.

#### *Muestreo de ejemplares*

El muestreo de los 98 ejemplares se ha realizado mediante el uso de dos barrenas Pressler de 400 y 600 mm de longitud, y 5.5 mm de diámetro interno, obteniendo testigos cilíndricos de 5 mm de diámetro (Figura 2; GRISSINO- MAYER, 2003).

En función del tipo de indicio mostrado se requiere extraer dos o más testigos (BOLLSCHWEILER, 2007, STOFFEL and BOLLSCHWEILER, 2008). Por ejemplo, para poder detectar el cambio en la secuencia de anillos en árboles inclinados debido a generación de madera de compresión es necesario obtener el registro completo de acuerdo con la dirección de la inclinación. Para ello es necesario extraer dos muestras en la zona de máxima inclinación: una aguas arriba, y otra aguas abajo. En el caso de una herida o descortezado, son necesarios tres testigos, dos a ambos lados de la herida teniendo cuidado de no perder registro de anillos y cerciorándose de que la herida queda registrada en el testigo, y otra en el lado opuesto. Para el resto de indicios (raíces expuestas, descalzados etc.), se requieren dos testigos, lo más cerca de la base del fuste para obtener el registro de anillos más completo posible.



Figura 2: Izquierda: Tomando medidas de cada individuo. Derecha: Extracción de testigo con barrena Pressler.

## 4. Resultados

La comparación de los indicios dendrogeomorfológicos con la detallada cartografía del cauce y las márgenes del torrente ha permitido correlacionar la dinámica de los procesos torrenciales con las afecciones a la vegetación.

### Caracterización geomorfológica

Se ha elaborado la cartografía de detalle de unidades fisiográficas y elementos morfométricos (Figura 3). Las unidades fisiográficas se han determinado en función de la pendiente, la altitud, la geología y la vegetación y usos del suelo. Así se diferencian 4 unidades: superficie de cumbres, laderas escarpadas, laderas débilmente escarpadas y superficie tipo piedemonte.

Los elementos morfométricos se han clasificado en función de su génesis, como elementos de ladera y elementos torrenciales. Los elementos torrenciales de mayor importancia son las barras, que se han clasificado de la siguiente manera: barras medias, cuando a ambos lados hay canales de igual caudal; barras longitudinales, cuando a un lado circula el canal principal o exterior y a otro uno interior o secundario; barras laterales, cuando la barra se encuentra adosada a la orilla, donde puede haber un canal secundario de crecida; y por último *leveés*, diques laterales que no tienen canal a ambos lados.

