



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

La Rehabilitación Fluvial en el Ámbito Urbano. Estudio de caso: El río Isuela

Autor/es

José Ramón Sánchez Giménez

Director/es

Miguel Sánchez Fabre

Geografía y Ordenación del Territorio

Facultad de Filosofía y Letras
2017/2018

Agradecimientos

En primer lugar quisiera dar las gracias a mis padres y a mi hermano por el apoyo y ayuda brindada, ya que sin ellos no habría sido posible llevar a cabo este trabajo.

Al Ayuntamiento de Huesca, pero sobre todo a Jorge Hernández por su ayuda y orientación a la hora de realizar este proyecto.

A Alvaro García de Galdeano ingeniero técnico de la Confederación Hidrográfica del Ebro, por ayudarme con las mediciones y el trabajo de campo. El cual ha sido una pieza clave y fundamental para realizar este estudio.

A mis amigos Rubén Carilla y Alfonso Delgado por ayudarme a recoger muestras y a la toma de datos.

A Alfredo Ollero Ojeda, por su disposición y amabilidad siempre que he necesitado información o ayuda.

Y sobre todo a Miguel Sánchez Fabre, tutor del proyecto, por aceptar dirigir este trabajo y compartir su experiencia y conocimientos conmigo. Así como su implicación, interés y amabilidad en este trabajo, y por ayudarme en todo lo posible. Muchas gracias.

Resumen

La degradación de los ríos a su paso por las áreas urbanas, es un problema que suscita cada vez mayor preocupación debido al impacto negativo que tienen las actividades antrópicas en dichos ecosistemas fluviales. De este modo a causa del incremento de la urbanización, surge la necesidad de atender de modo específico aquellos tramos de ríos que discurren por un área urbana, así como los impactos adversos que padecen. En el presente trabajo, se ha llevado a cabo una propuesta de rehabilitación fluvial del río Isuela a su paso por el área urbana de la ciudad de Huesca. Para ello, se ha realizado un diagnóstico de la situación mediante el análisis de las características hidrogeomorfológicas, e identificación y valoración de los diferentes impactos y afecciones negativas producidas por el espacio urbano. Posteriormente se ha presentado una serie de propuestas y medidas, para llevar a cabo su posible proceso de rehabilitación fluvial.

Abstract

The degradation of rivers as they overpass urban areas is a problem that raises growing concern due to the negative impact that anthropogenic activities have on these river ecosystems. In this way, due to the increase in urbanisation, there is a need to specifically attend to those stretches of rivers that flow through an urban area, as well as the adverse impacts they suffer. With this project, a proposal of fluvial rehabilitation of the Isuela River has been carried out as it crosses the urban area of the city of Huesca. For this, a diagnosis of the situation has been made by analyzing the hydrogeomorphological features, and identifying and assessing the different repercussions and negative effects produced by the urban space. Subsequently, a series of proposals and measures have been presented to carry out a feasible river rehabilitation process.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Estado de la Cuestión (Antecedentes)	6
1.2 Área de Estudio	10
1.3 Objetivos	12
1.4 Plan de Trabajo	12
2. METODOLOGÍA.....	14
2.1 Bases metodológicas.....	14
2.1.1 Etapas de un proceso de rehabilitación fluvial	14
2.2 Procedimiento metodológico	15
2.2.1 Selección de los tramos de estudio.....	15
2.2.2 Inventario de Presiones.....	17
2.2.3 Valoración del impacto	18
2.2.4 Calidad hidrogeomorfológica	18
2.3 Técnicas de gabinete.....	19
2.3.1 Recopilación de Información.....	19
2.4 Técnicas de campo y laboratorio	20
2.4.1 Índice IHG	20
2.4.2 Mediciones topográficas (Secciones).....	21
2.4.3 Sedimentos.....	21
2.4.4 Vegetación.....	23
3. RESULTADOS.....	24
3.1 Caracterización de la Cuenca	24
3.1.1 Factores condicionantes del comportamiento hidrológico	24
3.1.1.1 Clima.....	24
3.1.1.2 Pendientes.....	26
3.1.1.3 Litología	28
3.1.1.4 Usos del Suelo	30
3.1.2 Variables morfométricas de la cuenca	34
3.1.2.1 Variables Topológicas.....	34
3.1.2.2 Variables de longitud de los cauces	35

3.1.2.3 Variables de intensidad fluvial	36
3.1.2.4 Variables geométricas de la cuenca	37
3.1.2.5 Variables de relieve	39
3.1.3 Comportamiento hidrológico	41
3.2 Presiones en el río Isuela	42
3.2.1 Fuentes puntuales de contaminación	42
3.2.2 Fuentes difusas de contaminación	43
3.2.3 Extracciones de agua y alteraciones por regulación de flujo	44
3.2.4 Alteraciones Morfológicas	47
3.2.5 Calidad de la vegetación ripícola	49
3.2.6 Calidad química, fisicoquímica y biológica	51
3.3 Caracterización hidrogeomorfológica	52
3.3.1 Análisis de Sedimentos	52
3.3.2 Secciones Transversales del Cauce	64
3.3.3 ÍNDICE IHG	78
3.3.4 Riesgos de Inundación	86
3.3.4.1 Evolución	86
3.3.4.2 Riesgos	89
3.3.4.3 Factores intensificadores del riesgo	95
4. INTERPRETACIÓN, APLICACIÓN Y DISCUSIÓN	96
4.1 Limitaciones, condicionantes y oportunidades para rehabilitación fluvial	96
4.1.1 Limitaciones y condicionantes	96
4.1.2 Oportunidades	97
4.1.3 Propuestas de objetivos a conseguir con la rehabilitación fluvial	98
4.2 Bases y criterios técnicos para una rehabilitación fluvial	98
4.2.1 Propuestas de rehabilitación	98
4.2.1.1 Alternativas de rehabilitación fluvial	99
4.2.1.2 Necesidades	104
4.2.1.3 Desafíos	105
5. CONCLUSIONES	106
6. BIBLIOGRAFÍA	108
Recursos Electrónicos	112

1. INTRODUCCIÓN

La degradación de los ríos a su paso por las áreas urbanas es un problema que suscita cada vez mayor preocupación, debido al impacto negativo que tienen las actividades antrópicas en dichos ecosistemas fluviales. De este modo, a causa del incremento de la urbanización, surge la necesidad de atender de modo específico aquellos tramos de ríos que discurren por un área urbana, así como los impactos adversos que padecen.

Por otra parte, a nivel europeo se ha constituido un nuevo contexto normativo (*La Directiva Marco del Agua* (2000), en el cual dentro de los objetivos ambientales establecidos, se incluye la mejora de las condiciones de “las masas de agua” que hayan sufrido alteraciones físicas producidas por la actividad humana. De este modo, es fundamental alcanzar o recuperar el buen estado o potencial ecológico que tenían antes de sufrir dichas presiones externas.

En este trabajo de fin de grado se van a estudiar los impactos negativos e intervenciones, producidas por el área urbana de la ciudad de Huesca en varios tramos del río Isuela. Así como su dinámica fluvial y sus características hidrogeomorfológicas; con la finalidad de llevar a cabo una posible rehabilitación del sistema fluvial, mediante la aplicación de una serie de medidas correctoras y preventivas. Además para completar dicho trabajo, se ha utilizado información correspondiente a la calidad química, fisicoquímica y biológica del río, con el fin de obtener una caracterización con mayor detalle y precisión.

En cuanto a la justificación del trabajo, he escogido la ciudad de Huesca y el río Isuela para llevar a cabo este estudio, ya que es una ciudad que ha crecido de espaldas a dicho río. Además, no ha tenido en consideración la calidad ambiental y ecológica de este sistema fluvial, debido a los impactos antrópicos de su cauce y de su espacio fluvial. Por ello, es un claro ejemplo de degradación e intervención agresiva en un ecosistema fluvial.

1.1 Estado de la Cuestión (Antecedentes)

La urbanización y los efectos negativos que ejerce sobre los sistemas fluviales, así como las posibilidades de recuperación, son el eje central de dicho trabajo. Por ello, antes de comenzar con el análisis del trabajo en sí mismo, es necesario citar los principales antecedentes sobre la influencia urbana en los sistemas fluviales.

A continuación se van a considerar los siguientes temas:

- “Los impactos negativos que los procesos y áreas urbanas ejercen sobre las características y funcionamiento natural de los sistemas fluviales”.
- “La rehabilitación de los ríos en los espacios urbanos”
- “Las actuaciones realizadas en materia de restauración fluvial en el contexto mundial, europeo y nacional”.

En lo que respecta a los ríos, se caracterizan por ser sistemas naturales de una gran complejidad y diversidad, en los cuales intervienen una gran cantidad de variables. Por ello, los sistemas fluviales están en una continua transformación espacial y temporal. (Werrity, 1997). Por otro lado, hay que añadir los impactos generados por la acción humana, lo que conlleva a que los propios sistemas fluviales se tengan que adaptar y reajustar frente a las acciones antrópicas.

Así mismo, la complejidad natural de los sistemas fluviales queda recogida en el concepto de *hidrosistema fluvial*. En el cual, están representadas las cuatro dimensiones en las que se estructura la continuidad fluvial. Siendo estas, la continuidad longitudinal, la conectividad lateral, la dinámica vertical y la dimensión temporal. De este modo, cualquier modificación que se produzca en alguna de las cuatro dimensiones, producirá una alteración del sistema en su conjunto.

En cuanto a la parte urbana, el proceso de urbanización del territorio se ha ido incrementando en la última década. En el año 2007, por primera vez en la historia la población de las áreas urbanas superaba a la población residente en las áreas rurales. Esto conlleva una modificación del entorno natural a causa de diferentes aspectos, como son: la elevada concentración de población en un espacio determinado, los cambios de los usos del suelo y la presencia de infraestructuras. Todo ello, implica una transformación del paisaje, lo cual produce que los sistemas fluviales también se vean afectados y no salgan indemnes a estos cambios.

De este modo, el desarrollo urbano produce cambios y modificaciones en la forma y funcionamiento de los sistemas fluviales. Los cuales son especialmente vulnerables a los cambios en los usos del suelo. Estas variaciones producen la alteración del régimen de caudal y de sedimentos, así como también pérdida en la calidad del agua por la presencia de vertidos, o la ruptura de la continuidad fluvial por la existencia de canalizaciones y defensas. (Gurnell et al., 2007). Dicho esto, los impactos en el sistema fluvial dan lugar a la aparición de diversas alteraciones, las cuales se pueden organizar en función de los ámbitos sobre los que influyen: régimen hidrológico, geomorfología, calidad química y fisicoquímica del agua, y por último la calidad biológica. Por ello, al conjunto de efectos negativos generados por los espacios urbanos, sobre los sistemas fluviales se le ha denominado como "*síndrome del río urbano*" (Meyer et al., 2005).

En lo que respecta a las actuaciones realizadas en materia de restauración fluvial en ríos urbanos. Se tiene como objetivo paliar o suprimir los impactos negativos de origen antrópico, con el fin de restablecer parcialmente los procesos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos de dicho sistema fluvial. De este modo, se trata de devolver al sistema fluvial su estructura, territorio y dinámica a partir de la eliminación de las presiones e impactos negativos que producen su degradación (Ollero, 2015).

El término de *rehabilitación*, se refiere a la recuperación funcional lo más natural posible de algunos elementos, procesos y funciones del sistema fluvial, sin llegar a su estado original (Ollero, 2015).

Dentro de este concepto o ligados a él podemos destacar diferentes conceptos en lo que se refiere a un proceso de recuperación fluvial, en función del grado de recuperación llevado a cabo. *Restauración fluvial* (Restablecimiento estructura y funcionamiento casi original), *Rehabilitación* (Recuperación parcial), *Mejora* (Incremento del valor ambiental),

Creación y Sustitución (Creación de un sistema de sustitución) y *Remediación* (Incremento de la riqueza específica y funcionamiento del ecosistema), (Piñeiro, 2016). De este modo, en el caso de los ríos urbanos es difícil llevar a cabo una restauración o rehabilitación total, a causa de su estado de degradación. Por ello, se aplican otros procesos de recuperación como la “*mejora*”, mediante la cual se promueve la recuperación parcial de la riqueza específica y el funcionamiento del ecosistema fluvial.

Como se ha comentado anteriormente, la urbanización ha tenido un papel decisivo en el deterioro de los ecosistemas fluviales. Por ello, en los últimos años han surgido nuevos enfoques que buscan mejorar la condición ecológica de los ríos, además de garantizar la seguridad de los ciudadanos. Cuestiones como la pérdida de biodiversidad o características ambientales han propiciado el incremento de las actividades de restauración fluvial a lo largo de las dos últimas décadas (González del Tánago et al., 2012).

En el contexto a nivel internacional en materia de restauración fluvial, podemos destacar a los Estados Unidos como país con una larga trayectoria en lo que se refiere a este tipo de intervenciones. Desde los años sesenta se han registrado actuaciones en este ámbito. El trabajo realizado por Bernhardt et al. (2005) recopila y analiza 37.000 proyectos de restauración fluvial llevados a cabo en siete regiones de los Estados Unidos, los cuales están recogidos en la base de datos *The National River Restoration Science Synthesis* (NRRSS). Dicha estudio evidencia que los mayores esfuerzos presupuestarios, se han realizado en las áreas urbanas debido a su mayor estado de degradación.

De este modo, los proyectos más emblemáticos realizados en los Estados Unidos, son el Thornton Creek, en Seattle (Washington), Bee Branch Creek, en (Iowa), Arcadia Creek en Kalamazzo (Michigan) o el Saw Mill River, en el estado de Nueva York, entre otros. Además cabe destacar otros ejemplos a nivel mundial, como son el río Hastings Creek en Vancouver (Canadá), o el río Cheonggyecheon en Seúl (Corea del Sur).

En el caso de Europa, las prácticas en la restauración fluvial se han producido a una menor escala, pero los impactos en los cursos fluviales son elevados debido a la evolución histórica que han padecido. Así mismo, en los últimos años se ha producido un incremento de este tipo de proyectos, mediante la aplicación de programas locales y regionales. Con el objetivo de recuperar parcial o totalmente la calidad fluvial de dichos ríos y su incorporación y compatibilidad en el ámbito urbano. De este modo, se puede descartar casos como el del río Rhin (*The Banks of the Rhone River 2006*, Francia – Alemania), el río Isar en Munich (*Isar Plan*, Alemania), el río Irwell (*The London Rivers Action Plan Reino Unido*), o la recuperación de ríos en Zurich (*Stream concep of the city of Zurich*, Suiza).

Además, también se ha establecido a nivel europeo una serie de proyectos destinados a la recuperación fluvial, como son el caso del *European Centre for River Restoration* (ECRR), el RESTORE gestionado por River Restoration Centre of United Kingdom, o REFORM y FORECASTER administrado por Holanda. Por otra parte, hay dos proyectos centrados únicamente en ríos de áreas urbanas. Como son el *Urban River Basin Enhancement Methods* (URBEM Project), y el *Environmental Sustainability Indicators for Urban River Management*, (SMURF) (*Sustainable management of urban rivers floodplains*).

A nivel nacional la restauración fluvial se realiza desde hace pocos años, lo que dificulta la obtención de información de forma precisa. Esto es debido a la falta de bases de datos y redes de conocimiento específico en materia de rehabilitación fluvial, sobre todo en lo referente a las áreas urbanas. Actualmente se pueden destacar dos iniciativas en dicho ámbito, las cuales son: *La Estrategia Nacional para la restauración de Ríos* (ENRR), iniciada en el año 2006, con el objetivo de impulsar la gestión de los ríos y su recuperación ecológica. Y por otro lado el *Centro Ibérico de Restauración Fluvial* (CIREF), asociación sin ánimo de lucro creada en el año 2008, la cual tiene como finalidad numerosas cuestiones, como por ejemplo: la defensa de los ecosistemas fluviales y sus valores ambientales, la lucha contra la degradación, contaminación, dragado, encauzamiento, regulación, embalses, y la ocupación de las riberas. Además, otro aspecto importante es el intercambio de información entre los diferentes profesionales que desarrollan proyectos de restauración fluvial, con la finalidad de mejorar su nivel técnico.

De este modo, aunque la restauración fluvial a nivel nacional es muy reciente, se pueden destacar casos concretos en el espacio urbano, como por ejemplo: el desencauzamiento del río Gállego a su paso por Zaragoza, la rehabilitación del río Huécar en Cuenca, o el río Besós en Barcelona. Además, también se puede señalar proyectos de renaturalización fluvial en ciudades como Barcelona (río Llobregat), Pamplona (río Arga), Sevilla (río Guadalquivir), Madrid (Río Manzanares), o Valencia (río Turia) entre otros.

Pero sobre todo, las actuaciones realizadas en este ámbito se llevan a cabo en áreas no urbanas, mediante obras de estabilización de taludes, eliminación de defensas fluviales como por ejemplo el retranqueo de motas y retirada de obstáculos en el río Órbigo (León), o la recuperación de la llanura de inundación, así como también la eliminación de azudes como en el caso del río Bernesga (León).

1.2 Área de Estudio

La subcuenca del río Isuela (Provincia de Huesca, Comunidad Autónoma de Aragón), es la más occidental de las que conforman la cuenca del río Alcanadre, la cual está formada por las subcuencas de los ríos Isuela, Flumen y Guatizalema. De este modo, el río Isuela colector principal de esta subcuenca, porta sus aguas hasta la margen derecha del río Flumen, que a su vez las vierte al Alcanadre, colector principal de la zona y afluente directo del río Cinca. Su nacimiento se sitúa en la sierra de Bonés, concretamente en el área suroriental del collado de Labarza y separa longitudinalmente los valles de Arguis y de Rasal. Con respecto a los límites de esta subcuenca, por el extremo noroeste limita con la cuenca del río Gallego, y por el extremo noreste con la subcuenca del río Flumen.

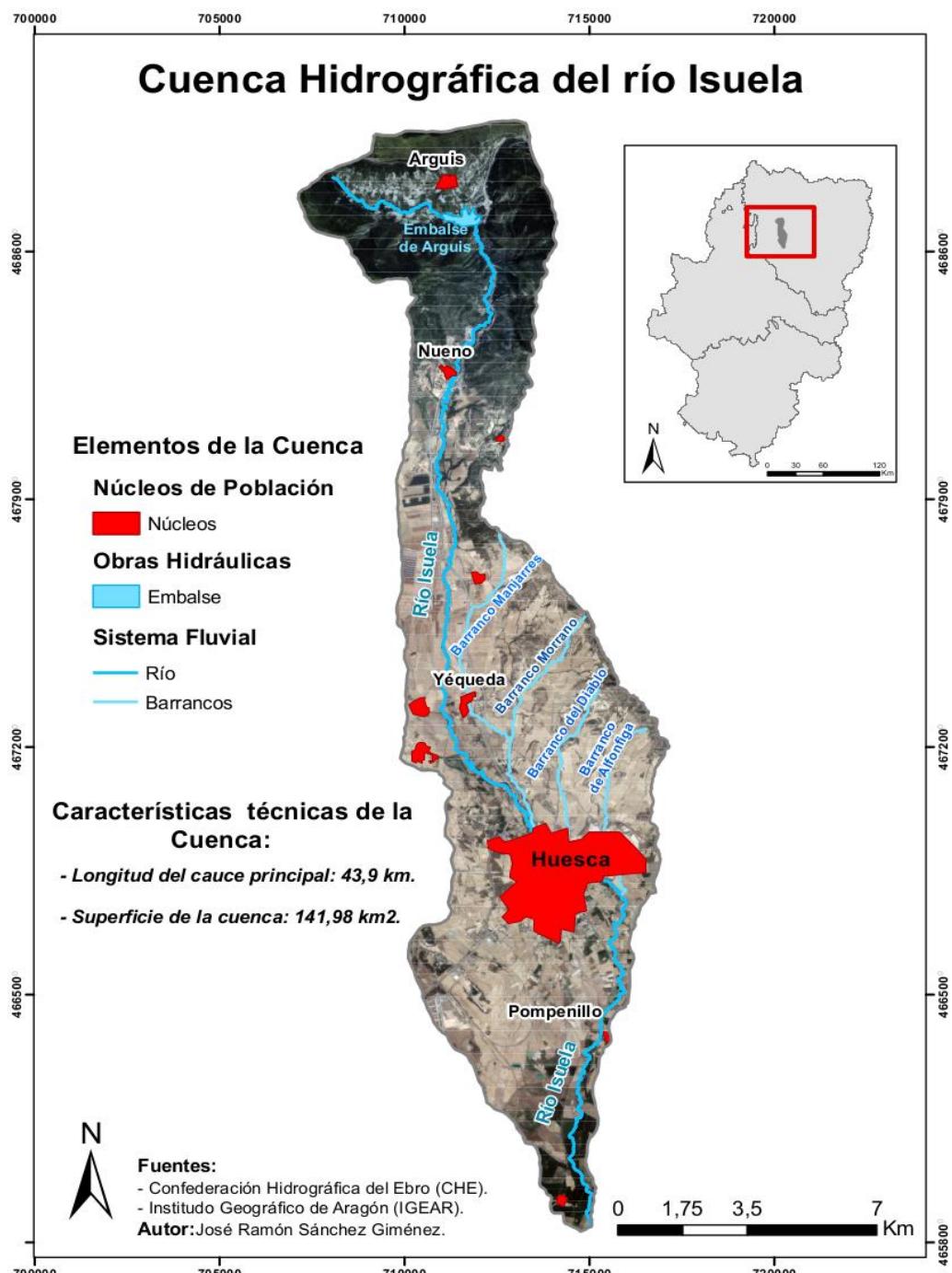


Figura 1: Cuenca Hidrográfica del Isuela y su localización en Aragón. Fuente: CHE e IGEAR.
Elaboración propia

En lo referente a sus características técnicas (Figura 1), tiene una superficie de cuenca de 141,98 Km², la cual es muy pequeña con respecto al total de la cuenca del Ebro. En lo correspondiente a su morfología, es claramente alargada con una dirección N-S y una anchura variable que no supera los 7 kilómetros en su punto más amplio.

La longitud del río desde su nacimiento hasta su desembocadura es de 43,9 kilómetros y tiene un desnivel de 723 metros, desde los 1103 m desde su nacimiento, hasta los 380 m en su desembocadura aguas abajo de la ciudad Huesca, concretamente próximo al municipio de Buñales. En cuanto a los núcleos de población próximos al cauce del río Isuela podemos destacar las localidades de Arguis, Nueno, Igriés, Yéqueda, Banastás, Chimillas, Pompenillo, Tabernas del Isuela y la ciudad de Huesca.

En lo que respecta al funcionamiento general del sistema, hay que destacar que el río Isuela recibe sus aportaciones hídricas en su mayor parte por la margen derecha procedentes de la cuenca del río Flumen, ya aguas abajo de la ciudad de Huesca. Así mismo, no hay ningún otro tributario importante que vierta sus aguas directamente al río Isuela, si no que las aportaciones tienen su origen en una red de barrancos que recogen las precipitaciones de la zona. De este modo, los principales barrancos son: el barranco de Manjarres, el barranco de Morrano, el barranco del Diablo, y el barranco de Alfonfiga. Además cabe destacar el trasvase llevado a cabo mediante la acequia de Bona, desde el río Flumen hasta el embalse de Arguis. En lo referente a dicho embalse, se localiza en el curso alto del río Isuela, a una altitud de 961 metros. Tiene una superficie de 41 ha y una capacidad de almacenamiento de 2,5 hm³ y su construcción se finalizó en 1704, siendo uno de los pantanos más antiguos de Aragón.

A lo largo de su recorrido el cauce principal de la cuenca del río Isuela presenta una morfología diferente en su parte superior, con respecto al resto de la cuenca. Esto es debido a las características litológicas de la zona, que hacen que la acción fluvial infiera de forma diferente. En cuanto al cauce, se caracteriza por tener un trazado sinuoso el cual se encuentra encajado y sin prácticamente movilidad lateral. En términos de caudal sufre fuertes variaciones a lo largo de su recorrido debido a las extracciones que se hacen con el fin de destinar agua para el riego de cultivos y huertas. Por ello, en el periodo estival hay tramos del río Isuela que se secan, sobre todo en el tramo urbano de la ciudad de Huesca.

La cuenca del río Isuela presenta importantes impactos debido a la presión antrópica ejercida en ella. De este modo, el curso fluvial se puede dividir en dos partes: la parte superior, en donde el curso que discurre por una zona muy poco poblada y con escasas alteraciones. La segunda parte del curso fluvial, es la que sufre casi el cien por cien de los impactos debido a la presencia de la ciudad de Huesca con una población de 52812 habitantes (INE 2017). Además, también hay usos del suelo y obras hidráulicas que generan efectos significativos sobre el cauce, lo que hace que la dinámica fluvial del río se vea alterada.

En el presente trabajo nos centramos en estos tramos fluviales del entorno de la ciudad de Huesca, para analizar el grado de alteración con la que el río llega hasta esta localidad y la presión-impacto que desde la misma se traslada al río. Concretamente se han seleccionado 4 tramos del río Isuela en torno a Huesca y 1 en el recorrido del río por Nueno. Este último se ha seleccionado por la peculiaridad de su proximidad al embalse de Arguis.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado, es mostrar los efectos negativos producidos por el área urbana de la ciudad de Huesca en varios tramos del río Isuela y la necesidad de acometer su posterior rehabilitación fluvial. A partir de este objetivo general, se definen los siguientes objetivos específicos:

- **Diagnosticar el estado actual del río Isuela a su paso por el área urbana de la ciudad de Huesca.**
- **Identificar los factores de alteración que, derivados de la urbanización del territorio, son responsables de afecciones sobre el sistema fluvial.**
- **Analizar y determinar la dinámica fluvial y las características hidrogeomorfológicas del río Isuela.**
- **Explorar las opciones de recuperación en un marco de rehabilitación fluvial.**

Partimos de la hipótesis inicial de que la ciudad de Huesca ha contribuido a un importante incremento del deterioro de los tramos fluviales que la surcan. Pero una parte de esa pérdida de calidad de los ecosistemas fluviales es recuperable a partir de la restauración fluvial.

