



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Origen, evolución y dinámica actual de cárcavas del piedemonte norte del Guadarrama. Métodos de estudio y criterios para su gestión con bases ecológicas

Autor: María Fuencisla Vicente Rodado

Institución: IE Universidad, Facultad de CC. Experimentales

E-mail: mariaf.vicente@ie.edu

Otros autores: Ana Lucía Vela, Miguel Ángel Sanz, Cristina Martín Moreno, José Francisco Martín Duque (U.C.M., Facultad de CC. Geológicas, Dpto. de Geodinámica).



RESUMEN:

La importancia económica, social y ambiental, cada vez mayor que tiene la erosión y pérdida de suelo, hace que se intente conocer cada vez mejor cómo funcionan los procesos erosivos. Cerca del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (provincia de Segovia) se observan formas erosivas en cárcavas bien desarrolladas sobre arenas silíceas del Cretácico Superior. En el presente trabajo se analiza el origen y evolución geomorfológica en tiempos históricos de estas cárcavas, a través de diferentes fuentes documentales. Así mismo, se estudian los procesos mixtos gravitacionales y de erosión hídrica que generan dichas morfologías acarcavadas a partir de distintas técnicas y se inicia su cuantificación. La interferencia de dichos fenómenos erosivos con las actividades humanas, (aterran vías de comunicación, y campos de cultivo, producen pérdidas de suelo en zonas agrícolas y forestales, e incrementan la turbidez de los cursos fluviales próximos), ha aumentado el interés por determinar cuál ha sido su origen, su evolución y cómo es su dinámica actual. Este estudio ha puesto de manifiesto que el origen y evolución de muchas cárcavas de esta zona parece estar relacionado con la acción antrópica a través del tiempo. Sin embargo, no se ha podido confirmar como causa única y común para todas ellas. Su evolución geomorfológica tiende al aumento del tamaño de las cabeceras y bordes de las cárcavas, (tasas de retroceso de hasta 78 cm/año). Estos procesos activos coexisten con la colonización de la vegetación sobre todo arbórea y arbustiva en su interior, de forma espontánea (aumento de la cubierta vegetal en más del 50 %), que contribuye a la fijación del terreno al mismo tiempo que disminuye el área de máxima actividad erosiva dentro de ellas. Los primeros datos obtenidos en la cuantificación de la dinámica actual de dichos procesos, apuntan a unas tasas de erosión y producción de sedimentos muy elevados (hasta 92 t/ha para un evento de precipitación) ya que sobre las laderas arenosas se produce escorrentía y erosión hídrica de manera casi instantánea. El estudio detallado de estas formas erosivas acarcavadas ayudará en una adecuada planificación y gestión del suelo en esta zona que en parte está incluida en el futuro parque Regional de Guadarrama. Los resultados obtenidos en este estudio, pueden permitir, además, optimizar la restauración ecológica de canteras sobre esos mismos materiales.



1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (provincia de Segovia), aparecen toda una serie de cárcavas ‘de ladera’ (*slope gullies*; CAMPBELL, 1989) bien desarrolladas (DÍEZ y MARTÍN DUQUE, 2005), sobre arenas silíceas de edad Cretácico Superior (en el entorno del valle del río Cega, comarca de Pedraza).

Las cárcavas (*gullies*) son pequeños valles de paredes y cabeceras verticalizadas y perfiles longitudinales de pendiente elevada, que transmiten flujos efímeros y están sujetos a una intensa erosión hídrica (LUCÍA *et al.*, 2008).

Aunque su origen y evolución temporal no se conocen bien aún, son formas del terreno que aparecen asociadas a litologías fácilmente erosionables, como son en este caso las arenas silíceas, y a un régimen climático semiárido. La mayoría de estas cárcavas parecen ser el resultado de procesos erosivos acelerados por actividades humanas históricas de minería, cantería y sobrepastoreo, las cuales habrían tenido lugar en estas comarcas a partir de la Alta Edad Media, y de manera muy intensa desde el siglo XVIII (MORENO, 1989; DÍEZ Y MARTÍN DUQUE, 2005).

En el marco del proyecto de investigación CGL2006-07207 se están llevando a cabo estudios con el objetivo de conocer el origen, la evolución en tiempos históricos y la actividad geomorfológica de estas cárcavas y barrancos. Para determinar las causas del origen y evolución geomorfológica se está utilizando una metodología basada en el uso de diferentes fuentes documentales mientras que para caracterizar su actividad geomorfológica actual e iniciar su cuantificación se siguen metodologías que se ajustan a la naturaleza de cada uno de los procesos que son objeto de medida.

El estudio del origen, la evolución y la dinámica geomorfológica de estas cárcavas contribuirá a comprender mejor su funcionamiento detallado así como sus posibles efectos sobre las actividades humanas y por tanto ayudará en una adecuada planificación y gestión del uso del suelo en esta zona. Estos efectos, si bien no presentan aquí una alta peligrosidad, sí que afectan de manera frecuente a la actividad económica, social y ambiental. Además, el análisis funcional de dichas cárcavas sobre arenas silíceas ofrece un extraordinario interés por varios motivos: (a) el desarrollo de cárcavas sobre este tipo de litologías es poco común a nivel mundial; (b) dado que su nivel de base local lo forman una serie de canales sobre rocas muy resistentes (ortogneises), cuyo encajamiento vertical debe ser muy bajo, su funcionamiento y evolución debería mostrar una conexión muy directa con los factores ambientales, de manera que su estudio puede servir como indicador de posibles cambios ambientales; (c) la información sobre su dinámica geomorfológica puede utilizarse para enfocar de manera más eficiente la restauración ecológica de terrenos afectados por la minería de ladera sobre esos mismos materiales, en tanto existe una gran similitud entre el funcionamiento geomorfológico de estas cárcavas y el de los frentes de explotación sin restaurar sobre las mismas litologías (MARTÍN DUQUE *et al.*, 1998);(e) también puede ser útil y relevante para la gestión ambiental del futuro Parque Regional de Guadarrama;(f) la importancia que en general tienen los estudios sobre erosión y pérdida de suelo.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se sitúa en el borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama, en el sector oriental del Sistema Central (provincia de Segovia, Comunidad Autónoma de



Fig. 1.- Ubicación del área de estudio. Modificado de LUCÍA *et al.*, 2008.

Castilla y León). Concretamente, en la zona de contacto, o inicio, de la cuenca sedimentaria del Duero (Fig. 1), donde la altitud media es de unos 1096 metros sobre el nivel del mar. Esta comarca está atravesada por el río Cega, en los alrededores de la villa de Pedraza, entre las poblaciones de Caballar, Torre Val de San Pedro, Matabuena, Orejana y Valleruela de Pedraza.

Sobre las características climáticas, geológicas, y de suelos de la zona, se remite al lector al artículo realizado y presentado por LUCÍA *et al.*, 2008, que incluye íntegramente esta zona de estudio.

Las cárcavas de la zona se desarrollan sobre sedimentos de arenas silíceas, arcillas y gravas, correspondientes a las Formaciones Arenas de Utrillas, Arenas y Arcillas de Castro de Fuentidueña, y Arenas y Arcillas de Segovia, de edades Cenomaniense, Turoniense y Coniaciense respectivamente (ITGE, 1991; IGME, 2007). Estos depósitos detríticos forman una secuencia deposicional de aproximadamente 70 metros de espesor. Las arenas están constituidas principalmente por cuarzo (86 %, en la Fm. Arenas y arcillas de Segovia, IGME, 2007), con menor proporción de feldespato (11%), micas (transformadas a caolín y esmectita) y fragmentos de roca. El relieve es en esta zona típicamente estructural con formas en cuevas y mesas. Las monteras que culminan estos paisajes tabulares están constituidas por rocas carbonáticas. Las laderas de las cuevas y mesas tienen una pendiente media de 20°, una morfología convexo-cóncava, y en su mayoría se encuentran recubiertas por depósitos coluvionares. Éstos, proceden de la erosión de las rocas carbonáticas culminantes, y están constituidos por bloques y cantos de caliza englobados en una matriz areno-arcillosa. Allí donde se desarrollan las cárcavas, el coluvión ha sido erosionado, quedando al descubierto los materiales detríticos de las facies Utrillas (LUCÍA *et al.*, 2008).

Por último, desde el punto de vista de la vegetación, la zona de estudio muestra una



cubierta vegetal constituida por una formación mixta de encinar y sabinar. El uso que el hombre ha hecho del suelo en esta comarca ha sido muy intensivo desde hace al menos 2000 años, dando lugar a una notable modificación de los ecosistemas y del paisaje (MORENO, 1989). Esos usos van desde la utilización más antigua de los recursos del monte y del bosque, hasta aprovechamientos mineros para extraer arenas silíceas (areneras) y arcillas de las laderas (antiguas *tejas*, MORENO, 1989, MÍNGUEZ, 1999, GONZÁLEZ, 1992) y roca caliza de las culminaciones de mesas y cuevas (MORENO, 1989).

Así mismo, el carboneo, pastoreo y los cultivos han sido importantes, dando lugar a una progresiva deforestación (MORENO, 1989). En la actualidad estos usos del suelo han perdido importancia y las laderas se encuentran ahora cubiertas por una masa forestal mixta de encinas y sabinas, con el bosque de sabinas en un claro proceso de recuperación. El interior de las cárcavas se encuentra, en general, poco provisto de vegetación arbórea, salvo algunos ejemplares aislados de pinos, -que ven claramente favorecida su existencia por el sustrato arenoso-, sabinas y encinas.

