

Trabajo Fin de Grado

Propuesta y aplicación de un protocolo
geomorfológico de caracterización y diagnóstico en
cauces de gravas

*A fluvial geomorphology protocol for the characterisation and
assessment of gravel-bed rivers: approach and application*

Autor/es

Gonzalo Peño Gómez

Director/es

Alfredo Ollero Ojeda

Grado en Geografía y Ordenación del Territorio
2016-2017

Resumen

Se ha generado una metodología que aporta información básica pero eficaz para caracterizar los cauces de gravas, interpretar su funcionamiento, diagnosticar su estado y mantener un seguimiento de este proceso. Ante la frecuente carencia de tiempo y presupuesto este protocolo reúne las características básicas de rapidez, eficacia y economía. Se utiliza la fotografía como una de las herramientas principales en un gran número de apartados del proceso. El trabajo se ha llevado a cabo en 6 casos, uno por cada tipo de cauces de gravas que existen en Aragón. Se han desarrollado cuatro fases de estudio: selección de casos representativos, caracterización inicial en fotografía aérea, caracterización en campo y trabajo de interpretación. Los resultados obtenidos han aportado información útil para la puesta en valor de este tipo de cauces, el reconocimiento de impactos y presiones que amenazan su pervivencia y la propuesta de acciones para establecer las correspondientes medidas de restauración, conservación y protección.

Palabras clave: geomorfología fluvial, diagnóstico hidromorfológico, cauces de gravas, sedimentos, fotografía.

Abstract

The present report describes a new methodology generated to provide basic but effective information to characterize the gravel-bed rivers, to interpret their running, to diagnose their state and to keep track of these processes. Given the frequent lack of time and budget, this protocol has three big advantages: speed, efficiency and economy. Photography is used as one of the main tools in a large number of steps of the process. The work has been carried out in 6 cases, one for each type of gravel-bed rivers existing in Aragon. Four study phases have been developed: selection of representative cases, initial characterisation in aerial photography, field characterisation and interpretation. The results obtained have provided useful information for the valorisation of this type of rivers, identification of impacts and pressures that threaten their survival and the proposal of actions to establish the corresponding measures of restoration, conservation and protection.

Key words: fluvial geomorphology, hydromorphological assessment, gravel-bed rivers, sediments, photography.

ÍNDICE

1. Introducción	5
1.1. Objetivos	5
1.2. Área de estudio	5
1.3. Antecedentes	6
2. Diseño metodológico	7
2.1. Selección de tramos	7
2.2. Caracterización inicial en fotografía aérea	7
2.3. Caracterización en campo	7
2.4. Trabajo de interpretación	9
3. Resultados	11
3.1 Aplicación a los casos de estudio	11
Tipo A (Cauces divagantes): Lubierre	11
Tipo B (Torrentes y barrancos de montaña): Yosa	15
Tipo C (Cauces trenzados): Arba de Luesia	18
Tipo D (Cauces simples de barras mal definidas): Llastre	21
Tipo E (Cauces efímeros de tipo rambla): Cariñena	24
Tipo F (Cauces meandriformes): Ebro	27
3.2 Aplicación general y comparativa	31
3.2.1 Índice IHG-E	31
3.2.2 Tabla comparativa	32
4. Discusión	33
5. Conclusiones	35
6. Anexo fotográfico	36
7. Bibliografía	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio	6
Figura 2: Ejemplo de la cuadrícula utilizada en el método de acorazamiento	9
Figura 3: Método IHG-E	10
Figura 4: Área de estudio del caso del río Lubierre	11
Figura 5: Cauce del río Lubierre	11
Figura 6: Ficha del río Lubierre	12
Figura 7: Flysch pirenaico	13
Figura 8: Estructura dentro del cauce/ Muro de piedras artificial	13
Figura 9: Incisión en el río Lubierre	14
Figura 10: Área de estudio del caso del barranco de Yosa	15
Figura 11: Cauce del barranco de Yosa	15
Figura 12: Ficha del barranco de Yosa	16
Figura 13: Paso de piedras artificial/ Manguera de riego elevada	17
Figura 14: Límite lateral del barranco de Yosa	17
Figura 15: Área de estudio del tramo del río Arba de Luesia	18
Figura 16: Ficha del río Arba de Luesia	19
Figura 17: Aguas arriba/ Aguas abajo del tramo del río Arba de Luesia	20
Figura 18: Área de estudio del tramo del río Llastre	21
Figura 19: Cauce del río Llastre	21
Figura 20: Ficha del río Llastre	22
Figura 21: Erosión/ madera muerta en el tramo del río Llastre	23
Figura 22: Colonización vegetal en el cauce del río Llastre	24
Figura 23: Área de estudio del caso de la rambla de Cariñena	24
Figura 24: Ficha de la rambla de Cariñena	25
Figura 25: Gran tronco de madera en mitad del cauce de la rambla de Cariñena	26
Figura 26: Talud casi vertical/ Talud con forma en V de la rambla de Cariñena	27
Figura 27: Área de estudio del tramo del río Ebro	27
Figura 28: Ficha del río Ebro	28
Figura 29: Transformaciones del cauce del río Ebro en el área de estudio	29
Figura 30: Muro donde choca el cauce principal antes de hacer la curva	30
Figura 31: Resultados del índice IHG-E para cada tramo	31
Figura 32: Tabla comparativa con los datos obtenidos en cada uno de los tramos	32

1. Introducción

Los cauces de gravas son tipos fluviales de máxima geodiversidad y biodiversidad (Beechie et al., 2006; Piégay et al., 2006), ya que su propia formación viene derivada de la geomorfología fluvial, elemento clave en este tipo de ecosistemas, formando parte de nuestro patrimonio natural y constituyendo un valor natural en sí mismo (Ibáñez et al., 2011). Los ríos aluviales de gravas de abundante carga sedimentaria están presentes en todas las áreas de montaña y piedemonte del planeta. De esta manera, puede afirmarse que el sistema de evacuación y transporte de sedimentos desde una zona montañosa hasta áreas de llanura está constituido por cursos fluviales de gravas, los cuales adoptan distintas morfologías. Por otro lado, este tipo de ríos se encuentra muy amenazado dentro del contexto europeo debido a que estos han asistido a un gran número de cambios hidromorfológicos y ecológicos en las últimas décadas, principalmente como consecuencia de las actividades antrópicas y del cambio global (Ollero, 2011). De este modo, se están viendo afectados por intensos y rápidos procesos de estrechamiento, simplificación, estabilización y colonización vegetal, muchas veces acompañados de incisión.

Ante la frecuente carencia de tiempo y presupuesto, se impone la conveniencia de encontrar un sistema de trabajo geomorfológico sencillo que aporte información básica pero eficaz para caracterizar el río, interpretar su funcionamiento, diagnosticar su estado y mantener un seguimiento del proceso. De esta manera, este protocolo pretende reunir estas características de un modo en el que la eficacia, la rapidez y la economía sean factores compatibles entre sí, habiéndose sido pensado para que el trabajo de campo pueda ser realizado por una sola persona sin medios técnicos complejos.

Para ello se pretende que la fotografía adquiera un papel fundamental, ya que se trata de una forma de expresión que vemos constantemente en nuestros días, capaz de recoger en una instantánea una gran cantidad de información, la cual puede ser utilizada para diagnosticar y establecer comparaciones entre casos. Del mismo modo, dicha información puede quedar registrada y constituir una herramienta útil para llevar a cabo un seguimiento de los casos en un futuro, o incluso como forma de consulta para trabajos que expongan materia de la misma línea científica.

1.1 Objetivos

- Caracterizar los cauces de gravas a través de un sistema geomorfológico que aporte información básica y eficaz.
- Comprobar la funcionalidad hidrogeomorfológica de los cauces de gravas a estudio y diagnosticar su estado actual.
- Iniciar un seguimiento con vistas a su puesta en valor, protección y restauración.
- Potenciar el uso de la fotografía como herramienta en la investigación de los puntos anteriores, precisando su uso para la presentación de información.

1.2 Área de estudio

En el presente trabajo el protocolo se ha puesto en práctica en seis casos representativos de los diferentes tipos de cauces de gravas de Aragón (Ollero et al., 2016): río Lubierre (Tipo A:

cauces divagantes), barranco de Yosa (tipo B: torrentes y barrancos de montaña), río Arba de Luesia (Tipo C: cauces trenzados), río Llastre (Tipo D: cauces simples de barras mal definidas), Cariñena (Tipo E: cauces efímeros de tipo rambla), y río Ebro (Tipo F: cauces meandriiformes).



Figura 1: Área de estudio

1.3 Antecedentes

El interés científico por los ríos de gravas es muy alto, tanto desde la geomorfología como de la ingeniería y la ecología. Muestra de ello es la abundante bibliografía internacional sobre “gravel-bed rivers” y los 8 simposios internacionales celebrados hasta 2015. El funcionamiento de este tipo de cursos fluviales, su evolución y problemáticas actuales ha sido muy estudiado pero, sin embargo, no existen catálogos exhaustivos de su extensión y representatividad en el territorio. El trabajo de Piégay et al. (2009), con un censo de distribución de los cursos de gravas alpinos franceses, constituye una singularidad en esta línea. En los cauces aragoneses, sobre todo en los pirenaicos, se han analizado con mucho detalle los efectos hidrológicos de los embalses y de cambios ambientales y de usos del suelo en las cuencas (García Ruiz et al., 2001, Beguería et al., 2003, Batalla et al., 2004, López Moreno, 2006; López Moreno et al., 2006, 2008), pero en menor medida las consecuencias geomorfológicas de los mismos. Los estudios geomorfológicos en cauces de montaña mediterránea se remontan a diferentes proyectos del Instituto Pirenaico de Ecología (García Ruiz y Puigdefábregas, 1985; García Ruiz et al., 1987, García Ruiz y Ortigosa, 1988; Martínez Castroviejo et al., 1990, 1991; Gómez Villar y Martínez Castroviejo, 1991; Gómez Villar et al., 1994). Se hace necesario y urgente catalogar este tipo de ríos, comprobar su funcionalidad geomorfológica, diagnosticar su estado actual y mantener un seguimiento con vistas a su puesta en valor, protección y restauración. Salvo en

el caso del Ebro, sobre los restantes ríos estudiados no existen antecedentes de trabajos científicos.

2. Diseño metodológico

En este apartado se desarrollan y explican las diferentes etapas recogidas a lo largo del protocolo, diferenciando cuatro fases de trabajo.

2.1 Selección de tramos

Elección de los diferentes tramos de las distintas áreas de estudio, tomando como principal característica que estos sean casos representativos de los diferentes tipos establecidos por Ollero et al. (2016).

2.2 Caracterización inicial en fotografía aérea

Determinación de las áreas de estudio en cada caso y caracterización en ortofotografía aérea. Se han planteado cuatro tareas fundamentales:

- a) Delimitación de un tramo representativo, de 500 m de longitud máxima recomendable, del curso fluvial a estudiar.
- b) Sobre la fotografía aérea obtención de las dimensiones básicas del tramo fluvial seleccionado: anchura media y máxima (m) y superficie (m²) del cauce de gravas.
- c) Valoración previa de la diversidad en el tramo: tipos, dimensión y distribución de diferentes superficies (aguas, barras, vegetación, etc.) dentro del área de trabajo. Se resuelve con una representación cartográfica
- d) Análisis y cartografía de la evolución del cauce en el tramo de estudio, estableciendo sus dimensiones (anchura y superficie) y diversidad sobre fotos antiguas con representación en cartografía diacrónica.