1.4 Plan de Trabajo

A la hora de llevar a cabo este trabajo, el primer cometido fue el de delimitar y escoger el tema a tratar. Para ello se planificaron las tareas que se iban a realizar mediante un plan de trabajo, en el cual se establecieron las diferentes etapas para aborda este estudio.

1. **Bibliografía:** En esta primera parte, se llevó a cabo una recopilación y revisión sobre el río Isuela y su cuenca hidrográfica. También se realizó una revisión de diferentes artículos y estudios sobre procesos de rehabilitación fluvial en los espacios urbanos.
2. **Índice de Trabajo:** Se diseñó el índice del trabajo en el cual se estableció el tema del estudio y los diferentes objetivos a tratar. Dicho índice fue revisado y reestructurado en función de las correcciones realizadas por el tutor.
3. **Trabajo de Campo:** Debido a la falta de datos e información sobre la zona de estudio, fue necesario realizar un trabajo de campo exhaustivo, mediante el cual obtener los diferentes datos y muestras necesarias para poder llevar a cabo el trabajo. Cabe destacar el gran número de horas invertidas en este apartado para poder recopilar toda la información y muestras necesarias.
4. **Trabajo de Laboratorio:** Una vez realizadas todas las mediciones y recogida de muestras de cada uno de los puntos de muestreo, se llevaron al laboratorio del departamento de Geografía, para su posterior análisis y tratamiento.

5. Trabajo de gabinete: En este apartado se ha llevado a cabo un tratamiento cartográfico de la información recopilada, mediante la cual se realizaron diferentes tipos análisis y se obtuvo diversa información de gran utilidad e importancia para el estudio.
6. Interpretación y resultados: Una vez obtenida y recopilada toda la información sobre el área de estudio, se interpretó dicha información, y posteriormente se redactaron los resultados obtenidos.
7. Revisión: La última etapa del plan de trabajo, fue la de redactar las conclusiones obtenidas a partir de los resultados del trabajo, y la de revisar y corregir el contenido del trabajo a partir de las indicaciones del tutor.

Trabajo de Campo			Revisión de Datos		
Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2017					

Redacción					Corrección y Entrega
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
2018					

2. METODOLOGÍA

2.1 Bases metodológicas

Teniendo en cuenta el principal objetivo de este trabajo, el impacto urbano sobre el río Isuela y su posible rehabilitación fluvial; se ha utilizado un procedimiento metodológico enfocado a la restauración fluvial ya existente en otros proyectos de la misma temática. La restauración pretende recuperar procesos fluviales, de modo que el sistema fluvial se aproxima a su funcionamiento natural o de referencia. Las estrategias en el marco de la restauración fluvial se fundamentan así en un adecuado diagnóstico que permita valorar el estado del sistema con respecto a esa condición de referencia, para posteriormente llevar a cabo las medidas necesarias que eliminen o disminuyan las presiones responsables de los impactos sobre los ríos y los acerquen a esa imagen objetivo (González del Tánago & García de Jalón, 2007; Magdaleno & Martínez, 2011; Ollero, 2015).

La finalidad de dicha metodología se basa en la normativa de la “*Directiva Marco del Agua*” (DMA), la cual busca alcanzar un buen estado de las masas de agua. Esta normativa establece como primer paso, la identificación e inventario de las presiones potencialmente significativas que puedan poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos ambientales. Además, a partir de la valoración del estado de las aguas mediante una serie de indicadores, se determinar el grado de afección del sistema, en referencia a una mínima o nula influencia antrópica. De este modo, en función de los resultados obtenidos, se establecen las medidas más efectivas para actuar sobre las presiones y los impactos responsables de su deterioro.

En el caso de los entornos urbanos, existen una serie de condicionantes y limitaciones a la hora de llevar a cabo proyectos de rehabilitación o mejora fluvial, los cuales están ligados a la protección y seguridad pública. Por ello, se debe compatibilizar la protección de las personas y la seguridad de las infraestructuras frente a las inundaciones, pero además hay que proporcionar una dinámica fluvial que permita una buena calidad ambiental y natural del ecosistema fluvial.

2.1.1 Etapas de un proceso de rehabilitación fluvial

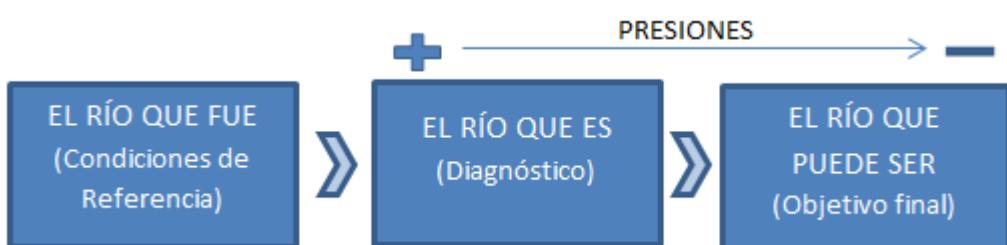


Figura 2: Etapas de un proceso de rehabilitación fluvial. Fuente: La Rehabilitación fluvial en el ámbito urbano. Autora: Piñeiro 2016. Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 2 hace referencia a las etapas de un proceso de rehabilitación fluvial. En la primera etapa se determinan las condiciones de referencia, en segundo lugar, se lleva a cabo una valoración del grado de los impactos con respecto a las condiciones de referencia, y por último se definen los objetivos a conseguir con la rehabilitación fluvial. (En la medida en que se consigan eliminar o reducir las presiones, se obtendrá en mayor o menor medida las condiciones de referencia). De este modo, el trabajo llevado a cabo sigue las tres etapas establecidas en el proceso de rehabilitación fluvial, siendo la parte de “diagnóstico” la parte central del estudio.

Para la realización del diagnóstico se ha seguido un procedimiento basado en tres fases:

- Selección de los tramos del cauce del río Isuela en los cuales se va a realizar el estudio, y la caracterización fluvial.
- Identificación y selección de los impactos urbanos y antrópicos en los tramos seleccionados y en su cuenca.
- Valoración de los impactos seleccionados en el sistema fluvial.

2.2 Procedimiento metodológico

2.2.1 Selección de los tramos de estudio

Para llevar a cabo el análisis de los impactos urbanos que se han producido sobre el río Isuela, se han seleccionado cinco tramos del cauce (Tabla 1). Se han escogido estos sectores al ser representativos de las diferentes presiones existentes en la zona de estudio. Por ello, se ha seleccionado un tramo antes de su llegada al área urbana, (el cual se subdivide en dos sectores debido a sus diferencias) otro dentro del tramo urbano, el cual se ha tenido en cuenta por las propias actuaciones realizadas sobre el curso fluvial (tramo canalizado). Y por último, el tramo a su salida del área urbana. Además, hay que añadir la sección Nueno la cual se ha escogido al localizarse más próxima el embalse de Arguis.

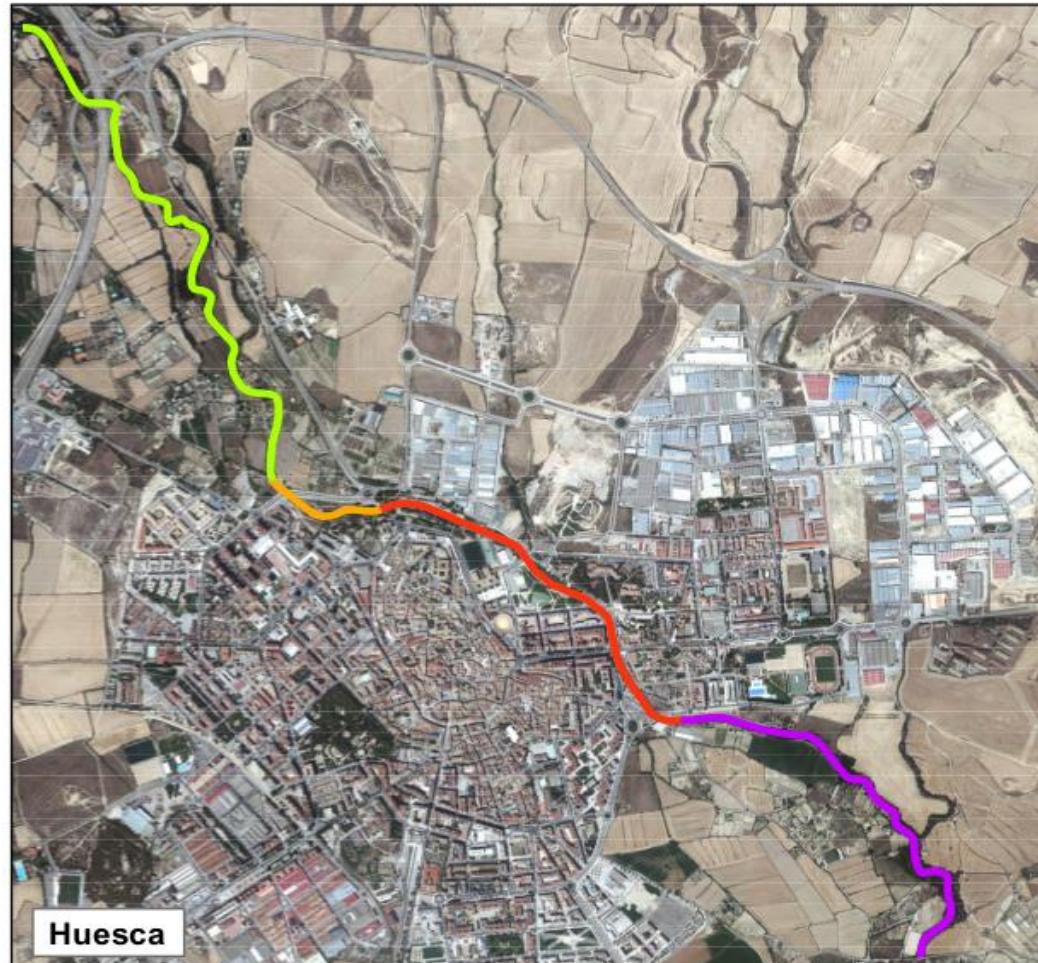
Tramo	Longitud	Coordenadas	
Nueno	2578 metros	$42^{\circ} 16' 42,44''N$	$0^{\circ} 25' 43,64''W$
A1	2300 metros	$42^{\circ} 9' 41,16''N$	$0^{\circ} 25' 29,58''W$
A2	390 metros	$42^{\circ} 8' 40,30''N$	$0^{\circ} 24' 45,86''W$
B	3100 metros	$42^{\circ} 8' 33,80''N$	$0^{\circ} 24' 16,16''W$
C	1700 metros	$42^{\circ} 7' 59,95''N$	$0^{\circ} 23' 20,28''W$

Tabla 1: Longitud y coordenadas de los sectores seleccionados para la realización del estudio.

Fuente: Iberpix4. Elaboración propia.

Tramificación del río Isuela

(Cuenca del río Isuela)

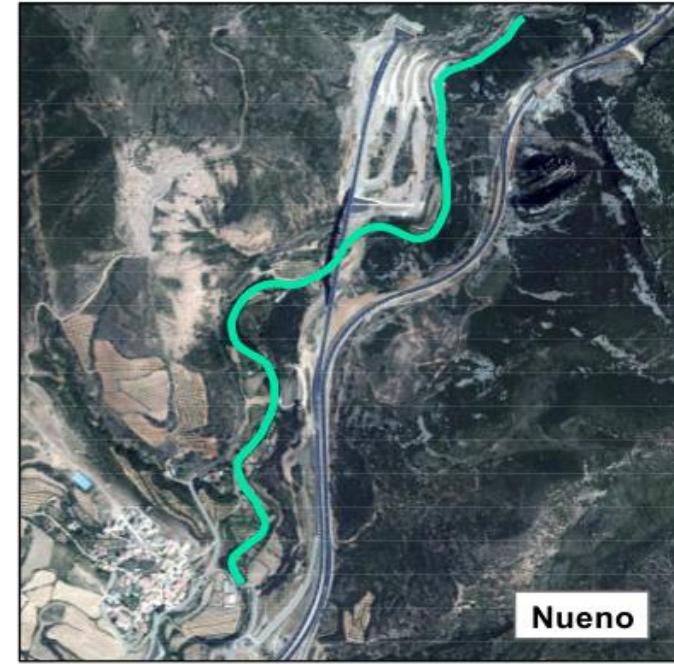


Huesca

Tramos

— A1 — A2 — B — C

0 0,5 1 Km



Tramo — Nueno

0 0,25 0,5 Km



Fuente: - Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR). Autor: José Ramón Sánchez Giménez.

Figura 3: Tramificación del río Isuela Fuente: IGEAR

Elaboración propia

Tramo Nueno: El primero de los tramos escogidos tiene su inicio próximo a la fuente de la Ralleta, y se extiende hasta el núcleo de población de Nueno.

Tramo A (A1 y A2): Este tramo está dividido en dos secciones, la A1 y la A2. Con respecto al tramo A1, tiene su inicio en la Fuente de Marcelo hasta el puente de la carretera que cruza el camino a la localidad de Yéqueda. En cuanto a la sección A2, va desde el final del tramo anterior, hasta el azud y aliviadero situado antes del puente de San Miguel. Se ha procedido a la división de este tramo, debido a las intervenciones que se realizaron en esta parte del cauce (tramo A2) en el año 2016 por la confederación del Ebro.

Tramo B: Corresponde al tramo que discurre desde el puente de San Miguel hasta la calle Balsas de Chirín. Dicho tramo se caracteriza por estar canalizado en su totalidad.

Tramo C: Este tramo tiene su inicio al final de la canalización del tramo B, hasta el puente localizado al este de la ermita de Salas.

2.2.2 Inventario de Presiones

Como primer paso para el análisis del río Isuela, se han analizado las diferentes tipos de impactos negativos existentes; tanto en la cuenca como en el curso fluvial del río. Las presiones consideradas han sido las siguientes:

- **Fuentes difusas de contaminación:** Las principales presiones por contaminación difusa están asociadas a los cambios de los usos del suelo por las actividades antrópicas. En este caso se pueden destacar las presiones ejercidas por los usos del suelo urbano, industrial y agrario, así como la presencia de numerosas infraestructuras viarias e hidráulicas.
- **Fuentes puntuales de contaminación:** Las presiones por fuentes puntuales de contaminación se asocian a los vertidos procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales u otro tipo de actividades económicas.
- **Extracciones de agua:** En este caso se ha buscado información acerca de las extracciones para abastecimiento humano, para uso industrial y para riego.
- **Alteraciones morfológicas:** Se han considerado como alteraciones transversales las presas, los azudes y los puentes. Así mismo, se han considerado las alteraciones debidas a modificaciones longitudinales como canalizaciones, protecciones de márgenes y coberturas de cauces, y otro tipo de alteraciones producidas por el desarrollo de actividades humanas sobre el cauce, como los dragados.
- **Alteraciones por regulación de flujo:** Se ha tenido en cuenta la incidencia de la regulación significativa del flujo de agua que se asocia a los desvíos de agua, que implican una presión por extracción sobre la masa de agua de origen y otra por incorporación de un volumen ajeno en la masa de agua de destino.

2.2.3 Valoración del impacto

Las afecciones derivadas de la urbanización, es decir los impactos se producen sobre el curso fluvial, se pueden agrupar en cuatro ámbitos fundamentales: régimen hidrológico, geomorfología, calidad química y fisicoquímica, y calidad biológica. Debido a las características de un trabajo de fin de grado y las limitaciones que ello supone, dentro de los cuatro ámbitos fundamentales citados anteriormente, el trabajo se va a centrar en el aspecto hidrogeomorfológico. Así mismo, con carácter complementario, se incluirá información de la calidad química, fisicoquímica y biológica del río Isuela.

2.2.4 Calidad hidrogeomorfológica

Profundizar en el aspecto hidrológico y geomorfológico de los tramos de estudio requiere de la búsqueda de indicadores específicos, por la especial relevancia de las afecciones que la urbanización genera sobre estos tramos. De este modo, el indicador utilizado es el “índice de valoración hidrogeomorfológica” (IHG).

El índice de valoración hidrogeomorfológica IHG, desarrollado por Ollero (Ollero et al., 2008; Ollero et al., 2011) se basa en la afección de las presiones humanas sobre el funcionamiento hidrológico y geomorfológico del sistema fluvial, así como sobre la propia morfología de cauce y riberas. Realiza la valoración de diferentes parámetros distribuidos en tres agrupaciones: *calidad funcional del sistema fluvial, calidad del cauce y calidad de las riberas*; a través de la cual es posible clasificar los tramos en una de las cinco clases de estado definidas (muy buena, buena, moderada, deficiente, y muy mala). Permite cuantificar los impactos y establecer una relación entre estos, y las presiones que los originan. Por ello, la utilización del IHG se ha considerado especialmente útil para su aplicación a este trabajo.

Para la aplicación del índice IHG se requiere de una subdivisión de los tramos fluviales en sectores según a unos criterios que deben ser, en coherencia con el índice, hidrogeomorfológicos. Sin embargo, se acepta que para la valoración de detalle de tramos más cortos, como por ejemplo en ámbitos urbanos, se proceda a una división en sectores de longitud regular, sin que necesariamente respondan a criterios hidrogeomorfológicos (Ollero, 2009). Los sectores seleccionados para el presente trabajo cumplen por tanto los criterios señalados.

Como complemento al IHG se han analizado diferentes variables geomorfológicas, con el objetivo de completar la caracterización en este ámbito.

- Sección y estructura transversal.

La sección *bankfull*, o de cauce lleno, ofrece información sobre la correcta funcionalidad hidrológica y permite la estimación del caudal *bankfull*.

Para su definición, deben establecerse los límites del cauce lleno o cauce menor, distinguible en campo a través de la observación de la topografía de las orillas y de la vegetación, así como de los restos de crecidas (Harrelson et al., 1994; Ollero, 2009; SNCZI, 2011).

- Análisis granulométrico de sedimentos superficiales.

El análisis de los sedimentos fluviales aporta abundante información sobre el funcionamiento del sistema. Es conveniente estudiar tanto los materiales aluviales del cauce o lecho menor como los que conforman las barras sedimentarias anexas. El parámetro básico en la caracterización de los sedimentos es el tamaño, cuyo proceso de medida se denomina granulometría. El análisis granulométrico se emplea para conocer la repartición de elementos detríticos de una formación sedimentaria. En este caso, se ha llevado a cabo un análisis de la granulometría de la fracción gruesa mediante el método de Wolman (1954).

2.3 Técnicas de gabinete

2.3.1 Recopilación de Información

- Información hidrológica: Se ha recopilado información disponible en la Confederación Hidrográfica del Ebro, con respecto a la subcuenca del río Isuela. Dicha información se ha obtenido formato pdf. En lo que respecta a la información del régimen hidrológico, no se ha podido obtener información debido a que la estación de aforo 9218 en Pompenillo se encuentra fuera de servicio, por lo que no se ha podido obtener información sobre el régimen hidrológico del río Isuela.
- Información sobre zonas inundables: Se ha recopilado información disponible, en la Confederación Hidrográfica del Ebro, sobre las áreas del territorio para las que existe un Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs), dado que coincide con un tramo de estudio seleccionado para este trabajo. Para estas zonas se dispone de información relativa a la superficie ocupada por la zona de flujo preferente y láminas de inundación para los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años.
- Fotografía aérea: Las imágenes de fotografía aérea antigua se han consultado en el portal del Centro Nacional de Información Geográfica, del Instituto Geográfico Nacional (Fototeca digital del IGN). En él se han consultado los fotogramas de la zona de estudio correspondientes a los vuelos Americano Serie A (1945 – 1946), vuelo Interministerial (1973-1986), vuelo Nacional (1980-1986) y vuelo PNOA (2012).

2.3.2 Tratamiento y procesado de la información

Para llevar a cabo el tratamiento geográfico de la información geoespacial, se ha utilizado el software ArcGIS 10.5. Mediante el cual se ha procedido a la digitalización de los tramos fluviales analizados, así como la vegetación de ribera, las infraestructuras y los usos del suelo. Para llevar a cabo dicha digitalización se han utilizado como base, las ortofotos aéreas de los diferentes vuelos comentados en el apartado anterior. Además, también se ha elaborado una serie de mapas con el objetivo de caracterizar la cuenca en la que se inserta la zona de estudio. Estos mapas son: pendientes, elaborado a partir del MDT05, litológico, a partir del Mapa Geológico de España 1:50.000 serie Magna, variables climáticas, a partir de los datos climatológicos de Aragón, Usos del suelo, a partir del Corine Land Cover 2012, jerarquización de la red de drenaje, a partir del MDT05 y el mapa de intervalos de altitud, a partir del Modelo Digital del Terreno con una malla de 5 metros de resolución. Estos mapas, también se han trabajado con ArcGIS 10.5 y, por tanto, en un soporte digital

En cuanto al cálculo de variables y el tratamiento de la información obtenida, se ha utilizado el Excel y AutoCAD mediante los cuales se ha llevado a cabo el procesado de los datos conseguido en el trabajo de campo.

2.4 Técnicas de campo y laboratorio

Durante los meses de julio, agosto y septiembre en el marco de las prácticas extracurriculares desarrolladas en el Ayuntamiento de Huesca, se ha llevado a cabo el trabajo de campo, con el objetivo de completar y verificar la información recopilada en gabinete, y por otra, buscar aquellos elementos o impactos no visibles en las fotos aéreas y que son necesarios para la caracterización de los tramos analizados.

2.4.1 Índice IHG

Para la aplicación del índice hidrogeomorfológico, se ha procedido a la comprobación en el campo de determinados síntomas como son: la incisión, simplificación o estrechamiento del cauce, el número de defensas y su localización, reconocimiento de la erosión y sedimentación, las infraestructuras transversales, y el estado de la vegetación de ribera. Así como también se han reconocido en campo todos los tramos escogidos para el estudio del Isuela. Y se ha aplicado el índice IHG para cada uno de los tramos, cumplimentando las fichas de evaluación para los apartados de calidad funcional del sistema, calidad del cauce, y calidad de las riberas. Con los resultados obtenidos en cada uno de los bloques, se han sumado entre sí, con el fin de obtener la valoración final sobre la calidad hidrogeomorfológica del tramo fluvial.

2.4.2 Mediciones topográficas (Secciones)

Mediciones topográficas: En lo que respecta a los trabajos topográficos, se han realizado un total de seis perfiles transversales distribuidos a lo largo de los tramos escogidos anteriormente. Con la finalidad de llevar a cabo las estimaciones de caudal y conocer las dimensiones de los diferentes Bankfull analizados. Para realizar las mediciones se utilizó material técnico del Laboratorio de la Facultad de Filosofía y Letras. Este se componía de una mira topográfica, un trípode y visor, una cinta métrica de (50 metros), un metro (5 metros), un calibre electrónico y una pala para recoger las muestras de sedimentos. Además, para llevar a cabo ciertas mediciones en puntos de difícil acceso, se ha utilizado un receptor GPS R6, y una colectora de datos TC2 de la marca Leica.



Foto 1: Nivel topográfico, mira telescopica y cinta métrica.

Fuente: Elaboración propia



Foto 2: Receptor GPS R6 y colector de datos

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo el cálculo de los caudales en cada uno de los tramos estudiados, se utilizó la *fórmula de Manning*, siendo sus variables, el área de la sección (A), el radio hidráulico (R), la pendiente (S) y la rugosidad del cauce (n).

$$Q = A [(R^{2/3} S^{1/2}) / n].$$

2.4.3 Sedimentos

En cada uno de los tramos escogidos, se realizó un análisis granulométrico y morfométrico de los sedimentos de la zona, así como su posterior tratamiento en el laboratorio.

- Granulometría de la fracción gruesa: Mediante el método de Wolman, se ha llevado a cabo la medición de 50 muestras en 4 barras sedimentarias distribuidas en los tramos analizados.

Para realizar dicha medición, se ha extendido una cintra métrica de la longitud de la barra analizada, y cada medio metro se ha cogido la muestra que exactamente ha quedado bajo la marca de la cintra métrica. A continuación, se ha medido su eje menor (eje I) con un calibre y se ha pesado cada muestra con una báscula de precisión.

- Morfometría: Tiene por objetivo el estudio de las formas de los elementos detriticos para determinar las condiciones de transporte de los materiales. Para ello se recogieron un total de 25 muestras de idéntica litología (caliza) y se midieron las variables de: lado menor (b), lado mayor (L), espesor y radio de curvatura. Además, se recogieron unos 2 kg de la coraza del cauce, es decir, de la parte superficial de sedimentos del cauce; y 2 kg de material de la parte de la subcoraza. Una vez se recogieron las muestras correspondientes a la coraza, la subcoraza y las muestras de similar litología, fueron llevadas al laboratorio para su posterior análisis. En el caso de las muestras de la coraza y la subcoraza, fueron depositadas y extendidas en bandejas de plástico aproximadamente tres semanas. Para que de esta forma, perdieran toda la humedad que albergaban y se secaran totalmente antes de ser pesadas.

Una vez secas las muestras de la coraza y subcoraza, estás fueron medidas y pesadas para el cálculo de los diferentes índices. Para ello, se utilizaron una serie de tamices de diferentes calibres, los cuales permitieron separar las gravas grandes, aquellas que no cabían en el tamiz, las gravas medianas ($>$ de 8 mm), las gravas pequeñas (8-2 mm), la arena (2-0,062 mm) y el material más fino ($<$ 0,062 mm). A partir de los datos de laboratorio obtenidos y de su posterior tratamiento matemático, se calcularon los siguientes índices.