3. METODOLOGÍA, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los procedimientos que se utilizan en Geomorfología para la obtención, elaboración y análisis de datos (PEDRAZA *et al.*, 1996) son diversos y en el presente trabajo se han usado varios de ellos. Para determinar el origen y la evolución histórica de las cárcavas se han seguido técnicas de trabajo basadas en documentación histórica, cartográfica y fotográfica. Para identificar y cuantificar los procesos geomorfológicos activos que operan en el interior de las cárcavas se ha llevado a cabo un exhaustivo trabajo de identificación en campo así como diferentes procedimientos de medidas directas sobre el terreno o “métodos de reconocimiento” (HUDSON, 1997), que bien calculan el material perdido en un lugar o bien calculan el material acumulado en otro.

3.1. Documentación histórica

3.1.1. Información *vox populi*

Descripción del método

Este método se basa en intentar reconstruir la historia geomorfológica reciente de las cárcavas a través de los relatos facilitados por diversos habitantes de los pueblos de la zona de estudio. Los relatos a menudo dan información sobre usos del suelo, costumbres e indirectamente proporcionan información sobre cómo se ha ido modificando el paisaje.

Resultados

No existen testimonios de variaciones significativas en las cárcavas en el periodo de vida de personas ancianas del lugar.

Se han recogido testimonios de tormentas convectivas locales muy intensas, localizadas a principios de septiembre (sobre todo) y en junio.

Discusión

Método poco fiable, pero aporta información cualitativa de interés.

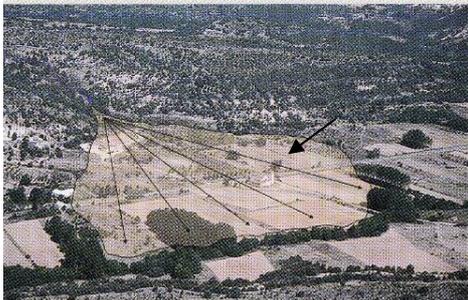
3.1.2. Revisión bibliográfica

Descripción del método

La revisión bibliográfica sobre la zona de estudio, es un método utilizado habitualmente en muchos trabajos actuales. De la consulta de varios libros se intenta obtener toda la información posible que ya hayan descubierto y recopilado otros autores. A veces tan sólo son útiles unas líneas de información, otras veces alguna referencia a otra bibliografía o la adquisición de fotografías analógicas realizadas hace años.

Resultados

De los más de 15 documentos bibliográficos sobre la comarca consultados, se ha llegado a los siguientes resultados: la actividad erosiva y sedimentaria fue importante a partir del siglo XII, pero se intensificó mucho a partir del XVIII (MORENO, 1989). Se recogen así mismo relatos sobre eventos extremos y sus consecuencias y numerosa información sobre la actividad de las cárcavas en diferentes épocas que genera interferencias con las actividades humanas (ver fotografía 1). El mismo autor incluso señala algunas tasas de pérdida de suelo: *“Mientras en las cuestas arenosas las pérdidas de suelo se sitúan entre 12 y 19 tm/Ha/año, según se trate de eriales o viñedos, y en el piedemonte entre 4 y 13 tm/Ha/año, según sea en pastizales o en terreno cubierto sólo por matorrales, en las áreas karstificadas estos arrastres son mucho menores.”* *“Así se explica el desarrollo y erosión regresiva de algunas cárcavas allí donde la acción humana se hace patente”*.



Fotografía 1. Ermita de las Vegas. Hasta comienzos de la década de los 70, la iglesia estuvo “enterrada” unos 95-105 cm bajo el nivel del suelo. La acumulación de materiales procedentes de la erosión de la ladera inmediata situada al Oeste, fue la responsable del aparente hundimiento de la ermita. Texto tomado de MORENO, 1989. Imagen tomada de Díez & MARTÍN DUQUE, 2005.

Discusión

Los datos apuntan a un posible origen antrópico de estas cárcavas y a su funcionamiento intenso relacionado con las acciones humanas.

3.2. Documentación cartográfica

3.2.1. Información cartográfica y toponímica

Descripción del método

En este método se han observado y comparado mapas de distintas fechas con el fin de detectar variaciones en el relieve observadas al realizar dichos mapas.

Por otro lado también se ha analizado en detalle la toponimia reflejada en ellos pues ésta ofrece información muy valiosa no sólo de conocimientos geológicos básicos como sugieren GARCÍA & SALCEDO, 2008, sino también con respecto a usos del suelo que pueden denotar movimientos de tierras o sobre geomorfología en general.

La cartografía consultada ha sido la siguiente:

Mapas elaborados por el Instituto Geográfico Nacional, escala 1:25.000 hojas 458-I, 458-II y 458-III, 2ª edición 1999, vuelo fotogramétrico del año 1997; 457-II y 457-IV 2ª edición 2002, vuelo fotogramétrico del año 1997; 430-IV, 431-III y 431-IV, 2ª edición 2002, vuelo fotogramétrico del año 1998. Mapas del Instituto Geográfico Nacional, escala 1:50.000 hojas 457, datos de 1940 y editado en 1981; hoja 458, datos de 1943 y editado en 1981. Planos catastrales de 1941 del término de Pedraza y de 1990 del término de Arahuetes.

Resultados

Sobre variaciones del relieve no se han obtenido datos significativos probablemente debido al dibujo redondeado de las curvas de nivel en los mapas más antiguos y a la escala utilizada que da lugar a pocos detalles (ver fig. 2 y 3).

Con respecto a la toponimia, varios términos reflejan las formas acarcavadas del paisaje, lo que supone su existencia, al menos, desde tiempos históricos.

Otros indican cambios en los usos del suelo y movimientos de tierras pero no se puede precisar si fueron anteriores o posteriores a las cárcavas (ver fig. 2, términos como *tejar* o *El Arenal*).

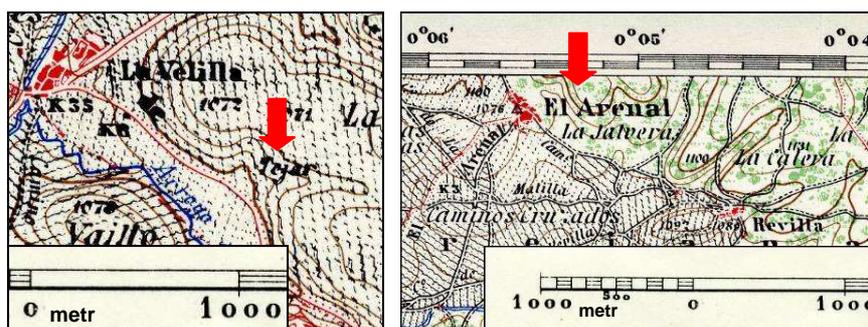


Fig.2. Mapa topográfico 458 de escala



Fig.3. Mapa topográfico 458-I de escala 1:25.000,

Discusión

Método poco preciso y fiable, que se debe utilizar con cautela.



3.2.2. Archivos y documentación catastral sobre actividades que han supuesto movimiento de tierras en la comarca

⇒ **Actividades mineras y extractivas**

Descripción del método

Trata de recoger información y datos sobre actividades mineras y extractivas que hayan supuesto movimientos de tierra y que a su vez hayan podido afectar en la formación y/o variación morfológica de las cárcavas. Para ello se han seguido varias líneas de investigación, por un lado se lleva a cabo la consulta del registro que el catastro minero tiene en Segovia, (dependiente de la Junta de Castilla y León).

Por otro, se procede a la recopilación de datos a partir de bibliografía específica de la zona, del Mapa Geológico y Minero de Castilla y León, (escala 1:400.000, año 1997), a través de topónimos de los mapas del Instituto Geográfico Nacional (1999 y 2002), a la observación en campo de los huecos mineros actuales (inventario de cárcavas en campo, LUCÍA *et al.*, 2008) y de los testimonios de habitantes de las localidades de la zona.

Resultados

Los datos disponibles, en el catastro minero, son todos posteriores al año 1944 y en concreto a partir del 1978 pues fue en esta fecha cuando empezaron a gestionar el catastro como en la actualidad. En este momento está en proceso de revisión, actualización e informatización. De los expedientes archivados en dicho catastro minero, se ha recopilado un registro de 11 canteras cuyo recurso a explotar es de arenas y/o caliza que están o han estado en explotación en la zona de estudio en los últimos años.

A partir del resto de fuentes documentales se han conseguido datos sobre antiguas explotaciones sobre todo de calizas en las cabeceras de algunas cárcavas.

En el inventario de cárcavas de esta zona elaborado por A. Lucía, claramente hay evidencias de cantería en la montera (extracción de calizas) de dichas cárcavas o en su interior (extracción de arenas y arcillas) en un total de 15 de las 75 cárcavas examinadas (que suponen aproximadamente un 20 % de las analizadas). *Ver fotografía 2.*

Discusión

Se han localizado numerosas explotaciones antiguas de calizas en el borde de las monteras que pudieron dar origen a algunas cárcavas (como ya apuntara MORENO, 1989). También se observan determinadas explotaciones de arenas y/o arcillas de épocas recientes (mediados del siglo XX) que en la actualidad están evolucionando a cárcavas.



