

Caracterización hidrogeomorfológica y evaluación del riesgo en un curso efímero mediterráneo: el río Seco (Aragón, España)

Hydrogeomorphological characterization and risk assessment in a mediterranean ephemeral stream: Seco River (Aragón, Spain)

^aIván Noguera¹, ^bPedro Duarte¹ y Alfredo Ollero^{2*}

RESUMEN

Los ríos efímeros constituyen sistemas hidrogeomorfológicos de gran interés por su valor intrínseco y también por su problemática vinculada a eventos de crecidas relámpago que generan situaciones de riesgo. El río Seco es representativo de estos cursos fluviales en Aragón (España), donde son abundantes pero carecen de estudios previos desde la geomorfología fluvial. Se ha aplicado un protocolo de caracterización geomorfológica y se ha estudiado la situación de riesgo de La Hoz de la Vieja a partir de la crecida relámpago de agosto de 2013. La caracterización confirma que se trata de un curso efímero de alta geodiversidad y peligrosidad. Se demuestra la utilidad del seguimiento geomorfológico y de la cartografía de zonas inundables para el conocimiento, control, mitigación del riesgo y puesta en valor de este tipo de ríos.

Palabras clave: hidromorfología, crecida relámpago, riesgo de inundación, curso efímero, río Seco.

ABSTRACT

Ephemeral rivers are not just hydro-geomorphological systems of interest because of their intrinsic value but also for its problems related to the flash floods events which generate risk situations. Seco River is representative of ephemeral streams in Aragón (Spain), where they are abundant but lack of previous studies from fluvial geomorphology. It has been applied a protocol of geomorphologic characterization and has studied the situation of risk of La Hoz de la Vieja village from a very remarkable flash flood in 2013. The study confirms that Seco River is an ephemeral course with high geodiversity and extreme natural hazard. It is demonstrated the usability of geomorphological survey and flooding cartography to knowledge, control, risk mitigation and enhancement of this type of rivers.

Keywords: hydromorphology, flash flood, flood risk, ephemeral stream, Seco River

¹Graduado en Geografía y Ordenación del Territorio. Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.

²Doctor en Filosofía y Letras, división de Geografía e Historia, sección Geografía. Universidad de Zaragoza. Facultad de Filosofía y Letras, calle Pedro Cerbuna, 12, 50009 Zaragoza

^ae-mail: ivannoguera@hotmail.es ^be-mail: pduarteyago@hotmail.com

*Autor de correspondencia. E-mail: aollero@unizar.es

I. INTRODUCCIÓN

Los ríos efímeros constituyen los ambientes fluviales predominantes en las regiones áridas y semiáridas (Shaw y Cooper, 2008) y presentan máximo interés científico por sus características geomorfológicas y por sus procesos extremos (Bull y Kirkby, 2002). En su definición priman los criterios hidrológicos, por lo que las administraciones hidráulicas han establecido normativas específicas (Levick *et al.*, 2008). En Estados Unidos se considera río efímero el que lleva agua en menos del 10% de los días del año (Sutfin, 2013). En el caso de España se considera oficialmente curso efímero aquél en el que, en régimen natural, tan solo fluye agua superficialmente de manera esporádica, en episodios de tormenta, durante un periodo medio inferior a 100 días al año (Estado Español, 2008).

En las áreas de clima mediterráneo del Sur de Europa la mayor parte de la red fluvial presenta un funcionamiento hidrológico efímero. Son cursos torrenciales de morfologías variadas con fuertes episodios de crecida, en muchos casos con problemáticas de riesgo por ocupación de los cauces.

La selección del río Seco como caso de estudio relevante para analizar los cursos efímeros de Aragón deriva de su considerable longitud y complejidad geomorfológica y de la importante crecida que registró en agosto de 2013 (Noguera, 2016). En la Península Ibérica han sido estudiados principalmente en las regiones de Valencia (e.g. Segura, 1990; Camarasa, 1995; Salazar, 2013) y Murcia (e.g. Conesa, 1987; Hooke y Mant, 2000; Vidal-Abarca *et al.*, 2003; García Lorenzo, 2010), pero no hay estudios específicos en Aragón, de manera que la presente investigación sobre el río Seco puede considerarse un trabajo pionero en esta área.

Los objetivos del presente trabajo son el desarrollo de un protocolo de caracterización hidrogeomorfológica aplicable a un curso efímero representativo (el río Seco) y el análisis de la peligrosidad del curso fluvial y del riesgo de inundación en el núcleo de población más expuesto (La Hoz de la Vieja). Con ello, se abordan los dos aspectos más relevantes de los ríos efímeros: su valor geomorfológico y geodiversidad y su problemática territorial a raíz de sus procesos extremos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El río Seco alcanza una longitud de 32,4 km y una superficie de cuenca de 132 km² (Figura 1). A lo largo de su recorrido presenta cuatro denominaciones diferentes: río Armillas en su cabecera, río de la Cantalera, río Sus y río Seco en su tramo bajo. Desemboca en el río Martín, afluente del río Ebro.