2.3 Caracterización en campo

La metodología de campo se ha simplificado para que no implique más de dos-tres horas de trabajo en el tramo delimitado de unos 500 m de longitud. Dentro de este tramo se selecciona una zona reducida representativa, cuyas coordenadas se marcan en el GPS, para realizar las observaciones principales. El trabajo realizado en cada uno de los tramos es el siguiente:

1. Medición simple de la pendiente local con cámara de fotos, trípode con burbuja, cinta métrica y una regleta apoyada. Se realiza en el centro del cauce sobre 5 o 10 m de longitud, midiendo el desnivel entre la medición fotográfica en la regleta y la altura respecto del suelo de la óptica de la cámara colocada en perfecta horizontalidad. Es un procedimiento similar al empleado con teodolito o nivel topográfico. Este método ha presentado problemas en varios casos de las áreas a estudiar, por lo que finalmente se ha optado por obtener la pendiente media del tramo a partir de un MDT.
2. Granulometría (lado menor o eje b) del sedimento superficial, con medición aleatoria de 50 muestras en perfil transversal y otras 50 muestras en perfil longitudinal. Según la morfología de las barras pueden obtenerse las 100 muestras siguiendo otras líneas.
3. Medición del tamaño de los 5 sedimentos mayores encontrados.

4. Estimación visual, apoyada en la toma de fotografías, de la sección bankfull y de la rugosidad.
5. Observación y fotografiado a lo largo de todo el tramo de la morfología de barras, movilidad e imbricación de sedimentos, forma (desgaste, aplanamiento) de los sedimentos, presencia de madera muerta, huellas de crecida, síntomas de erosión y sedimentación activas, indicadores de incisión o acreción, grado de cubierta vegetal, así como de todas las presiones e impactos antrópicos detectados. El material fotográfico resultante es muy extenso, por lo que se ha llevado a cabo una selección representativa de cada tramo y se ha organizado de forma común en cada uno de los tramos, por medio de las siguientes categorías:
 - Acorazamiento
 - Huellas de crecida
 - Impactos
 - Madera muerta
 - Morfología
 - Procesos
 - Sedimento
 - Vegetación

El gran número de fotos hace inviable su total representación a lo largo del trabajo, por lo que se ha creado un Dropbox, dividido en dos tomos, que permita una consulta completa a todo el material fotográfico. De esta manera se proporciona un registro de todas las fotos, siendo posible la realización de un seguimiento, accesible y útil para trabajos de la misma línea o para establecer comparaciones con futuros casos. Los enlaces se encuentran al final del documento.

6. Observación del acorazamiento realizando dos fotos en un cuadro de 30 x 30 cm, una de la capa superficial y, tras retirar esta, otra de la primera capa subsuperficial. El acorazamiento suele medirse en laboratorio por medio de la toma de muestras de la coraza y la subcoraza en el trabajo de campo. Sin embargo, para este sistema se hace necesario un método más sencillo y rápido, el cual se pueda llevar a cabo mediante el uso de fotografías. En un primer momento se opta por utilizar un programa informático que sea capaz de realizar la medición de los sedimentos que se encuentran dentro del cuadro de 30 x 30 cm que aparece en la fotografía. No obstante, durante el desarrollo del trabajo se ha hecho difícil encontrar un software adecuado que se adapte al objetivo requerido para este apartado. Por ello, finalmente se decidió utilizar una cuadrícula y obtener una medición por pantalla del sedimento más representativo que se vea completamente dentro de cada casilla. La cuadrícula elegida ha sido de 7,5 x 7,5 cm, con un total de 16 casillas, ya que un mayor número de casillas implica un gran número de mediciones o incluso dificulta la medición en función del tamaño del sedimento representado en la foto. Para obtener la medida real de cada sedimento se lleva a cabo una regla de tres tomando de referencia que el lateral de la foto son 30 centímetros en la realidad.



Figura 2: Ejemplo de la cuadrícula utilizada en el método de acorageamiento

Por último, se divide la media obtenida de la coraza entre la obtenida en la subcoraza para hallar el índice de acorageamiento.

7. De forma opcional puede procederse al marcaje o colocación de testigos para el futuro seguimiento de procesos. En nuestro caso se ha recurrido exclusivamente a fotografías in situ, sin dejar marcas ni testigos.

Esta caracterización puede llevarse a cabo por una sola persona con un equipamiento no superior a 5 kg de peso: cinta métrica de 50 metros, regleta graduada de 60 cm, flexímetro de 5 m, cámara fotográfica, trípode con burbuja, cuaderno o grabadora, GPS manual, plantilla de 30 x 30 cm y opcionalmente clavos y elementos de marcaje.

2.4 Trabajo de interpretación

De nuevo en gabinete se procede a una fase de interpretación en la que se pueden obtener resultados específicos y también comparativos con otros casos de estudio trabajados. Las tareas son las siguientes:

- a) Cálculo del caudal bankfull y potencia específica (Ollero et al., 2003), a partir de la estimación de la sección en campo y la comprobación de la misma y de la rugosidad sobre las fotografías realizadas:

$$\text{Caudal Bankfull} = Q_b = A [(Rh)^{2/3} S^{1/2}] / n]$$

Se obtiene (en m³/s) de acuerdo con la fórmula: $Q_b = A [(Rh)^{2/3} S^{1/2}] / n]$, siendo A la sección bankfull (m²), Rh el radio hidráulico (m), S la pendiente local (m/m) y n la rugosidad. El radio hidráulico se obtiene de dividir la sección bankfull (m²) entre el perímetro mojado (m)

$$\text{Potencia específica} = \Omega = (\rho g Q_b S) / w$$

Se obtiene (en vatios/m²) de acuerdo con la fórmula: $\Omega = (\rho g Q_b S) / w$, siendo ρ la masa volumétrica del agua (1.000 kg/m³), g la aceleración de la gravedad (9,8 m/s²), Q_b , el caudal bankfull (m³/s), S la pendiente local (m/m) y w la anchura bankfull (m).

3. Resultados

3.1 Aplicación a los casos de estudio

Tipo A (Cauces divagantes): Lubierre (Tramo cercano a la localidad de Novés)

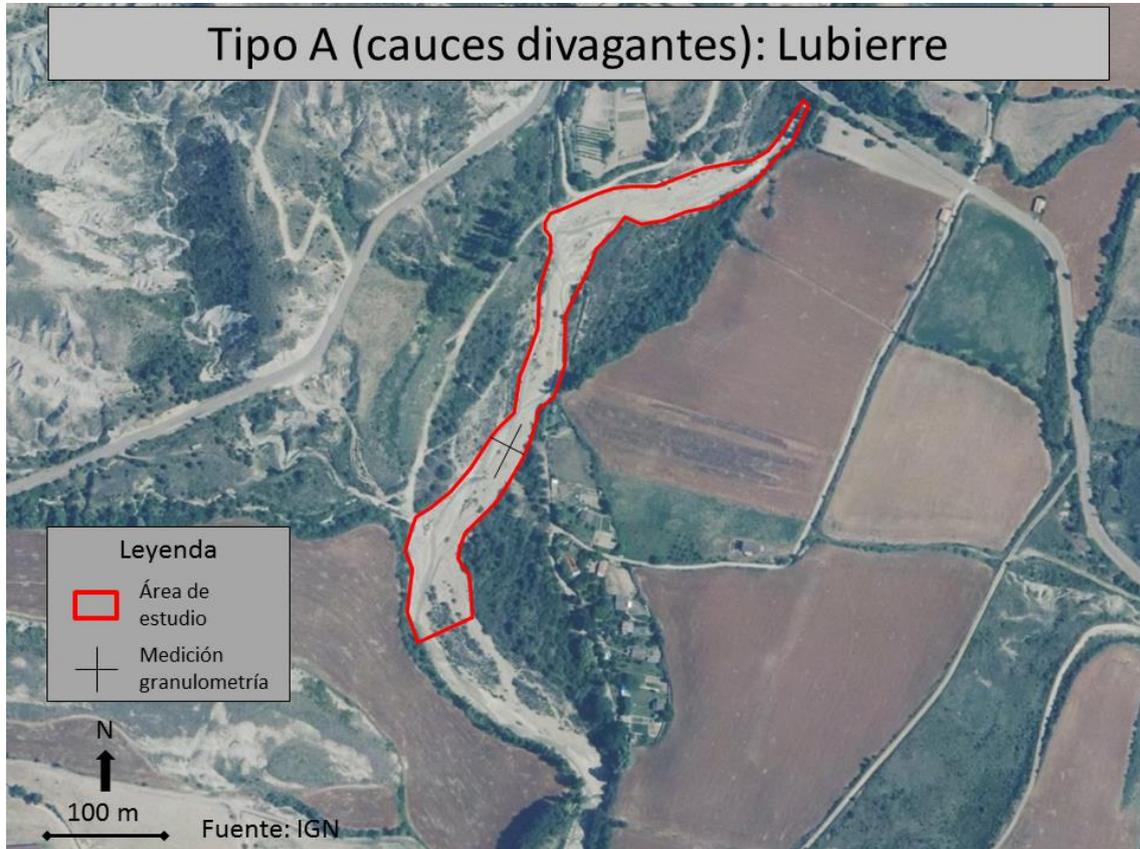


Figura 4: Área de estudio del caso del río Lubierre



Figura 5: Cauce del río Lubierre

Curso fluvial	Lubierre	Tramo	
Coordenadas	42°35'46,85" N / 0°37'07,74" W / 776 m	Fecha	04/05/2017
Anchura media	24,16 m	Superficie	0,0131 km ²
Anchura máxima	51 m		
Evolución/Foto Aérea 1973-80			1980-86
2012			Actual
Pendiente local	0,0182	Tamaño sedimento	45,46 mm
Centilo	670 mm	Media 5 mayores	506 mm
Sección bankfull	27 m ²		
Rugosidad	0,04		
Acorazamiento			1,89
Caudal bankfull	86,83 m ³ /s	Potencia específica	573,57 w/m ²
Geodiversidad	Media		
Funcionalidad	Media		
Procesos	Erosión, estrechamiento, Incisión	IHG-E	63
Presiones	Actividad agrícola, obstáculos	(Calidad hidrogeomorfológica buena)	

Figura 6: Ficha del río Lubierre

Los ríos pirenaicos en sus cursos medios y medios-bajos presentan generalmente cauces divagantes, extensos y con un cauce principal claro (Ollero et al., 2016). En este caso se trata de un cauce que ha sufrido muchas transformaciones en las últimas décadas, ya que actualmente se puede apreciar claramente el cauce principal aunque, por otro lado,

fotografías antiguas muestran que el cauce desarrolla brazos en distintos puntos. Además, el río ha sufrido un gran estrechamiento en su cauce a lo largo de todo el tramo, principalmente en la parte norte, en gran medida en el punto donde lo cruza la carretera. La distribución de la vegetación también ha cambiado en gran medida, ya que esta ha pasado de estar dispersa a lo largo del cauce concentrándose en pequeños puntos de determinadas zonas a, en cambio, concentrarse con una alta densidad en las orillas convexas, es decir, en las zonas de sedimentación de los pequeños meandros que forma el río.