- **Índice de Acorazamiento:** Este índice pone en relación la coraza y la subcoraza del cauce.

$$\text{Acorazamiento} = (\text{Coraza}/\text{Subcoraza})$$

- **Índice de Desgaste:** Cuanto más recorrido haya sufrido unos materiales, más desgastados o redondeados estarán y más alto será el índice. (Este índice se calcula a partir de las muestras de una misma litología).

$$Id = 2R / L$$

- **Índice de Aplanamiento:** Aumenta conforme decrece el espesor de los cantos.

$$Ia = (L + I) / 2E$$

- **Índice de Esfericidad:** Valores de 0 a 1, siendo 1 la esfera.

$$Ie = [(I * E) / L2]^{0.33}$$

- **Centílio:** En el caso del centílio, no se ha podido llevar a cabo su cálculo debido a que en este río, el material aluvial es de pequeñas dimensiones y no se localizan bloques de gran tamaño.

2.4.4 Vegetación

Se ha realizado una pequeña caracterización de la vegetación presente en los tramos de estudio, sin pretender hacer un inventario exhaustivo. Se ha tratado sobre todo de identificar aquellas especies que pudieran estar reflejando algún tipo de impacto sobre el sistema fluvial. Para ello se han considerado las siguientes comunidades vegetales:

- **Vegetación hidrofítica:** Plantas acuáticas en sentido estricto, que enraízan en el fondo y desenvuelven sus órganos asimiladores sumergidos o en la superficie del agua.
- **Vegetación helofítica:** plantas acuáticas de los bordes de los cauces o de las islas en los cauces, cuyo sistema radicular y base del tallo permanece inundado por lo menos una parte del año.

De este modo, se tiene en cuenta toda la vegetación influída por la presencia permanente o temporal del agua del río, lo que en ciertos estudios ya se denomina en su conjunto como vegetación de ribera (Freire & Gutián, 2005).

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización de la Cuenca

3.1.1 Factores condicionantes del comportamiento hidrológico

3.1.1.1 Clima

La cuenca del río Isuela se localiza en el dominio climático “*Mediterráneo continentalizado*”. Este dominio se caracteriza por tener temperaturas extremas con fuertes contrastes entre el invierno y el verano, así como unas precipitaciones medias, las cuales se distribuyen de una manera irregular a lo largo del año. En lo referente a la latitud, es un factor poco decisivo en este caso, pero el gradiente altitudinal provoca diferencias apreciables en las temperaturas y precipitaciones. En la parte alta de la cuenca, las temperaturas medias son bajas y las precipitaciones abundantes, mientras que en la desembocadura las temperaturas se incrementan y las precipitaciones disminuyen (Rodríguez, 1979).

Con respecto a la temperatura media anual del área de estudio (Figura 4), presenta variaciones entre la parte alta y baja de la cuenca. En el caso de la parte superior, la temperatura oscila entre los 10-11°C debido al factor altitudinal. En el caso de la parte media y baja de la cuenca, las temperaturas se sitúan en torno a los 13-14°C. Por otro lado, las temperaturas presentan fuertes variaciones a lo largo del año, alcanzando en verano temperaturas de 20°C en la parte media y baja de la cuenca, y valores de 4-8°C de media en invierno. Además cabe destacar la presencia de tormentas conectivas frecuentes durante el verano, y la presencia de nieblas persistentes y heladas durante el invierno, siendo ambas épocas de estabilidad anticiclónica.

Las precipitaciones anuales oscilan entre los 400 – 500 mm anuales en la parte media y baja de la cuenca y 800 – 1000 mm anuales en la cabecera de la cuenca. Aunque debido a la irregularidad de las precipitaciones, a menudo las cantidades varían de un año para otro, haciendo que los valores aumenten o disminuyan. En cuanto a la distribución estacional de las precipitaciones, cabe diferenciar un régimen francamente equinoccial, con dos cortos períodos de lluvias, primavera y otoño, separados por dos mínimos en verano e invierno. En el caso de la parte alta de la cuenca debido al gradiente altitudinal, cabe destacar en el periodo invernal la presencia de nevadas significativas, que suponen un importante aporte pluviométrico para dicha cuenca.

Respecto al balance hídrico (Figura 4), hay que señalar que la cuenca del río Isuela presenta valores dispares entre la parte alta y baja. Los valores del balance hídrico son negativos en la mayor parte de la cuenca, exceptuando la parte superior de la misma, la cual presenta valores positivos. De este modo dentro de los valores negativos, se pueden diferenciar cuatro sectores bien diferenciados. En la zona baja de la cuenca existe un déficit hídrico que oscila entre los 800 a -700 mm, en el sector medio los valores oscilan entre -700 a -500 mm, en el tramo más alto de este sector medio los valores varían entre -500 a -400 mm y en la parte alta el valor del déficit hídrico se sitúa entre -400 a -200 mm.

Por otro lado, en el caso de la parte superior de la cuenca, los valores del déficit hídrico son positivos, siendo 0 a 400 mm para la zona con mayor altitud, y los valores de -200 a 0 en las laderas interiores del valle de Arguis.

Según el “Atlas Climático de Aragón” la cuenca del río Isuela se localiza entre el dominio climático “Mediterráneo – Oceánico” en la parte superior de la cuenca, y el dominio “Mediterráneo – Continental”, en la parte media y baja de la cuenca. Por ello, como se observa en las precipitaciones y temperaturas, existe una clara variación climática N-S entre la parte alta y baja de dicha cuenca (Figura 4).

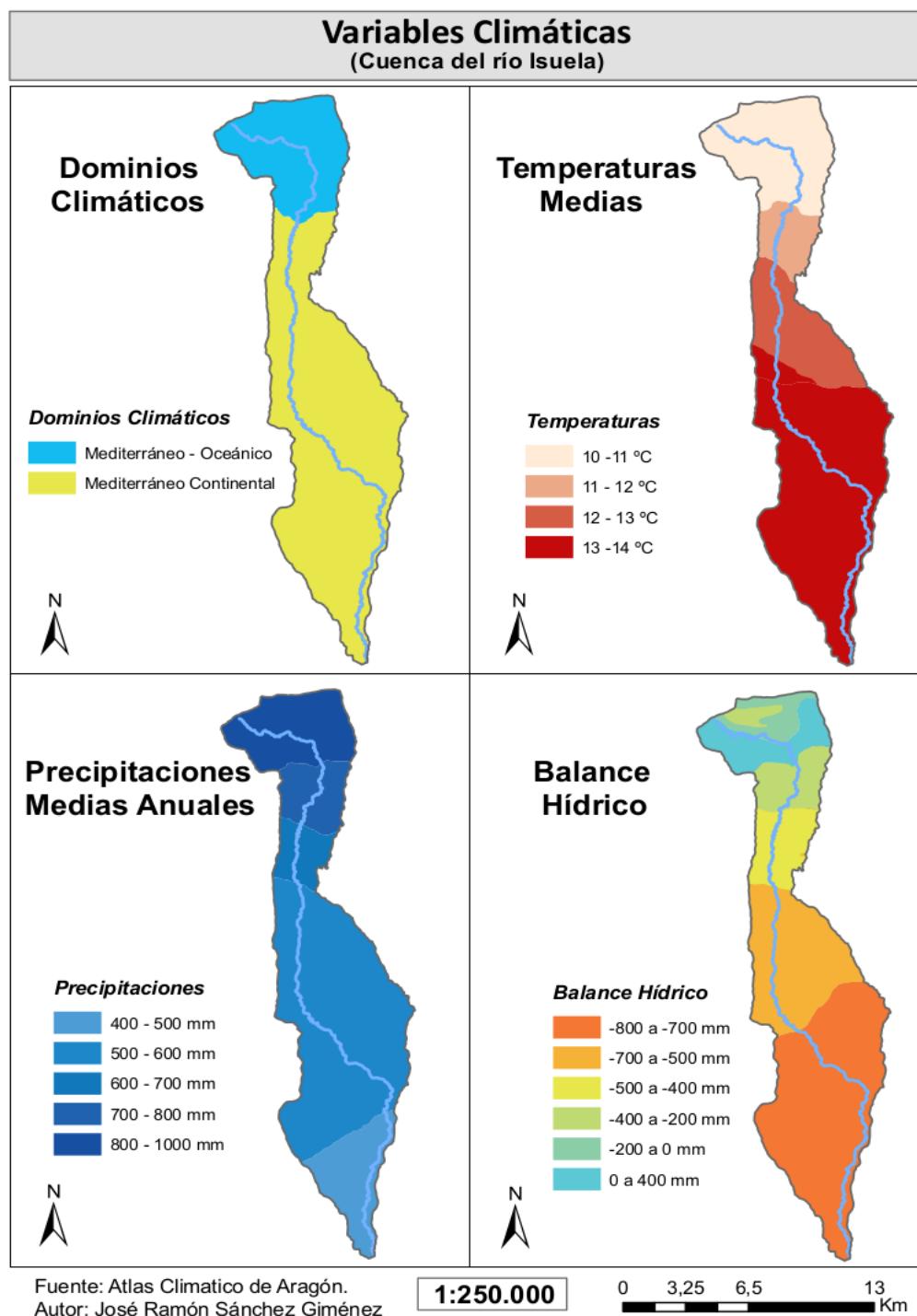


Figura 4: Variables climáticas de la cuenca del río Isuela **Fuente:** Atlas Climático de Aragón. Elaboración propia

3.1.1.2 Pendientes

El río Isuela presenta un desnivel total de 723 metros, desde su nacimiento a unos 1.103 msnm hasta su desembocadura en el río Flumen a 380 msnm, aguas abajo de la ciudad de Huesca. En lo que respecta a la pendiente del cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura tiene un descenso paulatino. Como podemos ver en el grafico del perfil longitudinal del río Isuela (Figura 5), se puede observar a nivel general una clara disposición en rampa con una pequeña variación en la cabecera, pero sin la existencia de ningún salto significativo. El mayor desnivel lo encontramos en la cabecera de la cuenca, concretamente en los primeros 6 – 7 km desde su nacimiento hasta su llegada al núcleo de Nueno. Desde este punto, a medida que descendemos la pendiente es más tenue, sobre todo en la parte media -baja de la cuenca, hasta su desembocadura.

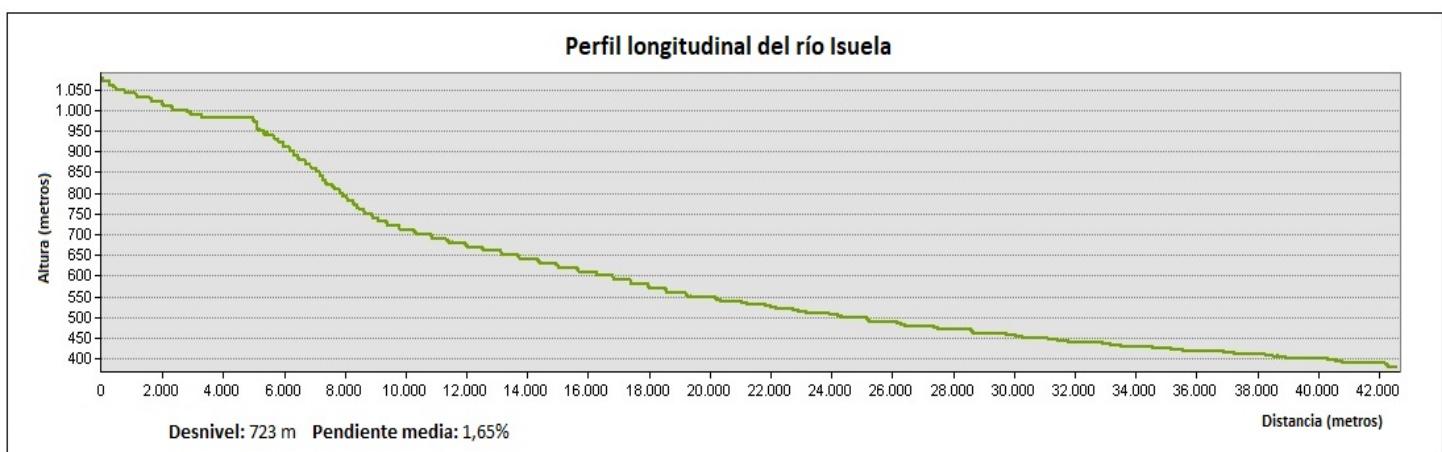


Figura 5: Perfil longitudinal del río Isuela **Fuente:** ArcGis 10.5. Elaboración propia

Si analizamos la pendiente a nivel de cuenca vemos que existen dos sectores bien diferenciados, y que presentan diferentes pendientes (Figura 6). En lo referente al sector superior, la parte alta de la cuenca corresponde con zonas de pendientes fuertes ($16 - 35^\circ$) y muy fuertes ($>32^\circ$), lo que favorecerá el proceso de escorrentía. Además, la existencia de laderas escarpadas da lugar a una fuerte incisión de la red de drenaje. Además hay que destacar la presencia de una zona de mayor planicie correspondiente al fondo del valle de Arguis. En el espacio situado en la parte central de la cuenca, encontramos pendientes moderadas ($8 - 16^\circ$) y bajas ($0 - 8^\circ$) que favorecen el proceso de infiltración. La disposición horizontal de esta zona explica el aprovechamiento de dicho espacio para la agricultura y la construcción del embalse de Arguis.

Con respecto al sector medio y bajo de la cuenca cabe destacar la existencia de una extensa planicie situada en la mayor parte de la cuenca, exceptuando la parte superior como se ha comentado anteriormente. Dicha superficie presenta un claro dominio de las pendientes bajas ($0 - 8^\circ$), lo que da lugar a un dominio del proceso de infiltración y percolación frente al proceso de escorrentía.

Además, en la margen derecha se observar la presencia de pendientes moderadas y fuertes, así como pendientes muy fuertes en puntos determinados. La presencia de litología terciaria más fácilmente erosionable, ha dado lugar a una extensa red de barrancos que vierten sus aguas en el río Isuela.

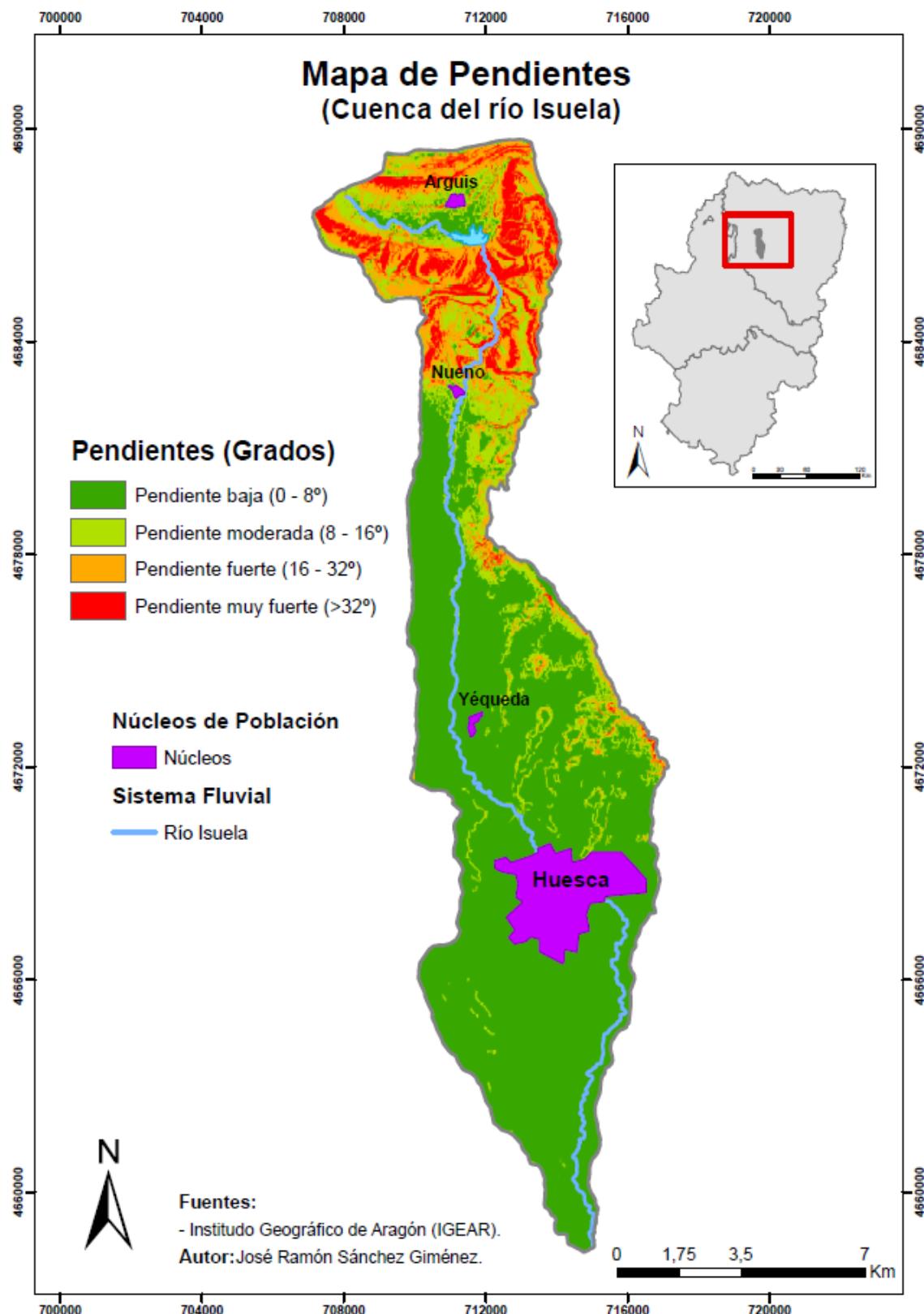


Figura 6: Pendientes de la cuenca del río Isuela. Fuente: IGEAR
Elaboración propia

3.1.1.3 Litología

La cuenca del río Isuela litológicamente hablando, se caracteriza por no ser una cuenca compleja debido a sus reducidas dimensiones. Aun así, existen diversos tipos de litologías sobre todo de origen Terciario y Cuaternario en su mayor parte, aunque también cabe destacar zonas con materiales mesozoicos, concretamente del Triásico y Cretácico. La existencia de varias litologías, permite diferenciar varios sectores en base al criterio geológico. Esto puede apreciarse en el mapa litológico de la figura 7, que se ha elaborado a partir del Mapa Geológico de España 1:50000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), en soporte digital. Se ha hecho una simplificación de la leyenda de este mapa para adecuarla a nuestro objetivo de definir zonas donde los procesos hidrológicos dominantes fuesen distintos a otros sectores de la cuenca.

La cuenca del río Isuela presenta un claro predominio de las litologías sedimentarias cuaternarias y terciarias (conglomerados, areniscas, calizas y lutitas), formadas principalmente por rocas blandas y fácilmente erosionables. Este tipo de litologías están presentes en la mayor parte de la cuenca, pero sobre todo se localizan en toda la parte media y baja de la cuenca, mientras que en la zona meridional de la cabecera también encontramos litologías sedimentarias, pero más antiguas como por ejemplo lutitas, yesos, carniolas y sales, correspondientes al Triásico, Cretácico superior y Paleógeno.

En la zona de la cabecera cabe destacar un predominio de las litologías sedimentarias, siendo especialmente importante la presencia de rocas como las calizas y las areniscas. Además, en esta área existe una combinación de materiales terciarios y mesozoicos. Estos últimos corresponden a un conjunto imbricado de láminas cabalgantes, despegadas a nivel del Triásico evaporítico y desplazadas hacia el sur sobre los materiales de la Depresión del Ebro, con una importante componente E-O concretadas en la formación de pliegues despegados.

En cuanto a los materiales del Terciario que predominan en este sector, podemos destacar las: calizas, areniscas y lutitas. En el caso de las calizas constituyen materiales sedimentarios carbonatados, los cuales exhiben una menor resistencia y compactación que las series carbonatadas del Mesozoico, lo que favorece a los procesos de meteorización química y la disolución de los carbonatos; generando karstificación. En términos hidrogeomorfológicos, las citadas características permiten destacar la relevancia de los procesos de infiltración y percolación en dichas áreas, reduciéndose los procesos de escorrentía superficial. En el caso de las areniscas y las lutitas, los materiales detríticos que albergan, exhiben una resistencia y compactación litológica considerables, caracterizándose por la presencia de macroporos en su estructura; favoreciendo los procesos de infiltración y escorrentía subsuperficial.

Localizados al sur de los materiales terciarios, encontramos los materiales triásicos los cuales forman parte de las unidades del frente pirenaico. Estas unidades en el ámbito de las Sierras Exteriores están despegadas a nivel de base de las calizas atribuidas al Muschelkalk-III. En cuanto a su disposición, siguen una distribución E-O correspondiente a las láminas cabalgantes comentadas anteriormente. Además, cabe destacar un mayor afloramiento de dichos materiales en la margen derecha del río Isuela, con una distribución N-S.

En cuanto a los materiales que podemos destacar en primer lugar son las lutitas, yesos versicolores y sales, los cuales se caracterizan por la abundancia de evaporitas. Por ello, en su comportamiento hidrológico prima los procesos de infiltración y percolación debido a la disolución de los carbonatos.

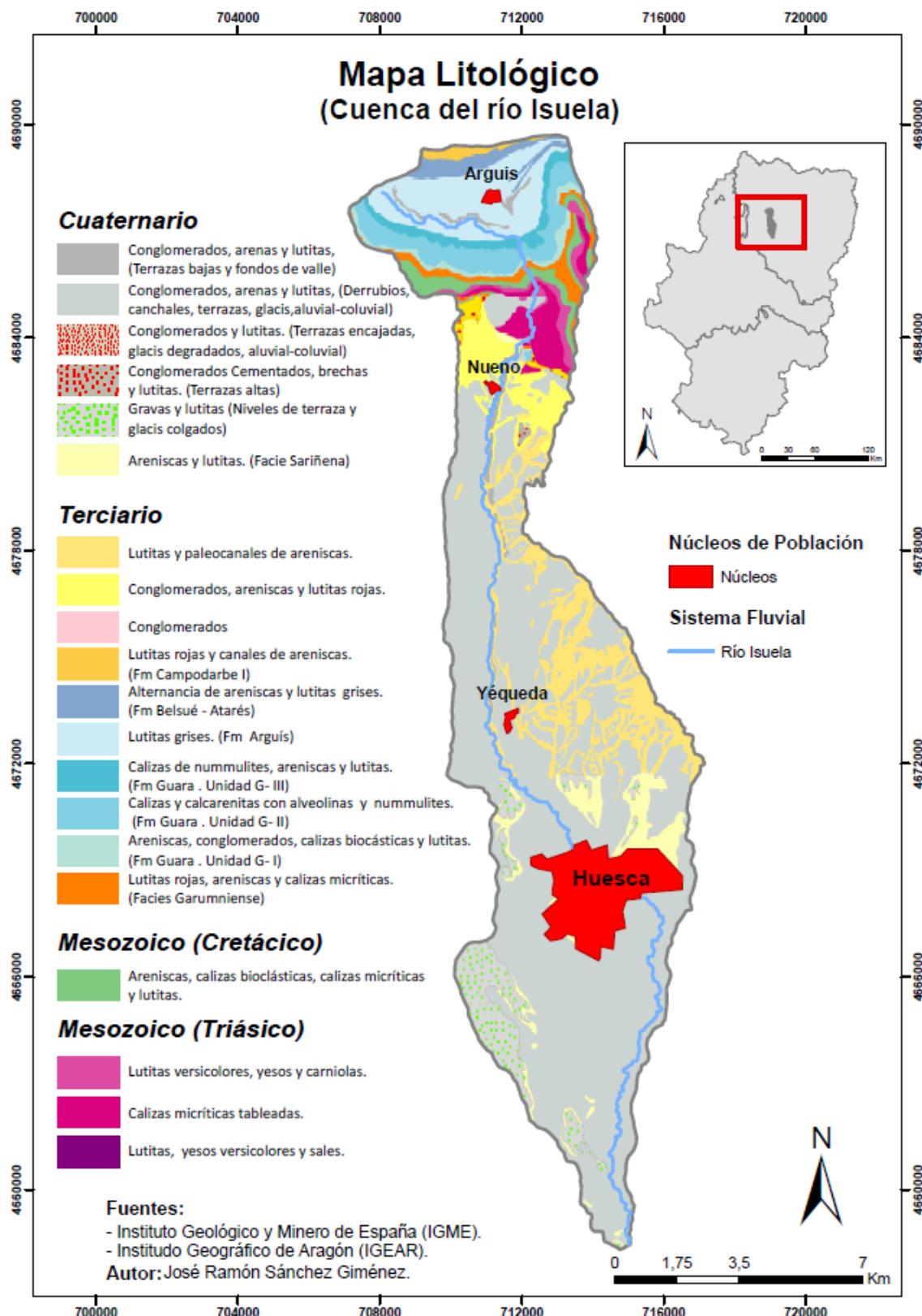


Figura 7: Litología de la cuenca del río Isuela. Fuente: IGME e IGEAR.
Elaboración propia

En contacto con la unidad anterior, podemos destacar calizas micríticas tableadas, las cuales presentan afloramientos escasos y de mala calidad. Los procesos hidrológicos que predominan son la infiltración y la percolación. Por último cabe destacar las carniolas del Muschelkalk más proclives a la escorrentía y las lutitas, yesos y sales del Keuper mucho más proclives a la escorrentía superficial, aunque debido a los procesos de disolución que les afecten también puedan soportar cierta infiltración.

Como punto de transición entre los materiales mesozoicos y cuaternarios de la cuenca encontramos afloramientos litológicos de origen terciario. Por su parte, las litologías terciarias, principalmente conglomerados y areniscas se localizan en el entorno más próximo al municipio de Nueno, sobre todo en el extremo meridional de la cabecera de la cuenca. Este tipo de litologías formadas principalmente por conglomerados presentan una permeabilidad baja, por lo que el proceso hidrológico predominante será la escorrentía. Aunque en algunas ocasiones estos conglomerados aparecen acompañados de areniscas, lo que favorece parcialmente los procesos de infiltración y escorrentía subsuperficial debido a la presencia de macroporos en su estructura interna.

