

# Cambios geomorfológicos en ríos en roca tras inundaciones de baja frecuencia (Río Girona, Alicante)

*Geomorphological changes in bedrock rivers in relation to low frequency floods (Girona River, Alicante)*

J.A. Ortega y G. Garzón

Departamento Geodinámica. Facultad de Geología. UCM. 28040. Madrid. jaortega@geo.ucm.es; minigar@geo.ucm.es

## ABSTRACT

*Bedrock rivers offer larger erosive resistance and therefore less incision capability as alluvial streams do. Changes occur very slowly and response to tectonics or eustatism might be not on phase at the different stream reaches. Along a bedrock gorge, different reaches show changes in hydraulic conditions and rather diverse responses on floods. According to the change in slope and transversal sections, erosive and aggradational processes are fluctuating in relation to changes in velocity and load transport capacity. Due to the lack of alluvial floodplain, depth increase abruptly and accordingly stream power acquires a high geomorphic effectiveness. As it has been observed on the Barranco del Infierno after the occurrence of a low frequency flood, alluvial deposits have been strongly displaced, resulting in the emptiness of potholes and aggradation at transfer reaches. The result of a medium to high magnitude flood is a radical change on fluvial landscape with large morphological modifications on bed and banks, bars and even on lateral slopes.*

**Key words:** bedrock rivers, catastrophic floods, Girona river, flood geomorphology

*Geogaceta*, 44 (2008), 171-174  
ISSN: 0213683X

## Introducción

Los sistemas fluviales denominados ríos en roca (*bedrock rivers*) son poco conocidos y su funcionamiento, muy diferente a los ríos aluviales, queda supeditado a una serie de condicionantes como la litología del sustrato que controla la velocidad de erosión y evolución de estos tramos. El sustrato juega un papel importante, pero no fundamental, en el desarrollo de la morfología. Es el régimen de caudales el más importante de los factores que condicionan las formas, y las crecidas y avenidas el instrumento del que se vale para realizar los cambios a nivel puntual. El equilibrio no se alcanza a escala de cuenca o de río al completo, más bien parece obedecer a tramos de tamaño pequeño o incluso a nivel puntual. Según Wohl (2000) un río en roca es «cualquier sistema fluvial encajado en un sustrato rocoso que dificulta su erosión y con pendientes elevadas, flujos turbulentos, movimiento de sedimentos que sigue patrones estocásticos y régimen de caudales fuertemente estacional, entre otras características». De esta manera, pueden ser ríos en roca cualquiera de los tramos de un sistema fluvial.

El río Girona (Fig. 1) recibe el nombre de río Ebo en la parte alta y forma una garganta estrecha denominada Barranco del Infierno, la zona de estudio donde se desarrolla el presente trabajo. Tiene una cuenca

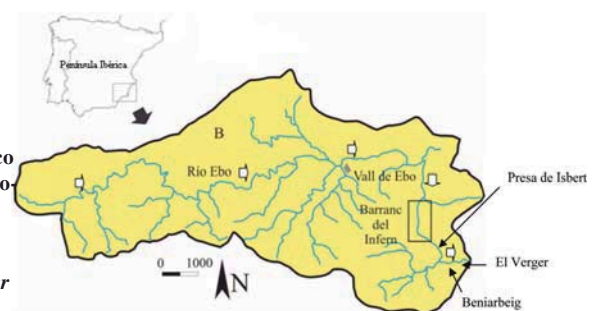
de cabecera formada por margas miocenas, que facilitan la llegada rápida de caudales al cauce junto con el elevado gradiente. El río bordea una escama de cabalgamiento en materiales cretácicos encajado en roca y se abre sin formar cañón en la cubeta tectónica de Vall d'Ebo, donde existe un gran aporte de sedimento procedente de los abanicos que flanquean los relieves montañosos. Posteriormente el río corta perpendicularmente las calizas cretácicas formando la Garganta del Infierno y el Estrecho de Isbert. A partir de este punto se abre de nuevo y ensancha su valle sobre terrenos cuaternarios. Hidrológicamente la cuenca se encuentra muy deforestada por incendios, esto, unido con las características de impermeabilidad y alto gradiente caracterizan un sistema fluvial con elevada capacidad de desagüe y muy propicio a causar avenidas de tipo relámpago. La cuenca completa tiene 105 km<sup>2</sup> y unos 40 km de longitud del cauce principal. Esta superfi-

cie se puede dividir en dos; una zona superior con 57 km<sup>2</sup> (hasta el embalse de Isbert) en la que predomina el relieve montañoso y en la que se encuentra la zona de estudio, y una zona inferior de unos 48 km<sup>2</sup> ya en la zona baja donde se abre el valle en dirección a la desembocadura. El río Girona funciona como una rambla, puesto que en estiaje permanece seco y únicamente mantiene algunas pozas denominadas localmente «tols» por afloramiento del subálveo.