Durante el trabajo de campo nos encontramos con un tipo de sedimento muy diferente respecto a otros casos, el proveniente del Flysch pirenaico. Este sedimento presenta una forma más alargada y aplanada, organizándose en barras a lo largo de todo el tramo.



Figura 7: Flysch pirenaico

El sedimento de este tramo presenta una gran heterogeneidad en el tamaño, ya que la media de los 5 mayores y el centilo presentan valores altos en relación al conjunto de los casos, mientras que el análisis granulométrico realizado en una de las barras del cauce muestra un valor menos notable, asemejándose en tamaño medio al resto de casos. Los límites laterales del cauce no son muy altos y en determinados puntos del tramo existen obstáculos de origen antrópico (resto de estructura dentro del cauce, muro) que pueden influir en gran medida en su funcionalidad, tal y como se observa en las siguientes fotos:



Figura 8: Estructura dentro del cauce/ Muro de piedras artificial

También existen bastantes acumulaciones de madera muerta de tamaño importante, sobre todo en los laterales del cauce. Estos factores pueden suponer fácil desbordamiento ante futuras crecidas, dado que se trata de un cauce con una potencia específica importante ($573,57 \text{ w/m}^2$) si tenemos en cuenta que se trata de un tramo de pequeña dimensión (tanto en superficie como en anchura) y bajo caudal bankfull ($86,83 \text{ m}^3/\text{s}$). La geodiversidad del tramo es media, ya que se encuentran diferentes morfologías de barras y algún brazo secundario de pequeña extensión. Por otro lado, la funcionalidad del río también se considera media, dado que el río presenta una buena movilidad de sedimento en general, a pesar de los obstáculos antrópicos ya citados anteriormente.

De este modo este tramo se ve afectado por la actividad agrícola, intensificando los procesos de erosión, estrechamiento y colonización vegetal. Estos impactos se encuentran en determinadas zonas del cauce, sin afectar en gran medida al conjunto general del río, por lo que el tramo obtiene una calidad hidrogeomorfológica buena.

Un aspecto significativo observado en la comparación de fotografías aéreas diacrónicas y comprobado en campo es la incisión de 1,5 m de profundidad registrada, muy patente en la margen izquierda (foto), y que tuvo lugar entre 1985 y 1997. No se dispone de elementos suficientes para determinar sus causas, pero pudo deberse a extracciones de gravas aguas abajo, a los efectos de las importantes repoblaciones forestales realizadas en la cuenca en los años 70 y al efecto de la presa de sedimentos que se localiza en el río Lubierre 1,5 km aguas arriba del tramo de estudio.



Figura 9: Incisión en el río Lubierre

Tipo B (Torrentes y barrancos de montaña): Yosa (Tramo cercano a la localidad de Broto-Oto)

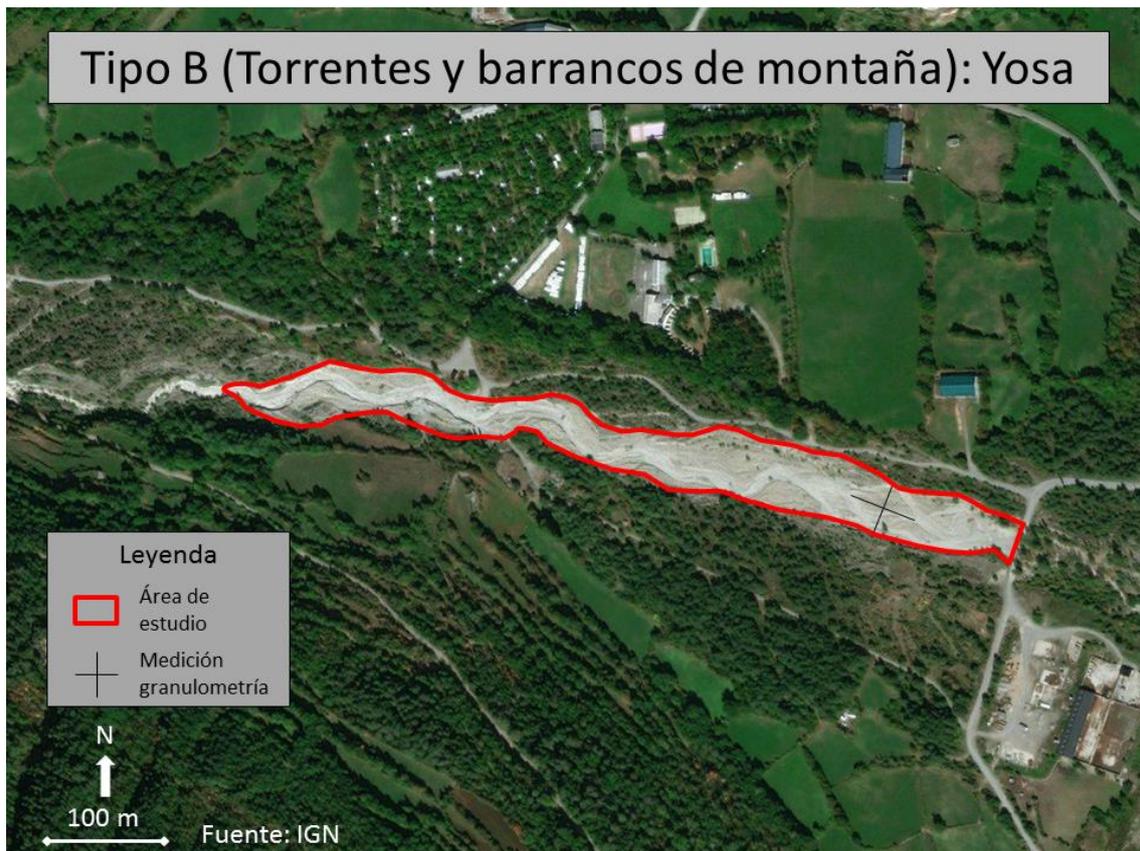


Figura 10: Área de estudio del caso del barranco de Yosa



Figura 11: Cauce del barranco de Yosa

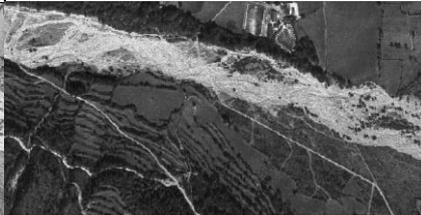
Curso fluvial	Yosa	Tramo	
Coordenadas	42°35'40,41" N / 0°07'47,57" W / 902 m	Fecha	23/05/2017
Anchura media	40,14 m	Superficie	0,0225 km ²
Anchura máxima	52 m		
Evolución/Foto Aérea 1973-80			1980-86
2012			Actual
Pendiente local	0,0545	Tamaño sedimento	76,12 mm
Centilo	810 mm	Media 5 mayores	720 mm
Sección bankfull	112,5 m ²		
Rugosidad	0,04		
Acorazamiento			1,86
Caudal bankfull	1127,40 m ³ /s	Potencia específica	13381,02 w/m ²
Geodiversidad	Media		
Funcionalidad	Media		
Procesos	Erosión, Estrechamiento, Incisión	IHG-E	51
Presiones	Actividad antrópica, agrícola, turística	(Calidad hidrogeomorfológica moderada)	

Figura 12: Ficha del barranco de Yosa

Un barranco de montaña es un curso de corto recorrido, estrecho y con una pendiente mayor del 2%, con cabeceras de aluviones poco clasificados (Ollero et al., 2016). El barranco de Yosa, afluente del río Ara, es claramente representativo, con una pendiente de 0,0545 (5,45%). En este caso se puede observar que el tramo estudiado del cauce del barranco ha sufrido estrechamiento a lo largo de los años, presentando a su vez un cambio en la morfología en su cauce menor, influyendo en la distribución de las barras a lo largo de todo el tramo. Del mismo modo, la distribución de la vegetación y sus densidades también han cambiado en distintos puntos, ya que se observa como en la parte baja del tramo había anteriormente una cantidad importante de vegetación dentro del cauce, la cual actualmente es inapreciable en la

fotografía aérea. En lo que refiere a la vegetación en los laterales del cauce, se aprecia una evolución de esta, mostrando más densidad, sobre todo en el tramo alto donde el cauce presenta un estrechamiento mayor.

Durante el trabajo de campo se ha encontrado una disposición de sedimentos caótica con un cauce ínfimo en comparación con las dimensiones del barranco. A pesar de tratarse del río más “de montaña” de todos los casos éste se ve afectado en gran medida por distintos impactos a lo largo del tramo. A poca distancia aguas arriba existe una presa de tamaño importante que actúa como tapón para el agua y para todo el sedimento, impidiendo la funcionalidad natural del barranco. Al mismo tiempo, los caminos y rutas de los límites laterales lo encajan deteriorando el espacio ribereño, uno de ellos incluso cruza el barranco a través de un paso de piedras montado artificialmente, modificando el cauce del río. Además, también cruza el barranco una manguera de riego elevada por medio de unos pilares construidos con material del propio barranco. Ambos impactos afectan la funcionalidad del río, aunque de una manera local y no en gran medida, a diferencia de la presa situada aguas arriba ya mencionada anteriormente.



Figura 13: Paso de piedras artificial/ Manguera de riego elevada

Los límites laterales están formados por acumulaciones de sedimento, de entre 1 y 3 metros de altura, que parecen artificiales en origen a causa de algún dragado pero naturalizadas por crecidas posteriores. El agua ha retocado los límites en algunos puntos, mientras que en otros ha prosperado la colonización vegetal.



Figura 14: Límite lateral del barranco de Yosa

El sedimento de este tramo presenta el mayor tamaño medio de todos los casos, así como del valor medio de los 5 elementos más grandes (720 mm) y el centilo (810 mm). A pesar de ser el tramo con menor anchura media, la altura de los límites laterales deriva en una mayor sección bankfull y, por consiguiente, un gran caudal bankfull (1127,40 m³/s) en comparación con el resto de casos. Del mismo modo, también presenta una gran pendiente y una potencia específica muy elevada (13381,02 w/m²).

La geodiversidad del tramo es media, ya que para las dimensiones del barranco el cauce es de pequeña proporción y la distribución del sedimento en las barras es bastante difusa en determinadas zonas. En algunos puntos encontramos pequeños canales que aparecen y desaparecen por debajo del sedimento. Por otro lado, la funcionalidad del cauce es media, ya que no existe mucha vegetación dentro del cauce pero se trata de un tramo bastante afectado, influenciando en gran medida al transporte de sedimento en crecida. En parte esto se debe a la actividad antrópica, tanto agrícola como turística ya que, aparte de lo ya identificado dentro del cauce, existe un camping muy cerca del barranco y numerosos caminos y rutas rurales en los alrededores. En último lugar, se identifican procesos de erosión, estrechamiento e incisión en determinados puntos del tramo.

Por todo ello, finalmente el tramo obtiene una calidad hidrogeomorfológica moderada.