Por último cabe destacar en el sector medio y bajo de la cuenca un predominio de materiales cuaternarios conformados litológicamente por conglomerados, gravas, arenas y limos de origen aluvial, siendo materiales sueltos y deleznablemente afectados por los procesos de erosión y sedimentación; dando lugar a geomorfologías como glacis y terrazas. A su vez, su afección al comportamiento del río es considerable, favoreciendo los fenómenos hidrológicos de infiltración y percolación. De este modo, podemos destacar un predominio de materiales detríticos en la cuenca del río Isuela, en donde priman los procesos de infiltración y percolación frente a los procesos de escorrentía subsuperficial y superficial.

3.1.1.4 Usos del Suelo

Como resultado, el mapa de coberturas y usos del suelo muestra una diversidad en lo referente a la ocupación del espacio, tanto de carácter natural como antrópico. Por otro lado, dicho espacio está localizado en el reino Holártico, y en concreto en la región mediterránea. Además, las diferencias climáticas y el gradiente altitudinal influyen en la cobertura y los diferentes usos del suelo, haciendo que haya un claro contraste entre la parte septentrional y meridional de la cuenca del río Isuela. Esta distribución aparece representada en la figura 8, elaborada a partir de las capas del Corine Land Cover descargadas del Instituto Geográfico Nacional (IGN). De este modo, a continuación se explica las características de la vegetación de nuestra zona de estudio, así como también su comportamiento hidrológico.

En lo referente a los usos del suelo en la cabecera de la cuenca, podemos destacar una clara ocupación por formaciones de porte arbóreo (Bosques de coníferas, frondosas y mixto), las cuales se localizan en su mayor parte en las laderas del valle de Arguis. Altitudinalmente se sitúan entre los intervalos de 900-1200 y 1200-1500 metros de latitud, los cuales quedan enmarcados en el piso bioclimático montano. Así mismo, la masa arbórea que se localiza en la parte más oriental de la cuenca, se situaría en el piso subalpino con una altitud de 1623 metros.

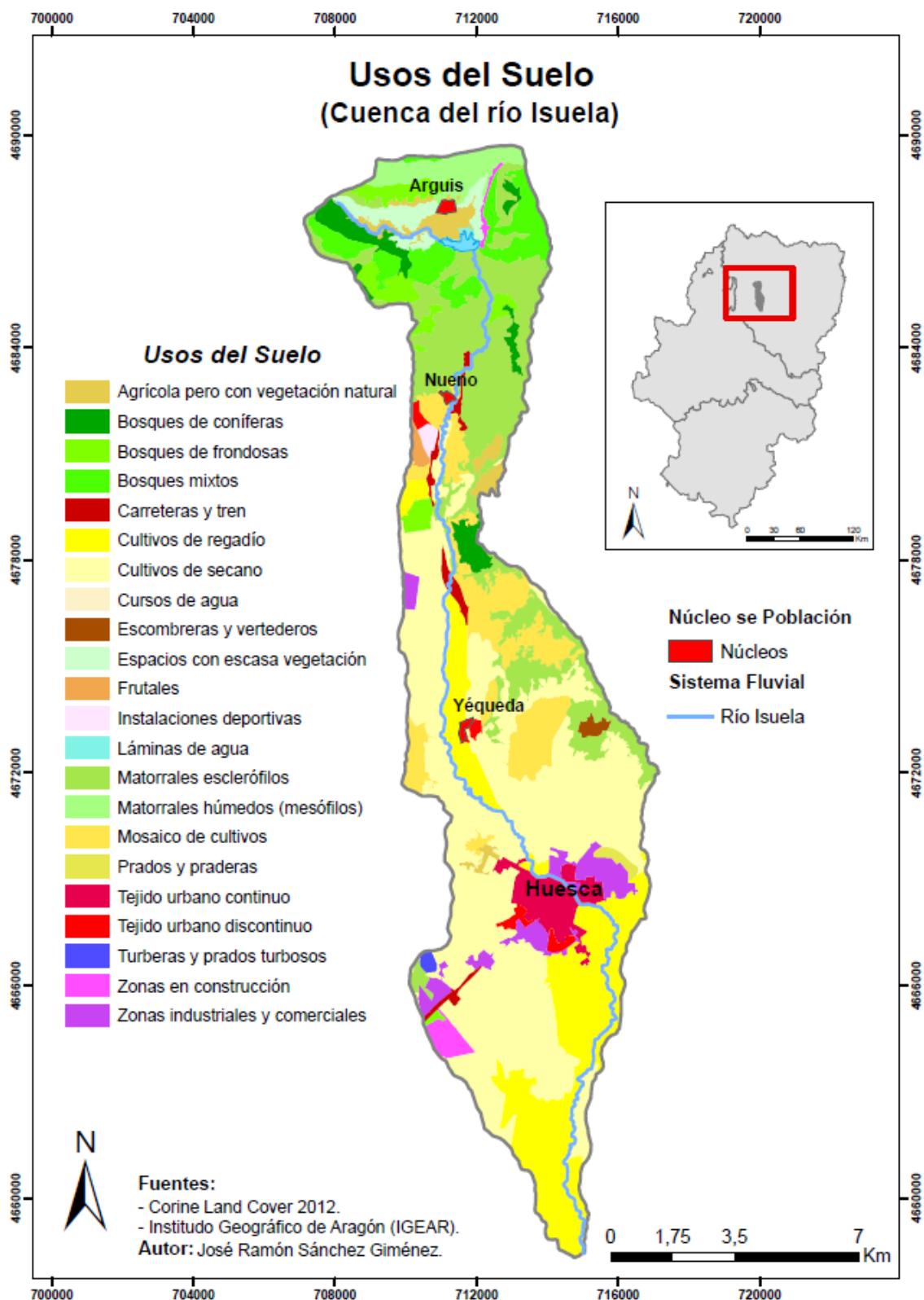


Figura 8: Usos del suelo en la cuenca del río Isuela. Fuente: Corine Land Cover 2012 e IGEAR. Elaboración propia

En lo que respecta al bosque de frondosas, es el que menos superficie ocupa en nuestra zona de estudio; se localiza en las laderas de umbría y barlovento. En el podemos destacar especies como *Fagus sylvatica*. Además, su sotobosque está formado por el boj *Buxus sempervirens* y brezos *Erica australis, scorpiæ y vulgaris*. El bosque de coníferas al igual que el bosque de frondosas no se encuentra muy generalizado por esta zona, su mayor extensión se localiza en la margen oriental así como también próximo al municipio de Sabayés. Se localiza en las laderas de solana o en las áreas de incidencia del sotavento, en donde las condiciones climáticas son más extremas. En cuanto a las especies que podemos distinguir son el pino laricio ibérico (*P. nigra subsp. salzmannii*) y el pino royo (*P. sylvestris*). Con respecto al bosque mixto, se extiende ampliamente flanqueando al río Isuela, así como también al norte del municipio de Arguis. Se caracteriza por la combinación de árboles angiospermas con gimnospermas, es decir una combinación de frondosas de tipo caducifolio con coníferas perennifolias. Por ello, podemos destacar especies como son *Quercus humilis, Quercus faginea, Pinus sylvestris* y un sotobosque compuesto por especies como son el *Buxus sempervirens*. En cuanto a los procesos hidrológicos que podemos destacar, hay un claro dominio de la infiltración, debido a que las especies leñosas de porte arbóreo sujetan el suelo y favorecen dicho proceso. Además, al ser una zona con mucha vegetación, la evapotranspiración potencial es mayor lo que se traduce en un incremento de la interceptación. Lo cual conlleva a una disminución generalizada de la escorrentía superficial y por lo tanto no favorece que el agua de las precipitaciones pase a formar parte del caudal del río.

Con respecto a las especies de porte arbustivo, la mayor parte de ellas se localizan en la cabecera de la cuenca, así como también, al este de la parte central de la misma. Altitudinalmente se sitúan a un intervalo de entre 600 a 1000 metros aproximadamente. En el caso del matorral esclerófilo, es el que mayor superficie ocupa y limita de forma directa con las especies de porte arbóreo comentadas anteriormente. En cuanto a las especies que predominan, podemos destacar *Genista scorpius, Juniperus communis, Echinospartum horridum* o *Buxus sempervirens*. Por otro lado, al norte del municipio de Arguis se localiza el matorral húmedo con una distribución este – oeste y a una altitud de 1000 a 1500 metros aproximadamente. Dicho esto, el proceso hidrológico que predomina es la infiltración, pero se puede ver limitada por una menor incidencia radicular al tener un porte menor. Por lo tanto, la escorrentía subsuperficial se vería favorecida, pero la superficial se verá limitada por esta vegetación de menor tamaño.

En lo que respecta a los usos del suelo de carácter agrícola, son los que mayor espacio ocupan en la cuenca del río Isuela. En el caso de los cultivos de regadío, se localizan en la margen derecha del río, próximos al municipio de Yéqueda y con una distribución norte – sur. Así como también al sureste de la ciudad de Huesca, los cuales se extienden hasta la confluencia con el río Flumen. En cuanto a los cultivos de secano, presentan una mayor superficie de ocupación y se localizan en todo el espacio central y meridional de la cuenca. A su vez, los tipos de cultivos que predominan son cereales como el trigo y la cebada, o la huerta. En cuanto a los mosaicos de cultivos se localizan al noreste de Yéqueda y al sur Nueno. En relación con los procesos hidrológicos, hay una clara infiltración a causa del movimiento de tierras producido por la actividad agraria; pero a su vez, se ve favorecida la escorrentía subsuperficial.

Los terrenos agrícolas con vegetación natural se localizan al norte de la cuenca, concretamente en el fondo del valle de Arguis. Este espacio se caracteriza por ser antiguos terrenos agrícolas abandonados, que actualmente se han visto colonizados nuevamente por la vegetación natural. En lo que respecta al comportamiento hidrológico podemos destacar una capacidad de infiltración limitada, debido al acorazamiento y compactación de dichos suelos lo cual favorece la escorrentía subsuperficial.

En relación con los usos del suelo de carácter antrópico, podemos distinguir una clara ocupación al sur de la zona central, en donde se localiza la ciudad de Huesca. En dicho espacio se puede observar una ocupación del suelo por el tejido urbano (continuo/discontinuo) y las zonas industriales y comerciales; así como también una prolongación hacia el oeste de dichos usos del suelo. Además de los núcleos de población de Arguis, Nueno, Igriés, Yéquida, Banastás, Chimillas y Tabernas del Isuela. También hay que mencionar las diferentes infraestructuras viarias y de comunicación (N – 330 y A -23), las cuales tienen una disposición norte-sur, dividiendo en dos partes la cuenca hidrográfica del Isuela. En relación con los procesos hidrológicos, hay una clara escorrentía superficial en las áreas urbanas e industriales, exceptuando la escombrera y vertedero localizado al noreste de Huesca, en donde el proceso hidrológico predominante es la infiltración. Por ello, debido a las dimensiones de la cuenca, las presiones antrópicas que presenta este espacio son muy altas.

3.1.2 Variables morfométricas de la cuenca

En este apartado se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los parámetros empleados en los estudios de morfometría de cuencas fluviales (López Bermúdez, 1987). Las variables utilizadas para nuestro estudio han sido las siguientes: *Intensidad fluvial, geometría de la cuenca, topológicas, longitud de los cauces y de relieve*. Para el cálculo de estos índices se ha utilizado la información obtenida a partir de la elaboración del mapa de “jerarquización de la red de drenaje” (método de Strahler). A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada una de las variables:

3.1.2.1 Variables Topológicas

Cuando se habla de “*topología*”, se refiere al estudio de identidad de las redes topológicas, con el objetivo de lograr una clasificación de las redes fluviales en función del modelo de unión de cada uno de los tramos de una cuenca. (Senciales, 1999). Dicho esto, las variables topológicas se han obtenido mediante el mapa de la red de drenaje jerarquizada (Figura 9), a partir de la cual se han calculado los siguientes parámetros e índices (Tabla 2).

Orden	Nº de tramos de cauce
N1	890
N2	240
N3	52
N4	16
N5	4
N6	1
Nt (Número total de cauces)	1203

Orden	(Rb)Relación de bifurcación
N1/N2	3,71
N2/N3	4,62
N3/N4	3,25
N4/N5	4
N5/N6	4

Tabla 2: Parámetros e índices de las variables topológicas

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca hidrográfica del río Isuela cuenta con un total de 1203 tramos de cauce que se distribuyen en un total de 6 órdenes jerárquicos. De estos 1203 tramos de cauce, 890 tramos corresponderían a los cauces de orden 1, siendo los más numerosos por una amplia diferencia respecto a los demás. Seguidos de estos están los cauces de orden 2 con un total de 240 tramos de cauce, los de orden 3 con un total de 52 tramos de cauce, los de orden 4 con un total de 16 tramos de cauce, los de orden 5 con un total de 4 tramos de cauce, y por último los de orden 6 con 1 tramo, el cual corresponde al cauce principal del río Isuela.

La relación de bifurcación en nuestra cuenca se puede apreciar una similitud en los valores obtenidos. Por ello, dichos resultados se ajustan a los valores establecidos entre 3 y 5. Siendo la relación de bifurcación entre el orden 2 y 3 la que presenta un resultado de 4,62 siendo este valor mayor que el resto. Por ello, se puede interpretar como que hay una adecuada jerarquización de la red y un buen drenaje solamente en la parte izquierda de la cuenca, debido a que es una zona muy plana (glacis), por lo que no tiene un drenaje bien organizado sectorialmente.

3.1.2.2 Variables de longitud de los cauces

Para el cálculo de las variables de longitud de los cauces se utilizaron los datos conseguidos a partir de la jerarquización de la cuenca, a continuación se adjuntan los resultados obtenidos (Tabla 3).

Longitud de los tramos de cauce	Distancia (Km)
L1	211,41
L2	81,34
L3	44,06
L4	17,96
L5	32,40
L6	15,54

RI (Razón de longitud)	Valor
L1/L2	2,60
L2/L3	1,85
L3/L4	2,45
L4/L5	0,55
L5/L6	2,09

Variables de longitud	Distancia (Km)
LT (Longitud total de los cauces)	402,71
Lu (Longitud media de los cauces)	0,33
I (Longitud del cauce principal)	43,9

IS (Índice de sinuosidad)	0,94
---------------------------	------

Tabla 3: Parámetros e índices de las variables de longitud de los cauces
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a las variables de longitud de los cauces (Tabla 3), los tramos que presentan una mayor longitud se localizan en los tramos de orden 1, la suma de todas las longitudes de estos cauces tiene como resultado un total de 211,41 km y una longitud media de 23,75 metros; lo cual se debe a que la mayoría de los cauces son de orden 1 y se corresponden con pequeños barrancos. Los cauces de mayor orden son los que presentan una suma menor, dado que es inferior la cantidad de dichos cauces, para el caso de orden 2 es 81,34 km y para el de orden 3 es 44,06 km, para el orden 4 es de 17,96 km, para el orden 5 es de 32,40 km y por último, el tramo de orden 6 con un valor de 15,54 km. En cuanto a la longitud media de los cauces (Lu) de la cuenca se situaría en 334,75 metros, aumentando de modo progresivo a medida que aumenta el número de orden. Por otro lado, la longitud total de los cauces presenta un valor de 402,71 km y la extensión del cauce principal es de 43,90 km.

Con respecto a la razón de longitud (RI), la cuenca presenta valores que varían entre 2,60 ($L1/L2$) y 0,55 ($L4/L5$). Por último, el índice de sinuosidad (IS) calculado a partir del “método de Morisawa” es de 0,94, por lo tanto se trata de un río que es ligeramente sinuoso.

3.1.2.3 Variables de intensidad fluvial

Para el cálculo de las variables de intensidad fluvial se utilizaron los datos obtenidos a partir de diversas mediciones y cálculos elaborados con el software ArcGIS.

Variables de intensidad fluvial	Valor
Dd (Densidad de drenaje)	3,01
If (Índice de frecuencia, Strahler)	6,64
Ct (Coeficiente de torrecionalidad)	19,96
Cm (Constante de mantenimiento del cauce)	0,33
LD (índice de longitud del flujo de escorrentía superficial)	0,17

Tabla 4: Parámetros e índices de las variables de intensidad fluvial
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los parámetros e índices de la intensidad fluvial (Tabla 4), la cuenca presenta una densidad de drenaje de 3,01 km/km², por lo tanto los valores inferiores a 10 indican una baja densidad de drenaje y una textura gruesa, lo que suele darse en zonas de gran masividad litológica y espesa cobertura vegetal, así como en materiales muy permeables y con alta infiltración. Según el índice de frecuencia de Strahler la cuenca tiene una cantidad de cauces de orden N1 respecto al área de 6,64 km/km².

A su vez, el coeficiente de torrecionalidad presenta un resultado elevado de 19,97. Dicho valor se traducen en que hay muchos cauces de orden 1, y por tanto muchos cursos de poco recorrido y fuerte pendiente, en donde la velocidad del agua es acusada (torrecionalidad). Por último, la constante de mantenimiento del cauce se encuentra en 0,33 y el índice de longitud del flujo de escorrentía superficial es de 0,17.

3.1.2.4 Variables geométricas de la cuenca

Para el cálculo de las variables geométricas se utilizaron los datos elaborado a partir de diversas mediciones y cálculos realizados en la cuenca con el software ArcGIS, a continuación se adjuntan los resultados obtenidos (Tabla 5).

Variable	Superficie (km2)
A (Área)	134,01

Variables	Distancia (Km)
P (Perímetro)	80,48
L (Longitud)	31,25
W (Anchura)	7,21

Índices	Valor
Ic (Índice de compacidad)	1,95
Re (Razón de elongación)	0,42
Rc (Razón de circularidad)	0,26
Fo (Forma de la cuenca)	7,29

Tabla 5: Parámetros e índices de las variables geométricas de la cuenca
Fuente: Elaboración propia.

Las variables geométricas calculadas y expresadas en la tabla 5, muestran el área de la cuenca es de 134,01 km², el perímetro es de 80,48 km y la longitud y anchura son 31,25 km y 7,21 km respectivamente. El índice de compacidad muestra que la cuenca es alargada, ya que el valor obtenido es de 1,95.

El índice de razón de circularidad expresa un valor de 0,26 por lo que la cuenca de estudio tiene forma muy alargada (elongación), tal y como se puede apreciar en la cartografía realizada. Con respecto a razón de elongación, con un valor de 0,42 se reafirma la forma alargada que tiene la cuenca del río Isuela. Por último, la forma de la cuenca presenta unos valores de 7,29 por lo que no se ajusta al valor (1,273) y por lo tanto, no tiene una forma circular.

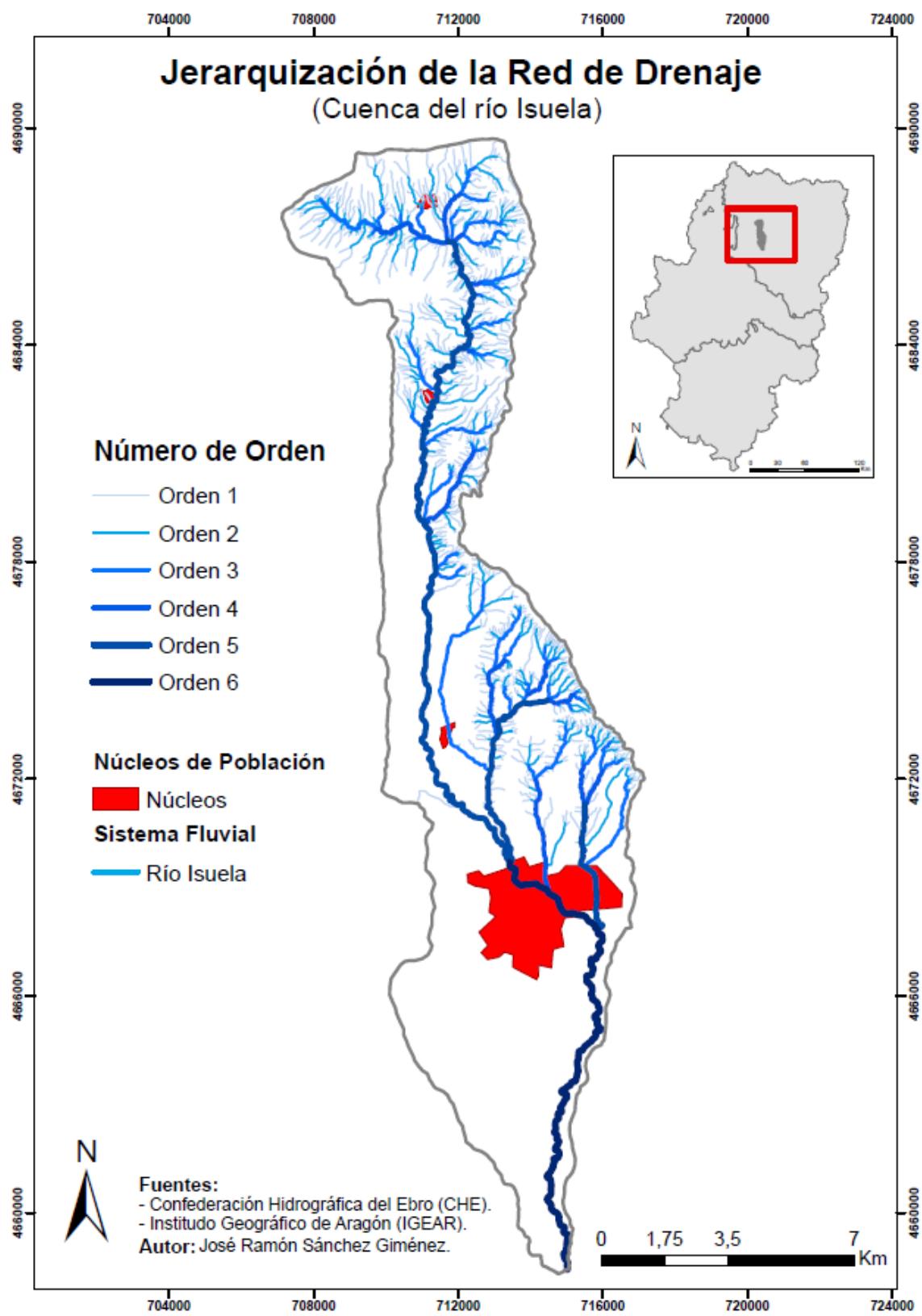


Figura 9: Jerarquización de la red de drenaje de la cuenca del río Isuela

Fuente: CHE e IGEAR. Elaboración propia

3.1.2.5 Variables de relieve

Para el cálculo de las variables de relieve (Tabla 6), se han utilizado los datos obtenidos del MDT05 de la cuenca del río Isuela, el cual se ha generado a partir de las curvas de nivel de dicho espacio, así como también el mapa de intervalos de altitud que se muestra a continuación (Figura 10).

Variables	Altitud (metros)
HM (Altitud máxima de la cuenca)	1610
Hm (Altitud mínima de la cuenca)	380
AM (Altitud media de la cuenca)	673,77

Intervalos de altura	Superficie (Km2)	Porcentaje de la cuenca (%)
380 - 660	69,34	51,74
660 - 940	32,08	23,93
940 - 1120	12,16	9,07
1220 - 1500	11,39	8,50
1500- 1780	9,06	6,76

Índices	Valor
d (Desnivel absoluto de la cuenca)(metros)	1230
pca (Pendiente media del cauce principal)(%)	1,65
Rr (Razón de relieve)	0,039
NR (Número de rugosidad)	3696,21
Ft (Factor topográfico)	34,18

Tabla 6: Parámetros e índices de las variables de relieve

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca hidrográfica del río Isuela tiene una altitud media de 673,77 metros, siendo su cota máxima de 1610 metros y su cota mínima de 380 metros. En lo referente a los intervalos de altura, el que mayor extensión ocupa es el de 380 -660 metros de altitud, con una porcentaje de (51,74%), seguido de esta estaría la zona situada en torno a los 660-940 metros (23,93%), las zonas de 940 – 1120 metros con un 9,07%, el intervalo de altura de 1220 – 1500 metros con 8,50% y por último el intervalo de altitud de 1500 – 1780 metros, el cual es que menor porcentaje de ocupación tiene en la cuenca con un porcentaje de 6,76%. Por lo que la cuenca tiene en la mayor parte de su extensión una altitud de (380 – 660) metros, mientras que en la cabecera los porcentajes de ocupación son más bajos (Tabla 6).

El desnivel absoluto (d) es de 1230 metros, y el desnivel absoluto del cauce se sitúa en los 723 metros, con una pendiente media del cauce (pca) del 1,65%. La razón de relieve (Rr) tiene un valor de 0,039, está pone en relación la diferencia de cotas de altitud.

Por otro lado, con respecto al factor topográfico (Ft), índice complementario a la razón del relieve pero a nivel de la cuenca de drenaje, tiene un valor de 34,18. Por último el número de rugosidad (NR) presenta un valor de 3696,21 el cual expresa, el grado de resistencia que encuentran los cauces en función de la densidad de la red de drenaje.