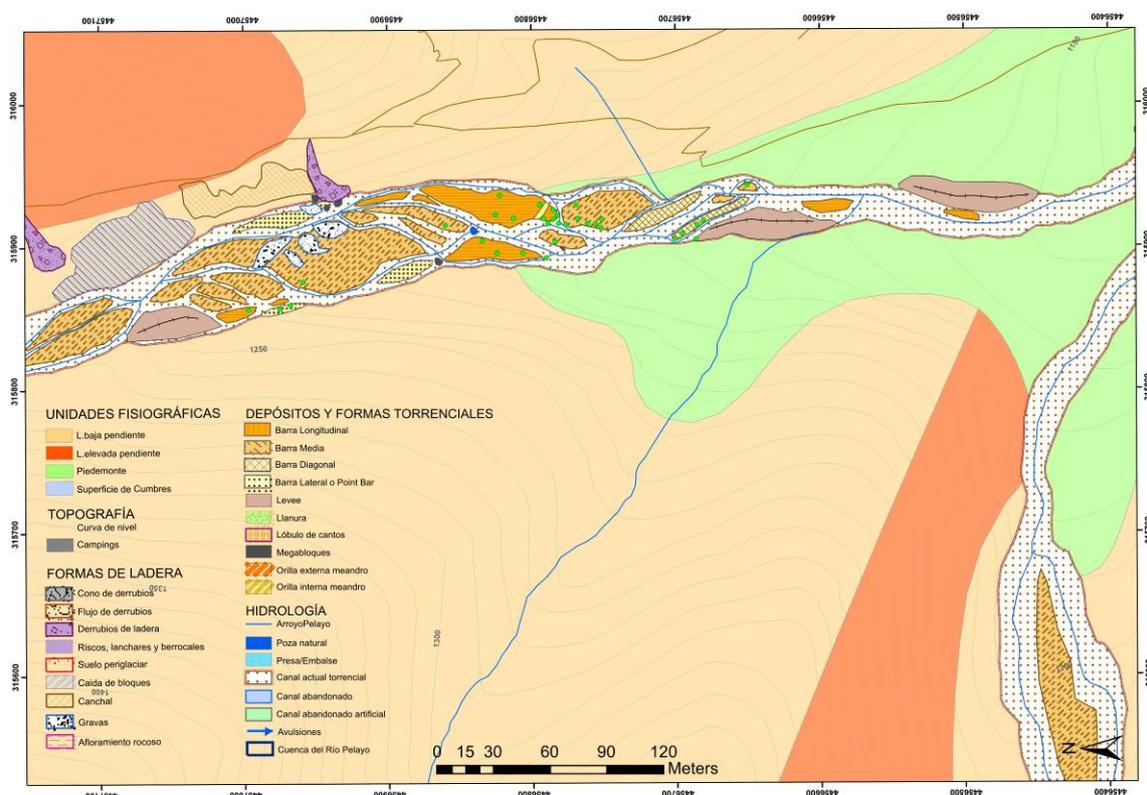


Figura 3: Esquema geomorfológico de uno de los tres sectores en los que se ha dividido la zona de estudio.

### Identificación, selección y estudio de ejemplares

La figura 4 muestra una selección de los indicios dendrogeomorfológicos más frecuentes en la zona de estudio, y la localización de los 98 ejemplares de *P. pinaster* Ait. caracterizados.