Tipo C (Cauces trenzados): Arba de Luesia (Tramo cercano a la localidad de Luesia)

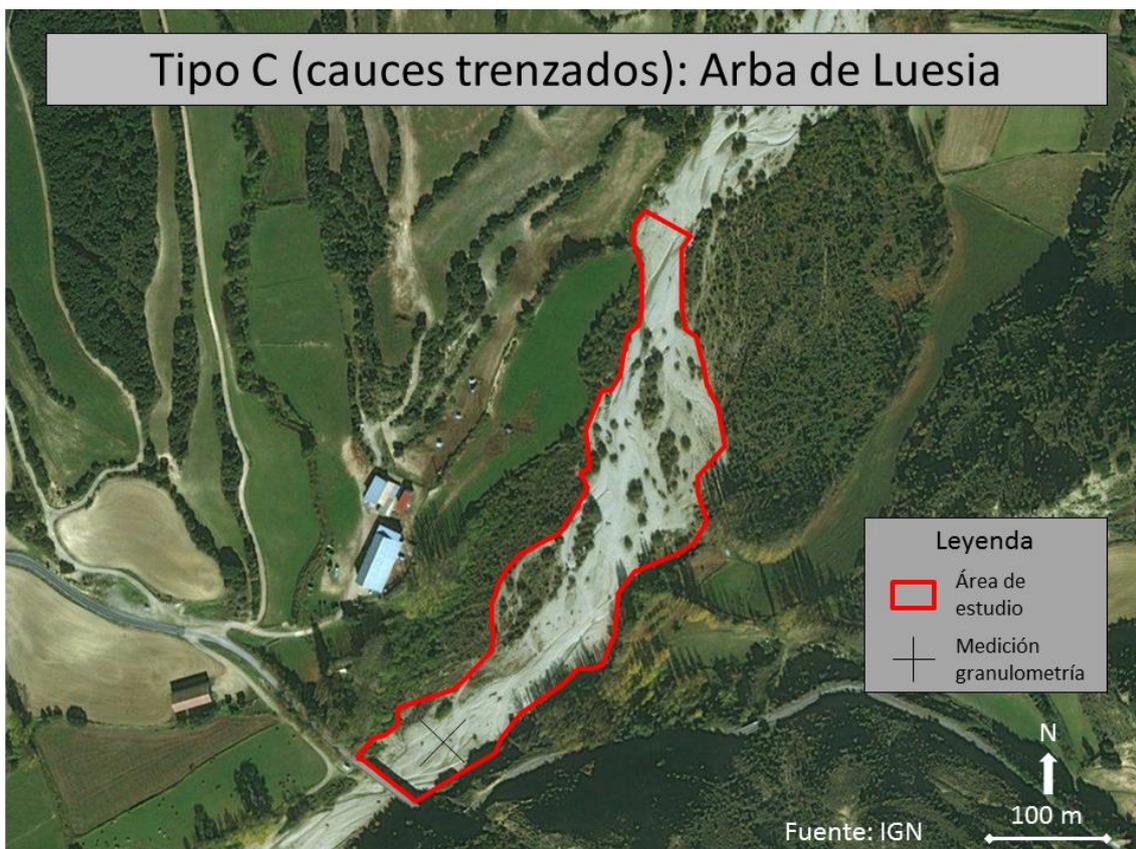


Figura 15: Área de estudio del tramo del río Arba de Luesia

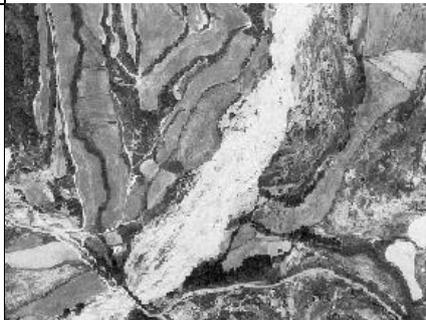
Curso fluvial	Arba de Luesia	Tramo	
Coordenadas	42°22'34,15" N / 1°02'26,66" W / 709 m	Fecha	21/04/2017
Anchura media	72,38 m	Superficie	0,0398 km ²
Anchura máxima	103 m		
Evolución/Foto Aérea 1973-80			1980-86
2012			Actual
Pendiente local	0,0141	Tamaño sedimento	51,72 mm
Centilo	510 mm	Media 5 mayores	450 mm
Sección bankfull	53,29 m ²		
Rugosidad	0,037		
Acorazamiento			1,85
Caudal bankfull	136,78 m ³ /s	Potencia específica	258,92 w/m ²
Geodiversidad	Alta		
Funcionalidad	Media-Alta		
Procesos	Erosión, Estrechamiento	IHG-E	71
Presiones	Actividad agrícola, paso de vehículos	(Calidad hidrogeomorfológica buena)	

Figura 16: Ficha del río Arba de Luesia

Un cauce de gravas de tipo trenzado presenta una elevada carga de material sólido que obliga al cauce a dividirse en brazos, formando un corredor fluvial muy ancho y poco profundo (Díaz y Ollero, 2005). En este caso se puede observar como el cauce ha perdido extensión en las últimas décadas. Por medio de la comparativa diacrónica se puede observar cómo, además de

estrecharse, el cauce ha ganado sinuosidad, ya que en las fotografías más antiguas el cauce presenta un corredor más recto, mientras que en la actualidad éste dibuja un recorrido más curvo afectado por el desarrollo de la colonización vegetal, tanto en el centro del cauce como en ambos márgenes del tramo.

En el trabajo de campo se confirma lo observado en fotografía aérea, ya que se encuentra un cauce extenso, que se divide en brazos a lo largo de todo el tramo, con presencia de charcas y zonas con gran densidad de vegetación en ciertos puntos de los márgenes del cauce. Se diferencian dos partes dentro del tramo: la parte aguas abajo, más cercana al puente, con una red de brazos más marcada y barras de sedimento más claras con escasa vegetación y, por otro lado, la parte norte, con brazos más ambiguos y más densidad de vegetación.



Figura 17: Aguas abajo/ Aguas arriba del tramo de Arba de Luesia

El sedimento de este tramo es bastante homogéneo, ya que el tamaño medio es alto en comparación con el resto de casos, mientras que el valor del centilo y del promedio de los 5 mayores es de los más bajos. El tramo presenta un caudal bankfull de $136,78 \text{ m}^3/\text{s}$, determinado principalmente por la gran extensión lateral del cauce, muy poco profundo, aunque, en cambio, la baja pendiente provoca que la potencia específica resultante sea baja ($258,92 \text{ w/m}^2$).

La geodiversidad del tramo es alta, ya que el río se divide en una gran cantidad de brazos, formando multitud de barras e isletas dentro del cauce, así como charcas en algunos puntos de los márgenes. Por otro lado, la funcionalidad del río es media-alta, dado que el cauce abarca la extensión suficiente para movilizar y transportar tanto sedimento como madera muerta en crecida. Hay colonización vegetal en ciertas zonas del cauce, aunque en general, es bastante escasa. A lo largo del tramo se encuentran distintos sectores en los que el río se ve afectado por procesos de erosión, mientras que los principales impactos encontrados en la zona son el paso de vehículos y la actividad agrícola de una granja adyacente al cauce, la cual ha sido construida recientemente dado que no aparece en las fotografías aéreas más antiguas.

De este modo, este tramo obtiene una calidad hidrogeomorfológica buena.

Tipo D (Cauces simple de barras mal definidas): Llastre (Tramo cercano a la localidad de Naval)

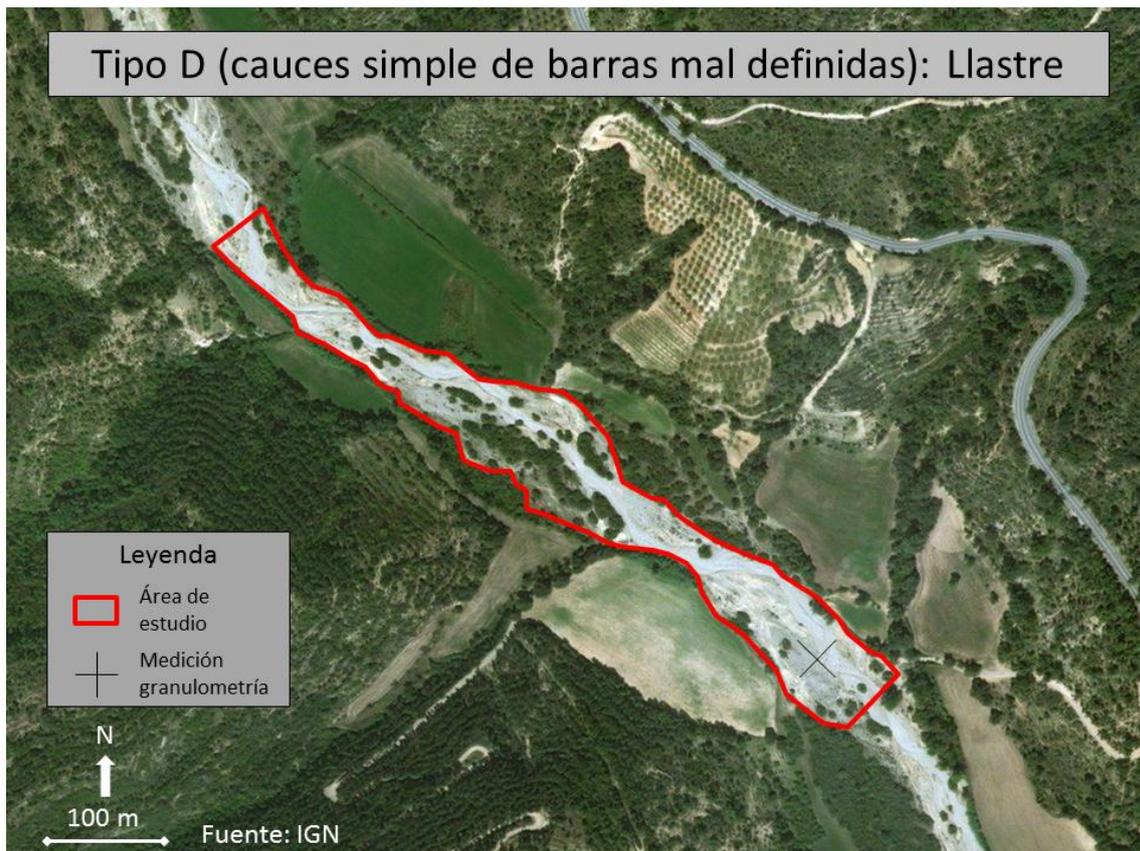


Figura 18: Área de estudio del tramo del río Llastre



Figura 19: Cauce del río Llastre

Curso fluvial	Llastre	Tramo	
Coordenadas	42°10'33,75" N / 0°10'07,87" W / 521 m	Fecha	18/03/2017
Anchura media	61,32 m	Superficie	0,0382 km ²
Anchura máxima	69 m		
Evolución/Foto Aérea 1973-80			1980-86
2012			Actual
Pendiente local	0,0199	Tamaño sedimento	40,07 mm
Centilo	530 mm	Media 5 mayores	486 mm
Sección bankfull	30,21 m ²		
Rugosidad	0,038		
Acorazamiento			1,93
Caudal bankfull	70,65 m ³ /s	Potencia específica	224,70 w/m ²
Geodiversidad	Media-Alta		
Funcionalidad	Media		
Procesos	Erosión, colonización vegetal	IHG-E	72
Presiones	Actividad agrícola, paso de vehículos	(Calidad hidrogeomorfológica buena)	

Figura 20: Ficha del río Llastre

La mayor parte de los cursos de gravas de tramos medios y de montaña son cauces de barras mal definidas, con limitación lateral por las condiciones del valle y más anchos y de menor pendiente que los barrancos de montaña (Ollero et al., 2016). La cartografía diacrónica muestra la evolución del cauce y la distribución de barras y vegetación. En las fotos aéreas más

antiguas se observa como existe vegetación de matorral en distintos puntos del cauce, encontrando algún árbol en puntos determinados. Sin embargo, en las fotos más actuales se observan diferentes cambios en su distribución: en la parte central y alta la superficie de vegetación en el cauce es similar aunque presenta una mayor densidad, mientras que en la zona baja la superficie de vegetación ha quedado reducida a elementos puntuales.