La cuenca está muy poco poblada, con tan solo tres núcleos de población: Armillas (despoblado), La Hoz de la Vieja –81 habitantes censados– y Josa –36 habitantes (INE, 2014)–. La altitud media sobre el nivel del mar de la cuenca es de 893 m, con una altitud máxima de 1263 m y una altitud en la desembocadura de 533 m. Se localiza en el dominio climático mediterráneo continentalizado, con una temperatura media anual de 10°C en su cabecera y 14°C en su desembocadura, y unas precipitaciones de entre 500-600 mm anuales en la parte alta de la cuenca y 350-400 mm en la parte baja (López Martín *et al.*, 2007). El río Seco salva un desnivel de 667 m con una pendiente media del 2% que se mantiene muy homogénea a lo largo de todo su recorrido. En la cabecera dominan las pizarras y cuarcitas paleozoicas (Figura 2) mientras en la cuenca media y baja alternan conglomerados terciarios y calizas mesozoicas, en las que el río se encaja en cañones. La alta diversidad litológica genera variaciones importantes en la permeabilidad de los suelos y condiciona en buena medida la vegetación y los usos del suelo. El matorral esclerófilo mediterráneo cubre la mitad de la superficie de la cuenca, mientras los bosques no llegan al 25%, dominando la repoblación con *Pinus halepensis*. El bosque autóctono de encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) y quejigo (*Quercus faginea*) se limita a una escasa superficie en la cuenca alta. Por lo que respecta a la jerarquía de la red de drenaje, se identifican hasta 3280 cauces de orden 1, de manera que el coeficiente de torrencialidad es muy alto (168,77), alcanzando el curso principal el orden 7 (Strahler, 1957). La longitud total de la red de cauces es de 895 km, con una densidad de drenaje de 6,79 km/km².

El tiempo de concentración en la cuenca del río Seco hasta el punto de desembocadura es de 8 horas y 49 minutos empleando la fórmula de Kirpich (1940). En la generación y propagación de crecidas la elevada

torrencialidad queda compensada con la forma alargada y poco compacta de la cuenca en su conjunto. Al tratarse de un curso efímero y carecer de información foronómica, no puede establecerse un caudal medio y tampoco existe un registro sistemático de crecidas. El régimen estacional del río Seco es similar al del río Martín, al que desemboca, que presenta los caudales más altos en mayo. Los episodios con caudal en el río Seco derivan de precipitaciones intensas tormentosas a finales de primavera y en verano.

Para el trabajo de caracterización y análisis de la cuenca del río Seco se obtuvo información de bases de datos y cartográficas en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), en el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y en el organismo de gestión hidrológica, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Para el tratamiento de todos los datos se hizo uso de herramientas SIG, con uso del software

ArcMap 10.1, que ha permitido la elaboración de los mapas temáticos. En concreto en el IGN se obtuvieron las capas del BTN-BCN (ríos, curvas de nivel, núcleos de población), el MDT-05, las hojas LIDAR, las imágenes del PNOA y el mapa del Corine Land Cover. Del mapa geológico de la CHE se adaptó su leyenda. Para la elaboración del mapa de jerarquía de cauces se utilizó información LIDAR para la creación de un MDT, a partir de la cual se editó una capa representando la red de drenaje y luego se realizó una jerarquización de esta a partir del método de Strahler.

Los datos hidrológicos se solicitaron a la CHE, contando el río Seco con una estación de aforo muy próxima a la desembocadura con datos quinceminutales de niveles (sin transformación en caudales) desde 1997 a 2016. Ante esta ausencia de valores de caudal se ha trabajado también con la estación de aforo de Alcaine en el río Martín (serie 1962-2012). La información

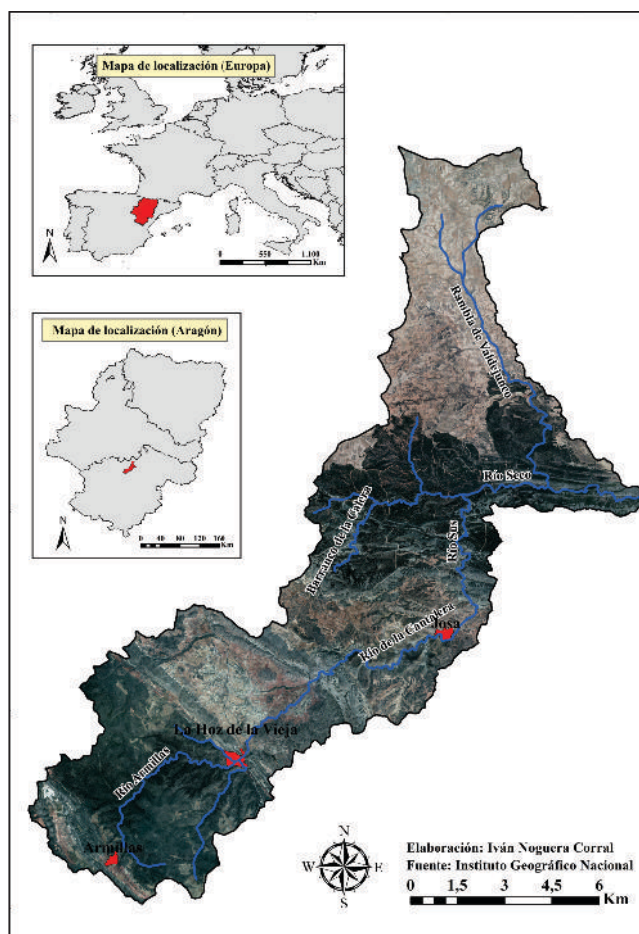


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Seco en Aragón, Península Ibérica, y en el contexto suroccidental europeo