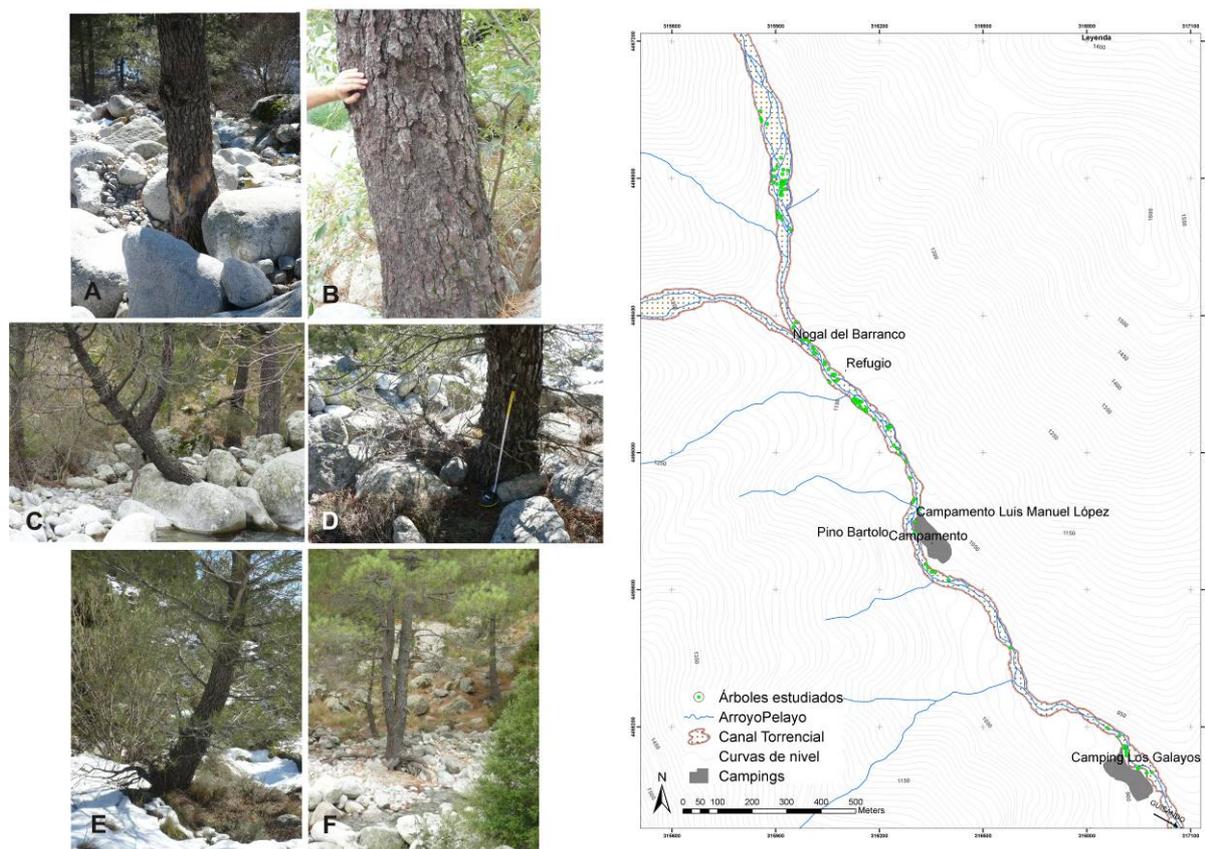


Figura 4: Izquierda: Indicios dendrogeomorfológicos más frecuentes: (A) Descortezado, (B) Abrasión, (C) Inclinación en dirección y sentido de la corriente, (D) Bloque impactado, (E) Descalzado, inclinado y raíces flotantes, (F) Raíces expuestas. Derecha: Localización en el canal torrencial de los 98 ejemplares de *P. pinaster* estudiados.

El análisis de la relación entre la posición geomorfológica que ocupa el árbol y los indicios que presenta se resume en la Tabla 1.

Tabla 1: Número de individuos que muestran un indicio dendrogeomorfológico concreto en una ubicación geomorfológica determinada. Las siglas y abreviaturas tienen el siguiente significado: **F I**: Fuste Inclinado; **R E**: Raíces Expuestas; **E /A**: Erosión o abrasión del fuste; **FE**: Fuste Enterrado; **H/D**: Herida o Descortezado; **B**: Bloques golpeando el fuste; **FD**: Fuste descalzado; **D/C**: Decapitaciones, arranque de ramas o crecimiento en candelabro; **CB**: cabeza de la barra (zona de depósito aguas arriba); **CL**: cola de la barra (zona de acumulación aguas abajo); **M**: margen lateral en barra media (a ambos lados circula una corriente de caudal similar); **ME**: Margen Exterior de barra lateral (a ese lado circula el canal principal); **MI**: Margen Interior (a ese lado circula el canal secundario); **TR**: Tramos Rectos; **CE**: Curva externa de meandro; **CI**: Curva Interna; **CONF**: Confluencia de dos canales. La posición **C-D** indica el eje del fuste en la dirección y sentido de la corriente, mientras que la posición **A-B**, es el eje perpendicular en sentido de izquierda a derecha.

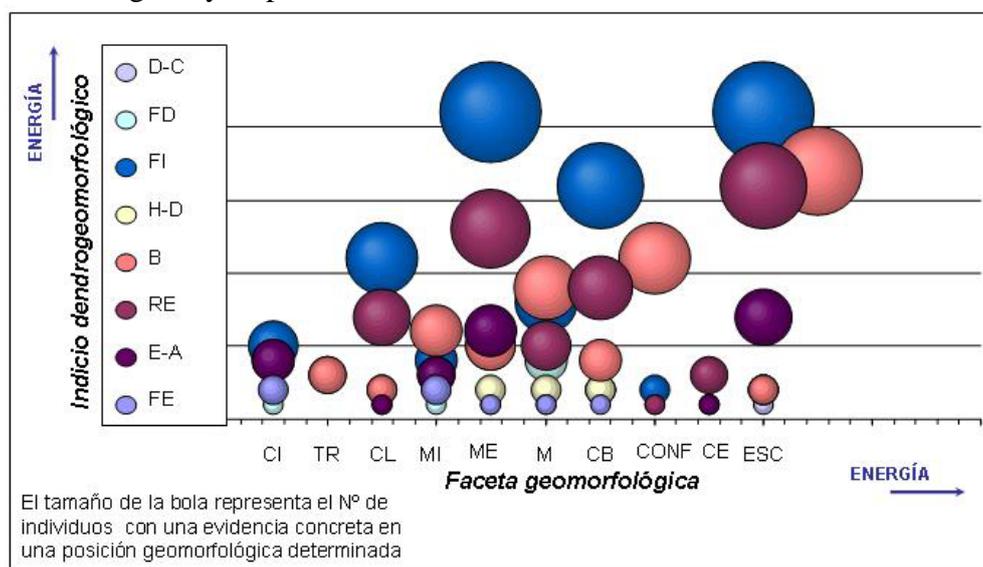
ELEMENTO GEOMORF.	TIPO	BARRAS								CANAL						ESCAPE	TOTAL	PORCENTAJE
		MEDIAS			LATERALES*					PRINCIPAL			SECUNDARIO					
INDICIO	POSICIÓN	CE	CL	M	CB	CL	ME	MI	TR	CE	CI	TR	CE	CI	CONF.			
F.I	A-B	1		4	4	1	6	1			3	1			1	6	28	
	C-D	5	1	4	6	9	15	3		1	2	2			1	15	58	
R.E	A-B			3	5	6	8	1		1	1		1		1	11	38	
	C-D	1	1	2	3		5	2			3		1			5	23	
E/A	A-B		1	1			2	1			2					1	8	
	C-D						4	2		1	2					6	15	
F.E	A-B																	
	C-D			1	1		1	2			2						7	
H/D	C			2	2		2								1	2	9	
B	C	2	1	4	9	5	9	5		1	3	2	1		1	17	60	
F.D	A-B			2		1	1	1									5	
	C-D	1		2	1	1	4				1					2	12	
D/C	-	1			1	1	1									1	5	