En el trabajo de campo se observa un cauce que se divide en brazos pero de una manera más difusa que el caso de Arba de Luesia, formando barras menos definidas. A lo largo del tramo se encuentra bastante vegetación dentro del cauce, sobre todo en la parte central. Por otro lado, se evidencian bastantes puntos donde se dan procesos de erosión, formando pequeños escarpes en los brazos principales. También se localizan distintas piezas de madera muerta de un tamaño más que aceptable (troncos, grandes ramas) pero estas se sitúan de forma aislada a lo largo del cauce sin llegar a formar acumulaciones que podrían ejercer de tapón en futuras crecidas.



Figura 21: Erosión/ Madera muerta en el tramo del río Llastre

El tamaño medio de los 5 sedimentos mayores encontrados en el tramo y el centilo es parecido a otros casos como Arba de Luesia aunque, sin embargo, el análisis granulométrico muestra un tamaño medio bastante menor en el conjunto del cauce. Los límites laterales presentan muy poca altura y los cultivos adyacentes están prácticamente al mismo nivel, formando parte de la llanura de inundación en crecida. De este modo, el caudal bankfull obtenido, a pesar de poseer una anchura considerable, es bajo ($70,63 \text{ m}^3/\text{s}$) y la potencia específica resultante es de $224,7 \text{ w/m}^2$. Es probable que el río se desborde en este tramo.

La geodiversidad del tramo es media-alta, ya que el río se divide en distintos brazos, algunos de ellos aparecen y desaparecen por debajo del sedimento y otros forman pequeñas charcas en determinados puntos del tramo. A su vez, la funcionalidad del río es media-alta dado que el cauce posee una extensión suficiente para transportar el sedimento y la madera muerta en crecida aunque, por otro lado, también existen zonas de alta densidad de vegetación dentro del cauce, que pueden dificultar esta función.



Figura 22: Colonización vegetal en el cauce del río Llastre

De esta manera, el tramo se ve afectado principalmente por procesos de erosión y colonización vegetal, mientras que las principales presiones e impactos que soporta son la actividad agrícola de la zona, dado que algunos de los cultivos se encuentran adyacentes al cauce e incluso en su llanura de inundación, y el paso de vehículos a través del cauce.

Teniendo en cuenta todos estos factores, finalmente el tramo obtiene una calidad hidrogeomorfológica buena.

Tipo E (Cauces efímeros de tipo rambla): Cariñena



Figura 23: Área de estudio del caso de la rambla de Cariñena

Curso fluvial	Cariñena	Tramo	
Coordenadas	41°24'12,40" N / 1°14'04,84" W / 495 m	Fecha	13/01/2017
Anchura media	33,42 m	Superficie	0,0254 km ²
Anchura máxima	47 m		
Evolución/Foto Aérea 1956			1998
2009			Actual
Pendiente local	0,0137	Tamaño sedimento	29,78 mm
Centilo	288 mm	Media 5 mayores	238 mm
Sección bankfull	55,5 m ²		
Rugosidad	0,033		
Acorazamiento			2,26
Caudal bankfull	257,94 m ³ /s	Potencia específica	936,01 w/m ²
Geodiversidad	Baja		
Funcionalidad	Media		
Procesos	Erosión	IHG-E	49
Presiones	Actividad agrícola, residuos, paso de vehículos	(Calidad hidrogeomorfológica moderada)	

Figura 24: Ficha de la rambla de Cariñena

Las ramblas son corrientes fluviales efímeras en las que solo circula agua durante determinados momentos del año como resultado de fuertes precipitaciones en pequeños intervalos de tiempo (Triviño y Ortiz Rojas, 2004). En caso corresponde a la rambla de Cariñena o tramo bajo del río Frasnó en las inmediaciones del santuario de Lagunas. Por medio de la fotografía aérea se puede observar que existe un cauce principal dentro de la rambla por el

cual discurre el agua influyendo en las distintas barras de este tramo. De este modo podemos diferenciar un cauce para crecidas de menor índole (cauce observado en fotografías antiguas) y el cauce para crecidas importantes, que abarcaría prácticamente toda la superficie de la rambla. El número de morfologías apreciables es escaso y la distribución de las barras es bastante uniforme, ya que estas se encuentran principalmente en los laterales del cauce menor. Por otro lado, la cartografía diacrónica muestra como el cauce no evoluciona en gran medida en las últimas décadas, quedando encajado entre las distintas zonas de cultivos. Dentro del cauce la vegetación es muy escasa, mientras que en los laterales del cauce esta queda configurada chopos aislados situados en zonas puntuales y pequeñas extensiones de matorral y retama.

Sin embargo, durante el trabajo de campo realizado nos encontramos con un cauce seco, en el que las barras no quedan tan claras como parecía mostrar la fotografía aérea. La erosión encontrada en determinados puntos y la existencia de grandes troncos de madera en mitad del cauce parecen indicar que esto es debido a una reciente e importante crecida, probablemente la que tuvo lugar en marzo de 2015 de acuerdo con las referencias de un habitante de Cariñena consultado.



Figura 25: Gran tronco de madera en mitad del cauce de la rambla de Cariñena

A pesar de ello, el análisis granulométrico de este tramo presenta que el tamaño de sedimento es el más pequeño de todos los casos, así como el dato del centilo y la media de los 5 mayores. Los límites laterales del cauce cambian de forma a lo largo del tramo, ya que la zona donde los cultivos están más próximos, prácticamente adyacentes al cauce, presenta una pared casi vertical, encajando la rambla. Por otro lado, donde los cultivos no están tan próximos, el límite dibuja un talud con forma en v en los laterales del cauce.



Figura 26: Talud casi vertical/ Talud con forma en V en la rambla de Cariñena

El caudal bankfull de la rambla es de $257,94 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que la potencia específica obtenida es de $936,0 \text{ w/m}^2$. A pesar de que el cauce está seco, estos valores indican que las crecidas puntuales que se dan en este tramo pueden alcanzar gran magnitud. La geodiversidad encontrada en el tramo es baja, dada la ausencia de corriente fluvial y la homogeneidad del sedimento del cauce. Por otro lado, la funcionalidad del cauce es de calidad media, ya que a pesar de que las gravas pueden presentar poca movilidad debido a las sequias prácticamente no se encuentra colonización vegetal dentro del cauce. Sin embargo, a lo largo del tramo existen puntos afectados por procesos de erosión y distintas presiones, tales como la actividad agrícola de la zona, los residuos encontrados a lo largo del cauce y el paso de vehículos.

Por todo ello, finalmente el tramo obtiene una calidad hidrogeomorfológica moderada.

Tipo F (Cauces meandriiformes): Ebro (A su paso por la localidad de La Cartuja)

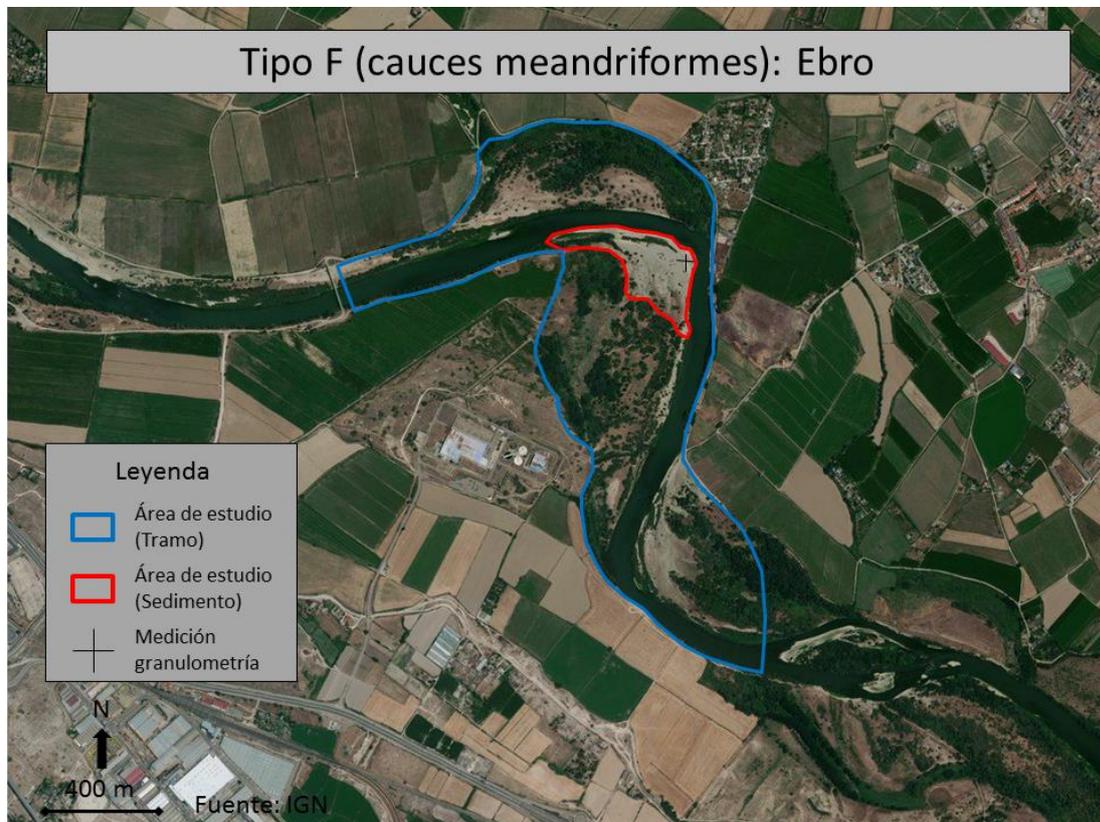


Figura 27: Área de estudio del tramo del río Ebro

Curso fluvial	Ebro	Tramo	
Coordenadas	41°36'50,38" N / 0°47'38,09" W / 184 m	Fecha	16/04/2017
Evolución/Foto Aérea 1973-80			1980-86
2012			Actual
Rugosidad	0,033	Tamaño sedimento	52,12 mm
Centilo	370 mm	Media 5 mayores	346 mm
Acorazamiento			1,93
Pendiente local	0,00058		
Caudal bankfull	1400 m ³ /s	Potencia específica	15,91 w/m ²
Geodiversidad	Media		
Funcionalidad	Media		
Procesos	Erosión, colmatación, colonización vegetal	IHG-E	51
Presiones	Actividad antrópica, degradación, residuos	(Calidad hidrogeomorfológica moderada)	

Figura 28: Ficha del río Ebro

El río Ebro presenta unas características diferentes al resto de casos, ya que la extensión de su cuenca fluvial, cauce y elevado caudal dificulta la obtención en campo de algunas de las mediciones que se registran en el protocolo. A pesar de ello, dicho protocolo es apto para aplicar a este caso, ya que los propios meandros son puntos altamente representativos en los que se puede aplicar una descripción característica del tramo, así como el análisis granulométrico y la valoración de la calidad hidrogeomorfológica para poder llevar a cabo un diagnóstico general de estado.