El objetivo del presente trabajo es analizar los distintos segmentos presentes en un tramo en roca del río Girona que puedan tener un significado geomorfológico diferente y que sean capaces de representar etapas o estados diferentes de la formación del tramo. Además se analizará en ellos el comportamiento que ha seguido durante la avenida de octubre de 2007, considerada de magnitud media-alta, y como ésta condiciona la dinámica torrencial de una rambla en roca.

**Fig 1. Localización del barranco del Infierno (cuenca del río Girona).**

**Fig 1. Barranco del Infierno location within the Girona River basin (Alicante).**



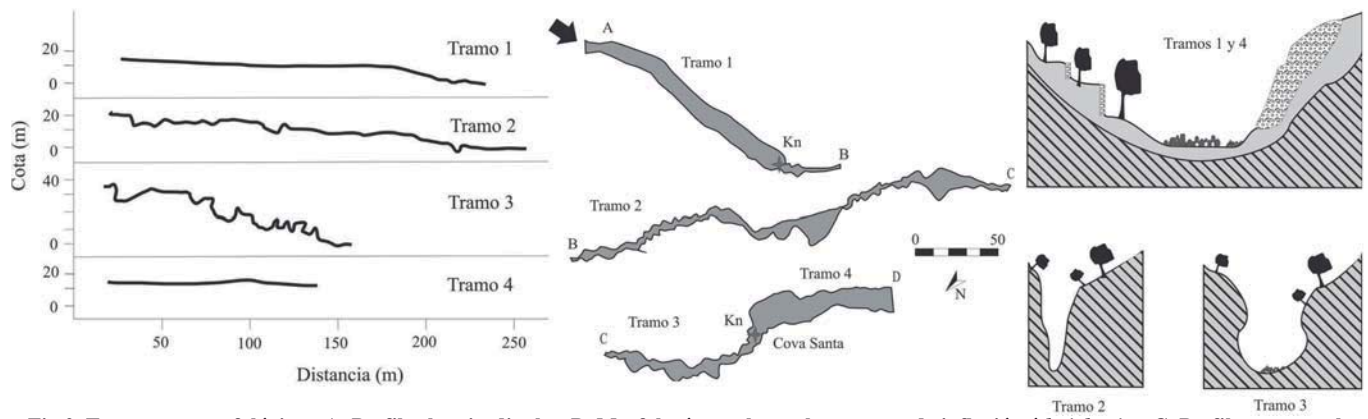


Fig.2. Tramos geomorfológicos. A. Perfiles longitudinales. B. Morfología en planta. kn = punto de inflexión ó knickpoint. C. Perfil transversal.

Fig 2. Morphological reaches. A. Longitudinal profiles. B. Planform. kn = knickpoint zone. C. Transversal section of defined reaches.

**Inundaciones en la cuenca del río Girona. La avenida de octubre de 2007**

Las avenidas del río Girona no se han recogido en las recopilaciones del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas de Protección Civil (DGOH, 1985). Algunos registros conocidos muestran avenidas a finales del siglo XIX, pero de escasa entidad (Costa, 1977). Algún evento mayor, como el de septiembre de 1919 en Beniarbeig se alcanzan 5m de calado en el río Girona y crecidas en todo el Levante, como en Cartagena (García *et al.*, 2004) y otros puntos de Alicante, Murcia y Valencia. Entre 1921 y 1940 (Costa, 1977) constata varios episodios que modifican la configuración del cauce, y en 1947 una avenida destruye el dique de defensa construido en 1940. Otra avenida otoñal es la de noviembre de 1985 en la que se temió la caída de la presa de Isbert.