Fotografía 2. Marcas de posibles frentes de explotación de pequeñas canteras abandonadas. Extracción a favor de líneas preferentes de fracturación de las calizas. La forma característica en "picos" señalada con la línea naranja se repite en numerosos puntos en los bordes superiores de las cárcavas, ya en la zona de montera de carbonatos.

⇒ **Replantaciones forestales**

Descripción del método

Recopilar datos (*atlas forestal de Castilla y León, inventario de campo, etc*), sobre repoblaciones forestales en la zona que por un lado, hayan supuesto movimientos de tierras y por tanto origen o aumento de las cárcavas. Por otro lado, en el supuesto de existir repoblación, se pretende averiguar si ésta ha generado un proceso de colonización de la vegetación en las cárcavas o si por el contrario el proceso ha tenido lugar sin ayuda del hombre, de forma natural.

Resultados

Se han encontrado escasas evidencias de repoblaciones.

Discusión

Parece que no ha habido movimientos de tierras debidos a repoblaciones forestales que hayan desencadenado la formación o el aumento de las cárcavas.

Por otro lado, la colonización de la vegetación en las cárcavas es bastante evidente, y parece que ha tenido lugar de forma espontánea, al menos en su mayoría.

3.3. Otra documentación gráfica

Comparación de fotografías analógicas y fotografías aéreas verticales geo-referenciadas de distintos años y análisis de datos a partir de técnicas SIG.

3.3.1. Secuencias fotográficas de campo

Descripción del método

A partir de fotografías antiguas recopiladas, se trata de volver a fotografiar los mismos lugares e interpretar los cambios ocurridos (intervalo de tiempo de 26-27 años).

Resultados

Es posible identificar variaciones morfológicas como resultado de procesos erosivos (ver fotografías 3 y 4).

Se están formando suelos nuevos a partir de coluviones en el interior de las cárcavas.

Es evidente la colonización de la vegetación en las laderas acarcavadas de forma espontánea (ver fotografías 5 y 6).

Discusión



Fotografía 3. Ladera acarcavada próxima a la localidad de El Arenal. Copia escaneada, facilitada por Angela Alonso, 1981. La flecha señala una raíz expuesta como referencia en ambas fotografías.



Fotografía 4. Fotografía digital, 2008. En los interfluvios interiores (círculo amarillo) se observa un mayor rebajamiento de los mismos por erosión laminar y en surcos (rills). En el interior de la cárcava se observan al menos 3 pies arbóreos que se han desarrollado espontáneamente durante estos 27 años.

Se ha comprobado cómo coexisten procesos erosivos y colonización vegetal en el interior de las cárcavas.



Fotografías 5 y 6. El Arenal. (5) Fotografía escaneada del libro de Mínguez, 1992, donde se ve al fondo una cárcava en el pueblo de El Arenal. (6) Fotografía realizada en 2008 con cámara digital y corresponde a la misma cárcava, en cuyo interior ahora se aprecia un aumento significativo de la vegetación de forma espontánea en tan sólo 16 años.



3.3.2. Secuencias de fotografías aéreas verticales

Descripción del método

A partir de fotografías aéreas verticales se ha realizado un estudio geomorfológico y paisajístico detallado de las cárcavas. Se ha cartografiado con la mayor precisión posible el borde de varias cárcavas, hasta donde la vista y la escala de la fotografía lo han permitido, como ya hicieran antes otros autores para otras zonas de España (PERES Y GARCÍA-HIDALGO, 2006; MARTÍNEZ-CASANOVAS, *et al.*, 2007; MARTÍNEZ-CASANOVAS, 2007).

Mediante el análisis y comparación de pares estereoscópicos de fotografías aéreas y ortoimágenes geo-referenciadas (PNOA, 2004) tomadas con una diferencia de tiempo de 58 años (vuelos de 1946, 1956, 1979 y 2004), se ha tratado de determinar su evolución.

En primer lugar se ha realizado una revisión exhaustiva de todas las cárcavas de la zona a partir de dichas fotografías y ortoimágenes, con el fin de localizar aquellas en las que los puntos de control (cruces de caminos, vallas, etc) fueran más claros y su morfología permitiera una aceptable digitalización. Este análisis se ha concretado para dos áreas:

ÁREA 1- PEDRAZA: varias cárcavas en la margen izquierda de la carretera que comunica La Velilla con Pedraza. Coordenadas UTM aproximadas: 431000-432000 y 4554000-4555000; hoja 458-I (Prádena), escala 1:25.000.

ÁREA 2- ARAHUETES: cárcavas en el entorno de Arahuetes, en la margen izquierda del camino que une Arahuetes con Requijada. Coordenadas UTM aproximadas: 428000-429000 y 4553000-4554000; hoja 458-I (Prádena), escala 1:25.000.

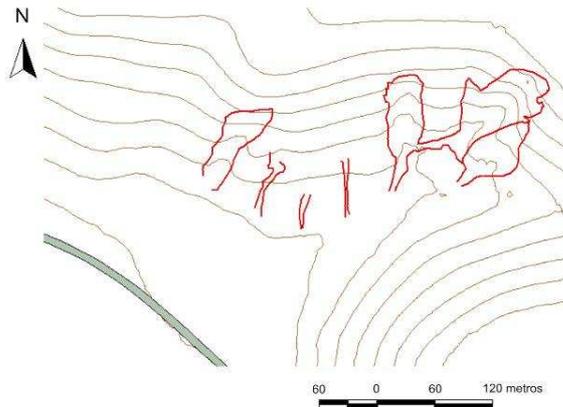
A través del programa CARTALINX se ha digitalizado el contorno de las cárcavas en cada año y las áreas claramente visibles cubiertas de vegetación también en cada año. Se han geo-referenciado todas las fotografías con las del 2004. Se han solapado y reajustado las sucesivas imágenes. El paso siguiente ha sido la transferencia y análisis de todos estos datos a un sistema de información geográfica (ARCVIEW GIS 3.2.a). Por último la presentación de los datos seleccionados en Arcview se ha realizado a través de CorelDRAW-X3.

Resultados

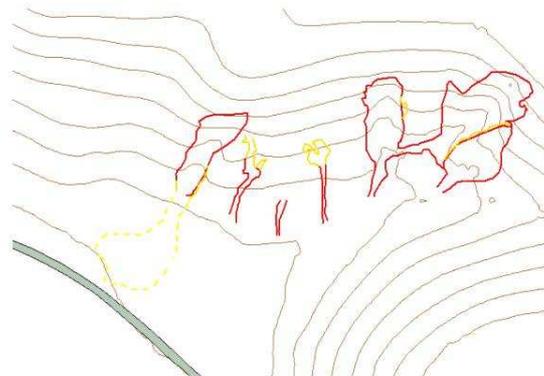
A la vista de los datos se ha estimado que en el *área 1-PEDRAZA* el total de superficie expuesta a la erosión, en el interior de las cárcavas, es de un **50 %** (10221,77 m² de un total de superficie acarcavada de 20297,84 m²). Las tasas de retroceso calculadas llegan en algunos casos hasta los **78 cm/año** (17,9 m en 23 años). La media de rebajamiento correspondería aproximadamente a **0,29 m/año**.

En el *área 2-ARAHUETES*, tan sólo un **32%** del área está sujeta a erosión hídrica y procesos gravitacionales (superficie expuesta: 10177,66 m²; superficie total acarcavada: 31703,48 m²). Las tasas máximas de retroceso de ladera en este caso alcanzan los **72 cm/año** (23,8 m en 33 años), siendo la media en estos últimos 58 años de **0,31 m/año**.