En este caso, el tramo elegido para el desarrollo de este trabajo corresponde a los sotos de Picatiel y de La Cartuja. La formación de estos sotos ha derivado de los cambios en el recorrido

del río en este punto, ya que en el último siglo el cauce ha sufrido distintas transformaciones. En 1927 el cauce discurría dibujando una sinuosidad que coincide con el límite externo de ambos sotos, en los que hoy en día encontramos choperas y cultivos. En 1946 ya se había cortado dicha sinuosidad por su cuello, generándose un meandro más pronunciado. En 1981 la corta del primer canal de crecida redujo las dimensiones del meandro y llevó a la margen opuesta el conjunto del point-bar, que quedó aislado y rodeado por la margen izquierda de un estrecho brazo secundario que posteriormente ha ido colmatándose, siendo en la actualidad funcional únicamente en aguas altas. Las huellas de los dos meandros cortados sucesivos se muestran como formaciones vegetales que se han establecido sobre los viejos cauces. Como resultado de la segunda de las cortas, el cauce se dirige frontalmente en la actualidad contra el vértice de Picatiel, aunque cierta parte de la corriente penetra por el brazo ciego o secundario-semicolmatado de la isla de Pastriz.

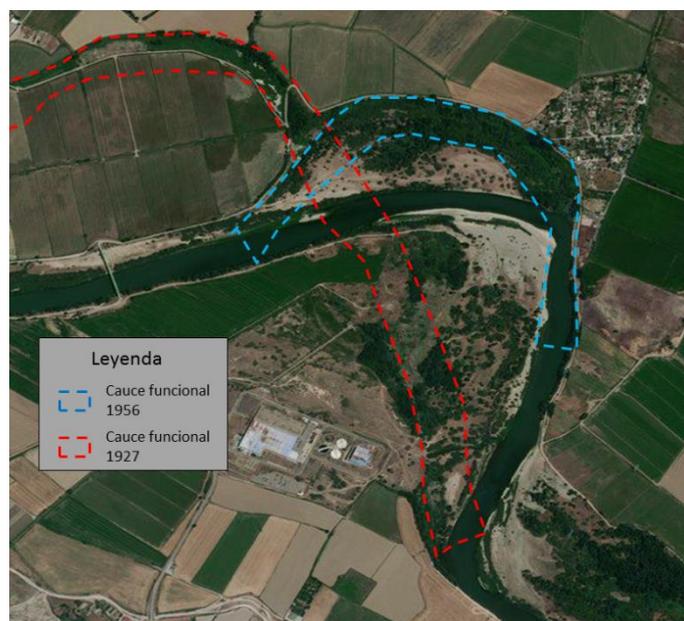


Figura 29: Transformaciones del cauce del río Ebro en el área de estudio

La isla de Pastriz se ubica en la margen izquierda del río Ebro, permaneciendo en estado natural aunque deforestada en buena parte de su superficie, mientras que el brazo secundario esta orlado de carrizos en algunos tramos. Domina una formación abierta de chopo y tamariz, con abundancia de retamas y especies propias de enclaves áridos. Además, una sauceda de orla se asiente junto al brazo secundario. En el punto donde el brazo secundario se vuelve a unir al principal se localiza el vertido de aguas residuales procedente de Pastriz, foco de contaminación y malos olores. El interior de la isla se encuentra un poco alterado, aunque hay huellas de talas y algún decapado de suelo. Por otro lado, el soto de La Cartuja, en la margen derecha, ocupa el lado convexo del meandro donde se instala la isla de Pastriz. Talas recientes han llevado a una ausencia total de arbolado, encontrándonos ante un soto muy abierto, estructurado en función de diversos canales de inundación y degradado en gran medida, con predominio de tamarices, sauces y algunos chopos de porte arbustivo y extensos prados carentes de sotobosque instalados sobre complicadas topografías resultantes de antiguos movimientos de gravas (Ollero, 1995).

El análisis granulométrico se ha llevado a cabo en la barra de la margen derecha, adyacente al soto de La Cartuja. El centilo y la media de los 5 mayores presentan un valor muy semejante, por lo que la forma y el tamaño del sedimento son bastante homogéneos a lo largo de toda la barra. En comparación con el resto de casos este tramo tiene un sedimento con un valor medio de tamaño alto, solo superado por el caso de Yosa (barranco de montaña). Por otro lado, la distribución de la vegetación forma una especie de barrera dentro de la barra, diferenciando dos zonas, una adyacente al cauce actual del río y otra situada en el interior. Este tipo de distribución es debida a los distintos niveles de crecida que experimenta el río, ya que se trata de una zona un poco más elevada que lo circundante debido a la acumulación de sedimento. En la otra orilla se puede observar un escarpe con signos de erosión en los que también se muestran huellas de crecida. La pendiente en este tramo es muy baja (0,00058), el caudal bankfull de 1400 m³/s y la potencia específica es de 15,91 w/m².

La geodiversidad del tramo es media, ya que la zona presenta pocas morfologías y bastante homogeneidad, mientras que la funcionalidad del río también se considera media ya que, aunque la zona sea capaz de transportar bien el sedimento en crecida, el río está modificado en gran medida por la acción humana. Aparte de los cortes ya mencionados anteriormente, la zona donde el brazo secundario desagua en el principal (vertido de aguas residuales) se ve afectada por un muro en donde el río choca directamente antes de hacer la curva, influyendo enormemente en las funciones naturales del río.



Figura 30: Muro donde choca el cauce principal antes de hacer la curva

Por otro lado, el tramo también se ve afectado por procesos de erosión, colmatación y colonización vegetal, mientras que las presiones principales que recibe provienen de la actividad antrópica y sus residuos, generando grandes problemas de degradación en determinadas zonas.

Finalmente, teniendo en cuenta todos estos factores, este tramo obtiene una calidad hidrogeomorfológica moderada.

3.2 Aplicación general y comparativa

3.2.1 Índice IHG-E

		Lubierre	Yosa	Arba de Luesia	Llastre	Cariñena	Ebro
Calidad funcional del sistema	Naturalidad del caudal hídrico	7	9	8	8	4	5
	Naturalidad del caudal sólido	14	8	15	16	12	10
	Funcionalidad en crecida	10	8	13	13	6	7
Calidad del cauce	Naturalidad de la forma en planta	5	4	5	5	5	4
	Naturalidad longitudinal y vertical	11	11	12	12	10	12
	Naturalidad transversal	6	4	8	8	6	5
Calidad del espacio ribereño	Continuidad longitudinal	4	2	4	4	1	3
	Anchura del corredor	3	3	3	3	2	2
	Estructura y naturalidad	3	2	3	3	3	3
Valoración calidad funcional del sistema		31	25	36	37	22	22
Valoración calidad del cauce		22	19	25	25	21	21
Valoración calidad del espacio ribereño		10	7	10	10	6	8
Valor final: Calidad Hidrogeomorfológica		63	51	71	72	49	51

	Muy buena	Buena	Moderada	Deficiente	Muy mala

Figura 31: Resultados del índice IHG-E para cada tramo

El índice IHG-E tiene en cuenta tres grandes grupos de indicadores, los que hacen referencia a la calidad del sistema, los que se refieren a la calidad del cauce y, por último, los que evalúan la calidad del corredor ribereño.

En primer lugar, la calidad funcional del sistema se divide en tres componentes, en los que se tiene en cuenta la naturalidad del caudal hídrico, del caudal sólido y la funcionalidad del cauce en crecida. En este caso, el tramo que ha obtenido la calidad más alta es el de Llastre (calidad funcional del sistema muy buena), seguido de los casos de Arba de Luesia y Lubierre (calidad funcional del sistema buena). Por otro lado, los casos de Yosa, Cariñena y Ebro han obtenido una calidad funcional del sistema moderada. Esta clasificación se debe principalmente a la presencia de embalses, azudes, canalizaciones y defensas, ya sean en el propio tramo, aguas arriba o en la cuenca vertiente.

En lo que se refiere a la calidad del cauce se tiene en cuenta la naturalidad del trazado y su morfología en planta, la continuidad y naturalidad de los procesos longitudinales y verticales, y la naturalidad de los márgenes y la movilidad lateral. Los factores que se tienen en cuenta son las modificaciones en el trazado, canalizaciones, barreras, puentes, dragados, defensas u otros tipos de alteraciones, tanto en el cauce como en los márgenes. De este modo, los casos de Llastre y Arba de Luesia han obtenido una calidad del cauce muy buena, Lubierre, Ebro y Cariñena una calidad buena y finalmente Yosa, con menor puntuación, una calidad del cauce moderada.

El tercer y último apartado corresponde a la calidad de las riberas, la cual se clasifica según su continuidad longitudinal, la anchura del corredor ribereño y la estructura, naturalidad y conectividad lateral. En este caso, para clasificar los diferentes tramos se tienen en cuenta los impactos que puedan afectar a las características del cauce, así como los usos del suelo adyacentes, la presencia de especies vegetales invasoras y el buen desarrollo de las riberas, tanto interno como transversalmente. De esta manera, los casos de Lubierre, Arba de Luesia y

Llastre obtienen una calidad buena, Yosa y Ebro una calidad moderada y en último lugar Cariñena, que en este apartado obtiene una calidad de riberas deficiente.

A partir de los resultados obtenidos en los tres grupos de indicadores se halla la calidad hidrogeomorfológica de cada caso: Llastre, Arba de Luesia y Lubierre adquieren una calidad hidrogeomorfológica buena, mientras que Yosa, Ebro y Cariñena, con peores puntuaciones, obtienen una calidad hidrogeomorfológica moderada.

3.2.2 Tabla comparativa

	Lubierre	Yosa	Arba de Luesia	Llastre	Cariñena	Ebro
Superficie (m ²)	0,0131	0,0225	0,0398	0,0382	0,0254	
Anchura media (m)	24,16	20,14	72,38	61,32	33,42	
Anchura máxima (m)	51	52	103	69	47	
Tamaño sedimento (mm)	45,46	76,12	51,72	40,07	29,78	52,12
Media 5 mayores (mm)	506	720	450	486	238	346
Centilo (mm)	670	810	510	530	288	370
Acorazamiento	1,89	1,86	1,85	1,93	2,26	1,8
Caudal bankfull (m ³ /s)	86,83	1127,4	136,78	70,63	257,94	1400
Potencia específica (w/m ²)	573,57	13381,02	258,92	224,7	936,01	15,91
Geodiversidad	Media	Media	Alta	Media-Alta	Baja	Media
Funcionalidad	Media	Media	Media-Alta	Media-Alta	Media	Media
Procesos	Erosión	Erosión	Erosión	Erosión	Erosión	Erosión
	Estrechamiento	Estrechamiento	Estrechamiento	Colonización vegetal		Colmatación
	Incisión	Incisión				Colonización vegetal
Presiones	Actividad agrícola	Actividad agrícola	Actividad agrícola	Actividad agrícola	Actividad agrícola	Actividad antrópica
	Obstáculos	Actividad turística	Paso de vehículos	Paso de vehículos	Residuos	Residuos
					Paso de vehículos	Degradación
IHG-E	63 (bueno)	51 (moderado)	71 (bueno)	72 (bueno)	49 (moderado)	51 (moderado)

Figura 32: Tabla comparativa con los datos obtenidos en cada uno de los tramos

En esta tabla se han recogido todos los datos obtenidos en los diferentes tramos de este trabajo. En el caso del Ebro no se han incluido los datos referentes a dimensiones ya que sus características (gran extensión de cuenca, cauce con gran anchura, elevado caudal) son diferentes al resto de los casos. Sin embargo, las barras situadas en los diferentes meandros del río son puntos altamente representativos en los que se puede aplicar el análisis granulométrico y la valoración hidrogeomorfológica del tramo, así como un diagnóstico general de estado para poder llevar a cabo una comparación con el resto de casos.