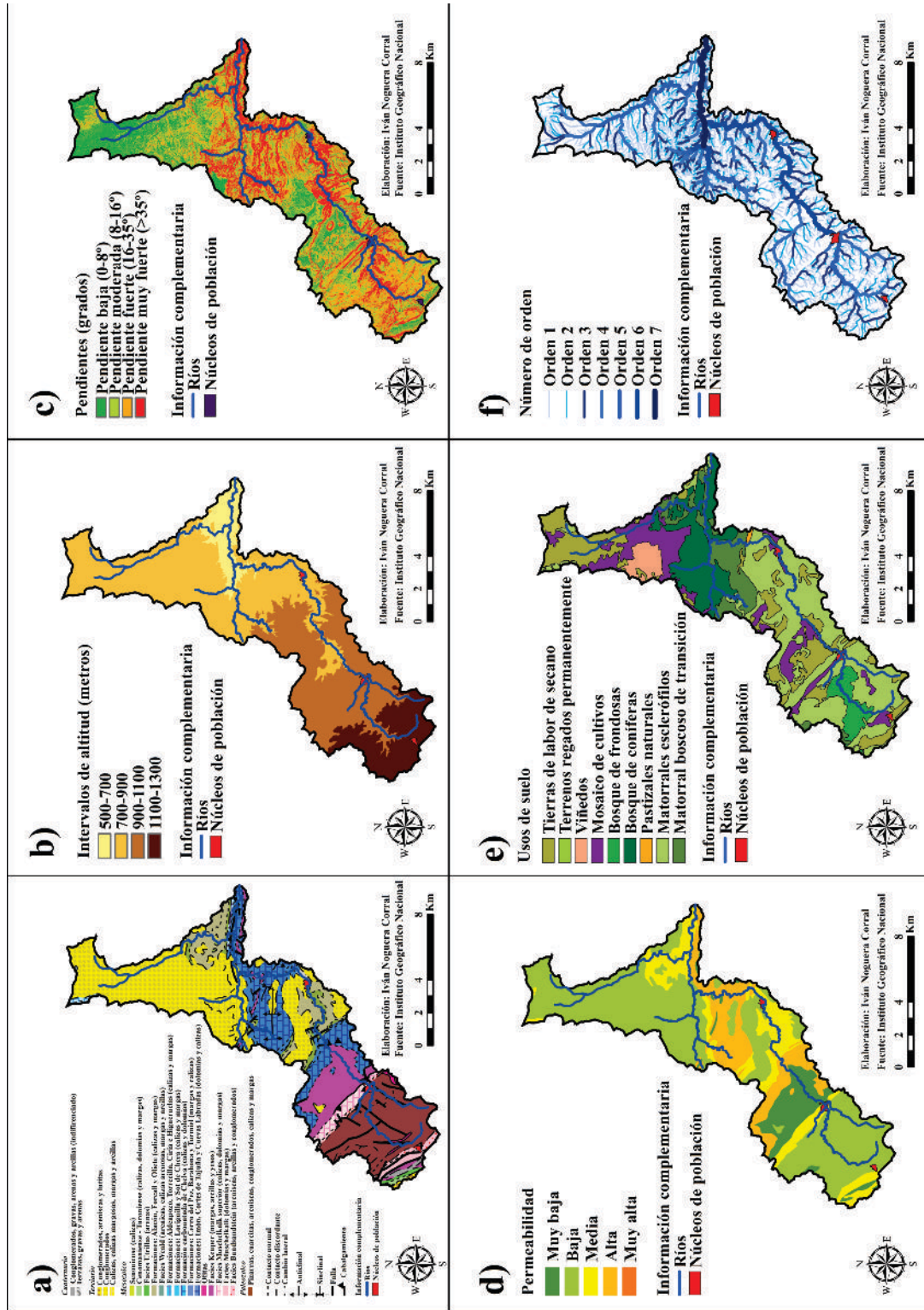


Figura 2. Caracterización de la cuenca del río Seco: mapa geológico (a), de intervalos de altitud (b), de pendientes (c), de permeabilidad (d), de vegetación y usos del suelo (e) y de jerarquización de la red fluvial (f)

sobre crecidas históricas se obtuvo en el archivo de la CHE y hemerotecas, con muy escasos resultados.

La caracterización hidromorfológica del cauce del río Seco se basó en la aplicación del protocolo del MAGRAMA (2015). Para ello se tramificó previamente el cauce a partir de criterio geomorfológico (Ollero *et al.*, 2004), resultando 10 tramos. El protocolo se modificó en algunos aspectos para adaptarlo a un curso fluvial efímero. Esta aplicación requirió trabajo de gabinete sobre fotografías aéreas y trabajo de campo. Se realizó un recorrido total del cauce del río realizando observaciones y mediciones.

En el trabajo de campo se completaron secciones transversales del cauce, 26 en total, en todos los tramos, así como en las canalizaciones del sector urbano en riesgo de La Hoz de la Vieja y en los puentes de Josa para comprobar su capacidad de desagüe. Para la estimación de caudales a partir de las secciones empleó el método geomorfológico con la fórmula de Manning ($Q = A [(R^{2/3} S^{1/2}) / n]$), siendo A el área de la sección, R el radio hidráulico, S la pendiente y n la rugosidad. Para el cálculo preciso de la sección *bankfull* y el perímetro mojado se utilizó el programa de diseño industrial *Solid Edge*. En los puntos representativos de cada uno de los 10 tramos se realizó muestreo, análisis e interpretación de sedimentos. Se trabajó la granulometría, el acorazamiento, índices morfométricos e indicadores de transporte en crecida.

Para llevar a cabo la simulación de la inundación en La Hoz de la Vieja se aplicó el software HEC-RAS (Brunner, 2008), empleando las 11 secciones realizadas en el barranco, afluentes y puentes, así como los datos LIDAR que permitieron crear un MDT de 0,5 x 0,5 m por pixel, y fueron filtrados con ArcMap 10.1, siguiendo el método de Domenech (2009). No se pudieron obtener datos económicos de los elementos expuestos a la inundación en La Hoz de la Vieja, pero sí se pudo contabilizar, con la ayuda del alcalde de la localidad y de los vecinos afectados, el número de habitantes de las casas localizadas en espacio inundable, tanto en invierno como en verano, cuando se llega a multiplicar por 10 la población. Una vez analizadas la peligrosidad y la exposición, se elaboró una cartografía de zonas inundables a partir de HEC-RAS 4.1.0.