Se han agrupado las barras longitudinales, laterales y diagonales, en una única categoría como laterales.

En la tabla se puede observar que las posiciones en las que aparecen un mayor número de individuos con diferentes indicios dendrogeomorfológicos son (en orden decreciente): los márgenes externos de las barras laterales (longitudinales y laterales), los escarpes (y bancos de orilla), los márgenes de las barras medias, las curvas internas de meandros incipientes, y cabeza y márgenes internos de las barras laterales.

También se puede ver que los indicios observados en un número mayor de ejemplares son: inclinación del fuste, en un 93,17%; raíces expuestas o flotantes, detectadas en un 64,28%; y golpeado por bloques, observado en el 61,22%.

La figura 5 muestra una gráfica en la que se representa la relación energética entre los indicios dendrogeomorfológicos y su posición en el torrente.



*Figura 5: Gráfica que relaciona la energía de las facetas geomorfológicas y la de los indicios. En abcisas se han colocado en orden creciente de energía las diferentes facetas geomorfológicas agrupada; y en la leyenda de ordenadas los indicios estudiados, también colocados de menor a mayor energía. Las abreviaturas son las utilizadas en la Tabla 1.*

De forma global, en la gráfica se observa que el tamaño de las bolas aumenta hacia la parte derecha, denotando un número mayor de indicios dendrogeomorfológicos asociados a las facetas más energéticas. También se observa cómo en determinadas facetas y posiciones geomorfológicas, como las confluencias o tramos rectos, hay una menor diversidad de indicios asociados.

### *Muestreo de ejemplares*

Como resultado del muestreo de los 98 ejemplares se han obtenido 226 testigos cilíndricos, ya que en la mayoría ha sido necesario extraer dos o más muestras debido a la presencia de más de un indicio. Además se han muestreado los 16 árboles no afectados por avenidas torrenciales, obteniendo 28 muestras más, con las que se realizará una serie patrón de referencia y con ella eliminar anomalías debidas a variaciones climáticas, epidemias o plagas.

El análisis visual de las muestras ha revelado la existencia de varias anomalías en los patrones de crecimiento que se podrían asociar a diferentes eventos de avenidas torrenciales; sin embargo es necesario el análisis en laboratorio para datar esos posibles eventos.

## **5. Discusión**

En la cartografía geomorfológica se han diferenciado cuatro clases de barras (medias, longitudinales, diagonales y laterales). Sin embargo, a la hora de relacionar éstas con los indicios dendrogeomorfológicos se han reagrupado en dos tipos. Esta simplificación se ha realizado asumiendo que las diferentes facetas que componen los tres tipos de barras reagrupadas tienen una dinámica similar.

Los indicios dendrogeomorfológicos analizados y enumerados en la Tabla 1 se han contado de forma individual; sin embargo, la mayoría de los ejemplares presentaban dos o más indicios. En general, existe una buena relación entre el tipo de indicio o el número de éstos y la dinámica energética de la actividad torrencial.

Una dificultad encontrada a la hora de muestrear los árboles, especialmente los más longevos, es el hecho de que la mayoría de ellos han sido resinados para la extracción de miera. Esto limita el uso de los ejemplares para su estudio dendrogeomorfológico, porque desde el año del resinado hasta la actualidad, el patrón de crecimiento del árbol está alterado, impidiendo identificar el efecto de las avenidas torrenciales. Además, muchos de ellos se encuentran resinados por varios lados; esto también limita la extracción de testigos, ya que la herida del resinado también genera un callo. Sin embargo, es importante contar con la información de los años anteriores al resinado, por lo que se ha muestreado alguno de los árboles que presentaban indicios, a pesar de estar resinados.