Todos los casos se tratan de tramos representativos con una longitud delimitada de entre 600-500 metros, por lo que las diferencias en superficie vienen dadas por la diferencia de anchura de unos casos y de otros. En lo que respecta al tamaño medio de sedimento, podemos clasificar los casos en tres grupos: En primer lugar, Yosa, con el valor más alto (76,1 mm). Un segundo grupo formado por Lubierre, Arba de Luesia, Llastre y Ebro (oscilan en un intervalo de entre 40-52 mm), y finalmente Cariñena, cuyo valor se sitúa por debajo (29,8 mm). Por otro lado, el valor de la media de los 5 mayores y el centilo presentan mayores diferencias (medias de los 5 mayores-centilo): Yosa presenta los valores más altos (720 mm-810 mm), mientras que el grupo central anterior se expande, siendo Lubierre el que tiene valores más altos (506 mm-670 mm), seguido de Llastre (486 mm-530 mm) y Arba de Luesia (450 mm-510 mm), siendo así el Ebro (346 mm-370 mm) y Cariñena (238 mm-288 mm) los que presentan valores más bajos. Los datos de acorazamiento son muy similares y coherentes en todos los casos, por lo que no hay muestras de algún tipo de problema en función de este proceso.

El caudal bankfull de cada tramo difiere en función de las características morfológicas del cauce, ya que la anchura influye en menor medida y principalmente presentan mayor valor los tramos con márgenes laterales más altos. Del mismo modo, son los cauces con una anchura mayor los que presentan una potencia específica más baja. En general, la geodiversidad de los tramos oscila entre un valor medio-alto, exceptuando el caso de Cariñena que presenta una geodiversidad baja. Por otro lado, la funcionalidad que se le da a los cauces es en general media, aunque en algunos casos, concretamente Arba de Luesia y Llastre, se le atribuye un poco más de calidad y se le asigna una funcionalidad media-alta.

En general, por medio de la foto aérea se observa que todos los tramos han sufrido un estrechamiento, aunque en algunos cauces el grado ha sido mucho mayor que en otros. Además, durante el trabajo de campo también se han observado procesos de erosión en todos los casos, al mismo que tiempo que en algunos se han identificado desarrollos de colonización vegetal e incisión que pueden ejercer distintos problemas a la funcionalidad natural del cauce. También se han identificado numerosas presiones e impactos en cada uno de los casos, aunque principalmente se puede catalogar como impactos de mayor afección los causados por la actividad agrícola de la zona, el paso de vehículos pesados a través del cauce, los residuos y los distintos obstáculos de origen antrópico existentes en cada uno de los tramos, aguas arriba y en la cuenca vertiente.

4. Discusión

El funcionamiento de los cauces de gravas, su evolución y sus problemáticas actuales han sido muy estudiados en los últimos años pero, sin embargo, existe una escasez de trabajos sobre su geomorfología, su extensión y su representatividad en el territorio (Piégay et al., 2009; Ollero et al., 2016). La mayoría de los trabajos actuales analizan con mucho detalle los efectos hidrológicos de los embalses, los cambios ambientales y los usos del suelo en las cuencas, pero en menor medida las consecuencias geomorfológicas de los mismos. Aragón ofrece muchas posibilidades dentro de esta línea ya que dentro del territorio aragonés existe un gran número de casos de cada uno de los seis tipos de cauces de gravas estudiados en el presente trabajo.

La finalidad principal de este trabajo consiste en encontrar un sistema de caracterización geomorfológica sencilla pero eficaz, donde el trabajo de campo pueda ser desarrollado por una persona sin medios técnicos complejos. Para ello la metodología utilizada ha sido adecuada, ya que el trabajo de campo se ha solventado con tres horas por cada uno de los tramos y la fotografía ha resultado de gran utilidad en un gran número de apartados. Sin embargo, durante el desarrollo en algunos de estos no ha sido posible utilizar como apoyo la fotografía. Así ha sido en el caso de la pendiente, resolviéndose el problema más tarde en el trabajo de gabinete. En definitiva, la fotografía ha desempañado un rol muy importante a lo largo del trabajo, aunque principalmente se puede destacar su uso en el método del acorazamiento, el diagnóstico de estado del cauce, la valoración de la geodiversidad y la funcionalidad de cada tramo, los impactos observados y la función de herramienta de seguimiento para trabajos posteriores.

La cámara de fotos que se ha utilizado para el desarrollo del trabajo es una Nikon D3300 de 24,2 megapíxeles con alternancia de objetivos, uno con un rango focal 18-55mm para fotos más abiertas con más campo de visión (más cobertura), y otro con un rango focal 70-300mm

para fotos de más detalle (menor cobertura, pero más precisión en el objeto del encuadre). La alternancia de objetivos ha permitido poder destacar ciertos puntos en algunos apartados del registro fotográfico, aunque en realidad para poder llevar un seguimiento eficaz de cada uno de los casos no es necesario tanto material (con una cámara de al menos 15 megapíxeles y un objetivo con un rango focal semejante al 18-55mm es más que suficiente).

El tiempo de trabajo de campo total que se ha invertido consta de 35-40 horas, incluido el tiempo de desplazamiento desde Zaragoza a cada uno de los tramos. Ya en campo, el muestreo de sedimentos ha resultado ser la parte más forzada y repetitiva, ya que la toma de fotografías ha permitido una mayor flexibilidad en función de las características del tramo. De este modo, podría ser preciso que en futuros trabajos se tomaran medidas posibles para mejorar el método de muestreo y conseguir así una mayor eficacia y rendimiento en este aspecto en concreto.

El índice IHG-E, desarrollado en origen para ríos efímeros pero adaptado perfectamente a los cursos de gravas, ha sido una herramienta muy útil en la que se han valorado distintos indicadores hidrogeomorfológicos para poder determinar el estado ecológico de cada uno de los tramos. Gracias a este índice se ha podido obtener una visión más clara del estado actual de cada uno de los casos ya que, por ejemplo, podía pensarse que Yosa, al ser un barranco de montaña, obtendría uno de los mejores valores de calidad hidrogeomorfológica. Sin embargo, tras el desarrollo del índice se ha comprobado que la realidad es muy diferente, tratándose de un tramo muy modificado, con una calidad hidrogeomorfológica bastante más baja de la que podía parecer en un primer momento.

Una vez analizados los resultados generales, cabe destacar que todos los tramos han sufrido en mayor o menor medida un proceso de estrechamiento en las últimas décadas, por lo que las tendencias previsibles son que este hecho continúe si no se toman medidas al respecto. Esto ha derivado a una simplificación en la forma de sus cauces e intensificado otro tipo de procesos, tales como erosión y colonización vegetal, principalmente en los casos de Lubierre y Llastre, o de incisión en el barranco de Yosa y Lubierre. Estos procesos no son particulares de los tramos estudiados en el presente trabajo, ya que existen registros de los mismos procesos observados en otros trabajos en cursos fluviales de caracteres similares (Liébault y Piégay, 2002; Petit et al., 2005; Simon y Rinaldi, 2006; Rinaldi et al., 2007; Wyzga, 2008, Hicks et al., 2008; Surian et al., 2009; Ferrer-Boix, 2010; Aringoli et al., 2015).

De este modo se hace necesario el desarrollo de acciones para la mejora del estado hidrogeomorfológico en cada uno de los casos, las cuales deben centrarse principalmente en acciones de protección y conservación, así como en la reducción y corrección de impactos. Para ello estas acciones deben centrarse en el mantenimiento de los caudales, tanto hídrico como sólido, de la forma más natural posible, adaptando los márgenes al espacio innato del cauce para que este adopte las condiciones propias para su movilidad, el aporte de sedimento, la laminación en crecidas, etc. Una posible vía para poder llevarlo a cabo es declarar alguno de los tramos como Reserva Natural Fluvial. Es una figura de protección de ámbito estatal (Urquiaga et al., 2016) promulgada desde la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE). Hasta ahora se han declarado en España 150 Reservas, y de los cauces estudiados en este trabajo el único declarado como tal es el Arba de Luesia en sus primeros 17,9 km, exactamente hasta el

tramo de estudio (incluido). Visto el resultado obtenido por medio del índice IHG-E, también se consideran los casos de Lubierre y Llastre como propuestas para futuras reservas fluviales. También se consideraría algún torrente de montaña pero éste no debería estar afectado por presas de sedimentos.

5. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos se corrobora que los cauces de gravas están asistiendo a importantes cambios hidrogeomorfológicos y ecológicos que deterioran su funcionalidad natural. Se ha comprobado la calidad hidrogeomorfológica de cada uno de los casos estudiados y en todos se observan, en mayor o menor medida, procesos de estrechamiento, simplificación, erosión y colonización vegetal, incluso en algún caso acompañados de incisión. Por otro lado, se ha recogido una gran cantidad de información con la que se ha podido llevar a cabo un diagnóstico del estado de cada uno de los tramos. Esta información ha permitido comprobar que algunos de ellos se encuentran en peor situación de la esperada, pudiendo establecer medidas y propuestas para su mejora. En otros, donde las condiciones son mejores, se ha podido iniciar un seguimiento impulsando de esta manera su puesta en valor y conservación.

La realidad geomorfológica de este tipo de cauces ha sido poco analizada hasta la fecha, por lo que el desarrollo de este trabajo y los resultados obtenidos demuestran que es necesario un sistema metodológico sencillo y eficaz que sea capaz de cubrir los huecos existentes en la metodología desarrollada para trabajos de la misma línea. De esta manera se busca profundizar sobre la realidad geomorfológica, cada vez más singular, valiosa y bajo amenaza de extinción, de los distintos tipos de cauces de gravas.

En definitiva se ha generado una metodología de caracterización de cauces de gravas en la que se distinguen cuatro fases principales: la selección de casos representativos, la caracterización inicial en fotografía aérea, el trabajo de campo (el cual puede dividirse en sedimento y fotografía) y finalmente el trabajo de gabinete e interpretación. Con este método se han cumplido los objetivos principales del trabajo ya que, además de caracterizar los cauces de gravas, se ha realizado un diagnóstico de su estado actual y se ha analizado la funcionalidad hidrogeomorfológica de cada uno de los tramos, todo ello con el apoyo fotográfico como uno de los pilares fundamentales durante el proceso.

El trabajo se ha llevado a cabo en un área de estudio de 6 casos, uno por cada tipo de cauces de gravas que existen en Aragón. Este número de casos ha sido suficiente para establecer un protocolo de campo para mejorar el conocimiento de los tramos de gravas y proceder al seguimiento de los mismos con observaciones periódicas de detalle. Uno de los aspectos positivos de este método es que se trata de un sistema sencillo y eficaz, con el que se puede reunir una gran cantidad de información en un tiempo reducido. En esta ocasión no se ha aplicado a más casos debido a que el tiempo invertido en campo con desplazamientos incluidos ha supuesto 35-40 horas, que sumadas a las de trabajo de gabinete superan las horas correspondientes para la ejecución de un trabajo de fin de grado. Su aplicación a más casos para un asentamiento más sólido de las bases del método concordaría en mayor medida con un trabajo de fin de máster u otros estudios más avanzados.