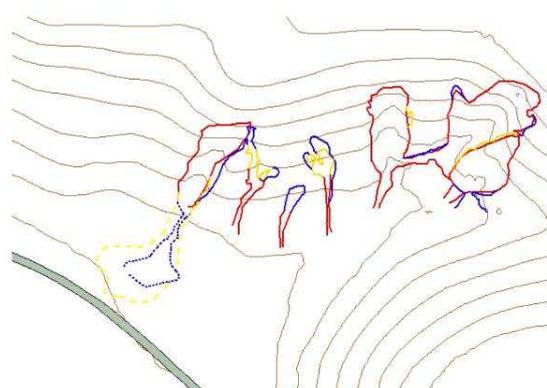
AÑO 1946



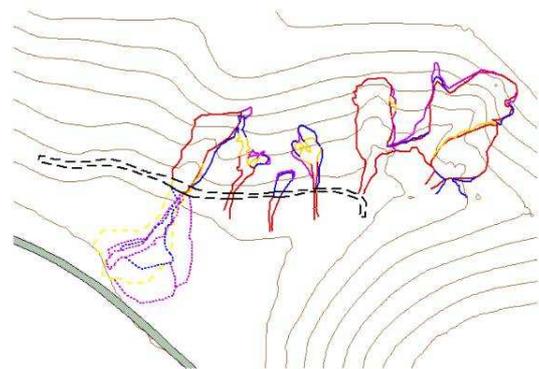
AÑO 1956



AÑO 1979



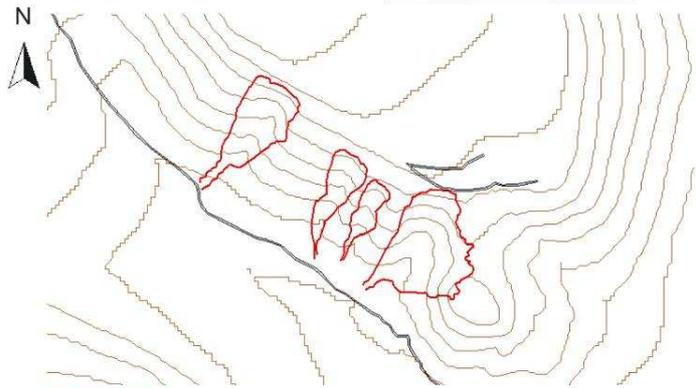
AÑO 2004



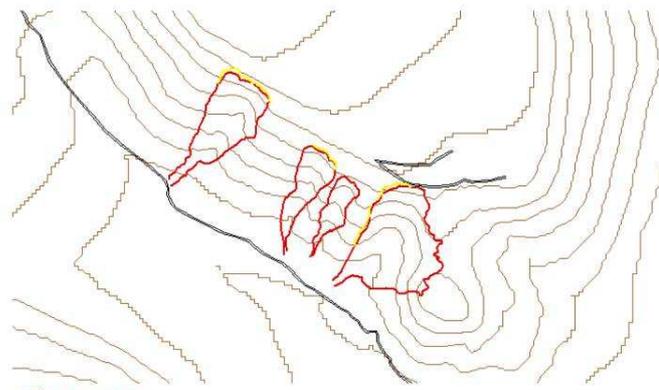
contorno de las cárcavas en el **ÁREA 1 – PEDRAZA**. Véase leyenda en página 16.



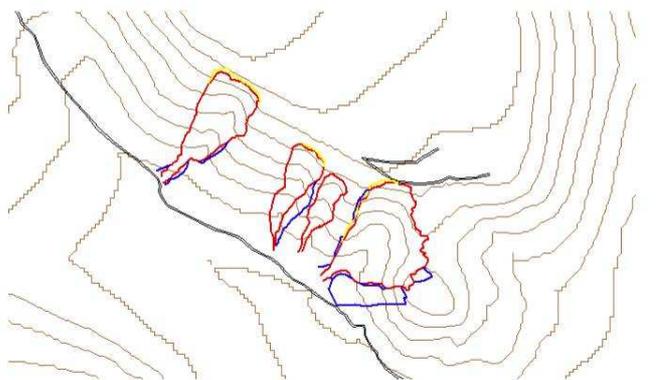
AÑO 1946



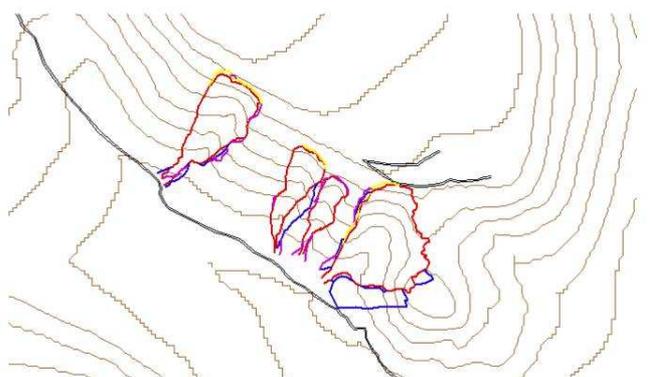
AÑO 1956



AÑO 1979



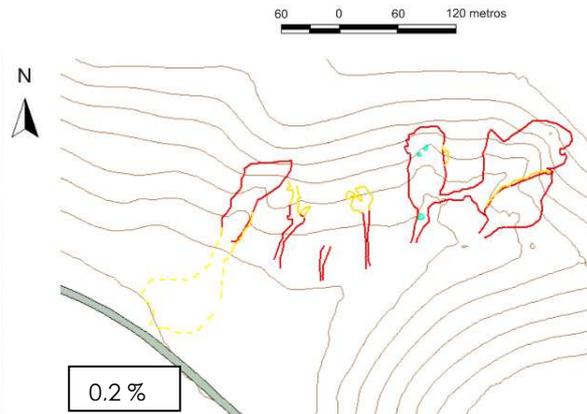
AÑO 2004



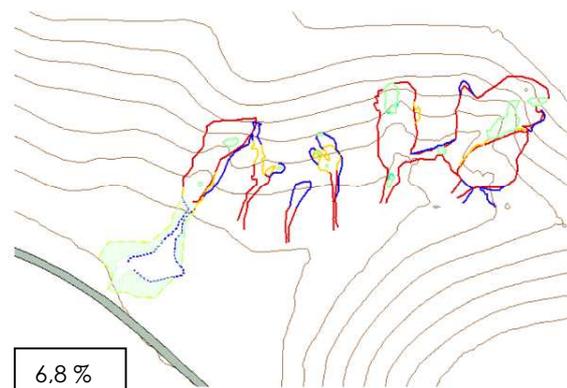
contorno de las cárcavas en el **ÁREA 2 – ARAHUETES**. Véase leyenda en página 16.

En cuanto al aumento de cubierta vegetal arbórea y arbustiva y formación de cubierta edáfica en el interior de las cárcavas estudiadas, se ha calculado que ha sido de **casi un 50%** en la zona 1-PEDRAZA y de **un 68%** en la zona 2-ARAHUETES disminuyendo en ambos casos el área de máxima actividad erosiva dentro de ellas.

AÑO 1956



AÑO 1979



AÑO 2004

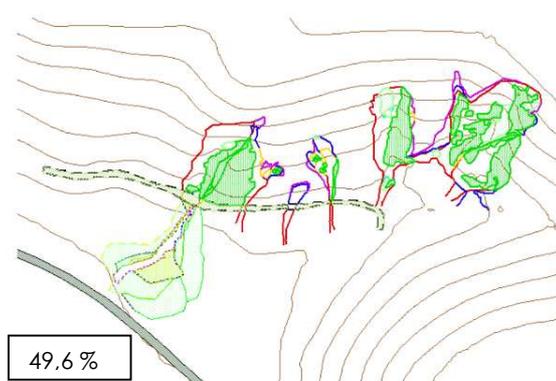
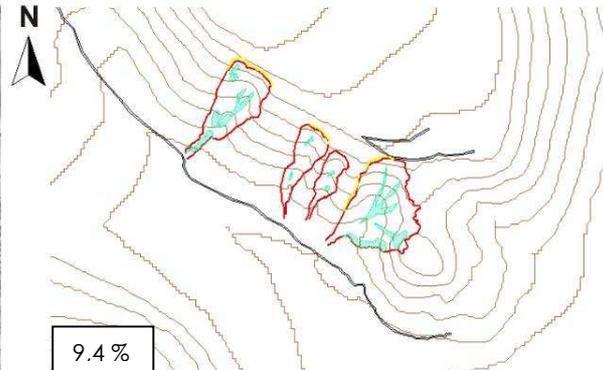


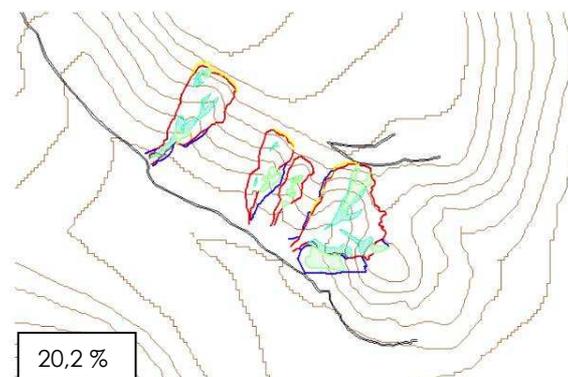
Fig. 6. Sucesión de fotografías aéreas verticales e interpretación digitalizada a través del CARTALINX del contorno de las cárcavas y del área con cubierta vegetal en el **ÁREA 1 – PEDRAZA**. En los recuadros figura el % de cubierta vegetal. Véase leyenda en página 16.

AÑO 1956

100 0 100 200 metros



AÑO 1979



AÑO 2004

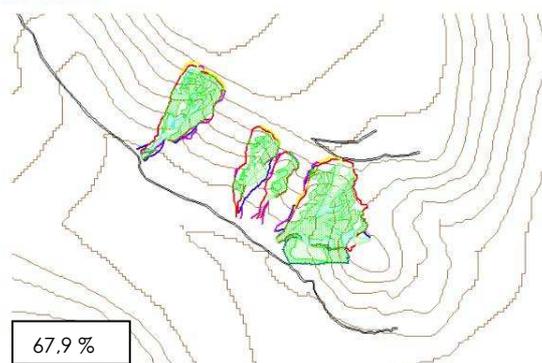


Fig. 7. Sucesión de fotografías aéreas verticales e interpretación digitalizada a través del CARTALINX del contorno de las cárcavas y del área con cubierta vegetal en el **ÁREA 2 – ARAHUETES**. Véase leyenda en página 16.

También se ha observado cómo en el interior de las cárcavas, la vegetación ha colonizado primero las laderas orientadas más al norte, en un 44% del total de cárcavas estudiadas en esta zona (*inventario de A. Lucía, F. Vicente, y otros, 2008*) mientras que las laderas

orientadas al sur sufren un proceso de rebajamiento y erosión mucho más acusado (ver fig. 9, y fotografía 7).