III. RESULTADOS

Crecidas

Una vez analizada la cuenca, cuyos resultados se han recogido en la introducción, del estudio del funcionamiento hidrológico lo más relevante son los procesos extremos, y en concreto las crecidas relámpago de 1945 y 2013, que constituyen una base fundamental para la consideración del riesgo en el río Seco. Hay noticias de una crecida de gran magnitud en 1915, aunque sin datos concretos. Sí existe información de la avenida del 30 de junio de 1945, para la que López Bustos (1981) estimó un caudal de 650 m³/s en el tramo final del río. Sin embargo, los habitantes de La Hoz de la Vieja conservan memoria de la de 1915 pero no de la de 1945, por lo que no debió generar daños y pudo formarse principalmente en los cursos medio y bajo. La crecida mejor documentada es la del 3 de agosto de 2013, que generó daños en las casas de La Hoz de la Vieja y provocó una víctima mortal en el tramo final de desembocadura, donde un vehículo fue arrastrado. En el aforo del río Seco se marcaron dos picos de crecida, el primero con 3,08 m de altura sobre el lecho a las 19:30 horas y el segundo con 2,09 m una hora más tarde. La CHE estimó el caudal de la primera punta en 180-240 m³/s y estimó el paso por La Hoz de la Vieja, aguas arriba, en 80-120 m³/s.

Caracterización geomorfológica y geodiversidad

Para la caracterización geomorfológica del cauce del río Seco se aplicó en primer lugar el protocolo del MAGRAMA (2015) a los 10 tramos definidos. Los resultados pueden sintetizarse en los siguientes aspectos, completados también en la tabla 1:

- Todos los tramos se caracterizan hidrológicamente como “río efímero pluvial mediterráneo”.
- Hay conexiones temporales con aguas subterráneas en la mitad de los tramos, con presencia de algunos manantiales, pero muy escasas o nulas en los tramos 2, 6, 8, 9 y 10.
- Las alteraciones antrópicas de los caudales hídricos y sólidos son muy puntuales, con algunas estructuras de retención en barrancos afluentes.
- Las tipologías de fondo de valle y de cauce son muy diversas, alcanzándose una altísima geodiversidad. El río cambia de morfología general por término medio cada 3 km.
- La estructura longitudinal del cauce también cambia

Tabla 1. Caracterización morfológica general y pendiente local y caudal *bankfull* obtenidos en las secciones transversales realizadas. En los tramos 1 y 10 se midieron pendiente y caudal en dos puntos (a y b).

Tramo	Valle	Cauce (planta)	Cauce (sediment.)	Estructura long.	Nº formas lecho	Pendiente local mm	Caudal <i>bankfull</i> m ³ /s
1. Armillas-Hoz (a)	confinado	sinuoso	mixto	rampa	4	0,0157	22,86
1. Armillas-Hoz (b)			cantos			0,0197	20,45
2. Urbano Hoz	llanura estrecha	recto	aluvial gravas	rampa	0	0,0060	64,65
3. Valle abierto Hoz	llanura amplia	sinuoso	aluvial gravas	rampa	4	0,0074	34,90
4. Cañón Hoz	confinado	sinuoso	en roca gravas	salto-pozas y rampa	4	0,0236	64,06
5. Cañón Josa	llanura estrecha	sinuoso	mixto bloques y gravas	rampa	4	0,0136	26,36
6. Valle abierto Josa	llanura amplia	sinuoso	mixto bloques y gravas	rampa	4	0,0231	433,10
7. Estrechos Sus	confinado	sinuoso	mixto gravas	salto-pozas y rampa	4	0,0160	44,18
8. Valle abierto Oliete	llanura amplia	sinuoso	aluvial gravas	rampa	4	0,0092	412,17
9. Estrecho Oliete	confinado	sinuoso	aluvial gravas	rampa	3	0,0081	12,83
10. Desemboc. Seco (a)	llanura	sinuoso	aluvial	rampa	4	0,0156	228,24
10. Desemboc. Seco (b)	amplia		gravas			0,0167	187,61

Fuente: Elaboración propia

con frecuencia, dominando el tipo rampa.

-Hay tramos de cauce en roca con sedimentos, mixtos y claramente aluviales. La movilidad de sedimentos es eficiente en todos los tramos. Su clasificación e imbricación son en general escasas como corresponde a un curso efímero, aunque el acorazamiento es mayor que el esperable para ramblas.

-Las morfologías del lecho son variadas en todos los tramos, incluso en los más encajados, distinguiéndose en la mayoría barras longitudinales, laterales, “islas” y canales secundarios. Es decir, hay una morfología divagante o incluso trezada en el fondo del lecho integrada con la morfología general sinuosa en valle encajado o abierto.

-Hay algunas alteraciones del cauce por muretes laterales y azudes (8 en total, 5 de ellos en el tramo 7, en su mayoría en desuso y afectados por la crecida de 2013) y especialmente por pasos de caminos sobre el lecho. La principal afección es la canalización urbana de La Hoz de la Vieja (tramo 2).

-La ocupación de la llanura de inundación es mínima salvo en La Hoz de la Vieja.

-En cuanto a la estructura de la zona ribereña, es un río sin ribera definida en todo su recorrido.