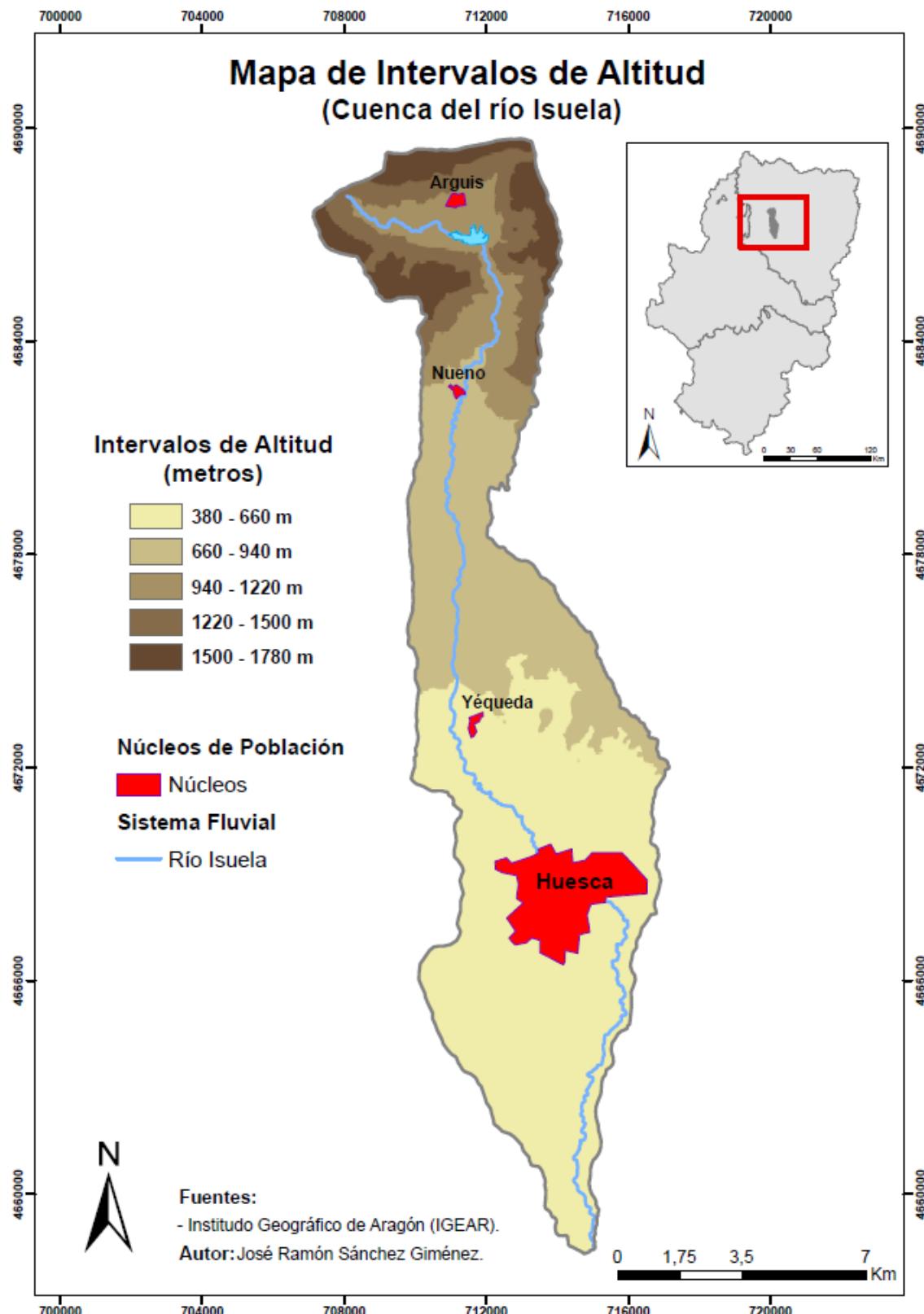


Figura 10: Intervalos de altitud de la cuenca del río Isuela
Fuente: IGEAR. Elaboración propia

3.1.3 Comportamiento hidrológico

Sin ninguna duda, para conocer el grado de alteración de los tramos del río Isuela estudiados, hubiera sido interesante conocer los principales rasgos de su comportamiento hidrológico. Es decir, saber la cantidad de caudal disponible tanto en los diferentes años, como en las diferentes estaciones, o en aquellos momentos de caudales extremos, tanto los asociados a las crecidas como a los estiajes. Sin embargo, esto no es posible porque no existen registros de caudal de este río. Sólo recientemente se ha construido en su cauce una estación de aforo (nº 9218), próxima al municipio de Pompenillo, que todavía no ha entrado en servicio (Figura 11).

Cabe esperar su pronta puesta en funcionamiento. A pesar de lo cual habrá que esperar a tener disponible una serie de al menos 15 ó 20 años para poder hacer una caracterización del comportamiento hidrológico del Isuela.

La observación continuada del río nos permite afirmar, eso sí, que se trata de un curso fluvial que habitualmente dispone de poco caudal y que su evolución temporal está directamente asociada a la de las precipitaciones, de modo que el régimen del río es de tipo pluvial. También, en este mismo sentido meramente cualitativo, se puede decir que el río es capaz de experimentar grandes crecidas, que ponen en riesgo algunas zonas de su llanura de inundación, y también fuertes estiajes que suelen aparecer prácticamente en todos los veranos.

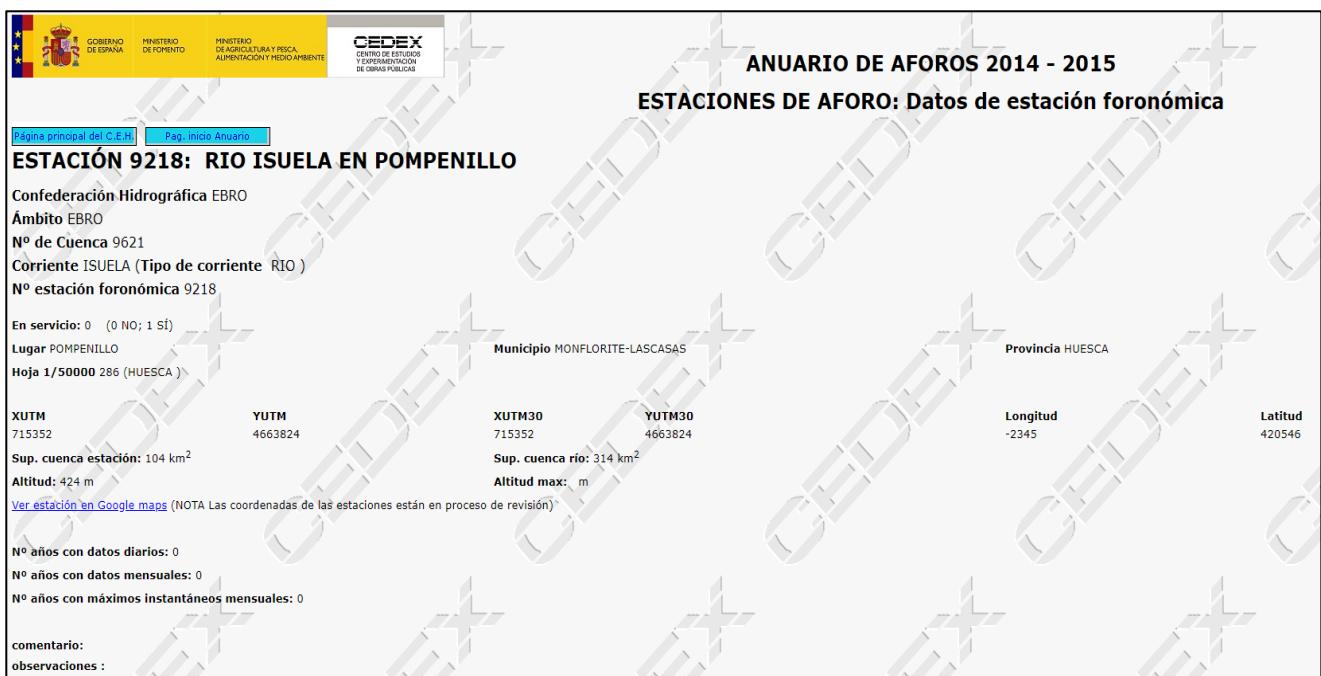


Figura 11: Estación 9218: Río Isuela en Pompenillo

Fuente: Cedex. Elaboración propia

3.2 Presiones en el río Isuela

En el siguiente apartado se presentan los diversos factores de alteración (presiones) que afectan no sólo a los tramos analizados sino al conjunto de la cuenca del río Isuela. En cuanto a las presiones negativas, se han agrupado en cinco clases: *fuentes puntuales, fuentes difusas, extracciones de agua, alteraciones por regulación del flujo y alteraciones morfológicas*. Aunque la identificación y clasificación de las presiones está focalizado a los tramos seleccionados para el estudio, también se han tenido en cuenta algunas presiones relevantes situadas fuera del área de estudio, ya que producen alteraciones e infieren de forma negativa sobre la calidad fluvial.

3.2.1 Fuentes puntuales de contaminación

En cuanto a las presiones relacionadas con las fuentes puntuales de contaminación, se asocian a los vertidos procedentes de las actividades urbanas, industriales u otro tipo de actividades económicas. Con respecto al área de estudio, la mayor parte de los vertidos corresponden con vertidos de carácter urbano. Únicamente en el caso del tramo C se puede observar efluentes correspondientes del polígono industrial Sepes, por el cual transcurre el barranco Alfonfiga y vierte las aguas pluviales del polígono al río Isuela, en el cual se han constatado afecciones negativas en la calidad del agua. En el caso de los vertidos urbanos, no hay constancia de que haya aportes directos al río Isuela, ya que existe una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)

Por otro lado, estos se habrían producido por roturas o filtraciones de la red de saneamiento. (*En su mayor medida en edificaciones de antigua construcción adosadas al cauce*). En cuanto a los vertidos urbanos que se dan en el área urbana de Huesca, los mayores aportes se producen a consecuencia de los alivios de la red de saneamiento, y a través de las redes de aguas pluviales, como se ha podido observar a lo largo del trabajo de campo realizado. Además cabe destacar la presencia de residuos sólidos urbanos a lo largo de los tramos A2, B y C (Foto 3), siendo este último el que presenta una mayor acumulación de estos desechos.



Foto 3: Vertidos urbanos en el tramo B

Fuente: Elaboración propia



Foto 4: Desagüe del sistema de drenaje del tramo C

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los núcleos urbanos de Nueno, Chimillas, Banastas, Yéqueda y Pompenillo, no presentan depuradoras para el tratamiento de las aguas residuales. Esto supone el aporte continuo de los alivios de la red de saneamiento, por la cual los vertidos de aguas pluviales y residuales urbanas van directamente a parar al río Isuela. En relación con la EDAR de Huesca, presenta unas características técnicas adecuadas ya que tiene una capacidad para 135.000 habitantes, por lo que el problema radica en el antiguo sistema de saneamiento y su estado actual. De este modo, al margen de las fuentes puntuales de contaminación descritas, sería importante localizar aquellas otras fuentes de contaminación asociadas a otras actividades económicas, ya que debido a las características de este trabajo y a las limitaciones técnicas no he podido realizar.

3.2.2 Fuentes difusas de contaminación

Con respecto a las fuentes difusas de contaminación, se ha detallado el porcentaje del uso del suelo a nivel de cuenca destinado a la ocupación urbana, industrial, agrícola y a las vías de comunicación. Como se puede observar en los resultados obtenidos (Tabla 7), el suelo destinado a uso agrícola es el que mayor porcentaje presenta con un 48%. En segundo lugar con un valor inferior, el suelo urbano con un 11% de ocupación; las vías de comunicación suponen un 4%, y el uso industrial con un valor de 2%, es el que menor superficie presenta. De este modo, el uso del suelo que mayor presión ejerce en el área de estudio es el agrícola, el cual a su vez produce contaminación difusa por la utilización de nitratos y pesticidas.

ZONA DE ESTUDIO (Cuenca del Río Isuela)	
Superficie total de la cuenca (ha)	14.198
Uso Urbano (%)	11%
Uso Industrial y comercial (%)	2%
Uso Agrícola (%)	48%
Vías de Comunicación (%)	4%

Tabla 7: Distribución de la superficie de la cuenca del río Isuela por tipos de uso.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con el uso del suelo urbano se ha procedido a un análisis más detallado, ya que el río Isuela transcurre por el espacio urbano de Huesca. Esto supone una mayor presión en los tramos analizados y por ello, se ha llevado a cabo un desglose de los diferentes usos del suelo dentro del espacio urbano (Tabla 8). Esto ha permitido especificar la superficie impermeabilizada en la ciudad de Huesca, y diferenciar aquellas áreas clasificadas como zonas verdes las cuales presentan una superficie permeable. Como se puede observar en la tabla, la mayor superficie dentro de la ciudad está destinada al uso industrial (142,02 ha) y al uso residencial (135,55 ha). Esto supone una clara fuente de contaminación difusa de origen antrópico, debido al lavado del pavimento y arrastre de contaminantes por la escorrentía superficial.

La ocupación con infraestructuras de las zonas inundables es otra cuestión a tratar en varios de los tramos analizados. De los cinco tramos, dos se localizan dentro de un área con riesgo significativo de inundación. La ocupación por edificaciones urbanas e industriales en la zona de flujo preferente es apreciable en los tramos analizados A2, B y C. Esto supone la elevada recalificación de los suelos colindantes al río Isuela; lo que ha supuesto la edificación de infraestructuras dentro del dominio público hidráulico.

Suelo Urbano del Núcleo de Huesca	
Uso	Superficie (ha)
Residencial	135,55
Industrial	142,02
Espacios libres	44,08
Equipamientos	73,24
Viario	67,93
Ferroviario	2,17
Infraestructuras	1,45
Total del suelo Urbano	466,44

Tabla 8: Distribución de los usos del suelo en el núcleo urbano de Huesca

Fuente: Plan general de ordenación urbana de Huesca

3.2.3 Extracciones de agua y alteraciones por regulación de flujo.

En el caso de las extracciones de agua en el río Isuela, se ha buscado información en el registro de aguas de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) acerca de las captaciones para el abastecimiento humano, industrial y agrícola en el área de estudio. De este modo, las captaciones destinadas al uso agrícola son las que presentan un mayor volumen, las cuales están destinadas al riego y al abastecimiento ganadero. Por ello, la dotación anual estimada para el riego de 2.160 hectáreas de cultivos, supone una demanda de 3.099 m³/ha año. En el caso de las extracciones destinadas para el uso industrial, la demanda de los polígonos industriales de Huesca es de 2,49hm³, siendo la mayor parte procedente del embalse de Vadiello (*falta de datos para Isuela*).

Por último, las captaciones para el abastecimiento humano (*uso doméstico y consumo de boca*) realizadas por los diferentes núcleos de población son las siguientes, Nueno, Sabayés, Urbanización y campo de Golf (473.129 m³ y un caudal máximo de 25 l/s), Yéqueda (119.574 m³ y un caudal máximo de 10,40 l/s), Chimillas (70.000 m³, y un caudal máximo de 8,74 l/s), Banastas (215.293,31 m³, y un caudal máximo de 15 l/s) y por último, el centro ATADES (45756,14 m³, de los cuales 9.636 m³ están destinados para el consumo de boca).

De esta manera, las extracciones de agua tanto directas como indirectas en el río Isuela están poniendo en riesgo el acuífero cuaternario (*Isuela - Flumen*), ya que actualmente soporta una intensa actividad agrícola y esto supone un incremento de su vulnerabilidad. Además, el acuífero se encuentra en riesgo de contaminación al norte de la ciudad de Huesca, y contaminado en la zona occidental por la presencia de nitratos (CHE).

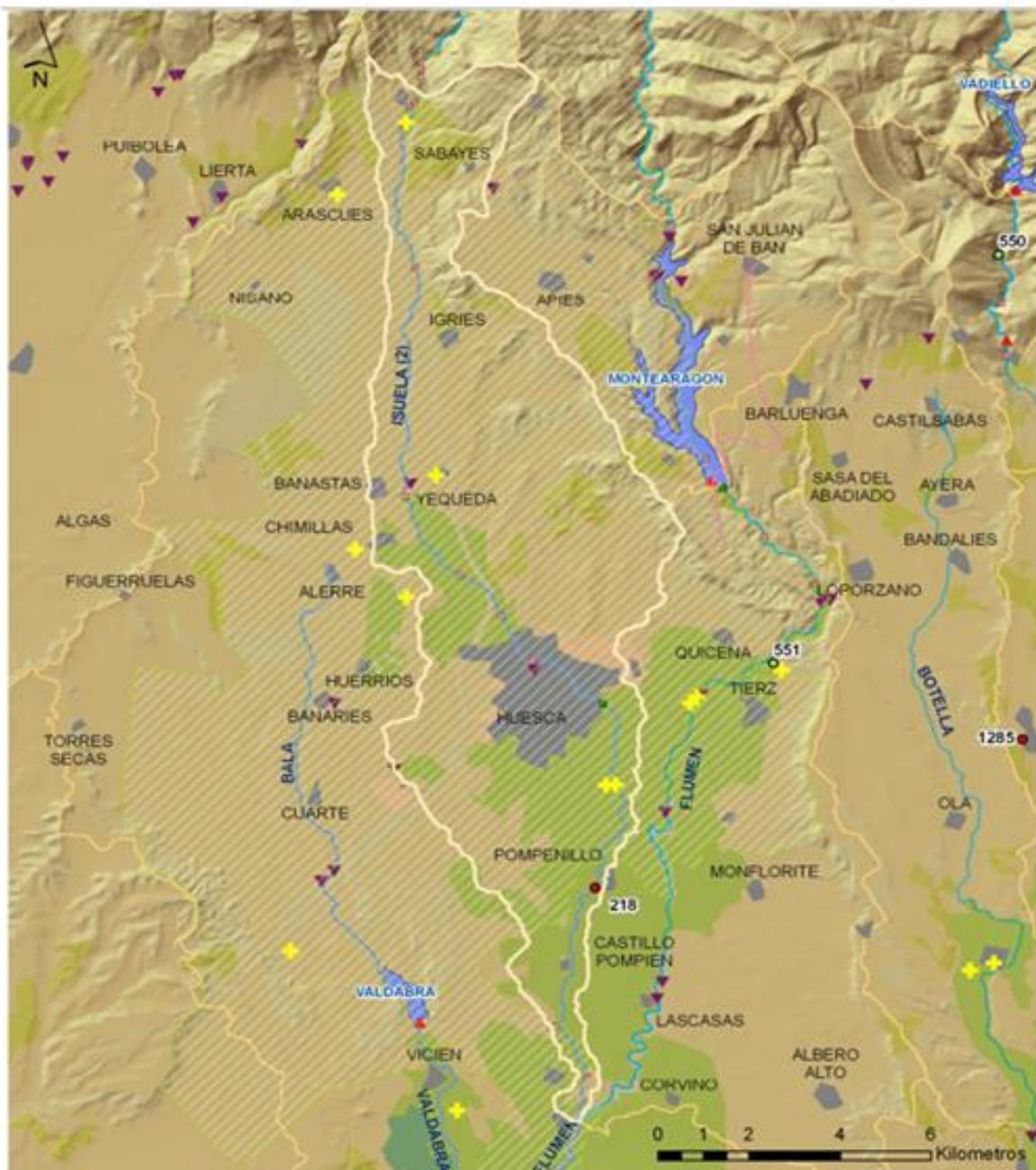
Con respecto a las alteraciones por regulación de flujo en el río Isuela, se pueden observar presiones asociadas a desvíos de agua para el abastecimiento únicamente de riego. Estas desviaciones se llevan a cabo mediante 13 azudes distribuidas a lo largo del tramo fluvial situado entre Nueno y Huesca. De este modo, la primera azud se localiza en el núcleo de población de Nueno (Foto 5), la cual capta agua para el abastecimiento de riego de la margen izquierda del río; la segunda azud se localiza próxima al municipio de Igriés, la cual abastece de agua a la margen derecha. Por otro lado, desde los núcleos de población de Yéqueda y Huesca hay un total de 3 azudes, para la captación y distribución de agua para el riego de esta zona. Por último en el tramo A2 (Figura 12) se encuentra la azud para la captación de agua de la acequia Mayor, la cual atraviesa de forma longitudinal la ciudad de Huesca y riega las huertas situadas al sur del área urbana. En relación con los desvíos de agua citados anteriormente, no hay datos que permitan determinar el caudal captado en cada una de las azudes.

Esta información de la CHE evidencia, a pesar de la ausencia de datos de aforo, que el caudal del río Isuela está considerablemente alterado por las detacciones para diferentes usos, especialmente los riegos. Y esto resulta preocupante desde el punto de vista medioambiental si consideramos que afecta a un río que habitualmente ya tiene poca disponibilidad de agua en su dinámica natural.



Foto 5: Azud de Nueno

Impactos y Usos del suelo en los ríos Isuela y Flumen



Estación de Control

- Sin impacto
- Con impacto

Zonas Vulnerables
Canales

- Yellow diamond: Verdidos
- Purple inverted triangle: Extracción
- Blue square: Canalizaciones
- Dark blue square: Coberturas
- Green square: Protecciones
- Red triangle: Presas
- Red square: Azudes
- Green circle: Centrales Hidroeléctricas

Usos del Suelo

- Orange: Zonas mineras y extractivas
- Light orange: Pastos Intensivos
- Dark green: Cereal o Regadio
- Medium green: Hortalizas o Víñedos o Frutal
- Dark teal: Arroz
- Orange-red: Superficie Urbana

Río Isuela desde el puente de Nuevo y los azudes de la Hoyla hasta el río Flumen.

Cod: 163

Figura 12: Impactos y usos del suelo en los ríos Isuela y Flumen

Fuente: Eadasa

3.2.4 Alteraciones Morfológicas.

Las alteraciones morfológicas en los tramos estudiados son las presiones que más representación tienen. En relación a estas alteraciones transversales, las que tienen un mayor predominio son los puentes y las pasarelas las cuales están presentes en todos los tramos analizados, siendo el tramo A1 el que tiene un mayor número con un total de 6 en poco más de 2 km de longitud; además cabe destacar la presencia de dos vados en los tramos A1 y A2 respectivamente. Las azudes también son abundantes y están presentes en casi todos los tramos, exceptuando las secciones B y C.

En cuanto a las alteraciones longitudinales, las canalizaciones y las protecciones de las márgenes, se han podido observar en casi todos los tramos del río Isuela. Pero el ejemplo más evidente es el que corresponde al tramo (B), el cual fue transformado completamente en una canalización con muros y lecho de hormigón, a su paso por el espacio urbano de la ciudad de Huesca. En relación a las escolleras ubicadas en las márgenes, son frecuentes y se suceden de modo más o menos continuo en los tramos de estudio, particularmente en la sección A2. La cual presenta una escollera continua de nueva construcción en su margen izquierda, así como al inicio de esta sección. En el caso de la sección de Nueno, también hay una escollera en la zona de captación de agua de la azud, y en el inicio del tramo C se puede observar una escollera en la margen izquierda del río.

Otro tipo de alteraciones longitudinales corresponden a las propias redes de saneamiento que transcurren paralelas al cauce, a las infraestructuras de transporte de alta capacidad (autovía A-23 y nacional N-330) y a las motas de defensa adyacentes al cauce, destinadas a evitar la inundación de los terrenos colindantes (tramo A1). Además, se tiene constancia de dragados realizados en los tramos A1, A2, y B, con la finalidad de eliminar sedimentos. Y actuaciones agresivas de desbroce y eliminación de la vegetación del cauce en los tramos A1, A2, y C.



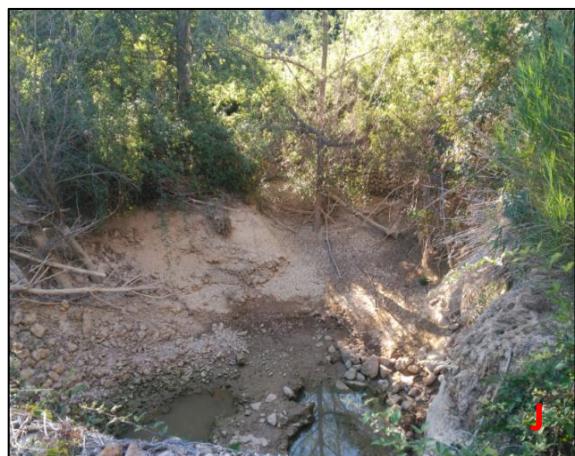




Figura 13: Alteraciones morfológicas en el río Isuela.

(A: Puente de la sección A2, B: Pasarela de la sección A1, C: Vado de la sección A2, D: Pasarela de la sección A1, E: Canalización de la sección B, F: Final del tramo canalizado, G: Escollera de la sección A1, H: Escollera de la sección A2, I: Dragado del tramo B, J: Extracción de áridos en la sección Nueno, K: Azud de la sección A2, y L: Motas longitudinales de la sección A1).

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Calidad de la vegetación ripícola

Con respecto al apartado de calidad biológica, se ha llevado a cabo una breve caracterización de la vegetación acuática y ripícola presenten en los tramos analizados. De este modo, en un sistema fluvial natural la vegetación acuática y ripícola tiende a desarrollarse, siguiendo una estructura y disposición en bandas horizontales paralelas al cauce fluvial, hasta converger con la vegetación climatófila propia de la zona. En cuanto a la estructura que presenta dicha vegetación, en la primera banda situada al límite del cauce se localiza la vegetación helofítica y hidrofítica, seguida por la vegetación ripícola arbustiva y arbórea adaptada a los suelos inundables e inestables, los cuales soportan los efectos de las crecidas y avenidas. A continuación se localiza la vegetación de porte arbóreo, la cual requiere una mayor estabilidad y nivel freático para su desarrollo. Y por último se encuentra la vegetación climatófila, la cual en numerosas ocasiones se entremezcla con la vegetación de ribera (Lara et al., 2007).

En relación con la zona de estudio, en la primera banda de vegetación acuática propia del cauce del río, se pueden observar principalmente especies helofíticas como por ejemplo *Phragmites australis*, *Typha domingensis*, *Schoenoplectus lacustris*, entre otras. Y especies higrofíticas (plantas situadas sobre suelos húmedos y en las orillas del cauce) como *Apium nodiflorum*, *Rorippa nasturtium-aquaticum* etc (A1, A2 y C). En el caso del tramo A2, se ha detectado una extensa cobertura de hidrófitos de la especie *Stigeoclonium*, y en el caso de la sección B de la especie *Cladophora*. Características por ser propias de aguas estancadas o de cursos fluviales muy lentos y de escasa fluctuación; además, su crecimiento se ve favorecido por la elevada eutrofización.