## **6. Conclusiones**

Los indicios propios de dinámicas más energéticas (descortezados, raíces expuestas, inclinación del fuste etc.) se localizan en los elementos geomorfológicos que concentran el flujo, como los bancos de orilla y escarpe del canal principal, los márgenes externos de las barras laterales y los márgenes de las barras medias. Por el contrario, aquellos otros indicios de menor energía (como abrasiones en la corteza o aterramiento de fustes) se asocian a

elementos geomorfológicos con flujos menos efectivos. Esta buena correlación entre la geomorfología y los indicios dendrológicos permitirá en el futuro diseñar mejor los muestreos, y sacar máximo partido a los individuos estudiados.

## 7. Agradecimientos

La elaboración de este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación Dendro-Avenidas (CGL2007- 62063/HID), financiado por la Dirección General de Investigación (MEC) en el marco del Plan Nacional de I+D+I (2004-2007); Programa Nacional de Biodiversidad, Ciencias de la Tierra y Cambio Global; Subprograma de Hidrología. Los autores quieren agradecer la colaboración a las entidades que han concedido autorizaciones y permisos para la realización de los estudios: Ayuntamiento de Guisando (Ávila), Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León, y Confederación Hidrográfica del Tajo. Igualmente desean agradecer la colaboración del personal de la Casa del Parque El Risquillo (Guisando), a los celadores medioambientales de la Comarca de Arenas de San Pedro y Guisando, y al personal del laboratorio Dendrolab.ch de la Universidad de Berna (Suiza).

## 8. Bibliografía

ALESTALO, J.; 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia*, 105, 1-140.

BALLESTEROS, J.A.; BODOQUE, J.M. y DÍEZ-HERRERO, A.; 2008a. Dendrogeomorfología: los árboles como fuente de conocimiento de los desastres naturales. *La Cultura del Árbol, Revista de Arboricultura*, 52 (octubre 2008), 4-10.

BALLESTEROS, J.A.; DÍEZ-HERRERO, A.; BODOQUE, J.M.; STOFFEL, M.; BOLLSCHWEILER, M. y HITZ, O.; 2008b. Caracterización de la señal anatómica en la madera de árboles afectados por avenidas torrenciales. En: BENAVENTE, J. y GRACIA, F.J. (Eds.), *Trabajos de Geomorfología en España, 2006-2008*, X Reunión Nacional de Geomorfología, SEG y Universidad de Cádiz, Cádiz, 191-194.

BALLESTEROS, J.A.; STOFFEL, M.; BOLLSCHWEILER, M.; HITZ, O.; DÍEZ-HERRERO, A.; BODOQUE, J.M.; LLORENTE, M.; LAÍN, L.; RUBIALES, J.M.; GÉNOVA, M.M.; FERNÁNDEZ, J.A.; EGUÍBAR, M.A.; 2008c. Wood anatomy of debris-flood scars in broadleaved tree species of central Spain. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-07741.

BLUCK, B.J.; 1974. Structure and directional properties of some valley sandur deposits in southern Iceland, *Sedimentology* 21, 533–544.

BLUCK, B.J.; 1979. Structure of coarse grained braided stream alluvium, *Trans. R. Soc. Edinb.* 70, 181–221.

BOLLSCHWEILER, M.; 2007. Spatial and temporal occurrence of past debris flows in the Valais Alps – results from tree-ring analysis, *Geo-Focus*, 20, 182 pp.

BRAAM, R. R., WEISS, E. E. J, BURROUGH, P. A.; 1987. Spatial and temporal analysis of mass movement using dendrochronology. *Catena* 14, 573–584.

BUTLER, D.R., MALANSON, G.M., AND OELFKE, J.G.; 1987. Tree-ring analysis and natural hazard chronologies: minimum sample sizes and index values, *Prof. Geogr.*, 39, 41–47.

CARRARA, P. E. AND CARROLL, T. R.(1979. The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance Basin, Colorado, *Earth Surf. Process.*, 4, 307–317.

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.; 2007. Mejoras en la estimación de la frecuencia y magnitud de avenidas torrenciales mediante técnicas dendrogeomorfológicas. *Boletín Geológico y Minero*, 118 (4), 789-802.