Fig. 8. Leyenda correspondiente a la digitalización de las cárcavas de las fig. 4,5, 6 y 7.

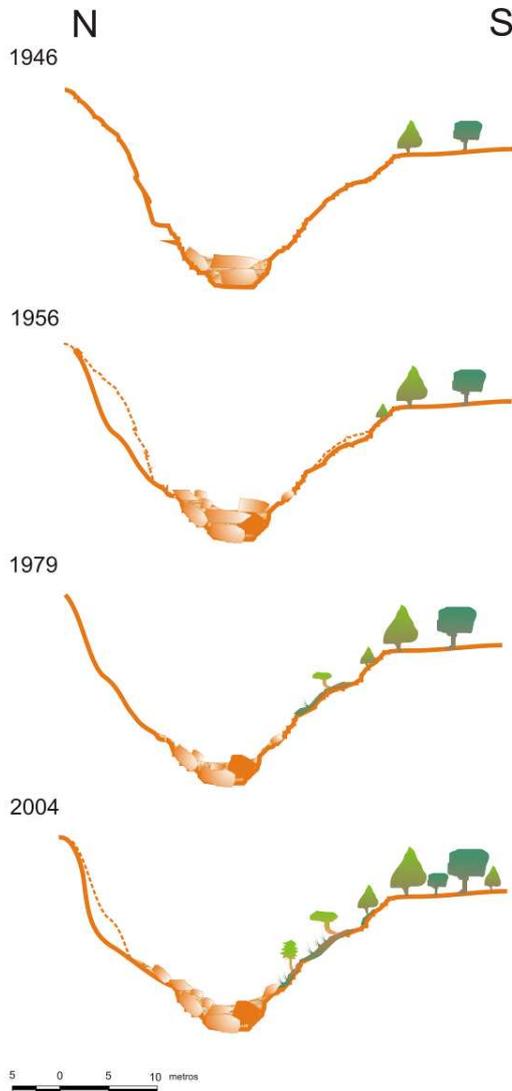


Fig. 9. Esquema de evolución típica de las cárcavas sobre arenas silíceas del entorno de Pedraza, obtenida a través de la información ofrecida por las fotografías aéreas verticales de 1946, 1956, 1979 y ortoimágenes de 2004. Corte transversal norte-sur en una cárcava tipo.



Fotografía 7. Influencia de la orientación de la ladera en el desarrollo de la vegetación en el interior de las cárcavas.

Discusión

Con respecto al método, se han detectado determinadas limitaciones debidas fundamentalmente a la escala de las fotografías y al pequeño tamaño de las cárcavas. En relación a los datos obtenidos, en ambas áreas se observan tasas de rebajamiento muy similares, aunque en el área 2-ARAHUETES, la superficie expuesta a la erosión es, en proporción, bastante menor que en el área1-PEDRAZA. Del mismo modo, la colonización por la vegetación sobre todo arbórea y arbustiva del interior de las cárcavas en el área 2-ARAHUETES es mayor que en el área1-PEDRAZA. Este aumento de la cubierta vegetal sería el principal motivo que está contribuyendo a la disminución de dichas áreas de erosión y por tanto a la estabilización de las laderas.



3.4. Seguimiento de procesos geomorfológicos activos

3.4.1. Medidas de erosión laminar mediante agujas de erosión

Descripción del método

Este método consiste en clavar las agujas de erosión (en este caso concreto, electrodos de soldar de 30 cm de longitud y 5 mm de diámetro) de 20 a 25 cm en el suelo, dejando al descubierto entre 5 y 10 cm. Las mediciones se realizan a partir de la longitud expuesta de la aguja, la cual va aumentando con el tiempo y proporciona la tasa de erosión local.

Las localizaciones escogidas para la instalación de las agujas proceden del inventario detallado de reconocimiento (LUCÍA *et al.*, 2008) y fueron dos divisorias del interior de una cárcava, sometidas a erosión laminar exclusiva.

Las agujas, un total de 104, se dispusieron con una separación de 60 cm siguiendo la cuerda de la divisoria y, perpendicular a ésta, dos perfiles siguiendo la inclinación de las laderas norte y sur. De estas dos áreas, una se mide al final de cada estación y la otra se medirá al final de la investigación, con el fin de conocer si el proceso de medición ejerce alguna influencia sobre los procesos erosivos. Fueron colocadas el 7 de julio de 2007.

Resultados

Las tasas de erosión obtenidas, se refieren a un periodo de 5 meses. La erosión en la divisoria ha sido de **1,61 mm de media**, alcanzando en algunos casos los 8 mm. En la ladera norte del interfluvio se han obtenido valores de erosión medios de **1,55 mm**. En la ladera sur la erosión fue de **1 mm de media**, menor que en los otros dos perfiles.

Discusión

A pesar del breve periodo de tiempo transcurrido (julio a diciembre de 2007), y a pesar de que ese periodo de 2007 ha sido muy seco, se ha registrado una erosión laminar intensa. La mayor parte de esta erosión se corresponde con las lluvias de principios de octubre, donde se registró una precipitación de 51,4 mm en 4 días. Todo ello pone de manifiesto la extremada susceptibilidad a la erosión hídrica laminar de los interfluvios arenosos del interior de las cárcavas. Aunque la utilización de agujas de erosión está cuestionada en zonas de *badlands*, estimamos que puede incluirse dentro del tipo de medidas útiles para un primer reconocimiento de los procesos erosivos.

3.4.2. Medidas de erosión laminar mediante el seguimiento de la variación de la altura de pedestales

Descripción del método

Al producirse una precipitación intensa sobre un suelo fácilmente erosionable se produce erosión por arroyada y por salpicadura. Pero si una parte de este suelo queda cubierta por una piedra o una raíz que lo proteja, tendrá lugar el desarrollo de un pedestal bajo la estructura protectora. La medición periódica de la altura de este pedestal nos dará como resultado el rebajamiento producido en el suelo a lo largo del tiempo (HUDSON, 1997). En este estudio se ha medido la altura de pedestales formados por gravas y cantos en divisorias



interiores y zonas entre regueros (*interrill*) de laderas de interfluvios, en localizaciones favorables también identificadas durante la fase de reconocimiento. El total de pedestales medidos fue de 14, y el inicio de la medición fue el 7 de julio de 2007.

Resultados

La erosión media bajo estos pedestales ha sido de **2,5 mm**, con una clara tendencia a incrementarse en la zona inferior de la divisoria, donde la pendiente es mayor. En cambio, en los pedestales medidos en la ladera del interfluvio, no se ha registrado rebajamiento alguno, si bien uno de los pedestales se había caído. Los resultados obtenidos corresponden al periodo de julio a diciembre de 2007.

Discusión

Al igual que los resultados obtenidos con el método de las agujas, se observa que la erosión es intensa, a pesar del corto periodo de tiempo transcurrido y de las escasas precipitaciones recibidas en ese periodo. Llama la atención que la erosión sea menor en la ladera norte del interfluvio que en la divisoria, hecho que puede deberse a que la escorrentía se concentra aquí en surcos (*rills*), y por tanto es menor en su forma laminar.

3.4.3. Medidas de producción de sedimentos a partir de una trampa de sedimentos de tipo dique (gavión)

Descripción del método

Como un método original del estudio de las cárcavas del piedemonte segoviano puede considerarse la construcción de una trampa de sedimentos tipo dique (gavión), basada en los principios de los diques de corrección hidrológica, con un muro permeable construido con malla metálica y relleno de bloques, cantos y gravas del entorno, que retiene los sedimentos. Aprovechando la circunstancia de que una de las cárcavas inventariadas tenía un colector que se encontraba encajado en el sustrato hasta 0,75 m (en una longitud de 32 m, y una anchura media de 1,5 m), el 11 de junio de 2007 se construyó un gavión en la zona final del colector encajado, habilitando así una trampa de sedimentos de gran capacidad de almacenamiento. Una vez construido, además de instalar barras a lo largo del fondo del canal para facilitar su medición cada vez que hubiera un episodio de sedimentación, se efectuó un levantamiento topográfico del área de la cárcava y del canal encajado, para poder así obtener medidas volumétricas detalladas del depósito y conocer, mediante la densidad, la producción específica de sedimentos.

Resultados

Desde su instalación, la trampa tipo gavión se ha ido relleno con las sucesivas lluvias. La figura 10 muestra ese proceso de relleno progresivo. Ha habido pequeños eventos de precipitación en los que no se ha registrado depósito de sedimentos. La Tabla II muestra la sedimentación media a lo largo del canal encajado y el volumen de sedimentos atrapados, teniendo en cuenta que el área del tramo del canal encajado es de unos 50 m², el área de la cárcava de 0,9 ha y la densidad del depósito 1,4 g/cc.