Con respecto a la vegetación ripícola, la comunidad característica de la zona de estudio se corresponde con las alamedas hidrófilas y concretamente con el bosque de *Populus alba* (Lara et al., 2007). Ello implica un estrato arbóreo dominado por el álamo (*Populus alba*), acompañado por otras especies de porte arbóreo, como por ejemplo el chopo negro (*Populus nigra*), los sauces (*Salix alba*), o los fresnos (*Fraxinus angustifolia*).

También se puede observar una segunda franja conformada por arboles de menor porte y grandes arbustos, en la cual destacan especies como el olmo común (*Ulmus minor*), las higueras (*Ficus carica*) o las moreras (*Morus alba*). Los arbustos más comunes son las zarzas (*Rubus ulmifolius*), las cuales crecen creando un tapiz impenetrable en las orillas del río Isuela o el laurel (*Laurus nobilis*). A su vez podemos destacar la presencia de romero (*Rosmarinus officinalis*) y boj (*Buxus sempervirens*) en la sección Nueno. En relación a algunas de las especies de porte herbáceo que se pueden destacar en los tramos analizados son: *Urtica dioica*, *Hedera helix*, *Brachypodium sylvaticum*, *Brachypodium phoenicoides*, *Elymus pungens*, *Phragmites australis*, *Arundo donax*, *Rumex crispus*, *Scirpoides holoschoenus*, *Holcus lanatus*, *Hordeum murinum*, *Foeniculum vulgare*, *Avena sterilis*, *Phalaris arundinacea*, *Silybum marianum* y *Lolium rigidum* entre otras.



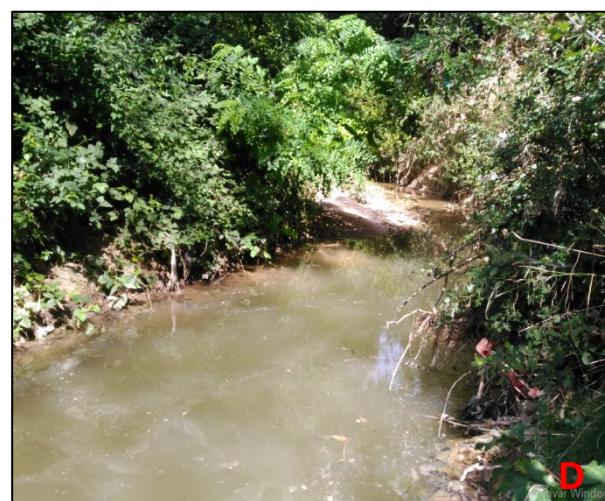
A



B
Activar Wind
www.Wind.es



C



D
Activar Wind
www.Wind.es

Figura 14: Vegetación ripícola de los tramos: Nueno (A), A1 (B), A2 (C) y C (D)
Fuente: Elaboración propia

Analizando la vegetación presente en la zona de estudio, se pueden observar alteraciones con respecto a la organización y desarrollo de la vegetación en forma de bandas comentada anteriormente. De este modo, existen discontinuidades asociadas sobre todo a la existencia de zonas de cultivo, especialmente en los tramos A1 y C. Así como a la presencia de infraestructuras viarias, edificaciones y protecciones hidráulicas, que dan lugar a riberas especialmente degradadas en los tramos A1, A2 y C. Además, en las zonas en las que la vegetación se mantiene no se aprecia la zonificación horizontal propia de estas comunidades. Así mismo, el estrato arbóreo y arbustivo está formado al borde del cauce lo que ocasiona una mezcla de especies hidrófilas y climatófila de transición sobre todo en los tramos A1 y A2, pero especialmente en el tramo A2, el cual presenta una mayor alteración. Por otra parte, sucede lo mismo con la estratificación vertical, lo que da lugar a que la formación del sotobosque sea muy limitada sobre todo en el tramo A2. Por ello, debido a las presiones laterales y longitudinales, y a las afecciones e intervenciones antrópicas el desarrollo de la vegetación de ribera en el río Isuela se ve desnaturalizada.

Por otro lado, con respecto a las especies exóticas invasoras (EEI) se han detectado en todos los tramos analizados, exceptuando el tramo de Nueno. En el caso de las secciones en donde hay una mayor presencia de este tipo de especies no autóctonas, son en los tramos A1, A2 y C, pero sobre todo en el tramo C. De este modo, las principales especies invasoras localizadas en el área de estudio son *Robinia pseudoacacia*, *Tradescantia fluminensis*, *Arundo donax*, *Cortaderia selloana*, *Acer negundo*, y *Ailanthus altissima*. Las cuales son propias de medios alterados y con una alta eutrofización, lo que les permite un rápido crecimiento y expansión.

3.2.6 Calidad química, fisicoquímica y biológica

Con respecto al análisis y valoración de la calidad química, fisicoquímica y biológica del río Isuela, debido a las limitaciones técnicas y materiales para llevar a cabo dicho análisis, se han utilizado los resultados obtenidos en el trabajo de fin de grado (*Evaluación de la calidad del agua de una cuenca fluvial debido a un aumento en la afluencia del turismo. Caso del río Isuela, Huesca*) de la autora Bárbara Puyeta Moncayola Vicén. Los puntos de muestreo escogidos en su trabajo se aproximan a los tramos seleccionados para mi estudio, ya que fueron realizados aguas arriba y aguas abajo del área urbana de Huesca. Por lo que dichos resultados son representativos y extrapolables para determinar el estado y la calidad del agua del río Isuela.

Los resultados obtenidos evidencian que la calidad fisicoquímica está influenciada por razones antropogénicas. Hay notables diferencias entre los puntos de muestreo previos a la ciudad y los posteriores. Los parámetros de los nutrientes son los que más se han visto alterados. En el caso del pH, la conductividad y el oxígeno disuelto indicaron signos de contaminación y el aumento de la población generó un incremento de la materia orgánica y de los nutrientes en las aguas residuales urbanas. Las especies de fósforo y nitrógeno, ligadas a la materia orgánica aumentaron. Y las formas de nitrógeno amoniacial, amonio, nitratos y nitritos también se vieron incrementadas. (Moncayola, 2015).

Por otro lado, los resultados hallados en las muestras de macroinvertebrados (IBMWP= 33; IASPT= 3,000) confirman el mal estado del río Isuela en el tramo posterior al área urbana, por lo que su estado ecológico es “deficiente”. Esta mala situación deriva de los aportes orgánicos que recibe el río ya que el 99% de las comunidades de macroinvertebrados estaban compuestas por sólo tres taxones (*Chironomidae*, *Oligochaeta* y *Physidae*), los cuales son indicadores de la existencia de enriquecimiento orgánico en las aguas. Así mismo, el valor de los índices bióticos hallados califican el estado de las aguas de “deficiente”, ya que están por debajo de los límites marcados por la DMA (Gallardo Mayenco et al. 2004).

De este modo, el mal estado de las aguas está condicionado por la actividad agrícola y el efecto que el área urbana e industrial de Huesca tiene sobre el río Isuela, por lo que sería necesario continuar analizando la situación de la masa de agua. Y evaluar la efectividad de las medidas que se puedan tomar de cara a mejorar el estado ecológico y ambiental, y así poder cumplir los requisitos establecidos en la DMA.

3.3 Caracterización hidrogeomorfológica

3.3.1 Análisis de Sedimentos

La presencia, distribución y características de los sedimentos presentes en un cauce fluvial y sus orillas también sirven para evaluar el estado de salud de sus ecosistemas y la adecuada funcionalidad de los procesos hidrogeomorfológicos. Por ello en este apartado del trabajo se ha llevado a cabo el estudio de los sedimentos tanto de la parte morfométrica como de la granulometría. Para ello, se ha realizado un total de 8 muestreos, es decir dos mediciones en cada una de las 4 secciones previamente escogidas. De este modo, se realizaron diferentes mediciones y se recogieron muestras para su posterior análisis en el laboratorio, correspondiente a la parte de morfometría. Por otro lado, también se llevaron a cabo mediciones *in situ* para el análisis de la granulometría.

Para que la caracterización de los sedimentos fuera lo más representativa posible, se procuró que los muestreos se repartieran de una forma homogénea entre las diferentes secciones previamente delimitadas, con el fin de obtener unos resultados representativos del área de estudio (Figura 15).

En estos puntos de muestreo, se realizaron diferentes tipos de mediciones y la recogida de muestras del material aluvial. En lo que respecta a las mediciones que se han llevado a cabo, podemos destacar las siguientes:

- Medición del tamaño y el peso de 50 muestras de sedimentos de idéntica litología, con el objetivo de determinar las condiciones del transporte de materiales en el sistema fluvial.

- Recogida de muestras de la coraza y subcoraza del lecho del cauce, para el posterior cálculo y análisis del índice de acorazamiento.
- Recogida de 25 muestra de similar litología (caliza), con la finalidad de medir los siguientes parámetros (lado menor, lado mayor, espesor y radio de curvatura). Y el cálculo de los índices de desgaste, esfericidad y aplanamiento.

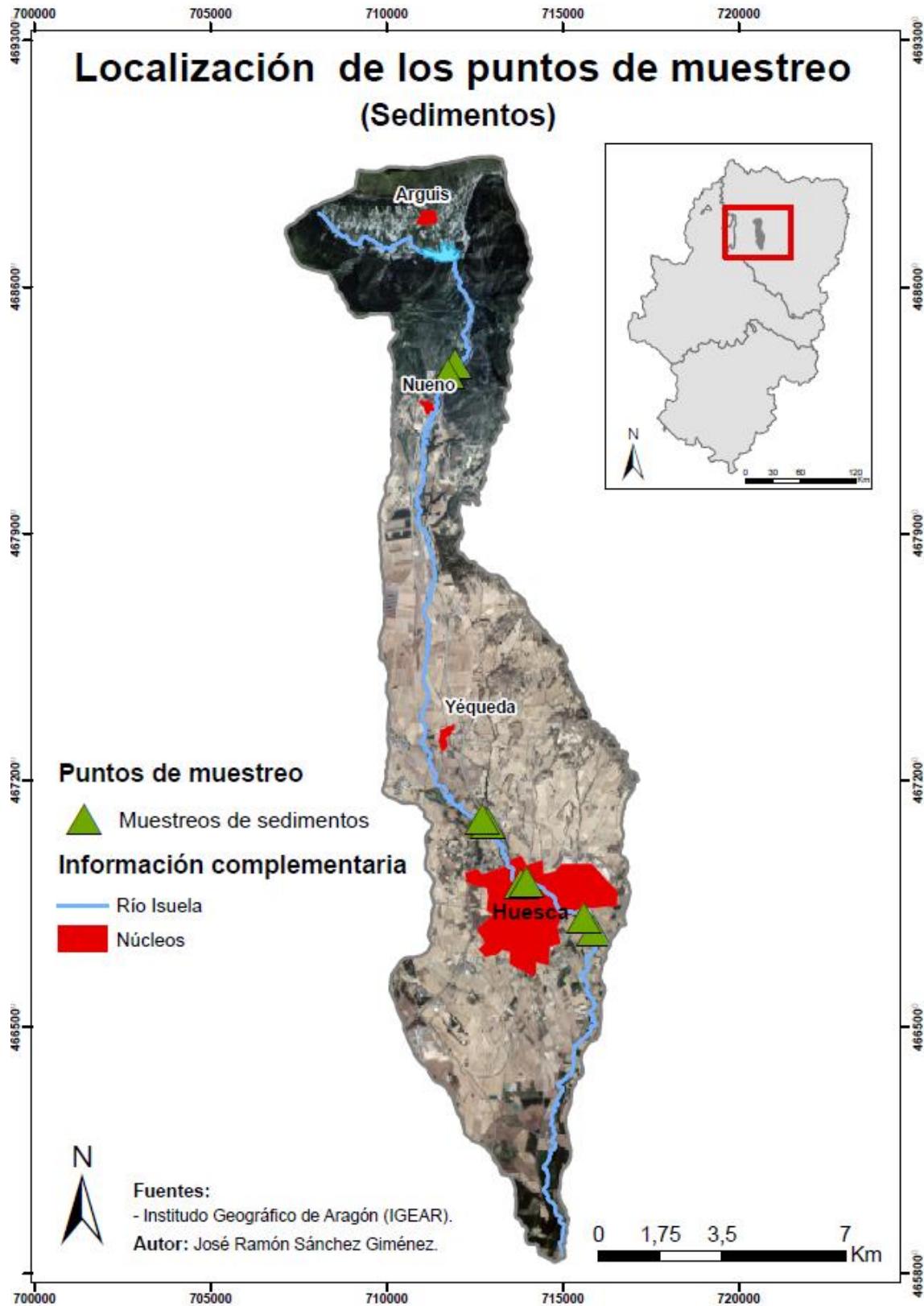


Figura 15: Localización de los puntos de muestreo
Fuente: IGEAR. Elaboración propia

Sección Nueno:

El primero de los muestreos llevado a cabo, se realizó en la sección denominada “Nueno”. La cual se localiza cerca de la presa de Arguis y la autovía A-23, y próxima al núcleo de población de Nueno. Con respecto al gráfico correspondiente a la granulometría (Figura 16), se puede observar una cierta regularidad en la distribución de los sedimentos según su tamaño. Además, se puede distinguir una línea de tendencia descendente, en función del tamaño de las muestras analizadas, en donde aproximadamente las 20 primeras muestras presentan un mayor tamaño que el resto. De este modo, nos encontramos con una distribución con cierta regularidad, la cual puede estar relacionada con la influencia que hace la presa aguas arriba, haciendo que esta parte del río no sea especialmente torrencial. Por otro lado, el tamaño medio de los sedimentos es de **27,39 mm** por lo que son de tipo grava, al presentar un tamaño comprendido entre los (2 mm – 64 mm).

Por su parte, el índice de acorazamiento presenta un valor de **(9,9)** el cual es muy alto en relación a los valores medios de dicho índice. Esto es debido a la proximidad del embalse de Arguis, el cual ejerce una fuerte presión a 3 – 4 kilómetros aguas abajo. Haciendo que el nivel de acorazamiento que presenta el lecho aluvial sea muy elevado (Tabla 9).

Con respecto al índice de desgaste, **(0,23)** presenta un valor bajo ya que al situarnos en la parte alta la cuenca los sedimentos han sido poco rodados y muestran un escaso desgaste. Por su parte el índice de aplanamiento presenta un valor de **(1,98)** por lo que los sedimentos no presentaran un espesor especialmente reducido. Por último, el índice de esfericidad tiene un valor intermedio de **(0,68)**, con un intervalo comprendido entre 0-1, siendo este último la esfera. Por ello, nos encontramos con unos sedimentos de forma ovalada, los cuales no se han visto excesivamente alterados (Tabla 9).

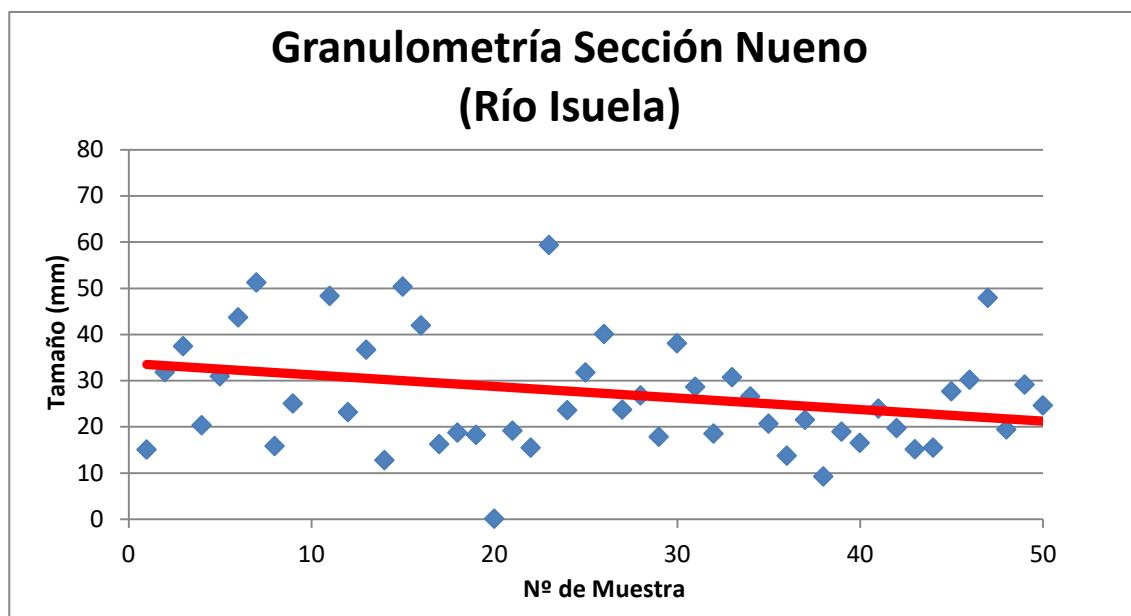


Figura 16: Granulometría de la sección Nueno
Fuente: Elaboración propia

Índice de Acorazamiento	9,9
--------------------------------	------------

Índice de Desgaste	0,23
Índice de Aplanamiento	1,98
Índice de Esfericidad	0,68

Tabla 9: índices de la sección Nueno

Fuente: Elaboración propia



Figura 17: Capa superior e inferior del lecho fluvial en la sección Nueno

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de complementar el análisis del acorazamiento en cada uno de los puntos de muestreo, se han realizado varias fotografías de la capa superior e inferior del lecho fluvial en un cuadrante de 40 x 40 cm de lado aproximadamente. Con ello, lo que se pretende conseguir es determinar de una forma visual si hay o no acorazamiento y complementar los valores y resultados obtenidos en el índice de acorazamiento. Por ello, en la imagen A (Figura 17) se puede observar un material fluvial con un calibre grueso, el cual hace referencia a gravas de gran tamaño o incluso “Cobble”.

Al contrario, en la imagen B (Figura 17) se puede ver el material que conforma la subcoraza, el cual está constituido en su mayor medida por gravas de menor calibre. De este modo, a partir de las dos imágenes analizadas se puede determinar un alto grado de acorazamiento como consecuencia del transporte selectivo. En donde el material fino es movilizado y barrido por la corriente, y el material grueso de mayor tamaño queda retenido en la parte superior del lecho fluvial. Además dicha situación, es consecuente debido a la proximidad del embalse de Arguis, haciendo que el acorazamiento que se produce en este tramo del río Isuela sea elevado.

Sección A1:

El segundo de los muestreos se realizó en la sección A1, la cual se localiza en las Fuentes de Marcelo, próxima a la ruta PR-HU 146 aguas arriba de la ciudad de Huesca. Como podemos ver en el gráfico correspondiente a la granulometría (Figura 18), la distribución de los sedimentos según su tamaño tiene una cierta irregularidad, y su distribución no sigue un patrón determinado. Esto significa que el río en dicho punto, presenta un funcionamiento torrencial y da lugar a que los sedimentos no se distribuyan de una forma ordenada. Además, se puede distinguir una línea de tendencia ascendente, en donde hay un predominio de material con un tamaño inferior a 20 mm. En lo que respecta al tamaño medio de los sedimentos es de **18,78 mm**, por lo cual este material es de tipo grava, y se encuentra comprendida entre una grava media y gruesa. (2 mm – 64 mm).

En relación a los índices morfométricos aplicados (Tabla 10), podemos destacar un índice de acorazamiento con un valor de **(1,83)**, el cual es relativamente bajo, y típico de sistemas fluviales con un comportamiento torrencial. Por su parte, el índice de aplanamiento presenta un valor más alto que en caso anterior **(2,03)**, por lo que los sedimentos tendrán un espesor más reducido. En lo referente al índice de desgaste, el resultado obtenido es de **(0,37)**, esto da lugar a un mayor desgaste de los materiales que en la sección anterior. Por último, el índice de esfericidad con un valor de **(0,66)** determina que el material de dicha sección tiene forma ovalada, debido al escaso rodamiento del mismo.

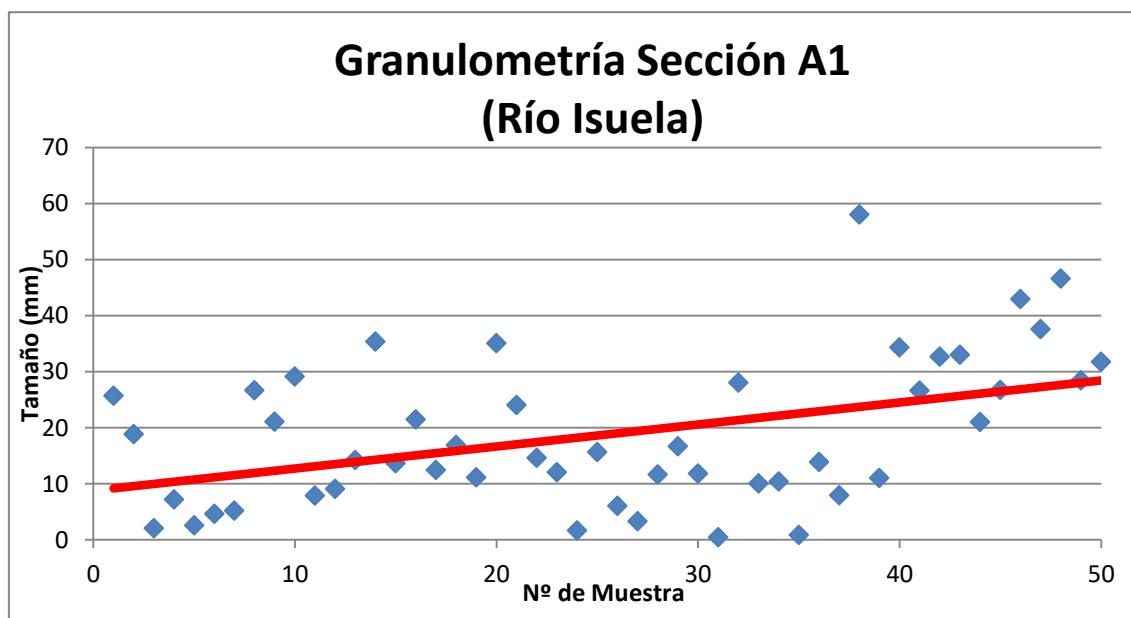


Figura 18: Granulometría de la sección A1
Fuente: Elaboración propia

Índice de Acorazamiento	1,83
--------------------------------	-------------

Índice de Desgaste	0,37
Índice de Aplanamiento	2,03
Índice de Esfericidad	0,66

Tabla 10: Índices de la sección A1

Fuente: Elaboración propia

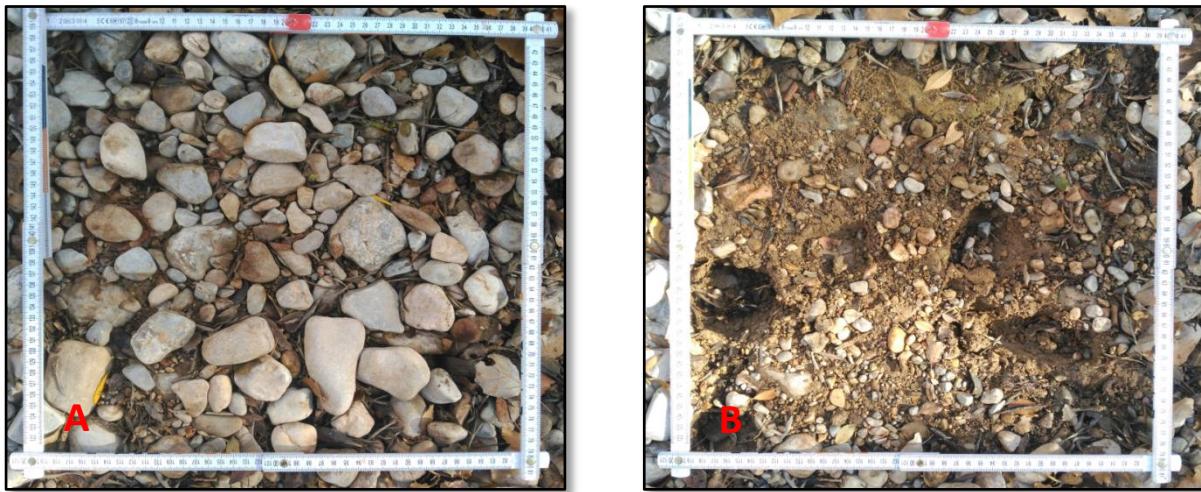


Figura 19: Capa superior e inferior del lecho fluvial en la sección A1

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la imagen A, la parte de la coraza está constituida en su mayor medida por gravas con un calibre medio e incluso grueso. En cambio la imagen B correspondiente a la subcoraza, está formada por gravas de menor calibre y arenas gruesas (Figura 19).

En cuanto al tipo de acorazamiento que se produce, podemos destacar un acorazamiento de tipo dinámico. Según el cual, el transporte generalizado en el lecho afecta a un cierto espesor, con mayor intensidad en la superficie que en las capas inferiores. Así, la capacidad de desplazamiento selectiva según los tamaños se intensifica hacia la superficie, haciendo que el material más grueso se deposite en la parte superior. Además, se puede observar una distribución irregular del material, fruto de la actividad torrencial que tiene este río.

Sección A2:

El tercero de los muestreos se llevó a cabo en la sección A2, la cual tiene su inicio desde la entrada del río Isuela en el área urbana de Huesca y finaliza en el puente de San Miguel. A su vez, dicha sección se corresponde con la subdivisión del tramo “A”, compuesto por las secciones A1 y A2 (Figura 3). Como se puede observar en el gráfico de la granulometría, la distribución de los sedimentos según su tamaño es especialmente dispersa e irregular. Esto puede ser debido a dos factores, el primero de ellos de origen natural, corresponde al funcionamiento torrencial del río (Figura 20).

El segundo factor, con un origen antrópico, está relacionado con las intervenciones que se llevaron a cabo en este tramo del cauce. Así como también, las presencia de varias defensas y puentes que se localizan al inicio de esta sección. En lo referente a la línea de tendencia, tiene una disposición ascendente y una variabilidad en el tamaño de los sedimentos. De este modo, el tamaño medio de los sedimentos es de **20,85 mm**, por lo cual, este material es de tipo grava (2 mm – 64 mm).