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.; 2008a. Towards a classification of dendrogeomorphological evidences and their utility in flood hazard analysis. *Geophysical Research Abstracts* 10: 07837

DÍEZ-HERRERO, A.; LAIN-HUERTA, L. y LLORENTE-ISIDRO, M.; 2008b. *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración.* Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia nº 1, 190 págs., Madrid.

FANTUCCI, R. AND SORRISO-VALVO, M. (1999. Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy), *Geomorphology*, 30, 165–174,.

FRITTS, H.C.; 1976. Tree rings and climate. *Academic Press*, New York, 567 pp.

GRISSINO-MAYER, H. D.; 2003. A manual and tutorial for the proper use of an increment borer, *Tree-Ring Res.*, 59, 63–79.

HUPP, C. R., OSTERKAMP, W. R., AND THORNTON, J. L.;1987. Dendrogeomorphic evidence and dating of recent debris flows on Mount Shasta, northern California. U.S., *Geol. Surv. Prof. Pap.*, 1396B, 1–39.

ISELI, M. and SCHWEINGRUBER, F. H.; 1989. Sichtbarmachen von Jahrringen für dendrochronologische Untersuchungen. *Dendrochronologia* 4,145-157.

LAMARCHE, V. C.; 1966. An 800-year history of stream erosion as indicated by botanical evidence, U.S. *Geol. Surv. Prof. Pap.* 550D, 83–86.

LAMARCHE, V. C.; 1968. Rates of slope degradation as determined from botanical evidence, White Mountains, California. U.S. *Geol. Surv. Prof. Pap.*, 352-I..

LARSON, P. R.; 1994. *The vascular cambium.* Development and structure, Springer, Berlin, 725 pp.

MARTÍN DUQUE, J.F; 1997. La geomorfología en los estudios del medio físico y planificación territorial. *Tesis Doctoral.* Facultad de Ciencias Geológicas. UCM.



MARTÍN DUQUE, J.F.; 2000. La información geomorfológica en el contexto de los inventarios ambientales. Mapas fisiográficos para la gestión territorial. *Bol. R.Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.)* 96 1-2: 33-46.

MCAULIFFE, J. R., SCUDERI, L. A. AND MCFADDEN, L. D.; 2006. Tree-ring record of hillslope erosion and valley floor dynamics: Landscape responses to climate variation during the last 400yr in the Colorado Plateau, northeastern Arizona. *Glob. Planet. Change*, 50, 184–201.

SACHS, T.; 1991. *Pattern formation in plant tissue*. Cambridge University Press, 246 pp., Cambridge.

SCHWEINGRUBER, F. H.; 1996. *Tree rings and environment, Dendroecology*, Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 609 pp.

SCHWEINGRUBER, F. H., ECKSTEIN, D., SERRE-BACHET, F., BRÄKER, O. U.; 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8, 9-39.

SHRODER, J. F.; 1978. Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah, *Quat. Res.*, 9, 168–185.

SHRODER, J. F. AND BUTLER, D. R.; 1987. Tree-ring analysis in the earth sciences. In: Jacoby, G. C. and Hornbeck, J. W (eds.), *Proc. Int.Symp. "Ecological Aspects of Tree-Ring Analysis"*, Lamont Doherty Geological Observatory, 186–212.

SMITH, N.D.; 1971. Transverse bars and braiding in the lower Platte River, Nebraska, *Geol. Soc. Amer. Bull.* 82, pp. 3407–3420.

SMITH, N.D.; 1974. Sedimentology and bar formation in the upper Kicking Horse River, a braided outwash stream, *J. Geol.* 82, pp. 205–223.

STOFFEL, M. and BOLLSCHWEILER, M.; 2008. Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 187–202.

STOFFEL, M., LIÈVRE, I., CONUS, D., GRICHTING, M.A., RAETZO, H., GÄRTNER, H. W., MONBARON, M.; 2005. 400 years of debris-flow activity and triggering weather conditions: Ritigraben, Valais, Switzerland. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 37, 387-395.

STRUNK, H.; 1995. Dendrogeomorphologische Methoden zur Ermittlung der Murfrequenz und Beispiele ihrer Anwendung. *Theorie und Forschung*, S. Roderer, Regensburg.

STRUNK, H.; 1997. Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods, *Catena*, 31, 137–151.

YANOSKY, T. M.; 1982. Effects of flooding upon woody vegetation along parts of the Potomac River flood plain, *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 1206.