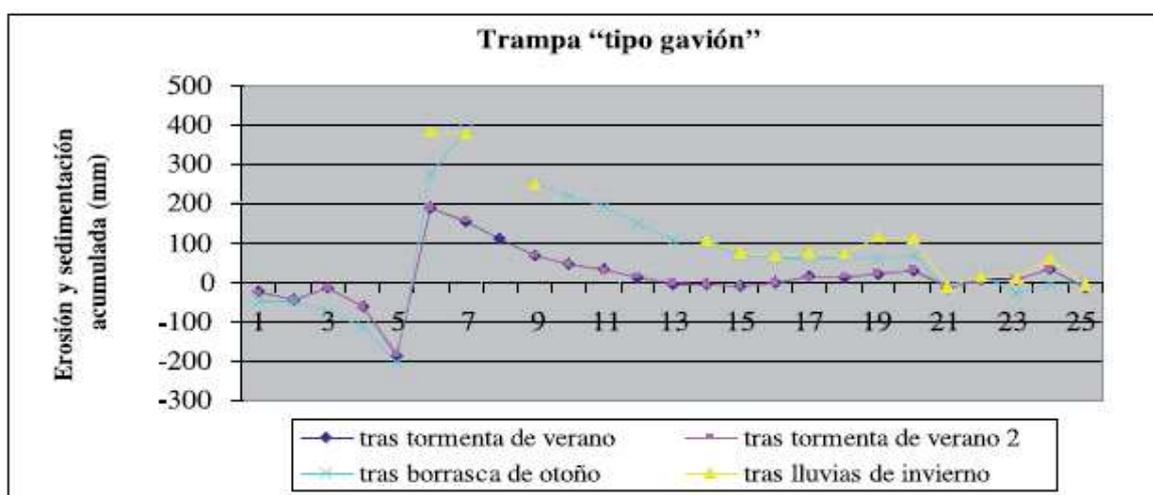


Fig. 10. Relleno sucesivo de la trampa de sedimentos tipo dique, construida en un canal encajado. El gavión se encuentra entre las barras 5 y 6, y el punto en el que el canal se encaja está entre las barras 20 y 21.

Tabla I

Eventos de precipitación	Precipitación Total (mm)	Intensidad máx. en 30 min. (mm/hora)	Trampa tipo dique			Trampa tipo cajón	
			Sedimentación media en el canal encajado (mm)	Masa de arena (kg)	Producción específica de sedimentos (t/ha/evento)	Masa arena seca (kg)	Producción específica de sedimentos (t/ha/evento)
25 de agosto de 2007	8,2	S.R.	43,4	3038	3,376	S.R.	S.R.
22 de septiembre de 2007	11,4	S.R.	1,6	112	0,124	S.R.	S.R.
1 al 4 de octubre de 2007	51,4	12,4	106,8	7476	8,306	746	7,46
19 al 22 de noviembre de 2007	10,1	1,6	Sin producción de sedimentos			7,24	0,07
11 y 12 de enero de 2008	10,6	4,8	23,5	1645	1,8	42,59	0,43
2 al 3 de febrero de 2008	10	1,6	Sin producción de sedimentos			0,421	0,04
27 y 28 de febrero de 2008	11	3,2	Sin producción de sedimentos			0,664	0,07

Discusión

La escasez de datos disponibles hasta el momento hace que la principal discusión de este procedimiento sea de tipo metodológico. Así, las trampas de sedimentos de tipo dique se muestran como muy adecuadas para ser capaces de almacenar la sedimentación producida en esta comarca por eventos extremos. Todo ello a pesar de que su precisión sea menor, y su vida útil esté limitada en el tiempo.

3.4.4. Medida de producción de sedimentos a partir de una trampa de sedimentos tipo cajón



Descripción del método

La trampa tipo “cajón” (GODFREY *et al.*, 2007), permeable al agua pero no a los sedimentos, tiene el mismo fundamento que los denominados “pozos de sedimentación” (HUDSON, 1997); consiste en un cajón de chapa galvanizada de 1,5 m de ancho (adaptado a la anchura del colector seleccionado), de 2,25 m de largo y de 0,75 m de profundidad. Estas dimensiones, que pueden resultar exageradas para una cárcava con una cuenca de drenaje de 0,1 ha, fueron elegidas tras la observación de los efectos que tuvieron sobre cárcavas de la misma naturaleza tormentas muy intensas, estableciendo para ello relaciones sencillas entre área de las cárcavas y volúmenes de sedimentación. Para la colocación del cajón fue preciso excavar en el lecho arenoso un hueco con las mismas dimensiones que la trampa, dejando el borde de entrada de sedimentos enrasado con el fondo del canal, con una pequeña repisa que impidiera la erosión del borde del colector por el descenso del nivel de base que supone la trampa. El cajón se instaló el 28 de septiembre de 2007, con el objetivo de comenzar a registrar datos antes del inicio del año hidrológico 2007-2008. Después de cada evento de precipitación, los sedimentos recogidos por la trampa se pesan directamente en campo, con un sistema de cubos y balanzas, y se toman muestras para analizar en laboratorio su contenido en agua, gracias a lo cual se puede conocer el peso total de arena seca.

Resultados

Desde la instalación del cajón tan sólo han ocurrido 5 eventos de precipitación que han producido arrastres de sedimentos, con los resultados presentados en la Tabla I. En ninguno de estos eventos el agua rebosó la trampa, y los materiales finos se decantaron en el fondo, por lo que no se perdió el dato de la carga en suspensión.

Discusión

Teniendo en cuenta que las arenas en facies Utrillas están descubiertas en tan sólo un 8,43% de la superficie de la cuenca estudiada (81,12 m²), y dado que se han medido contenidos en arenas de cuarzo del depósito final de hasta un 97,25%, cabe interpretar que la gran mayoría de sedimentos provengan de estas zonas, con lo que la tasa de erosión en ellas sería muy elevada. Por ejemplo, si se asume que ésta es el área fuente del total de sedimentos recogidos, se estimaría una producción específica de sedimentos de **92,09 t/ha** para el evento de principios de octubre de 2007. La precisión de la trampa tipo cajón es mayor que la de la trampa hecha con gaviones. Por ello, y a la vista de los datos obtenidos, se concluye la necesidad de instalar un mayor número de trampas tipo cajón en distintas cárcavas localizadas aleatoriamente. Su diseño estará inspirado en las trampas tipo Birkbeck (GARCIA *et al.*, 2000), con el fin de registrar la escorrentía y de reducir los trabajos de retirada de sedimentos, ya que éstas únicamente recogen una fracción de la carga de fondo.

3.4.5. Estimación de volúmenes depositados en conos y abanicos aluviales

Descripción del método

Este método consiste en calcular, como consecuencia de eventos extremos de lluvias, el volumen de materiales que se depositan en determinados conos aluviales de la comarca, favorables para su medición volumétrica. Este hecho se ve favorecido cuando la sedimentación afecta a la red de carreteras comarcales, en tanto se tiene el nivel de referencia de la carretera, y existe la posibilidad de conocer que ha ocurrido sedimentación a través de los servicios de mantenimiento de carreteras de la Diputación Provincial de

Segovia. En este supuesto, el procedimiento consiste en determinar el volumen de materiales que forman el depósito de los sedimentos, y en la toma de muestras para determinar la densidad del depósito y calcular así la masa. En estos casos, la arena depositada es retirada rápidamente por los servicios de mantenimiento de carreteras, por lo que las medidas corresponden a eventos individualizados.

Resultados

El 25 de mayo de 2007, la carretera que une las localidades de La Velilla y Pedraza (Segovia) quedó completamente cubierta por sedimentos de un cono aluvial procedente de una cárcava próxima (Fig. 8). El cono formado tenía unas dimensiones de 18 x 14 metros y 50 cm de altura máxima, y el volumen sedimentado estimado fue de unos 31,5 m³, con una densidad de 1,4g/cc, por lo que se calcula que el depósito fue de 44,1 toneladas para un único evento de precipitación, evacuadas a partir de una cárcava de tan sólo una hectárea de superficie. La precipitación de este evento no fue registrada ni por la estación meteorológica más próxima (Matabuena), ni por el único pluviógrafo instalado en el entorno (averiado por el aparato eléctrico de la tormenta) ni por las imágenes radar del INM. La precipitación registrada en las



Fig. 8. Vista de la carretera que une las localidades de La Velilla y Pedraza, aterrada por el depósito de un cono aluvial, recién retirado, como consecuencia de la tormenta del 25 de mayo de 2007. Obsérvese la cárcava de la cual proceden los sedimentos al fondo.

estaciones de Torreiglesias y Turégano, situadas respectivamente a 18 y 16 km de la cárcava, fue de 27,5 y 26 mm en 24 horas, sin registro de intensidad horaria. El carácter local de estas tormentas convectivas de verano hace que esos valores no aporten mucha información, y de hecho es posible que la precipitación total y la intensidad fueran elevadas, si tenemos en cuenta las descripciones de la población local y los efectos geomorfológicos.

Discusión

Al igual que los resultados ofrecidos por las trampas de sedimentos, las medidas directas tras eventos extremos muestran una erosión muy intensa en estas cárcavas, exageradamente elevada en el caso de las tormentas de finales de primavera (**44,1 t/ha para un único evento**). En efecto, la producción específica de sedimentos es elevada aquí si se compara con la obtenida para otros estudios realizados para zonas acaravadas en España, como son entre 170 t/ha/año y 258,6 t/ha/año para Bardenas Reales (Navarra) registradas mediante colectores (SIRVENT, 1997) ó 37,5 t/ha registradas también mediante colectores en un evento de 87 mm en el sureste español (CANTÓN *et al.*, 2001). Por todo ello, se considera que este método de estimación de volúmenes depositados en conos aluviales será realmente útil para esta comarca.

4. CONCLUSIONES

4.1. Sobre las fuentes documentales como método geomorfológico

La bibliografía y la comparación de fotografías son los métodos geomorfológicos que más información precisa y relevante han aportado sobre la evolución del paisaje en esta comarca.