Por su parte, el índice de acorazamiento presenta un valor de **(2,59)**, el cual es relativamente alto y típico de sistemas fluviales con una escasa pendiente y actividad torrencial. En lo que respecta al índice de aplanamiento, presenta un valor de **(1,97)**, lo que indica que los sedimentos no presentaran un espesor especialmente reducido. El índice de desgaste presenta un valor mayor **(0,42)** que en la sección de Nueno, ya que al situarnos aguas abajo de dicha sección, los sedimentos ya han sido rodados y presentan un mayor desgaste que en las secciones A1 y Nueno. Por último, el índice de esfericidad con un valor de **(0,64)** determina que el material de dicha sección tiene forma ovalada, debido al escaso rodamiento del mismo (Tabla 11).

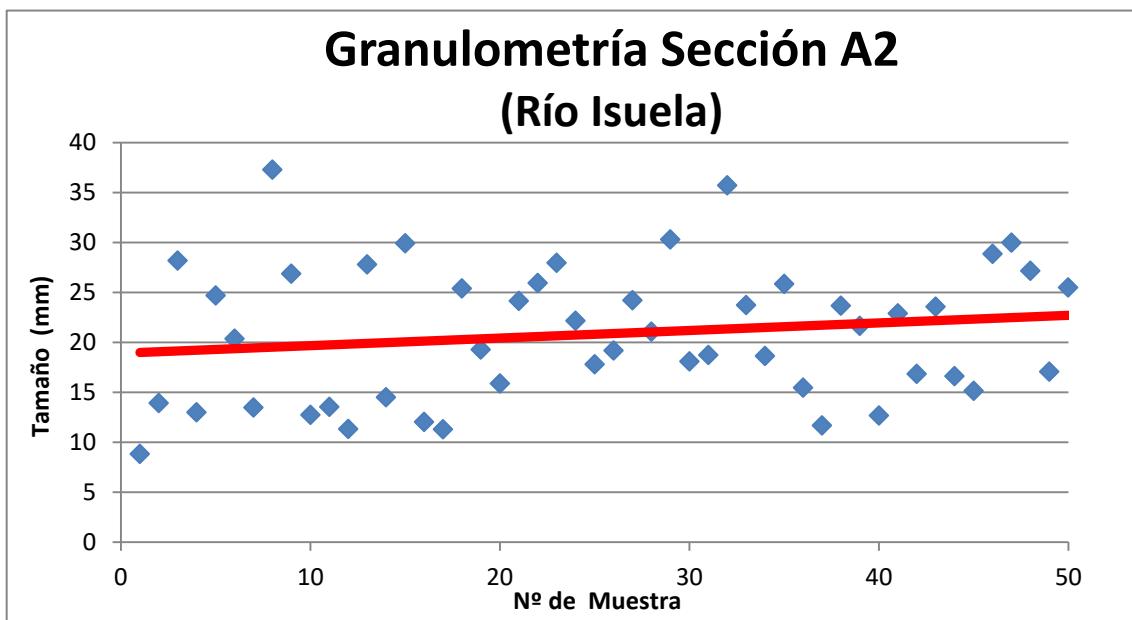


Figura 20: Granulometría de la sección A2
Fuente: Elaboración propia

Índice de Acorazamiento	2,59
Índice de Desgaste	0,42
Índice de Aplanamiento	1,97
Índice de Esfericidad	0,64

Tabla 11: índices de la sección A2
Fuente: Elaboración propia

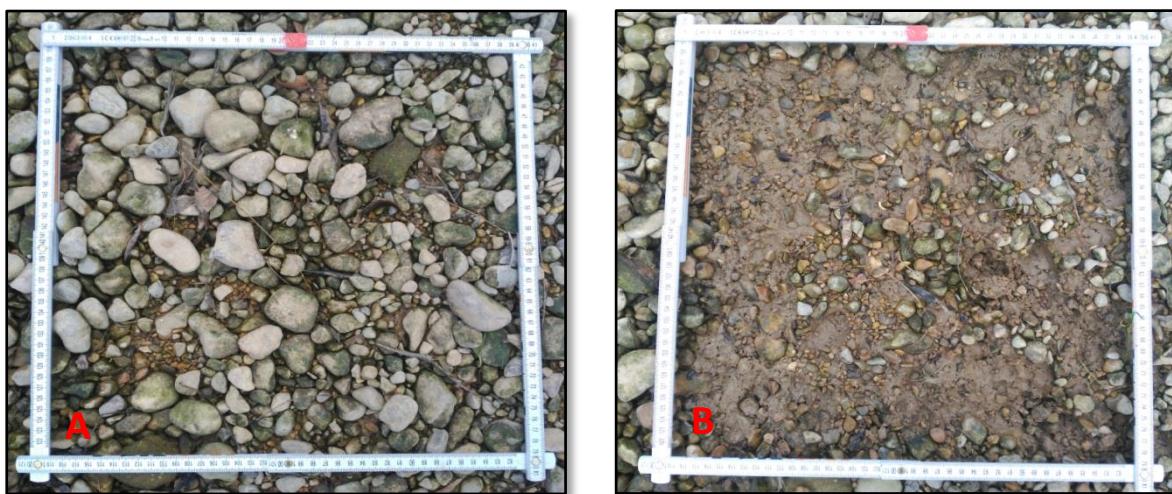


Figura 21: Capa superior e inferior del lecho fluvial en la sección A2
Fuente: Elaboración propia

Con respecto al análisis del acorazamiento de la sección A2, se puede observar en el caso de la imagen A, un material compuesto por gravas con un calibre comprendido entre medio y grueso. En el caso de la imagen B correspondiente a la subcoraza el material es mucho menor, referente a una grava de tipo media o fina y una arena con un calibre medio (Figura 21). Al igual que en la sección anterior, el tipo de acorazamiento es *dinámico* en donde la capacidad de desplazamiento del material es selectiva en función del calibre del mismo. Además, en dicha sección se puede observar un encostramiento de la parte superior del lecho, fruto de la escasa dinámica fluvial de dicho río y de las extracciones de caudal que se producen en él.

Sección C:

El cuarto y último muestreo se llevó a cabo en la sección C, ya aguas abajo del núcleo urbano de Huesca, próximo a la parte canalizada de la sección denominada B. Como podemos ver en el gráfico correspondiente a la granulometría, la distribución de los sedimentos se presenta de una forma irregular y anárquica. Esto es debido al encauzamiento y canalización del sistema fluvial, lo que ocasiona que no haya un aporte continuo de material a causa de la nula dinámica fluvial de dicho sistema. Por ello, los sedimentos depositados en esta sección tienen un origen torrencial, lo que da lugar que se distribuyan de esta forma (Figura 22).

Se puede distinguir una línea de tendencia ascendente, en donde hay una mayor cantidad de material con un tamaño comprendido entre los 10 y 20 mm. En lo que respecta al tamaño medio de los sedimentos es de **20,59 mm** por lo cual este material es de tipo grava y se encuentra comprendida entre una grava mediana y gruesa. (2mm – 64 mm).

En relación a los índices morfométricos aplicados (Tabla 12), podemos destacar un índice de acorazamiento con un valor de **(3,33)**, el cual presenta un valor alto debido a la influencia que ejerce la parte canalizada y la falta de aporte de sedimentos de una forma continua. Además, dicho valor también corresponde a un sistema fluvial con escasa pendiente y notoria actividad torrencial. Por su parte, el índice de aplanamiento presenta un valor intermedio de **(2,24)**, por lo que los sedimentos no presentaran un espesor especialmente reducido. En lo que se refiere al índice de desgaste presenta un valor bajo **(0,39)** en comparación con la sección A2. Esto es debido a que en eventos de crecida se produce un arrastre y acumulación de los sedimentos en este tramo del río. Por último, el índice de esfericidad con un valor de **(0,63)** determina que el material de dicha sección tiene forma ovalada.

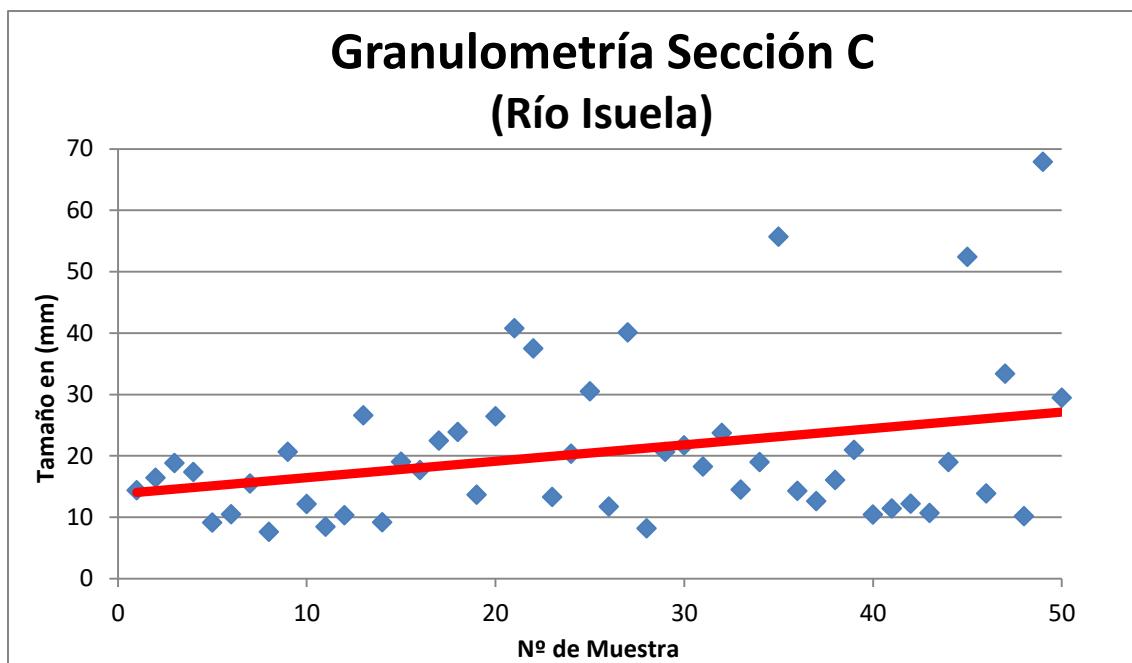


Figura 22: Granulometría de la sección C
Fuente: Elaboración propia

Índice de Acorazamiento	3,33
--------------------------------	-------------

Índice de Desgaste	0,39
Índice de Aplanamiento	2,24
Índice de Esfericidad	0,63

Tabla 12: índices de la sección C
Fuente: Elaboración propia

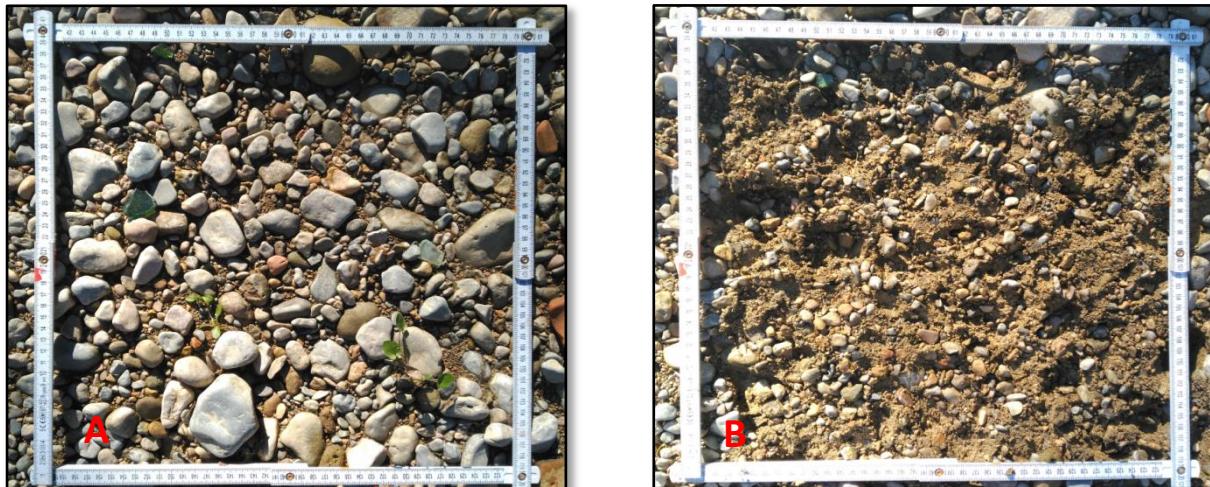


Figura 23: Capa superior e inferior del lecho fluvial en la sección C
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la imagen A, la parte de la coraza está constituida en su mayor medida por gravas con un calibre medio. En cambio la imagen B correspondiente a la subcoraza, está formada por gravas de un menor calibre y arenas medias y gruesas (Figura 23). En cuanto al tipo de acorazamiento que se ha producido, al igual que en los casos anteriores, es un acorazamiento de tipo dinámico. Siendo consecuencia del transporte selectivo, ya que el material fino es barrido y movilizado por la corriente y el material grueso queda retenido en la superficie, formando un pavimento que solo puede removese con las crecidas del cauce. Además, el material que conforma esta sección se encuentra distribuido y depositado de una forma irregular, a causa de la canalización que se encuentra en la sección anterior. Haciendo que el transporte de sedimentos no se lleve a cabo de una forma natural.

Los resultados obtenidos en los índices morfométricos a partir del análisis de los sedimentos, muestran por lo general diferencias significativas entre los tramos (Tabla 13). Con respecto al índice de acorazamiento presenta importantes variaciones entre los diferentes tramos, obteniendo valores que oscilan entre 1,83 (acorazamiento normal, propio de los sistemas fluviales con un comportamiento torrencial), 3,33 (acorazamiento alto debido a la influencia que ejerce la parte canalizada y la falta de aporte de sedimentos de una forma continua) y 9,9 (acorazamiento muy alto debido a la proximidad del embalse de Arguis).

El índice de aplanamiento muestra unos valores similares los cuales varían entre 1,97 y 2,24. En el caso de índice de desgaste, sí que hay ciertas diferencias entre la sección de Nueno y las secciones A2 y C, ya que los sedimentos que se localizan en esta primera sección presentan un menor rodamiento y por lo tanto un menor desgaste y aplanamiento (Tabla 13).

El índice de esfericidad presenta valores muy similares entre los tramos, con valores que varían entre 0,63 y 0,68 (Tabla 13). Por lo que nos encontramos ante unos sedimentos con forma ovalada, debido al reducido rodamiento y desgaste que han sufrido. Por último, con respecto a la distribución y tamaño de los sedimentos varían considerablemente a lo largo del cauce principal, aunque en su mayoría el material que predomina es de tipo grava (2 mm – 64 mm).

Secciones	Nueno	A1	A2	C
Índice de Acorazamiento	9,9	1,83	2,59	3,33
Índice de Desgaste	0,23	0,37	0,42	0,39
Índice de Aplanamiento	1,98	2,03	1,97	2,24
Índice de Esfericidad	0,68	0,66	0,64	0,63

Tabla 13: Resultados de los índices morfométricos por secciones.

Fuente: Elaboración propia

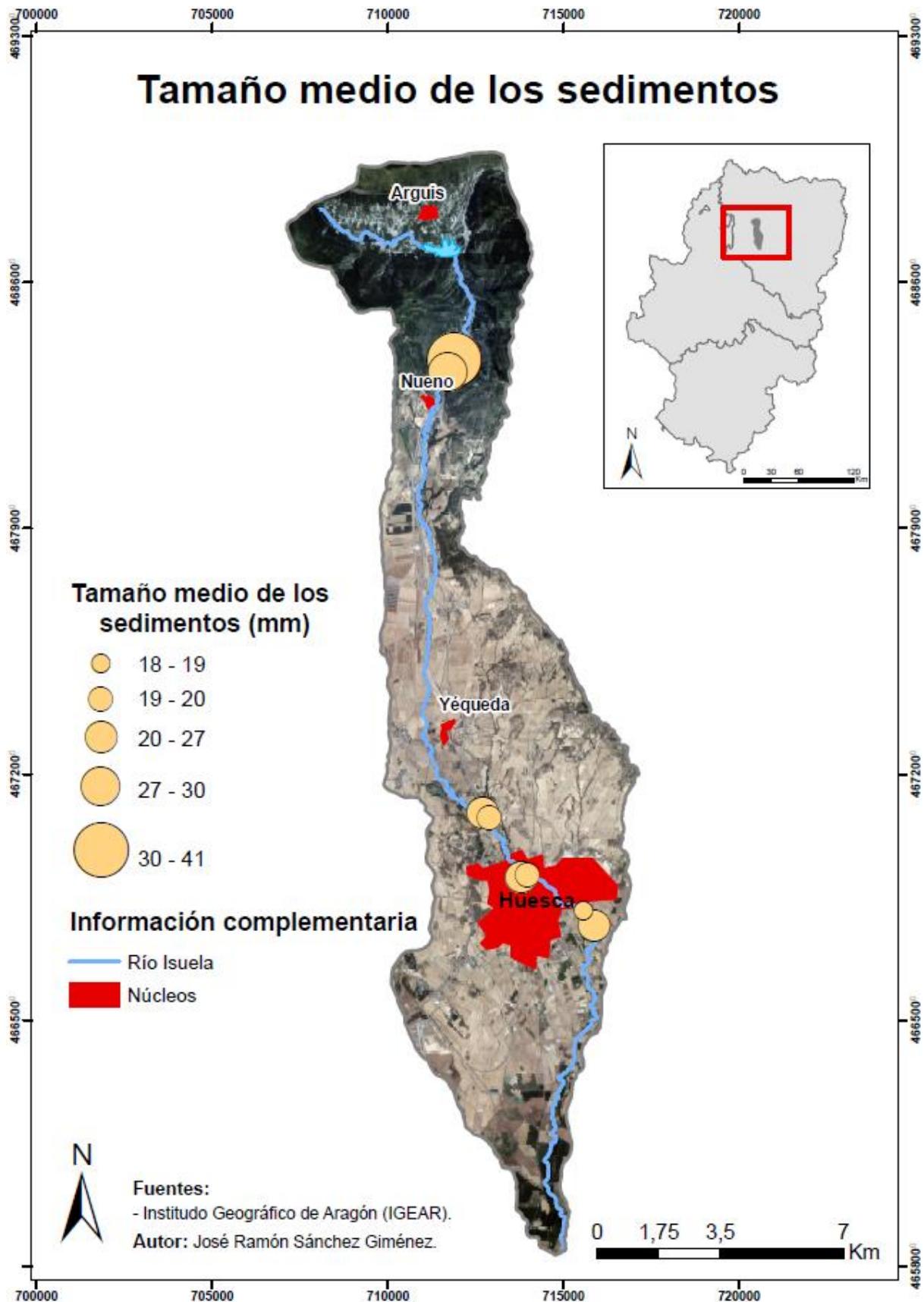


Figura 24: Tamaño medio de los sedimentos en los diferentes puntos de muestreo.

Fuente: IGEAR. Elaboración propia

3.3. 2 Secciones Transversales del Cauce

Para llevar a cabo las estimaciones de caudal del río Isuela, se realizaron un total de 6 secciones repartidas por el área de estudio, con el fin de obtener una buena caracterización del sistema fluvial (Figura 25). Por ello tres de las secciones corresponden al cauce natural, dos corresponden a la parte canalizada y la última corresponde a una sección seminatural. De este modo, lo que se pretende con estas secciones es determinar como el área de influencia urbana y las actividades antrópicas han afectado a la cuenca y al cauce del este río. Así como también se pretende establecer los riesgos de inundación en el espacio urbano de la ciudad de Huesca. Para la caracterización y el cálculo de la estimación de caudal de cada una de las secciones se aplicó la fórmula de “Manning”. Para ello, se calcularon los diferentes parámetros que se citan a continuación: Sección, perímetro mojado, pendiente (m/m), radio hidráulico, rugosidad del lecho del cauce y el caudal.

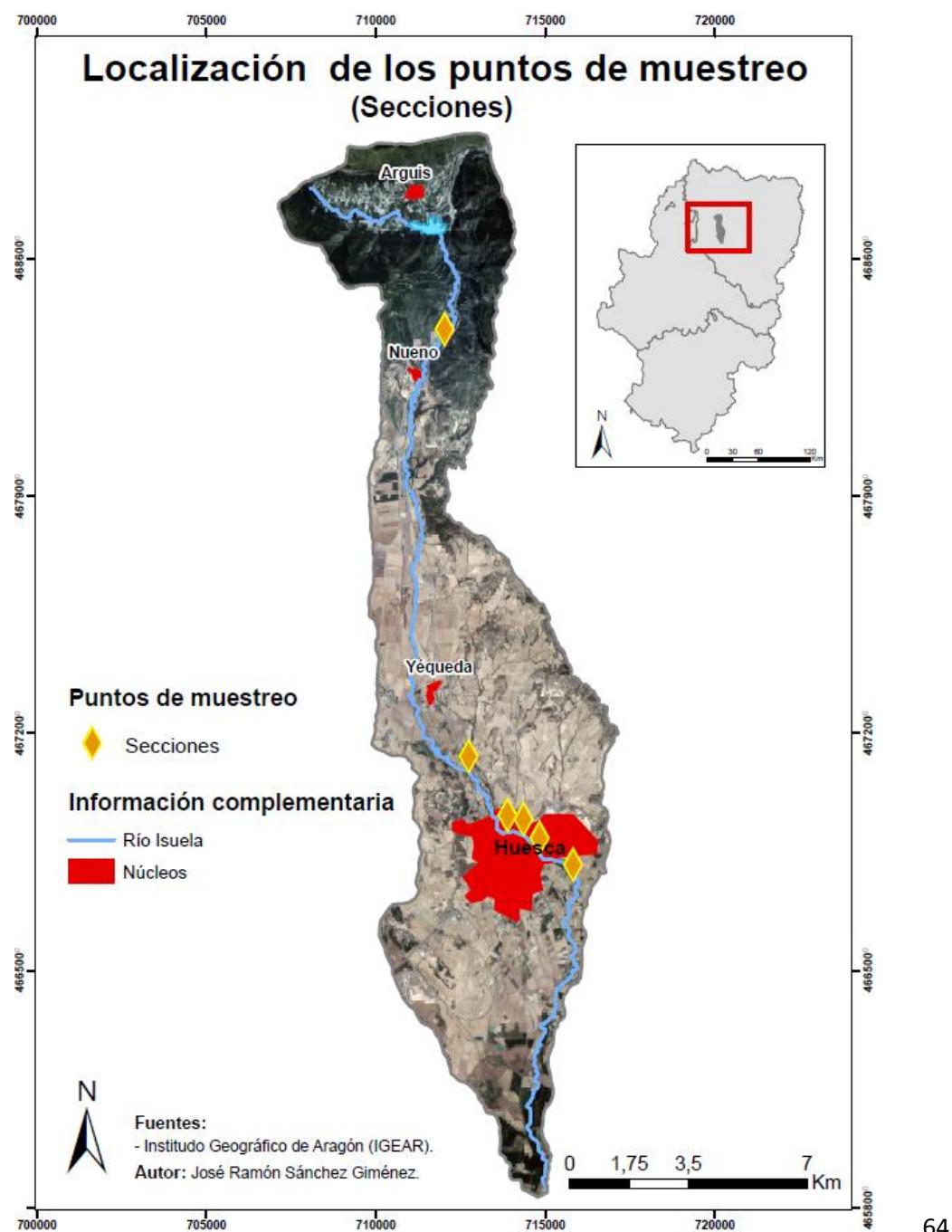


Figura 25: Localización de los puntos de muestreo de las secciones
Fuente: IGEAR. Elaboración propia

Sección Nueno

La primera de las secciones se realizó cerca de la fuente la Ralleta, próxima al núcleo de población de Nueno. En esta zona el cauce se encuentra en un estado natural, sobre lecho aluvial y no muestra modificaciones por la acción antrópica. A partir de las evidencias geomorfológicas en las márgenes del cauce se calculó la sección del bankfull, aunque en este caso los límites no estaban bien definidos debido a la elevada cubierta vegetal. Por otro lado, la sección de este tramo, no abarca completamente el grueso del caudal que discurre por este punto, ya que presenta unas dimensiones mayores que la sección efectuada.

En cuanto a las características de dicha sección transversal (Figura 26), tiene una ribera topográfica de 16,5 metros de longitud y un desnivel de 6 metros desde el nivel topográfico. A su vez, la ribera funcional presenta unas dimensiones más reducidas, en donde su longitud abarca un total de 4 metros y un desnivel de un metro, desde la orilla hasta el fondo del lecho. De este modo, el cauce activo presenta una amplitud de 3 metros y un metro profundidad en la zona central del cauce. Con respecto al material fluvial, se puede observar un material grueso en la parte central del lecho, el cual se va reduciendo granularmente a medida que nos desplazamos hacia las orillas. Por otra parte, cabe mencionar una importante cubierta vegetal en la cual podemos destacar especies como *Rosmarinus officinalis*, *Buxus sempervirens*, o *Schoenoplectus lacustris* entre otras, propias de dicha zona (Foto 7).

En cuanto a la estimación de caudal, se realizó a partir de la fórmula de Manning. Para ello, previamente se calculó la sección ($41,95 \text{ m}^2$), el perímetro mojado (16,2 metros), la pendiente (0,0143 m/m), el radio hidráulico (2,59) y la rugosidad del lecho del cauce (0,040). Una vez que se realizaron los diferentes cálculos para la fórmula, se obtuvo un caudal máximo sin que se produzca desbordamiento de $236,68 \text{ m}^3/\text{s}$.