La avenida estudiada del 12 de octubre de 2007, afectó a buena parte del litoral levantino. Los registros de precipitación máxima en 24 h fueron elevados, obteniéndose valores que superaron los 300-400 mm en varias estaciones. Otras doce estaciones registraron precipitaciones de más de 200mm y un total de 50 puntos superaron los 100 mm de lluvia diaria. Estos registros calificados por la Confederación Hidrográfica del Júcar como extraordinarios y 500 años de periodo de retorno, si bien hay registros de precipitación en 1957 que superan estas efemérides. El resultado de estas lluvias intensas fueron desbordamientos en todos los cauces de la zona, alcanzándose valores de caudal máximo de 800 m<sup>3</sup>/s en el río Júcar y 500 m<sup>3</sup>/s en el río Serpis. En ambos la laminación de los caudales por parte de las presas fue alta. El río Girona no presenta estaciones de aforo y por tanto no existe posibilidad de comparar caudales, pero estimaciones iniciales de la CHJ asignan un valor cercano a 1000 m<sup>3</sup>/s al caudal del río Girona en Beniarbeig.

Los efectos de la crecida fueron muy notables en la cuenca baja del río, con erosiones y acumulación de enormes masas de cañas, procedentes de la cuenca alta, fundamentalmente de la cubeta de Vall d'Ebo que atravesaron el Barranco del Infierno, dejando niveles de crecida a más de 30 metros de altura en algunos puntos. Los daños fueron cuantiosos; 500 viviendas en Beniarbeig, 1500 vehículos y 32 casas demolidas en El Verger y numerosas infraestructuras dañadas entre las que se significa el puente de El Verger.

**Geomorfología del sector en roca del río Girona. El Barranco del Infierno**

En un trabajo previo (Ortega, 2007) señala la existencia de distintas zonas o tramos dentro de un canal en roca con posibilidad de ofrecer distintos comportamientos y grado de modificación frente a las avenidas.

El tramo estudiado tiene una longitud de 1690 m. Las características son: una superficie de cuenca de 48,3 km<sup>2</sup>; la longitud del cauce principal es de 2,1 km; el tiempo de concentración de 40 minutos; la pendiente media del río Girona es de 0,26 m/m, mientras que en el tramo estudiado es de 0,35 m/m. El barranco se desarrolla sobre calizas y presenta tres morfologías diferentes, que se encuentran representadas en cuatro tramos. La morfología en planta, perfil longitudinal y el perfil transversal se muestran en la Fig.2. Los tramos rectos (tramos 1 y 4), tienen una anchura de más de 30 m, que permiten la buena circulación de caudales durante épocas de avenida. Se sitúan al inicio y al final de la sección estudiada. Las laderas no tienen excesiva pendiente y se encuentran recubiertas de sedimento y rocas aflorando, a diferencia de los demás tramos más encañonados y con las paredes en roca, sobre las laderas hay algunos canchales y bancales de origen árabe. El tramo 1 es recto y su sinuosidad baja. La pendien-

te relativa (en comparación entre los tres tipos de morfologías) es baja, y el tamaño de la carga presente en el fondo del canal es el mayor de las tres: bloques de tamaño métrico que llegan a alcanzar los 2 m de diámetro y barras de gravas. En las márgenes existen depósitos finos procedentes de paleoavenidas. El tramo 4 es similar, pero ofrece algo más de sinuosidad con algunos meandros. El tramo ondulado (tramo 2), situado a continuación del primer tramo recto. La anchura es muy variable, oscilando entre los 1,5 m en las zonas estrechas y los 20 m en ensanchamientos locales; en los tramos más

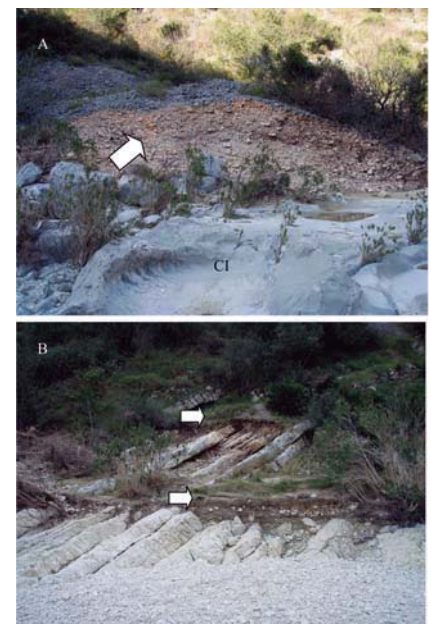


Fig. 3. Erosión en canchal de la ladera y en el mismo punto del tramo IV sale al descubierto un canal interno antiguo por retirada de la barra de gravas que lo recubría (A). Depósitos antiguos de avenida erosionados a 3m de altura en el tramo IV (B).