El protocolo del MAGRAMA se mostró insuficiente para caracterizar un río de estas condiciones, de manera que se intensificaron las observaciones y mediciones geomorfológicas, especialmente con secciones transversales y muestreo de sedimentos. Las secciones transversales, acompañadas de la medición de la pendiente local, permitieron obtener el caudal *bankfull* local (Tabla 1), asimilable al caudal de cauce lleno, geomórfico, de máxima energía. Es un parámetro caracterizador no recogido en el protocolo del MAGRAMA pero de sumo interés en estos cursos, ya que define la capacidad del cauce y, por tanto, la peligrosidad de las crecidas.

Los resultados de los cálculos son muy diversos entre tramos, en consonancia con la geodiversidad observada en todos los parámetros geomorfológicos analizados. Las secciones se han medido en puntos con escarpes claros en los que el cauce se ha auto-dimensionado en diferentes crecidas. Así, la crecida más reciente de agosto de 2013, labró y modeló algunos nuevos escarpes de *bankfull* en algunos puntos, pero simplemente desbordó sobre escarpes antiguos en otros. El caudal *bankfull* definido para el tramo 2 es el que cabe en la

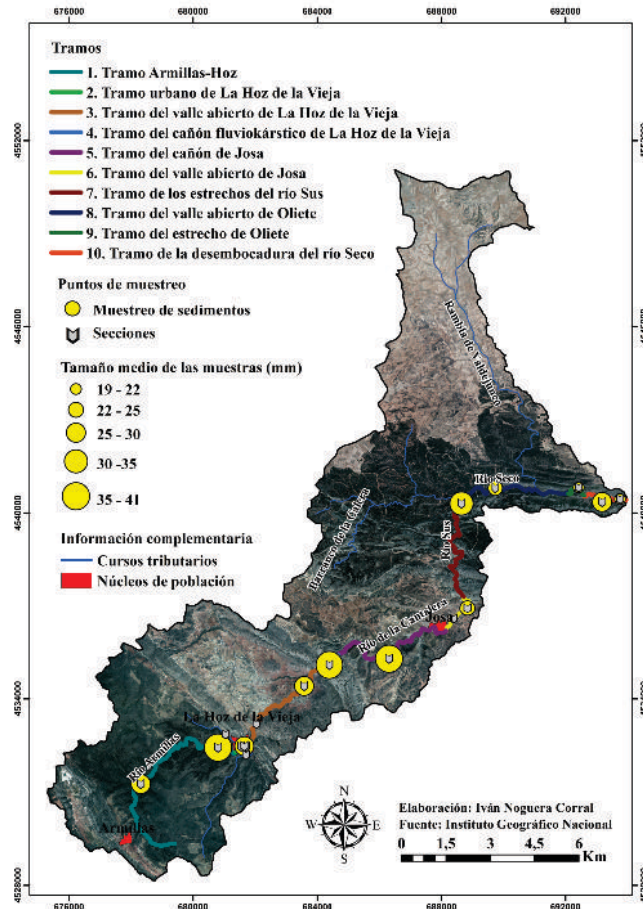


Figura 3. Tramos, puntos de muestreo y tamaño medio de sedimentos

Tabla 2. Principales valores obtenidos en el análisis de sedimentos en los diez tramos de estudio. En los tramos 1 y 10 se muestreó en dos puntos (a y b).

Tramo	Tamaño medio mm	Acorazamiento	Desgaste	Aplanamiento	Esféricidad	Centilo cm	Velocidad crecida m ³ /s
1. Armillas-Hoz (a)	26,70	3,65	0,17	2,79	0,61	77	4,19
1. Armillas-Hoz (b)	40,35	2,21	0,19	2,55	0,59	62	3,75
2. Urbano Hoz	25,35	2,79	0,41	1,98	0,68	38	2,88
3. Valle abierto Hoz	25,83	2,68	0,34	2,08	0,65	66	3,39
4. Cañón Hoz	36,78	2,16	0,38	1,89	0,69	157	4,81
5. Cañón Josa	35,98	2,06	0,36	2,15	0,66	75	4,16
6. Valle abierto Josa	24,64	4,62	0,25	2,13	0,64	79	4,26
7. Estrechos Sus	31,26	1,15	0,33	2,60	0,61	57	3,73
8. Valle abierto Oliete	23,00	2,49	0,32	2,33	0,61	145	4,93
9. Estrecho Oliete	19,71	2,54	0,29	2,37	0,61	61	3,39
10. Desemboc. Seco (a)	29,85	1,96	0,39	2,28	0,64	68	3,68
10. Desemboc. Seco (b)	21,03	2,77	0,37	1,96	0,67	65	3,87

Fuente: Elaboración propia

canalización urbana. El del tramo 3 en el valle abierto de Hoz resulta bajo, de manera que el desbordamiento sobre la huerta es destacable, como ocurrió en 2013. Sin embargo, en los valles abiertos de Josa (tramo 6) y Oliete (tramo 8) el río ha diseñado un cauce con mucha capacidad en el que no se observan restos de desbordamientos de la citada crecida. Estos valores de caudal

bankfull llevan a estimar que los caudales circulantes en los cursos medio y bajo en la crecida de agosto de 2013 rondaron los 400 m³/s.

Los muestreos de sedimentos realizados denotan también una elevada diversidad en los resultados (Tabla 2). Tanto las variaciones en el tamaño medio (Figura 3) como el acorazamiento, en el que destacan valores

relativamente altos en algunos tramos, se relacionan con factores locales. El desgaste aumenta en general aguas abajo, ratificando una buena movilidad. El aplanamiento es elevado por razones litológicas desde las pizarras de cabecera. La esfericidad destaca por su homogeneidad. El centilo presenta el dato bajo anómalo del tramo urbano de Hoz. En general hay presencia de grandes bloques en todos los tramos, lo cual responde a la violencia y competencia de los episodios de crecida. La velocidad de crecida se ha obtenido a partir de la medición de los 5 clastos mayores en cada punto y con la fórmula de Costa (1983), resultando

valores muy altos y peligrosos como corresponde a la elevada pendiente en general y a la capacidad de arrastre de grandes bloques.