4.2. Sobre el origen y evolución de las cárcavas

Se han completado y documentado ciertas conclusiones que ya señaló Moreno, 1989: el origen y evolución de muchas cárcavas parece estar relacionado con la acción antrópica a través del tiempo. Sin embargo, no se ha podido confirmar como causa única y común para todas ellas. Al cabo de estos 19 años (1989-2008) ya se ha comprobado una colonización importante en el interior de las cárcavas por parte del sabinar como se ha observado en las fotografías.

4.3. Sobre la evolución histórica reciente de las cárcavas

Los procesos naturales de erosión hídrica concentrada en *rills* y los procesos gravitacionales siguen actuando, sobre todo en las cabeceras de las cárcavas (zonas activas), lo que a su vez supone un aumento de las zonas inactivas. La formación de suelo y el paulatino aumento de la vegetación son evidentes, lo que hace suponer que la vegetación está poco a poco colonizando y estabilizando las cárcavas. Sin embargo, la vegetación no es suficiente para anular los procesos erosivos, como señalan MARTÍNEZ-CASANOVA *et al.*, 2007, sobre todo en determinadas condiciones, pues influyen también otros factores (pendiente de la ladera, litología, intensidad lluvia, etc).

4.4. Sobre la dinámica geomorfológica actual de las cárcavas

Las cárcavas del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama constituyen formas del terreno en cuyo interior tiene lugar una intensa actividad geomorfológica (*ver fig. 10*).

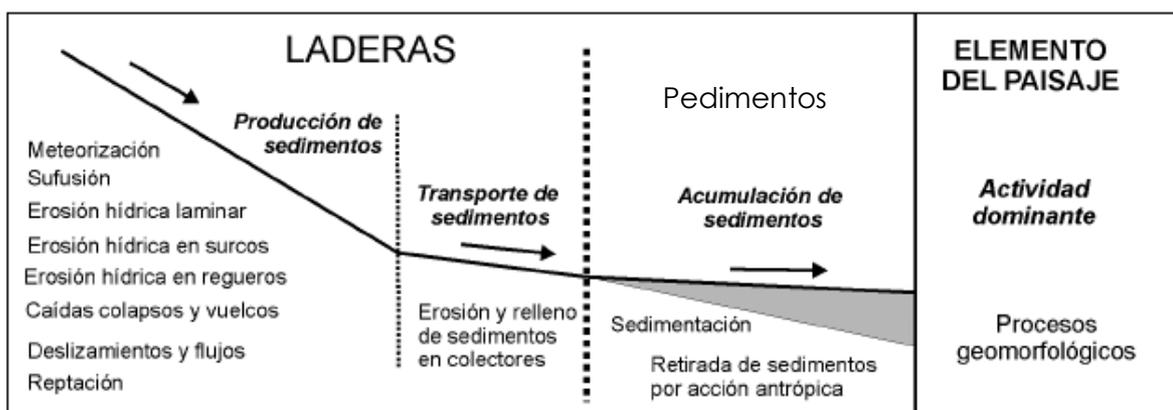


Fig. 10. Conectividad del sistema geomorfológico en cárcavas del borde del piedemonte norte del Guadarrama.



Los datos sobre cuantificación de procesos en las cárcavas sobre arenas silíceas son muy preliminares, ya que sólo se cuenta con datos a partir de mayo de 2007. Sin embargo, a pesar de esa escasez de datos, éstos ya apuntan a unas tasas de erosión y a producciones específicas de sedimentos muy elevadas. En ellas se produce escorrentía y erosión hídrica de manera casi instantánea, incluso bajo precipitaciones de muy escasa intensidad y cantidad. La utilización de nuevos métodos de reconocimiento “directos”, en los cuales ya se está trabajando, tales como el empleo de microperfiladores topográficos con medidor láser, métodos dendrogeomorfológicos en raíces expuestas (BODOQUE et al., 2005), y la instalación de nuevas trampas de sedimentos inspiradas en las de tipo Birkbeck, debería permitir obtener una buena idea del funcionamiento actual de estas cárcavas. A pesar del carácter básico de este tipo de técnicas de reconocimiento, estimamos que aportan información muy útil, y que su utilización es necesaria en situaciones en las que no existen datos previos, como ocurre en esta comarca.

5. CRITERIOS PARA UNA ADECUADA GESTIÓN CON BASE ECOLÓGICA

El estudio del origen, la evolución y la dinámica geomorfológica de estas cárcavas contribuye a comprender mejor su funcionamiento detallado así como sus posibles efectos sobre las actividades humanas y por tanto servirá de ayuda en una adecuada planificación y gestión del uso del suelo en esta zona.

Como ya se comentó en la introducción, estos efectos, aunque no presentan aquí una alta peligrosidad, sí que afectan de manera frecuente a la actividad económica, social y ambiental. Si se tienen en cuenta que los efectos geomorfológicos sobre las actividades humanas que concurren en esta comarca de laderas acarcavadas, se pueden diferenciar según supongan estabilización o desestabilización del sistema ecológico, los datos se pueden resumir según la siguiente tabla (tabla II).

Tabla II

<i>Estabilización</i>	<i>Desestabilización</i>
La meteorización favorece la formación de suelos, la colonización liquénica y vegetal y por tanto disimula y oculta las canteras abandonadas en las laderas.	La meteorización favorece la erosión en las cabeceras de las cárcavas y desencadena los demás procesos que generan efectos sobre las actividades humanas.
La erosión modela el paisaje, y elimina restos de materiales acumulados (ramas, bloques caídos, etc) en las partes altas y medias de las laderas y en el interior de las cárcavas (disminuye los efectos de los eventos extremos).	La erosión produce pérdidas de suelo en zonas agrícolas y forestales, e incrementa la turbidez de los cursos fluviales próximos.

<p>La sedimentación proporciona sustratos para el crecimiento vegetal de forma espontánea y recursos naturales propios de esta zona (arenas limpias y listas para su utilización; arcillas).</p>	<p>La sedimentación entierra los campos de cultivo, las vías de comunicación (carreteras, caminos, senderos), incluso las edificaciones y construcciones antrópicas (iglesias y ermitas, cementerios, necrópolis, postes eléctricos, etc).</p>
<p>Los movimientos en masa crean nuevos hábitats, modelan el paisaje y generan recursos naturales ya preparados para su uso y manejo (caídas y desprendimientos de bloques de calizas y dolomías).</p>	<p>Los movimientos en masa destruyen hábitats, construcciones humanas y ocupan tierras de labor.</p>

Cabe destacar que la actividad humana ha intervenido en gran medida en el balance sedimentario de las cárcavas. Al igual que en otras regiones peninsulares (GÓMEZ VILLAR & GARCÍA RUIZ, 1997), lo cierto es que la población local (MORENO, 1989), ha procedido y procede a recoger el material arenoso “recién” depositado en los conos, que al estar “lavado” era y es muy apreciado para su utilización en construcción. En el pasado la recogida se hizo por métodos manuales, y desde hace años con tractores. Tan frecuente ha sido esta actividad que una buena parte de las zonas apicales de los conos aluviales muestran signos de ese aprovechamiento. Por todo ello, no se duda en considerar esta actividad humana de recogida de sedimentos como un proceso geomorfológico más, en el movimiento y balance de sedimentos y en su conectividad (*Fig. 10*).

Toda esta información puede ser útil y relevante para la gestión ambiental del futuro Parque Regional de Guadarrama, en cuyo PORN ya se indica como uno de los beneficios sociales y ambientales el promover la restauración de la calidad paisajística donde haya sido notablemente deteriorada por diversos impactos (en este caso, cantería y minería de ladera).

En relación a la restauración ecológica de las canteras abandonadas (ver apartado 3.2.2.) relativamente abundantes en esta comarca, la información sobre la dinámica geomorfológica de estas cárcavas, puede utilizarse con el fin de enfocar de manera más eficiente dicha restauración. Por un lado porque existe una gran similitud entre el funcionamiento geomorfológico de estas cárcavas y el de los frentes de explotación sin restaurar sobre las mismas litologías (MARTÍN DUQUE *et al.*, 1998); por otro lado, porque ante la existencia de un sustrato favorable (coluvión carbonático), la recuperación de los suelos y la vegetación ocurren de manera espontánea en el interior de las cárcavas mientras que si el material arenoso y arcilloso está expuesto en el interior de las cárcavas, los procesos erosivos son dominantes y la colonización vegetal no ocurre (sustratos móviles y sin propiedades edáficas). Por tanto, en actuaciones de restauración sobre canteras en estos terrenos, se sugiere recubrir los relieves que se construyan con materiales coluvionares del entorno.



6. AGRADECIMIENTOS

El estudio del origen, evolución y dinámica actual de cárcavas del piedemonte norte del Guadarrama, se está llevando a cabo en el marco del proyecto de investigación CGL2006-07207, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España. Los autores guardan un recuerdo especial de Andrew E. Godfrey, fallecido en agosto de 2006, cuya colaboración en la puesta en marcha del proyecto CGL2006-07207 fue determinante.

7. REFERENCIAS

ALONSO, A. 1981. El cretácico de la provincial de Segovia (borde norte del Sistema Central), *Seminarios de Estratigrafía* **7**:1-271.