Fig. 3. Erosive features on the slope debris deposits. At the same point (reach 4) an internal channel has been exhumed from the overlying gravel bar. (A). Eroded former flood deposits at a height of 3 m in reach 4.



**Fig. 4. Modificaciones en la zona de knickpoint por movilización de grandes bloques de tamaño métrico. La estrella localiza el mismo lugar en las dos fotografías y la flecha señala los nuevos bloques arrastrados.**

*Fig. 4. Changes at the knickpoint zone due to removal of metric blocks displaced from reach 1. Star points the same site at both pictures and arrow shows the new blocks settled.*

estrechos las paredes se disponen de forma paralela. En ellas la velocidad es muy grande, y el canal se encuentra prácticamente desprovisto de sedimento. Actúan de tramos de tránsito ó *by pass* entre zonas más amplias. La sinuosidad es alta, especialmente en las zonas estrechas, y la pendiente relativa es media. Los depósitos del canal (si los hay) suelen ser gravas de tamaño decimétrico y a veces hay algunos bloques encajados entre paredes generando resaltes en el fondo del canal. El tramo de marmitas (tramo 3) se sitúa a continuación del tramo 2, y al final de la zona más estrecha. La anchura de este tramo es variable, dependiendo de la marmita y el estrechamiento posterior, oscilando entre 1-3 m en las zonas de escalón, y los 10 y 20 m en las zonas de marmitas. Las paredes se disponen en forma ondulada. El gradiente medio del tramo es alto. La sinuosidad es baja y los depósitos de tamaño decimétrico, con abundancia de barras rampantes de final de marmita. Los distintos tramos en ocasiones se separan unos de otros por discontinuidades como zona de inflexión o *knickpoint*. La presencia de estas áreas podría interpretarse como una zona de articulación entre segmentos con distinto grado evolutivo siempre y cuando no existan discontinuidades geológicas que puedan causar los cambios (E. Wohl, comun.pers.). El trabajo de Harvey (2007) en la zona de Almería muestra la presencia de varios tramos con distinto grado evolutivo que se han relacionado con tasas de incisión altas que no solo controlan la morfología de los canales, sino que también inciden en su ensamblaje geomorfológico final e inestabilidad. Factores como la tectónica regional, deformaciones tectónicas locales, cambios en la red de drenaje inducidos por la tectónica, capturas fluviales y variaciones del nivel del mar influyen a la hora de encajar los ríos en roca lo que se traduce en cambios en el perfil longitudinal. Las zonas de inflexión serían las articuladoras de estos segmentos con diferente comportamiento y en los que los procesos de avenida, sobre todo de alta mag-

nitud, actuarían como desencadenantes de cambios geomorfológicos.

**Cambios geomorfológicos tras la avenida de octubre de 2007**

Tras la crecida se han realizado trabajos de campo que han permitido observar algunos de los principales cambios que ocasiona este tipo de fenómenos de alta precipitación e intensidad en sistemas fluviales inicialmente bastante estables y poco propensos a cambios en cortos espacios de tiempo. Tras las lluvias de octubre de 2007 los principales cambios encontrados en el sector objeto de estudio son los que figuran en la tabla I. Los cambios los hemos dividido en dos clases según predomine la sedimentación o la erosión.

Los movimientos en la ladera están re-

lacionados con descálces en las márgenes del río, fundamentalmente por la dificultad para erosionar y encajarse en sustrato duro, y se relacionan con las zonas de meandros, este hecho ya ha sido observado en el río Girona por Costa (1977) que indica la propensión de la margen convexa del meandro a ser excavada y en la que las prácticas de cultivo locales suelen modificar creando bancales y gradas en los propios aluviones. Estas prácticas son muy antiguas en la zona y aún se conservan parte de los bancales árabes, algunos de los cuales se han erosionado en la crecida de 2007, lo que muestra su magnitud. Un aspecto que corrobora la excepcionalidad es la erosión parcial de los canchales (que alcanza hasta 5 m de altura), que aportan más carga sólida al cauce. Ambos cambios se dan con mayor frecuencia en los tramos 1 y 4 (Fig. 3). Los movimientos de bloques son comunes a casi todos los tramos y aparecen con mayor frecuencia en puntos de inflexión o *knickpoint* por la concentración del flujo y presencia de bloques en el cauce (Fig. 4), pero también se infieren por la presencia de numerosas marcas de impacto en el tramo de tipo 2, en esta zona por la aceleración de la corriente por la pendiente del tramo, y sobre todo por la estrecha sección. Los bloques arrastrados llegan a ser de tamaño métrico. La erosión de las barras de gravas se produce sobre todo en los tramos 1 y 4, parte del material arrastrado se encontrará posteriormente en el