Situación de riesgo en La Hoz de la Vieja

Este núcleo de población, ubicado al final de la parte alta de la cuenca, asistió al rápido proceso de crecida e inundación de agosto de 2013. Tres años después todavía hay señales y restos que marcan hasta qué altura llegaron las aguas en algunas viviendas. A partir de la información de los vecinos, se ha realizado una sección en el punto donde se había colocado una marca de la crecida en una fachada, aguas abajo de la confluencia del río Seco (o río Armillas en la denominación

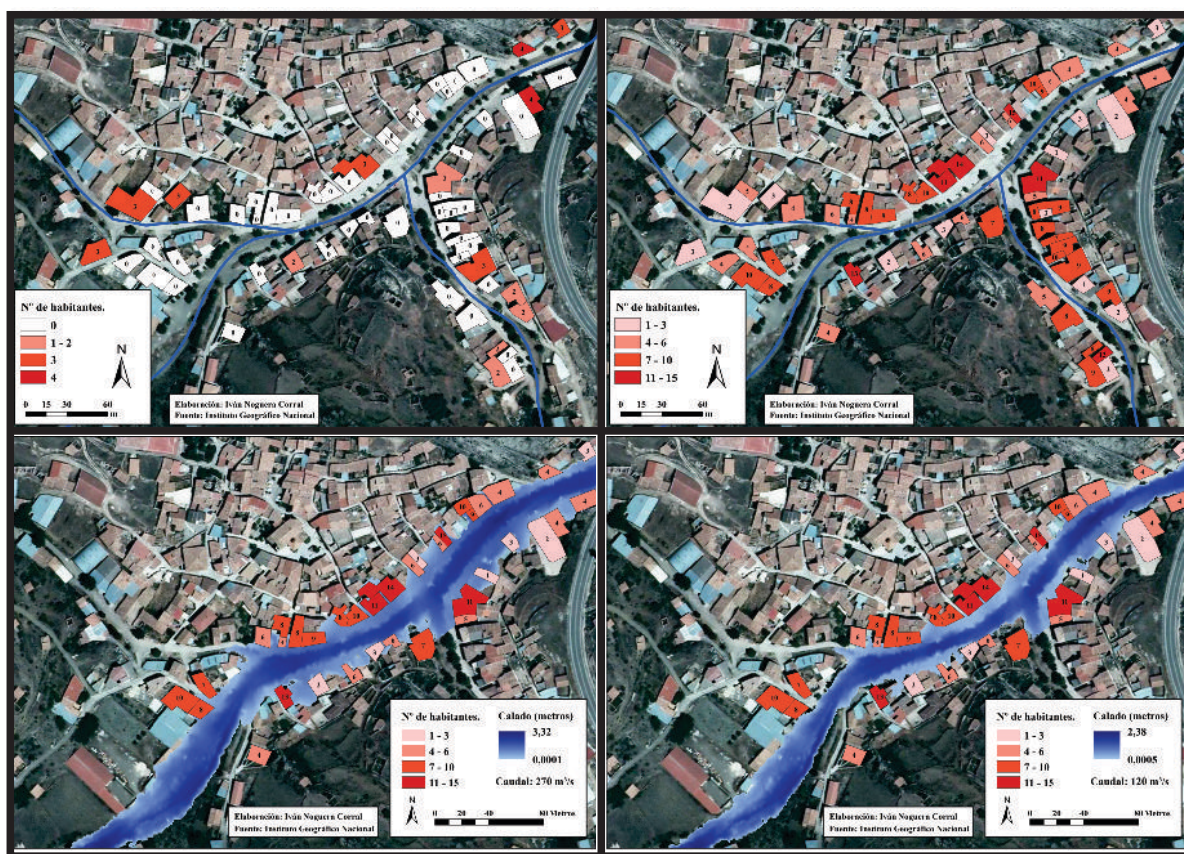


Figura 4. Población expuesta en invierno y en verano, y mapa de inundabilidad para un caudal de 120 m³/s y para un caudal de 270 m³/s

local) con el barranco Vadiello. El caudal obtenido asciende a 270,39 m³/s, muy por encima de los 80-120 m³/s estimados por la CHE. Hay que tener en cuenta que el puente principal, muy próximo a la sección realizada, cuenta con una capacidad de desagüe de 94,36 m³/s y fue claramente superado por la crecida. Para evaluar el riesgo en La Hoz de la Vieja se han

considerado los factores básicos. Por lo que respecta a la peligrosidad, la subcuenca del río Armillas o Seco, hasta el municipio es de 27,16 km² y presenta una alta compacidad y circularidad, un dominio de pendientes entre 16° y 40°, una permeabilidad muy baja, una pendiente media del cauce principal del 3,35% y un tiempo de concentración de 2 horas y 47 minutos. Todo ello

implica una muy alta peligrosidad, a la que hay que añadir que el afluente principal de la cuenca, barranco Vadiello, desemboca en el mismo núcleo de población. En lo referente a la exposición, hay un total de 60 edificios urbanos en los espacios de inundación del río Armillas-Seco más los de los barrancos que confluyen, Barranquillo y Vadiello. En estos 60 edificios habitan en total 38 personas en invierno y hasta 385 personas en los momentos de máxima afluencia en verano (Figura 4). La vulnerabilidad es baja, todos los edificios resistieron a la crecida de agosto de 2013, aunque hubo daños notables en algunos de ellos, así como en el pavimento de las calles y en tuberías de la red pública, valorados en 500000 € y repuestos por la CHE. En La Hoz de la Vieja no hubo daños personales. En la Figura 4 se ha simulado la inundación para un calado máximo de 2,38 m y un caudal de 120 m³/s (estimación de la CHE para el evento de 2013) y para un calado de 3,32 m y un caudal de 270 m³/s calculado en este trabajo para el citado evento.