Los resultados obtenidos en el muestreo de sedimentos, englobando los 6 casos, son los siguientes: Los datos de acorazamiento han sido muy similares y coherentes en todos los casos, por lo que no ha habido muestras de algún tipo de problema en función de este proceso. El tamaño medio de sedimento se encuentra entre 76,12 mm y 29,78 mm, la media de los 5 mayores entre 720 mm y 288 mm, el centilo entre 810 mm y 288 mm. En lo que refiere al caudal bankfull, los valores oscilan entre 1400 m³/s y 70,63 m³/s, y la potencia específica entre 13381 w/m² y 15,91 w/m². Por otro lado, todos los tramos han presentado una funcionalidad media o media-alta mientras que, en cambio, la geodiversidad ha diferido en función de unos casos u otros, ya que se han obtenido tanto resultados altos como bajos, además de distintas situaciones intermedias.

Se ha llevado a cabo un diagnóstico de funcionalidad hidrogeomorfológica por medio del índice IHG-E, el cual ha sido una herramienta muy útil. Los tramos con mejores puntuaciones han sido Llastre y Arba de Luesia seguidos por Lubierre con una calidad hidrogeomorfológica buena, mientras que Yosa, Ebro y Cariñena han recibido una puntuación más baja obteniendo una calidad hidrogeomorfológica moderada. De esta manera, se puede proceder a llevar en práctica acciones de reducción y corrección de impactos en los cauces de calidad moderada, y propuestas de acciones de protección y conservación para los cauces de calidad buena.

Se ha demostrado que la fotografía es una herramienta útil para la investigación en el seguimiento de los cauces estudiados en este trabajo, así como para la presentación de información de distintos apartados recogidos en la metodología. Su uso ha sido fundamental para la obtención de material gráfico del acorazamiento, la sección bankfull, la morfología de barras, movilidad y forma de los sedimentos, madera muerta, huellas de crecida, cubierta vegetal e impactos de cada tramo. Con dicho material ha sido posible llevar a cabo el método de acorazamiento, la valoración de la geodiversidad y la funcionalidad de cada uno de los cauces, el diagnóstico de estado, la definición de tendencias previsibles y la comparación entre casos, así como dejar abierto el camino a un posible seguimiento en futuros trabajos.

En lo que se refiere a los tramos estudiados en este trabajo, se ha llegado a la conclusión de que las acciones necesarias para mejorar el estado hidrogeomorfológico de los cauces debe centrarse en el mantenimiento de los caudales, tanto hídrico como sólido, de la forma más natural posible, adaptando adecuadamente los márgenes al espacio natural del río. Una posible vía para ello es declarar a los cauces con calidad hidrogeomorfológica buena como reservas naturales fluviales, mientras que para los casos de calidad moderada primero sería necesario llevar a cabo una serie de acciones de reducción y corrección de impactos para la mejora de su estado natural.

6. Anexo fotográfico

https://www.dropbox.com/sh/s6dj7hqry7d1xhx/AAAS9Jm_cfBUm89MaLCzD0DBa?dl=0

<https://www.dropbox.com/sh/9pkyo1gd3weql0k/AABqX9DKB3coBoFfEvwAYRpga?dl=0>

7. Bibliografía

- Aringoli, D., Buccolini, M., Cocco, L., Dramis, F., Farabollini, P., Gentili, B., Giacopetti, M., Materazzi, M., Pambianchi, G. (2015). "The effects of in-stream gravel mining on river incision: an example in Adriatic Central Italy". *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementary Issues*, 59(2), pp. 95-107.
- Batalla, R.J., Gomez, C.M., Kondolf, G.M. (2004) "Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro river basin (NE Spain)". *Journal of Hydrology*, 290, pp. 117-136.
- Beechie, T.J., Liermann, M., Pollock, M.M., Baker, S., Davies J. (2006) "Channel pattern and river-floodplain dynamics in forested mountain river systems". *Geomorphology*, 78, pp. 124–141.
- Beguería, S., López-Moreno, J.I., Lorente, A., Seeger, M., García-Ruiz, J.M. (2003) "Assessing the effect of climate oscillations and landuse changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees". *Ambio*, 32(4), pp. 283-286.
- Díaz, E., & Ollero, A. (2005). "Metodología para la clasificación geomorfológica de los cursos fluviales de la cuenca del Ebro". *Geographicalia*, (47), pp. 23-45.
- Ferrer-Boix, C. (2010) *Incisión de ríos por extracción aluvial y retirada de presas. Estudio matemático y experimental*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya.
- García Ruiz, J.M., Beguería, S., López, J.I., Lorente, A., Seeger, M. (2001) *Los recursos hídricos superficiales del Pirineo Aragonés y su evolución reciente*. Logroño, Geoforma.
- García Ruiz, J.M., Gómez Villar, A., Ortigosa, L.M. (1987) *Aspectos dinámicos de un cauce fluvial en el contexto de su cuenca: el ejemplo del río Oja*. Jaca-Logroño, Instituto Pirenaico de Ecología e Instituto de Estudios Riojanos, pp. 112.
- García Ruiz, J.M., Ortigosa, L.M. (1988). "Algunos efectos geomorfológicos de las repoblaciones forestales: cambios en la dinámica de cauces en pequeñas cuencas del Pirineo Central español". *Cuaternario y Geomorfología*, 2(1-4), pp. 33-41.
- García Ruiz, J.M., Puigdefábregas, J. (1985). "Efectos de la construcción de pequeñas presas en cauces anastomosados del Pirineo Central". *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 10, pp. 91-102.
- Gómez Villar, A., Martínez Castroviejo, R. (1991) "Channel degradation as a response to erosion control works: a case study". En Sala, M., Rubio, J.L. y García Ruiz, J.M. (Eds.) *Soil erosion studies in Spain*, Logroño, Geoforma, pp. 109-122.
- Gómez Villar, A., Montserrat, G., Ortigosa, L., García Ruiz, J.M. (1994). "Colonización vegetal y actividad geomorfológica en abanicos aluviales del Pirineo Central español". *Cuaternario y Geomorfología*, 8 (3-4), pp. 53-63.
- Hicks, D.M., Duncan, M.J., Lane, S.N., Tal, M., Westaway, R. (2008) "Contemporary morphological change in braided gravel-bed rivers: new developments from field and laboratory studies, with particular reference to the influence of riparian vegetation". En Habersack, H., Piégay, H., Rinaldi, M. (Eds.). *Gravel bed rivers VI: from process understanding to river restoration*. Elsevier, Amsterdam, pp. 557-584.
- Ibáñez, A., Ollero, A., & Díaz, E. (2011). "Influence of catchment processes on fluvial morphology and river habitats". *Limnetica*, 30(2), pp. 169-182.
- Liébault, F., Piégay, H. (2002) "Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of Southeastern France". *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, pp. 425-444.

- López Moreno, J.I. (2006). *Cambio ambiental y gestión de embalses en el Pirineo Central español*. Zaragoza, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.
- López Moreno, J.I., Beguería, S., García Ruiz, J.M. (2006) "Trends on high flows in the central Spanish Pyrenees: response to climatic factors or to land-use change?". *Hydrological Sciences*, 51(6), pp. 1039-1050.
- López Moreno, J.I., Beniston, M., García Ruiz, J.M. (2008). "Environmental change and water management in the Pyrenees: facts and future perspectives for Mediterranean mountains". *Global and Planetary Change*, 61, pp. 300-312.
- Martínez Castroviejo, R., Gómez Villar, A., García Ruiz, J.M. (1991). "Ajustes fluviales derivados de cambios de usos del suelo en el Pirineo Aragonés". *Cuaternario y Geomorfología*, 5, pp. 91-105.
- Martínez Castroviejo, R., Inbar, M., Gómez Villar, A., García Ruiz, J.M. (1990). *Cambios en el cauce aguas abajo de una presa de retención de sedimentos*. I Reunión Nacional de Geomorfología. Teruel, pp. 457-468.
- Ollero Ojeda, A. (1995). "Dinámica reciente del cauce del Ebro en la Reserva Natural de los Galachos (Zaragoza)". *Cuaternario y Geomorfología*, 9(3-4), pp. 85-93.
- Ollero, A., Acín, V., Granado, D., Horacio, J., Ibasate, A. (2016) "Censo, tipología y puesta en valor de los cauces de gravas del Pirineo Central y su piedemonte meridional". *Revista Geográfica del Sur*, 7(11), pp. 10-25.
- Ollero Ojeda, A., Ballarín Ferrer, D., Díaz Bea, E., Mora Mur, D., Sánchez Fabre, M., Acín, V., ... & Sánchez Gil, N (2007). "Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales". *Geographicalia*, (52), pp. 113-141.
- Ollero Ojeda, A., Echevarría Arnedo, M. T., Sánchez Fabre, M., Auría Izquierdo, V., Ballarín Ferrer, D., & Mora Mur, D. (2003). "Metodología para la tipificación hidromorfológica de los cursos fluviales de Aragón en aplicaciones de la directiva marco de aguas (2000/60/CE)". *Geographicalia*, (44), pp. 7-25.
- Petit, F., Gob, F., Houbrechts, G., Assani, A.A. (2005) "Critical specific stream power in gravel-bed rivers". *Geomorphology*, 69, pp. 92-101.
- Piégay, H., Alber, A., Slater, L., Bourdin, L. (2009) "Census and typology of braided rivers in the French Alps". *Aquatic Sciences*, 71, pp. 371-388.
- Piégay, H., Grant, G., Nakamura, F., Trustrum, N. (2006) "Braided river management: from assessment of river behaviour to improved sustainable development". En Sambrook Smith, G.H., Best, J.L., Bristow, C.S. y Petts, G.E. (Eds.) *Braided rivers: processes, deposits, ecology, and management*. Oxford, Blackwell, pp. 257-275,.
- Rinaldi, M., Habersack, H., Piégay, H. (2007) "Multi-scale characterization and evolution of channel forms in gravel-bed rivers". *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(11), pp. 1603-1604.
- Simon, A., Rinaldi, M. (2006) "Disturbance, stream incision, and channel evolution: the roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response". *Geomorphology*, 79, pp. 361-383.
- Surian, N., Ziliani, L., Comiti, F., Lenzi, M.A., Mao, L. (2009) "Channel adjustments and alteration of sediment fluxes in gravel-bed rivers of North-Eastern Italy: potentials and limitations for channel recovery". *River Research and Applications*, 25, pp. 551-567.

- Triviño, A., & Ortiz Rojas, S. (2004). "Metodología para la modelación distribuida de la escorrentía superficial y la delimitación de zonas inundables en ramblas y ríos-rambla mediterráneos". *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (35).
- Urquiaga, R., González, E., Martín, S. (2016) *Reservas Naturales Fluviales. Una figura de protección esencial para la conservación de nuestros ríos*. Ecologistas en Acción, 91 p., Madrid.
- Wyźga, B. (2008) "A review on channel incision in the Polish Carpathian rivers during the 20th century". En Habersack, H., Piégay, H., Rinaldi, M. (Eds.) *Gravel bed rivers VI: from process understanding to river restoration*. Elsevier, Amsterdam, pp. 525-553.