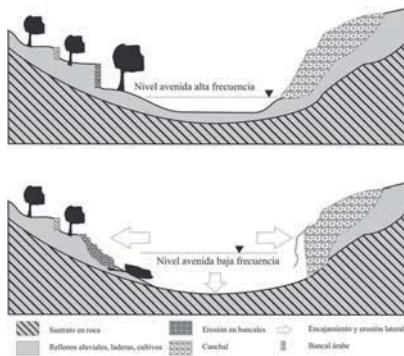
**Fig. 5. Cambios geomorfológicos en el tramo de marmitas. La estrella localiza el mismo lugar en ambas fotografías.**

*Fig. 5. Morphological changes on potholed reach. Star points are at the same site both pictures.*

**Tabla I. Tipos de cambios geomorfológicos identificados tras la avenida de octubre de 2007**

*Table I. Geomorphological change types in different identified reaches into Barranco del Infierno.*

		Tramos				
		I y IV	II	III	Kp	
Erosión	Tipos de cambios					
	Movimientos de ladera	x				
	Erosión en canchales	x				
	Movimiento de bloques	x	x		x	
	Erosión en barras	x				
Sedimentación	Marcas de impacto en bloques		x		x	
	Acumulación de barras			x		
	Relleno de marmitas			x		
	Cambios en la composición de las barras			x		



**Fig. 6.** Esquema de erosión lateral en tramos abiertos forzado por la presencia de sustrato en roca en el lecho

*Fig. 6. Scheme showing lateral erosion at open reaches forced by rocky bed substratum.*

tramo de marmitas (3) en forma de relleños que en ocasiones superan los 4 m de espesor (Fig. 5). Parte del material sólido procedente de estos tramos fue arrastrado y depositado fuera del tramo en roca estudiado, en la zona baja de la cuenca cuando el río Girona deja los estrechos, pero también encontramos grandes acumulaciones de barras en la cubeta tectónica de Vall d'Ebo, aguas arriba de la Garganta del Infierno, procedentes de la zona de cabecera, también en roca y se depositan donde la pendiente disminuye. Es en esta zona donde se produjo un arrastre masivo de cañas que recubrían el fondo del valle y que se arrastraron hasta la desembocadura en el mar, formando allí acumulaciones de varios metros de espesor y de las que han quedado restos a lo largo de todo el curso del río Girona.

El balance sedimentario muestra un predominio de la erosión en los tramos rectos abiertos y con elevada cantidad de sedimento previo a la inundación. En estas zonas se ha erosionado predominantemente las márgenes al encajarse el río hasta llegar al sustrato rocoso (Fig. 6) por lo que no puede progresar la erosión, que se traslada a los laterales. El tramo de tipo 2 es una zona de tránsito ó *by-pass* donde debido a la alta velocidad causada por el gradiente local y sobre todo por la estrechez del cauce el sedimento pasa de largo no existiendo sedimentación y con erosiones producidas por impacto de grandes bloques. En esta zona se han movido algunos bloques y sobre los que ya existían hay frecuentes marcas de impacto, que denotan la enorme carga sólida transportada.

El tramo de tipo 3 con bajo gradiente y concatenación de marmitas de grandes dimensiones presenta abundancia de sedimentación de gravas e inclusive de algunos bloques. Algunas marmitas se han

rellenado totalmente, desapareciendo a varios metros. En algunas también ha cambiado la composición de las gravas, que han pasado de ser redondeadas y tamaño medio de 10 cm a ser subangulares y de menor tamaño cuyo origen no está claro, pero parecen ser aportes de la ladera, probablemente de un canchal o colusión erosionado.