IV. DISCUSIÓN

La caracterización hidromorfológica aplicada ha permitido comprobar que el río Seco es representativo de los cursos efimeros mediterráneos, que cuenta con una muy alta geodiversidad y que presenta una elevada torrencialidad con crecidas extremas geomórficas. De estos resultados pueden derivarse dos propuestas de gestión: la necesidad de proteger y conservar la geodiversidad (Gray, 2005) y representatividad del río Seco y la conveniencia de contar con medios para un seguimiento continuo de las crecidas del río y de los factores de peligrosidad. En relación con la primera propuesta, el río Seco entraría, por sus características, ausencia de presiones antrópicas relevantes y buen estado hidromorfológico y ecológico, en los parámetros adecuados para su catalogación y declaración como Reserva Natural Fluvial de acuerdo con la Ley 11/2005 del Plan Hidrológico Nacional (González Briz *et al.*, 2015). En relación con la segunda propuesta, es importante contar con la estación de aforo del curso bajo del río Seco, pero no suficiente, ya que al tratarse de un curso efimero aportarían más información los muestreos geomorfológicos detallados periódicos en el cauce que los datos hidrológicos simples. Así, por ejemplo, la carac-

terización hidromorfológica realizada en la presente investigación ha mostrado que los valores estimados por la CHE para la crecida de agosto de 2013 a partir de los niveles en la estación de aforo fueron en realidad claramente más altos, y especialmente en el núcleo urbano de La Hoz de la Vieja.

Para este necesario seguimiento geomorfológico, la herramienta que se va a emplear a escala estatal, el protocolo del MAGRAMA (2015), se ha mostrado insuficiente. Este protocolo se encuentra todavía oficialmente en versión 0 o borrador, en espera de su aplicación a diferentes cursos fluviales, lo que permitirá su validación. La aplicación realizada en el río Seco es la primera en un curso efimero y ha mostrado que varios de los elementos del protocolo son irrelevantes para este tipo de ríos (vegetación de ribera, por ejemplo) y que por el contrario algunas mediciones geomorfológicas (secciones *bankfull*, por ejemplo) deberían ser incorporadas.

La necesidad planteada de realizar estudios geomorfológicos de detalle actualizados con frecuencia en cursos efimeros es todavía más importante en ríos donde hay situaciones de riesgo. En el caso de La Hoz de la Vieja, los valores de calado (3,2 m) y velocidad (3 m/s) en crecida están muy por encima de los umbrales de peligrosidad de 1 m y 1 m/s señalados por Protección Civil (Estado Español, 1995), por lo que hay un riesgo evidente para las personas en un sector de la localidad cuya población estival se aproxima a los 400 habitantes.

Es fundamental, por tanto, establecer un seguimiento hidrogeomorfológico del río Seco valorándolo como una medida fundamental de prevención, tal como propuso para estos casos Ollero (2014). Las posibilidades de reducción del riesgo son mínimas, salvo que se eliminara la exposición (los edificios) en La Hoz de la Vieja. La concienciación de la población es actualmente muy alta por lo reciente del evento de agosto de 2013, pero con el tiempo podría relajarse, y el seguimiento será útil también para mantener en alerta a habitantes y gestores. La cartografía de inundabilidad del presente trabajo puede ser una herramienta útil para concienciar a la población y podría quedar expuesta de forma permanente en la localidad.

El río Seco seguirá teniendo crecidas violentas, forma parte de su funcionamiento natural y es un valor más

de su geodiversidad hidrogeomorfológica. Plantear medidas de ingeniería tradicional para luchar frontalmente contra las crecidas sería de utilidad dudosa y provocaría daños inadmisibles en la valiosa geodiversidad de este río efímero. En suma, protección como Reserva natural Fluvial, seguimiento geomorfológico preventivo y concienciación de la población, con un buen sistema de alerta y evacuación que reduciría al máximo la vulnerabilidad, son nuestras propuestas desde la investigación realizada; asimismo, están en la línea de otros trabajos (García Ruiz *et al.*, 1996; Díez Herrero *et al.*, 2008; Segura, 2009; Vinet, 2010; Llasat *et al.*, 2013; Ollero, 2014) y pueden ser extrapolables a otros cursos efímeros, muy abundantes y expuestos en toda la geografía mediterránea.