Atlas Forestal de Castilla y León, 2007. Dirección General de Medio Natural de la Consejería de Medio Ambiente y la Universidad Politécnica de Madrid.

<http://www.jcyl.es/scsiau/Satellite/up/es/MedioAmbiente/Page/PlantillaN3/1181827086529//?asm=jcyl&tipoLetra=x-small>

BODOQUE, J.M., DíEZ, A., MARTÍN DUQUE, J.F., RUBIALES, J.M., GODFREY, A.E., PEDRAZA, J., CARRASCO, R.M. & 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.

CAMPBELL, I.A. 1989. Badlands and badland gullies. In: D.S.G. THOMAS, Ed. *Arid Zone Geomorphology*, págs. 159-183. Belhaven Press, London.

CANTÓN, Y., DOMINGO, F., SOLÈ-BENET, A & PUIGDEFÁBREGAS, J. 2001. Hydrological and erosion response of badlands systems in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, **252**: 65-84.

DÍEZ, A. & MARTÍN DUQUE, J.F., 2005. *Las raíces del paisaje. Condicionantes geológicos del territorio de Segovia*. 464 págs. Junta de Castilla y León,. Segovia.

DÍEZ, A.; MARTÍN DUQUE, J.F.; & VICENTE, F. 2007. *A todo riesgo. Convivir con los desastres geológicos cotidianos. Guión de la excursión científico-didáctica de la Semana de la Ciencia 2007*. 69 págs. IGME, UCM y USEK, Madrid-Segovia.

ENSENADA, MARQUÉS. 1747. *Catastro de Ensenada*. (<http://pares.mcu.es/Catastro/servlets/ServletController>)

FAO 1998. *World Reference Base for Soil Resources*. 88 págs. 84 World Soil Resources Reports. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

(www.fao.org/docrep/W8594E/W8594E00.htm)

FERNÁNDEZ, P. 1987. *Geomorfología del sector comprendido entre el Sistema Central y el macizo de Santa María de Nieva (Segovia)*, 336 págs. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

GARCÍA, C., LARONNE, J.B. & SALA, M. 2000. Continuous monitoring of bedload flux in a mountain gravel-bed river. *Geomorphology*, **34**: 23-31.



GARCÍA DE LOS RÍOS, J.I., BÁEZ, J.M. Y JIMÉNEZ, S. 1984. *La Piedra en Castilla y León*. 346 págs. Junta de Castilla y León. SIEMCALSA.Valladolid.

GARCÍA DE LOS RÍOS, J.I., BÁEZ, J.M. Y JIMÉNEZ, S. 2002. *La Piedra en Castilla y León*. 23 págs. SIEMCALSA.Valladolid.

GARCÍA, J.M. & SALCEDO, M.C. 2008. Toponímicos: Una ventana al conocimiento geológico. *Actas del XV simposio sobre enseñanza de la Geología. Cuadernos del Museo Geominero, nº 11*: 177-185. IGME.Madrid.

GODFREY, A.E., GRAUCH, R.I., & TUTTLE, M.L. 2007. Geomorphic differences between the Tununk and Blue Gate Members of the Mancos Shale near Caineville, Wayne County, Utah. *In: UGA Publication 36*. WILLIS, G.C., HYLLAND, M.D., CLARK, D.L., AND CHIDSEY, T.C., Jr., Eds. Págs. 208-220. Utah Geological Association. Salt Lake City.

GÓMEZ VILLAR, A. & GARCÍA RUIZ, J.M. 1997. The role of human activities in the development of alluvial fans. *Physics and Chemistry of the Earth, 22* (3-4): 345-349.

GONZÁLEZ, M., 1992. *La sombra del enebro. Meditación de la tierra de Pedraza*. 530 pág., Ediciones Castellanas. Segovia. Pp. 140-141.

GONZÁLEZ, T., 1832. *Registro y relación general de minas de la corona de Castilla*. Publicación de Don Miguel de Burgos, Madrid, 3 partes en 2 vol.

HAIGH, M.J. 1977. The use of erosion pins in the study of slope evolution. *British Geomorphological Research Group Technical Bulletin, 18*: 31-49.

HARVEY, A.M. 2001. Coupling between hillslopes and channels in upland fluvial systems: implications for landscape sensitivity, illustrated from the Howgill Fells, northwest England. *Catena, 42*: 225-250.

HUDSON, N.W. 1997. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. *Boletín de Suelos de la FAO 68*. 147 págs. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. (<http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s00.HTM>)

IGME 2007. *Mapa Geológico de España 1:50.000 (Sepúlveda, 431)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

IGN 1999. *Mapa Topográfico Nacional de España 1:25.000* (Prádena, 458-I; Robregordo, 458-II; Navafría, 458-III).Instituto Geográfico Nacional.Madrid.

IGN 2002. *Mapa Topográfico Nacional de España 1:25.000* (Cabezuela, 430-IV; San Pedro de Gaíllos, 431-III; Villarejo, 431-IV; Turégano, 457-II; Collado Hermoso, 457-IV).Instituto Geográfico Nacional.Madrid.

INM 2001. *Guía resumida del clima en España 1971-2000*. 257 págs. Centro de Publicaciones Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid.



ITGE 1990. *Mapa Geológico de España 1:50.000 (El Espinar, 507)*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.

ITGE 1991. *Mapa Geológico de España 1:50.000 (Pradena, 458)*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.

LECEA Y GARCÍA, C. DE. 1897. *Recuerdos de la antigua Industria Segoviana*. 254 pág. F. Santiuste impresor de la Sociedad Económica de Amigos del País. Segovia.

LUCÍA, A., VICENTE, F., MARTÍN-MORENO, C., MARTÍN-DUQUE, J.F., SANZ, M.A., DE ANDRÉS, C. Y BODOQUE, J.M. 2008. Procesos geomorfológicos activos en cárcavas del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (Provincia de Segovia, España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sec. Geol.)*, **102**: 47-69.

MARTÍN-DUQUE, J.F., PEDRAZA, J., DíEZ, A., SANZ, M.A. & CARRASCO, R.M. 1998. A geomorphological design for the rehabilitation of an abandoned sand quarry in central Spain. *Landscape and Urban Planning*, **42**:1-14.

MARTÍNEZ-CASANOVAS, J.A., GARCÍA-HERNÁNDEZ, D. & RAMOS, M.C. 2007. Does vegetation cover suppose gully erosion stabilization? *Progress in Gully Erosion Research*. 141 pág. Edis. Casalí, J. & Gimenez, R. Universidad Pública de Navarra.: 78-79.

MARTÍNEZ-CASANOVAS, J.A., 2007. When did gully erosion start to be accelerated in the Penedès-Anoia vineyard region (NE Spain)? *Progress in Gully Erosion Research*. 141 pág. Edis. Casalí, J. & Gimenez, R. Universidad Pública de Navarra.: 82-83.

MORENO, F. 1989. *Zonas kársticas en la vertiente N de la Sierra de Guadarrama*. 773 págs. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

MÍNGUEZ, M. 1999. *Torre Val de San Pedro - El Valle: historia, vida, costumbres y...* 277 pág., S.I. : M. Mínguez Alvaro.

MÍNGUEZ, L. 1992. *Orejana: historia de un pueblo*. 294 pág., Asociación Cultural San ramón. Orejana (Segovia).

PEDRAZA, J., CARRASCO, R.M., DíEZ, A., MARTÍN-DUQUE, J.F., MARTÍN-RIADURA, A., SANZ SANTOS, M.A., 1996. *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. 414 pág. Rueda. Madrid.

PERES, A. & GARCÍA-HIDALGO, J.F. 2006. Morfología, procesos erosivos y evolución reciente en una cárcava cuaternaria: El barranco Haza de la Viña, Uceda (Guadalajara, España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sec. Geol.)*, **101**: 41-50.

RIVAS, P. 1999. Documentación y archivos: Fuentes documentales para la intervención en el patrimonio arquitectónico y urbanístico. *Cuadernos del Instituto Juan de Herrera de la Escuela de Arquitectura de Madrid*. **VIII**: 3-5.

ROMERO DÍAZ, A. (COORD.). 2007. *Los diques de corrección hidrológica. Cuenca del río Quípar (Sureste de España)*. 270 págs. Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. Murcia.



SANCHO, C., BENITO, G. & GUTIÉRREZ, M. 1991. Agujas de erosión y perfiladores microtopográficos. In: *Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología*. 28 págs. Geoforma Ediciones. Logroño.

SIEMCALSA 1997. *Mapa Geológico y Minero de Castilla y León. Escala 1:400.000*. Junta de Castilla y León. Valladolid. 484 pág.

SIGUERO, P.L., 1997. *Significado de los nombres de los pueblos y despoblados de Segovia*. A.G. 380 pág. Menagui. Madrid.

SIRVENT, J., DESIR, G., GUTIERREZ, M., SANCHO, C. & BENITO, G. 1997. Erosion rates in badland areas recorded by collectors, erosion pins and profilometer techniques (Ebro Basin, NE-Spain). *Geomorphology*, **18**: 61-75.

THOMAS, M.F. 2001. Landscape sensitivity in time and space-an introduction. *Catena*, **42** (2-4): 83-98.

www.pornguadarrama.es, página web habilitada temporalmente durante el proceso de información y consulta del PORN de Sierra de Guadarrama que la Junta de Castilla y León pone en marcha.