## Discusión

Los ríos en roca por su naturaleza (sustrato duro) suelen permanecer durante largos periodos de tiempo sin cambios significativos. A veces presentan modificaciones puntuales como movimiento en las barras de gravas y arenas tras episodios de crecida y en ocasiones aparecen algunos cambios como movimientos en las laderas con aparición de deslizamientos rotacionales y caídas de bloques. Pero a grandes rasgos su perfil longitudinal, morfología principal y carga no suelen cambiar. Las grandes avenidas por episodios de lluvias intensas mueven grandes volúmenes de agua al cauce, pero sobre todo grandes volúmenes de sedimento aportado por las laderas. Todo ello genera movimientos y cambios de gran magnitud en la geomorfología. La morfología de un río en roca guarda relación con características del material sobre el que circula, como dureza, planos de debilidad, etc, pero también está relacionada con su funcionamiento durante episodios de avenida. La configuración del lecho (cauce estrecho o ancho), la del fondo (con pozas o marmitas o con gradiente), el tamaño y tipo de carga de fondo que presenta y también el gradiente local del tramo son factores que al final van a controlar el comportamiento de las aguas durante las avenidas de baja frecuencia. Los tramos como el 1 y 4 son zonas anchas en las que el río tiene una capacidad de movimiento mayor y en la que se da sobre todo erosión de las barras y bloques, que previamente han sido depositados en avenidas de alta frecuencia, pero que son arrastrados en las de baja frecuencia y alta magnitud. La erosión se da sobre todo por migración de las barras del canal y fundamentalmente en las márgenes, más débiles y fáciles de erosionar que el lecho en roca. El fondo del canal queda expuesto, apareciendo planos con algunos canales internos formados previamente y que ahora son exhumados. El tramo 2, de alta pendiente y muy estrecho es una zona de alta velocidad y vehiculación de la corriente donde no existe sedimentación, excepto de bloques de grandes dimensiones o troncos de árboles encajados que crean a veces represas donde se atrapan las gravas, formando entonces resaltes de tamaño mé-

trico. La erosión en ellos se produce por impacto de grandes bloques y por pulido de las paredes. El tramo 3 es la única zona con sedimentación generalizada. En las marmitas de grandes dimensiones quedan atrapados los bloques y barras de gravas que se disponen de forma rampante, esto es, con relleno mayor hacia la zona de salida de la marmita y gradiente negativo respecto a la pendiente general del barranco. Los puntos de inflexión concentran toda la energía en una pequeña superficie y es en esta zona donde se acumulan numerosos impactos de bloques y aparecen más modificadas tras un evento de baja frecuencia como este.

Como conclusión, existen distintas zonas con diferentes grados de evolución y que tras una avenida de alta magnitud cambian notablemente, quedando en ocasiones parcialmente «fossilizadas» al quedar cubiertas de sedimento y en espera de una próxima crecida que las exhume. La actividad de los ríos en roca, incluso los de régimen estrictamente torrencial como el caso del tramo del barranco del Infierno en el río Girona, es muy alta. Los sedimentos aportados por los relieves en cabecera son transportados por abanicos al cauce y allí forman acumulaciones de barras que van migrando a pulsos, relacionados con momentos de avenida, y que ocultan o dejan al descubierto la morfología en roca del lecho. El lecho duro actúa de nivel de base y su resistencia a la erosión hace que el encajamiento del fondo sea más lento respecto a la erosión lateral en las márgenes, lo que ensancha los valles en los tramos más abiertos de estos sectores en roca.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro de los proyectos del MCYT: N° BTE-2003-045 y N° CGL2004-03049.

## Referencias

- Costa, J. (1977). *El Marquesat de Denia. Estudio Geográfico*. Depto. de Geografía de la Univ. de Valencia y Alicante. Valencia. 595p.
- DGOH (1985). *Estudio de inundaciones históricas. Cuenca del Júcar*. Comisión Nacional de Protección Civil. Madrid.
- García, J.C., Ortega, J.A. y Ferrer, M. (2004). *Geotemas*, 6 (1), 336-338.
- Harvey, A. (2007). *Cuatrenario y Geomorfología*, 21 (3-4), 21-47.
- Ortega, J.A. (2007). *Boletín Geominero*, 118 (4), 803-812pp.
- Wohl, E. E. (2000). *Mountain rivers*. American Geophysical Society. Water resources monograph, 14, Washington, 116p.