V. CONCLUSIÓN

La caracterización geomorfológica realizada permite definir el río Seco como efímero, muy geodiverso en cada punto y en todo su recorrido longitudinal y altamente peligroso para los asentamientos humanos. Esta peligrosidad se manifestó en la crecida de agosto de 2013 y constata un punto de máximo riesgo en la localidad de La Hoz de la Vieja. Tanto el seguimiento geomorfológico continuo en todo el curso fluvial como la evaluación y cartografía de riesgos de inundación en los núcleos de población expuestos, son herramientas clave necesarias para conocer adecuadamente el funcionamiento de estos ríos, controlar y mitigar sus situaciones de riesgo y poner en valor su riqueza geomorfológica y geodiversidad.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brunner, G.W. *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual, version 4.0*. Davis: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2008.
- Bull, L.J. y M.J. Kirkby. *Dryland river characteristics and concepts*. En *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels*, de Bull, L.J. y M.J. Kirkby (Eds.), 3-16. Chichester: Wiley, 2002.
- Camarasa, A.M. *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas. Barranco de Carraixet y Rambla del Poyo*. Valencia: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Júcar, 1995.
- Conesa, C. “Barras de grava en lechos de rambla del Campo de Cartagena (Murcia)”. *Papeles de Geografía (Física)*, Vol 12 (1987): 33-45.
- Costa, J.E. “Palaeohydraulic reconstruction of flash-flood peaks from boulder deposits in the Colorado Front Range”. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 94 (1983): 986-1004.
- Díez Herrero, A., L. Laín y M. Llorente. *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2008.
- Domenech, S. “Peligrosidad de inundaciones del río Sosa (Monzón, Hueca): modelización, cartografía y propuestas de actuación”. Trabajo fin de Diploma en Ingeniería de Recursos Hídricos, Universidad de Zaragoza, 2009.
- Estado Español. Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. *Boletín Oficial del Estado*, Vol. 38 (1995): 4846-4858.
- Estado Español. Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. *Boletín Oficial del Estado*, Vol. 229 (2008): 38472-38582.
- García Lorenzo, R. “Peligrosidad de las aguas de avenidas en los cruces de carreteras con ramblas. Estudio aplicado a la franja costera meridional de la región de Murcia”. Tesis doctoral, Dpto. de Geografía, Universidad de Murcia, 2010.
- García Ruiz, J.M., S. White, C. Martí, B. Valero, M.P. Errea y A. Gómez Villar. *La catástrofe del barranco de Arás (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio-temporal*. Zaragoza: Instituto Pirenaico de Ecología, 1996.
- González Briz, E., S. Martín y R. Urquiaga. “Las reservas naturales fluviales y la planificación hidrológica”. *Ambienta*, Vol. 110 (2015): 60-81.
- Gray, M. “Geodiversity and geoconservation: what, why, and how?” *Geodiversity and*

- geoconservation*, Vol. 22 (2005): 4-12.
- Hooke, J.M. y J.M. Mant. "Geomorphological impacts of a flood event on ephemeral channels in SE Spain". *Geomorphology*, Vol. 34 (2000): 163-180.
- INE. *Cifras de población y censos demográficos*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística, 2014.
- Kirpich, Z.P. "Time of concentration of small agricultural watersheds". *Civil Engineering*, Vol. 10 (1940): 362.
- Levick, L.R., D.C. Goodrich, M. Hernández, J. Fonseca, D.J. Semmens, J. Stromberg, M. Tluczek, R.A. Leidy, M. Scianni, D.P. Guertin y W.G. Kepner. *The ecological and hydrological significance of ephemeral and intermittent streams in the arid and semi-arid American Southwest*. Washington: U.S. Environmental Protection Agency and USDA/ARS Southwest Watershed Research Center, 2008.
- Llasat, M.C., M. Llasat, O. Petrucci, C.C. Pasqua, J. Rosselló, F. Vinet y L. Boissier. "Towards a database on societal impact of Mediterranean floods within the framework of the HYMEX Project". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 13 (2013): 1337-1350.
- López Bustos, A. "Tomando el pulso a las grandes crecidas de los ríos peninsulares". *Revista de Obras Públicas*, Vol. 3190 (1981): 179-192.
- López Martín, F., M. Cabrera y J.M. Cuadrat (Coords.). *Atlas climático de Aragón*. Zaragoza: Dpto. de Medio Ambiente, Gobierno de Aragón, 2007.
- MAGRAMA. *Protocolo de caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015.
- Noguera, I. "Geomorfología, geodiversidad y riesgos en el río Seco (cuenca del río Martín, Teruel)". Trabajo fin de grado en Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, 2016.
- Ollero, A. *Guía metodológica sobre buenas prácticas en gestión de inundaciones. Manual para gestores*. Zaragoza: Contrato de río del Matarraña, ECODES, 2014.
- Ollero, A., M.T. Echeverría, M. Sánchez Fabre, V. Auría, D. Ballarín y D. Mora. "Metodología para la tipificación hidromorfológica de los cursos fluviales de Aragón en aplicación de la Directiva Marco de Aguas (2000/60/CE)". *Geographicalia*, Vol. 44 (2004): 7-25.
- Salazar, S.A. "Metodología para el análisis y la reducción del riesgo de inundaciones: aplicación en la Rambla del Poyo (Valencia) usando medidas de retención de agua en el territorio". Tesis doctoral, Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, 2013.
- Segura, F. "Las ramblas valencianas. Algunos aspectos de hidrología, geomorfología y sedimentología". Tesis doctoral, Dpto. de Geografía, Universidad de Valencia, 1990.
- Segura, F. "Geomorfología, inundaciones y alteración antrópica del espacio inundable: el caso del riu Girona (Alacant, octubre de 2007)". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, Vol. 49 (2009): 83-103.
- Shaw, J.R. y D.J. Cooper. "Linkages among watersheds, stream reaches, and riparian vegetation in dryland ephemeral stream networks". *Journal of Hydrology*, Vol. 350 (2008): 68-82.
- Strahler, A.N. "Quantitative analysis of watershed geomorphology". *Transactions of the American Geophysical Union*, Vol. 38 (1957): 913-920.
- Sutfin, N.A. "A geomorphic classification of ephemeral streams in arid regions". Master Thesis, Dpt. of Geosciences, Colorado State University, Fort Collins, 2013.
- Vidal-Abarca, M.R., M.A. Esteve y M.L. Suárez. *Humedales y ramblas de la región de Murcia*. Murcia: C.A. Región de Murcia, 2003.
- Vinet, F. *Le risque inondation. Diagnostic et gestion*. Paris: Tec y Doc Lavoisier, 2010.