Foto 7: Sección del río Isuela en el tramo Nueno

Fuente: Elaboración propia

CAUCE DEL RÍO ISUELA (Sección Nueno)

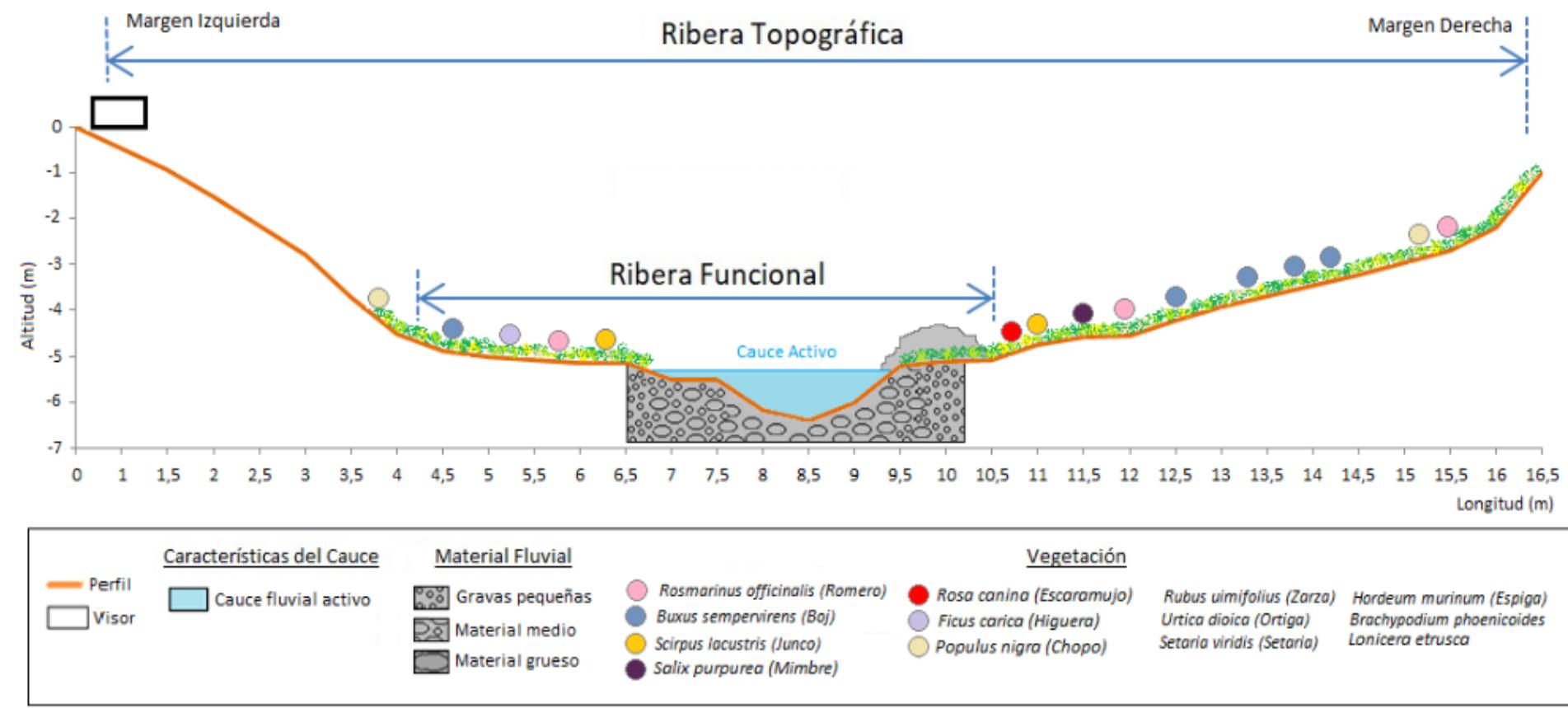


Figura 26: Sección del río Isuela en el tramo Nueno
Fuente: Elaboración propia

Sección A1

La segunda sección A1 se realizó en la parte meridional de las Fuentes de Marcelo, próxima a la ruta PR-HU 146. En esta zona el cauce se encuentra en un estado seminatural, ya que muestra signos de acción antrópica debido a los campos de labor que tiene en sus proximidades, y las modificaciones que se llevaron a cabo en la propia fuente de Marcelo. Por lo que nos encontramos ante un cauce encajado sobre lecho aluvial, el cual presenta un bankfull claramente delimitado. En cuanto a la sección de este tramo, sí que abarca completamente el grueso del caudal que discurre por este punto, ya que exhibe unas dimensiones que se ajustan a la sección efectuada (Figura 27).

En relación a las características técnicas de la sección transversal A1, tiene una ribera topográfica de 16,5 metros de longitud y un desnivel de 3,5 metros desde el nivel topográfico. A su vez, la ribera funcional presenta unas dimensiones menores, en donde su longitud abarca un total de 8,5 metros y un desnivel de 1,5 metros. De este modo, el cauce activo exhibe una amplitud de 2,5 y 0,5 metros en la zona más profunda del cauce. A diferencia con la sección de Nueno, se puede observar una disminución de las dimensiones del cauce activo, así como el encajonamiento de sus orillas. Con respecto al material fluvial, se puede apreciar un material grueso en la margen derecha del cauce activo, el cual se va reduciendo granulométricamente a medida que nos desplazamos hacia la margen izquierda. Además, cabe destacar una barra de material aluvial depositada en la orilla izquierda. En cuanto a la vegetación, podemos distinguir especies de porte arbóreo como son *Ulmus minor*, *Populus nigra*, *Salix alba*, *Populus alba* o *Fraxinus angustifolia*, las cuales conforman el bosque de ribera de este espacio. A su vez, el sotobosque está formado por especies como *Hedera helix* o *Rubus ulmifolius*.

En cuanto a la estimación de caudal, se realizó a partir de la fórmula de Manning. Para ello, previamente se calculó la sección ($21,87 \text{ m}^2$), el perímetro mojado (15,25 metros), la pendiente (0,0151 m/m), el radio hidráulico (1,43) y la rugosidad del lecho del cauce (0,030). Una vez que se realizaron los diferentes cálculos para la fórmula, se obtuvo un caudal máximo de $114,11 \text{ m}^3/\text{s}$. A diferencia de la sección anterior, se puede observar un claro descenso en la capacidad de caudal ($-122,57 \text{ m}^3/\text{s}$). Esto es debido a la erosión del cauce en el terreno a causa de las presiones antrópicas, las cuales limitan la movilidad lateral del sistema fluvial.

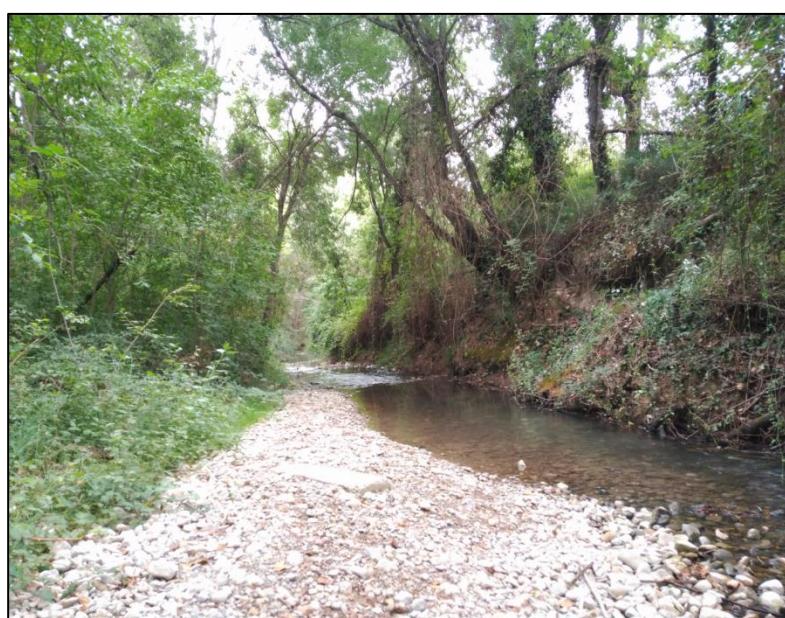


Foto 8: Sección del río Isuela en el tramo A1

Fuente: Elaboración propia

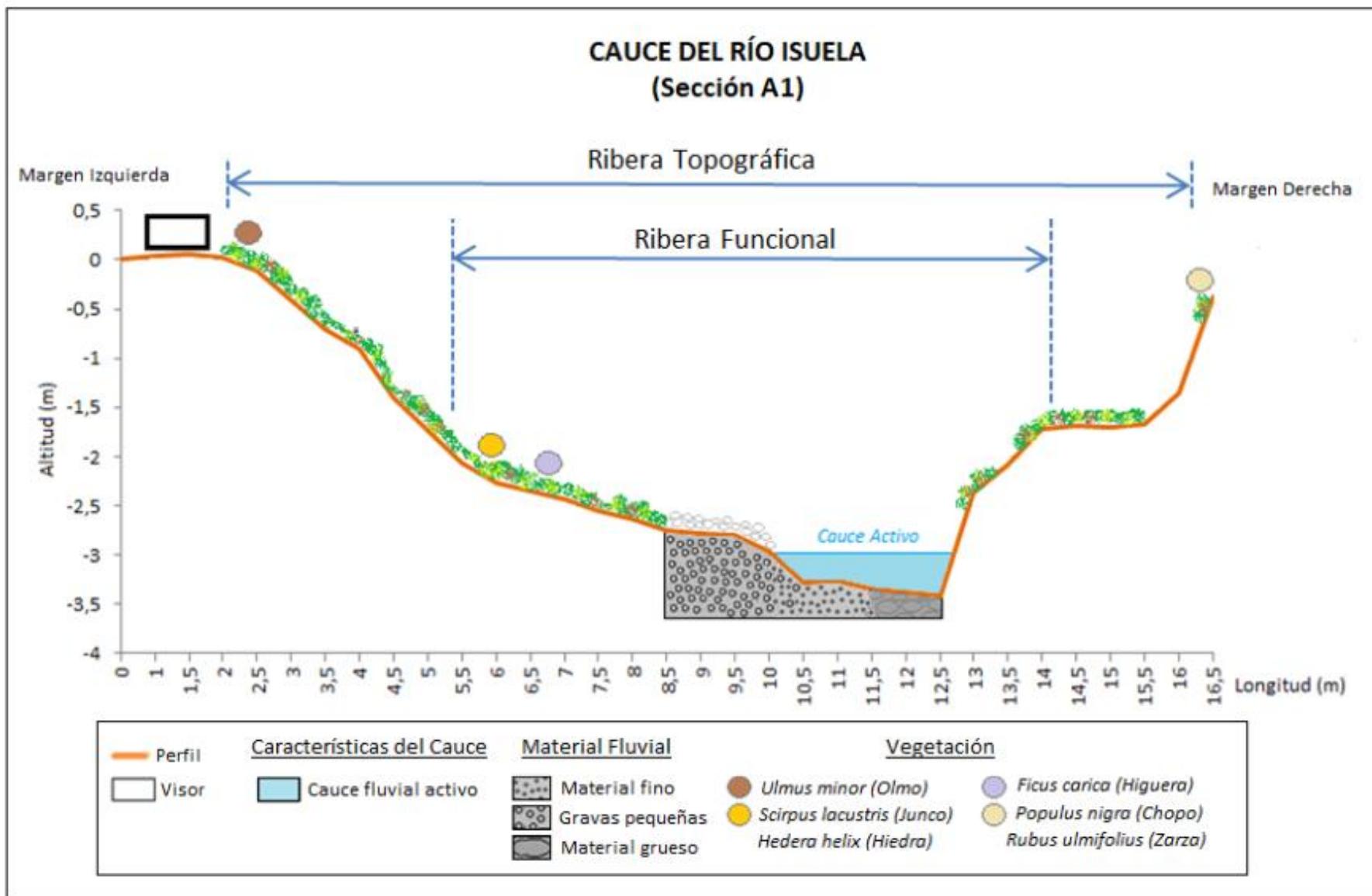


Figura 27: Sección del río Isuela en el tramo A1

Fuente: Elaboración propia

Sección A2

La sección A2 se realizó en el inicio del área urbana de la ciudad de Huesca, próximo al puente de San Miguel. A su vez, dicha sección transversal corresponde con la subdivisión del tramo “A”, debido a las diferencias entre estas dos partes del río. En esta zona, el sistema fluvial se encuentra en un estado antropizado, ya que muestra claros signos de modificación tanto de su cauce como de sus orillas. Esto es debido a la presencia de obstáculos transversales y defensas longitudinales adosadas a su cauce, y así como la ocupación de sus riberas por el espacio urbano. Se calculó la sección del bankfull, ya que en este caso los límites estaban bien definidos, debido a las acciones realizadas en sus orillas. Por otro lado, la sección de este tramo no abarca completamente el grueso del caudal que discurre por este punto, ya que presenta unas dimensiones menores (Figura 28).

En cuanto a las características de dicha sección transversal, tiene una ribera topográfica de 17,5 metros de largo, y un desnivel de 1,5 metros desde el nivel topográfico. A su vez, la ribera funcional presenta unas dimensiones reducidas, en donde su longitud abarca un total de 7,5 metros y un desnivel de 1 metro. En cuanto al cauce activo, presenta una amplitud de 5,5 metros y una profundidad de 30 centímetros. A diferencia de las dos secciones anteriores, en este caso se puede observar un aumento de la longitud del cauce activo y un descenso de la profundidad del mismo. Esto da lugar a que en períodos de crecida, la capacidad del bankfull se vea sobrepasada y se desborde, haciendo que el río ocupe agresivamente la margen izquierda, ya que la margen derecha está limitada espacialmente y ejerce un empuje transversal hacia la orilla contraria, haciendo que aumente el nivel del caudal. Con respecto al material fluvial, se puede observar un material compuesto por gravas de pequeño calibre y limo, el cual se extiende por todo el lecho fluvial. Por lo que respecta a la vegetación, solo está presente en la margen derecha, la cual es intransitable e inaccesible. En ella, se puede destacar especies de porte arbóreo y herbáceas como *Fraxinus excelsior*, *Ficus carica*, *Alianthus altaissima*, o *Hedera helix*, *Rubus ulmifolius*, *Eryngium campestre* y *Festuca anundinacea* entre otras (Foto 9).

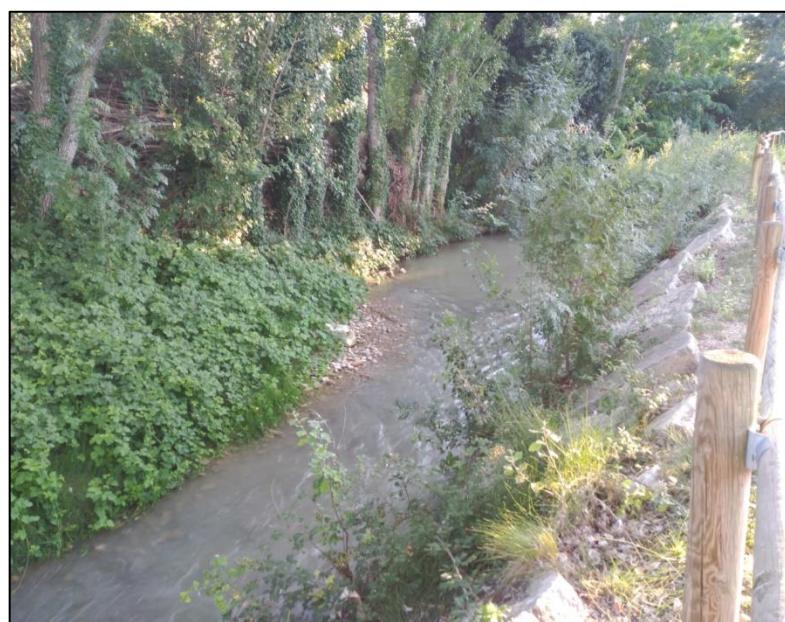


Foto 9: Sección del río Isuela en el tramo A2

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la estimación de caudal, se realizó a partir de la fórmula de Manning. Para ello, previamente se calculó la sección ($12,9 \text{ m}^2$), el perímetro mojado (11,51 metros), la pendiente (0,0094 m/m), el radio hidráulico (1,12) y la rugosidad del lecho del cauce (0,025). Como resultado se obtuvo un caudal máximo de $54,05 \text{ m}^3/\text{s}$. A diferencia de la sección anterior, se puede observar un claro descenso del caudal máximo. Es por ello, que en dicho tramo se produce un efecto de embotellamiento debido a las dimensiones del cauce. Lo que da lugar, a que el caudal circulante adquiera mayor energía e incida a la parte urbana con mayor potencia.

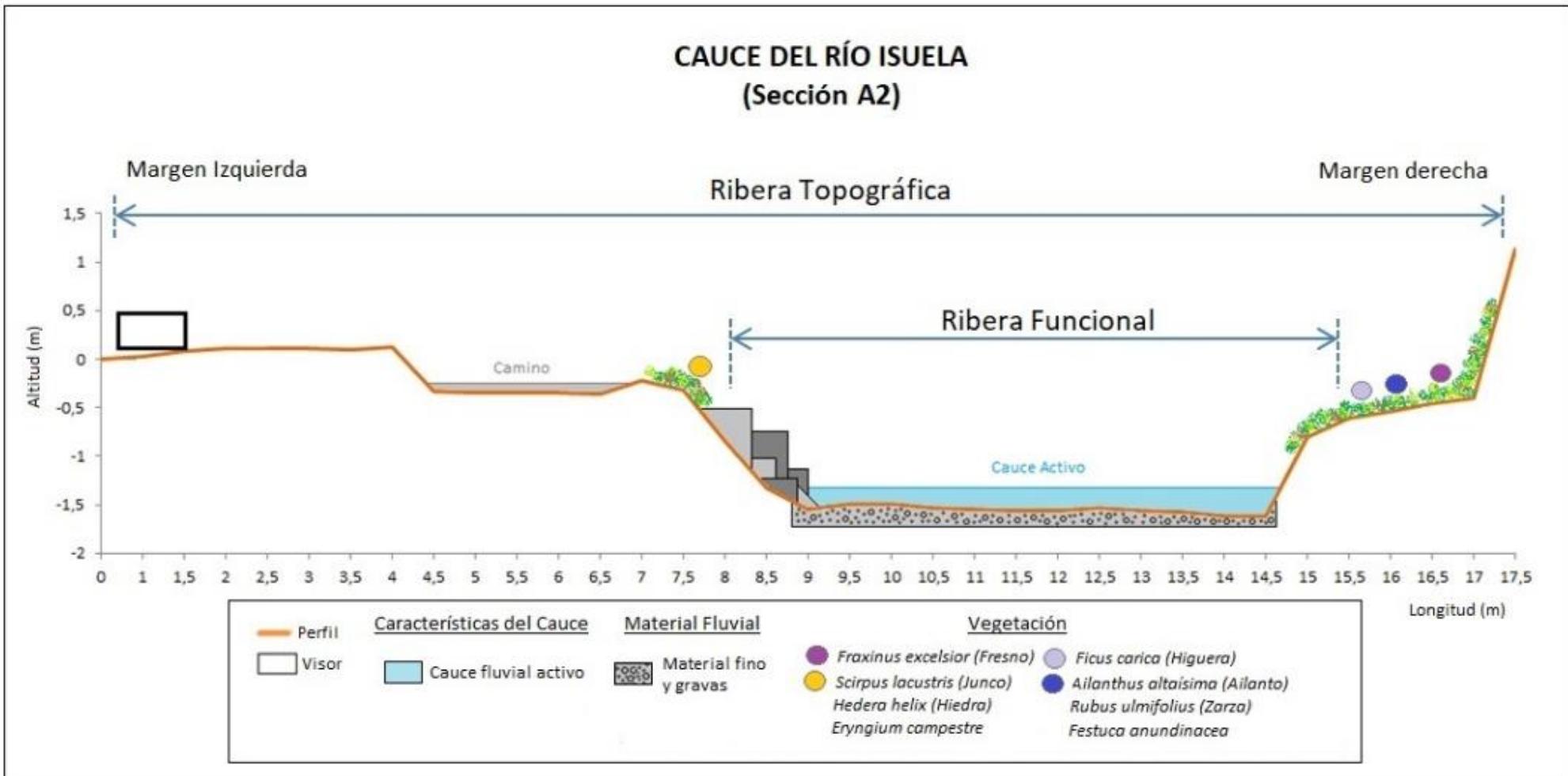


Figura 28: Sección del río Isuela en el tramo A2
Fuente: Elaboración propia

Sección B

La sección B corresponde a la parte urbana del río Isuela, la cual transcurre por una canalización artificial a lo largo de la ciudad de Huesca (Foto 10). En esta zona, el sistema fluvial se encuentra en un grado de antropización total, ya que su cauce y orillas han desaparecido al ser sustituidos por esta obra hidráulica de defensa fluvial. En cuanto a este encauzamiento se puede observar dos tipos de canalización diferentes. En el caso de la canalización B1 (Figura 29), el perfil transversal presenta una longitud de 26 metros, y una profundidad aproximada de 3 metros. Por otro lado, el cauce activo artificial tiene una longitud de 3 metros y una profundidad de 0,50 metros. En relación a sus características estructurales, se puede observar una defensa transversalmente amplia, con el objetivo de mitigar el efecto de embottellamiento del tramo anterior y poder abarcar todo el caudal en episodios de crecida. Así mismo, en la mayor parte del año el caudal no supera el cauce artificial, llegándose a secar en el periodo estival. Esto es debido a las concesiones agrarias y desvíos de caudal que se realizan aguas arriba.

En cuanto a la estimación de caudal de la sección B1, al igual que en los casos anteriores, se realizó a partir de la fórmula de Manning. Para ello, previamente se calculó la sección ($45,27 \text{ m}^2$), el perímetro mojado (29,3 metros), la pendiente (0,0053 m/m), el radio hidráulico (1,55) y la rugosidad del lecho del cauce (0,015). Como resultado se obtuvo un caudal de $294,07 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con respecto a la canalización B2 (Figura 30), el perfil transversal presenta una dimensión menor, en donde la longitud es de 11,5 metros y su profundidad es de 3,5 metros. Por otro lado, el cauce activo artificial tiene una longitud de 2,5 metros y una profundidad de 0,50 metros. En relación con sus características estructurales, se puede observar una reducción de su perfil transversal pero un aumento de su altura.

En cuanto a las estimaciones de caudal de la sección B2, se realizó a partir de la fórmula de Manning. Para ello, previamente se calculó la sección ($25,09 \text{ m}^2$), el perímetro mojado (15,3 metros), la pendiente (0,007 m/m), el radio hidráulico (1,64) y la rugosidad del lecho del cauce (0,025). Como resultado se obtuvo un caudal máximo de $124,53 \text{ m}^3/\text{s}$. En relación con la canalización B1, se puede observar un descenso en la capacidad de caudal lo que da lugar a un incremento de la probabilidad de desbordamiento del río. Además debido al incremento de la pendiente y el mínimo rozamiento generado por el lecho de hormigón, se produce un incremento significativo de la velocidad del caudal; lo que da lugar a una erosión remontante aguas abajo de la parte canalizada.



Foto 10: Sección del río Isuela en el tramo B1

CAUCE DEL RÍO ISUELA (Sección B1)

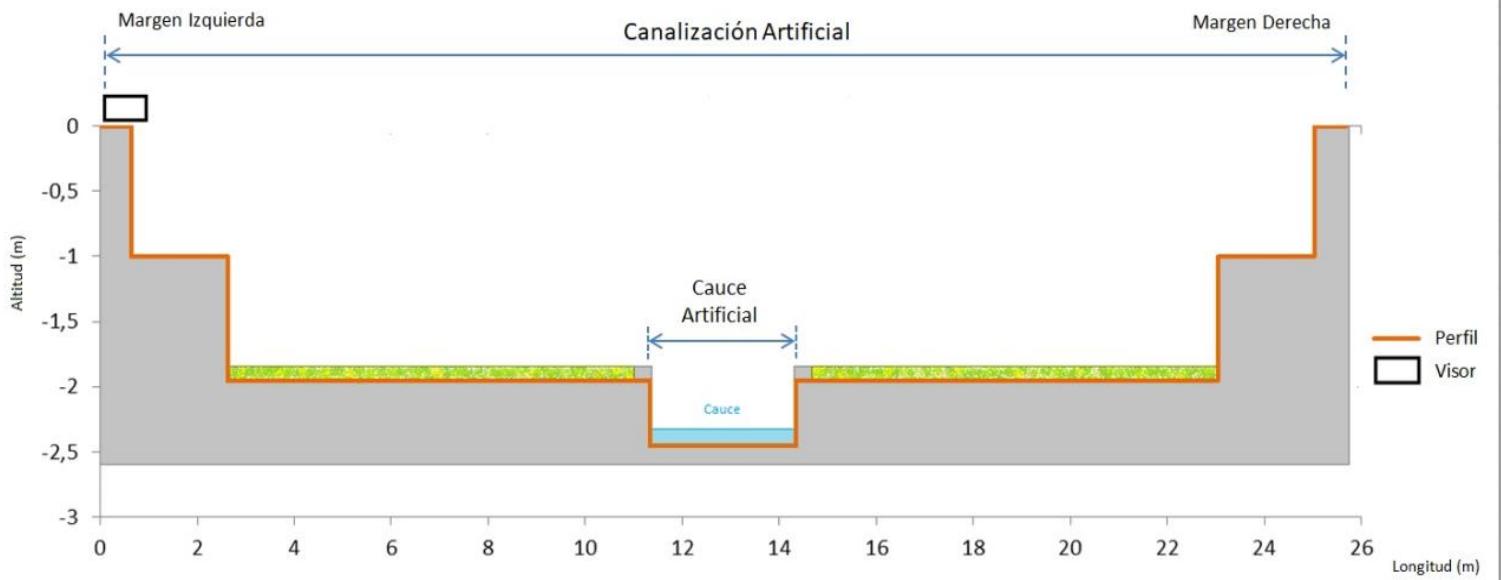


Figura 29: Sección del río Isuela en el tramo B1
Fuente: Elaboración propia



Foto 11: Sección del río Isuela en el tramo B2

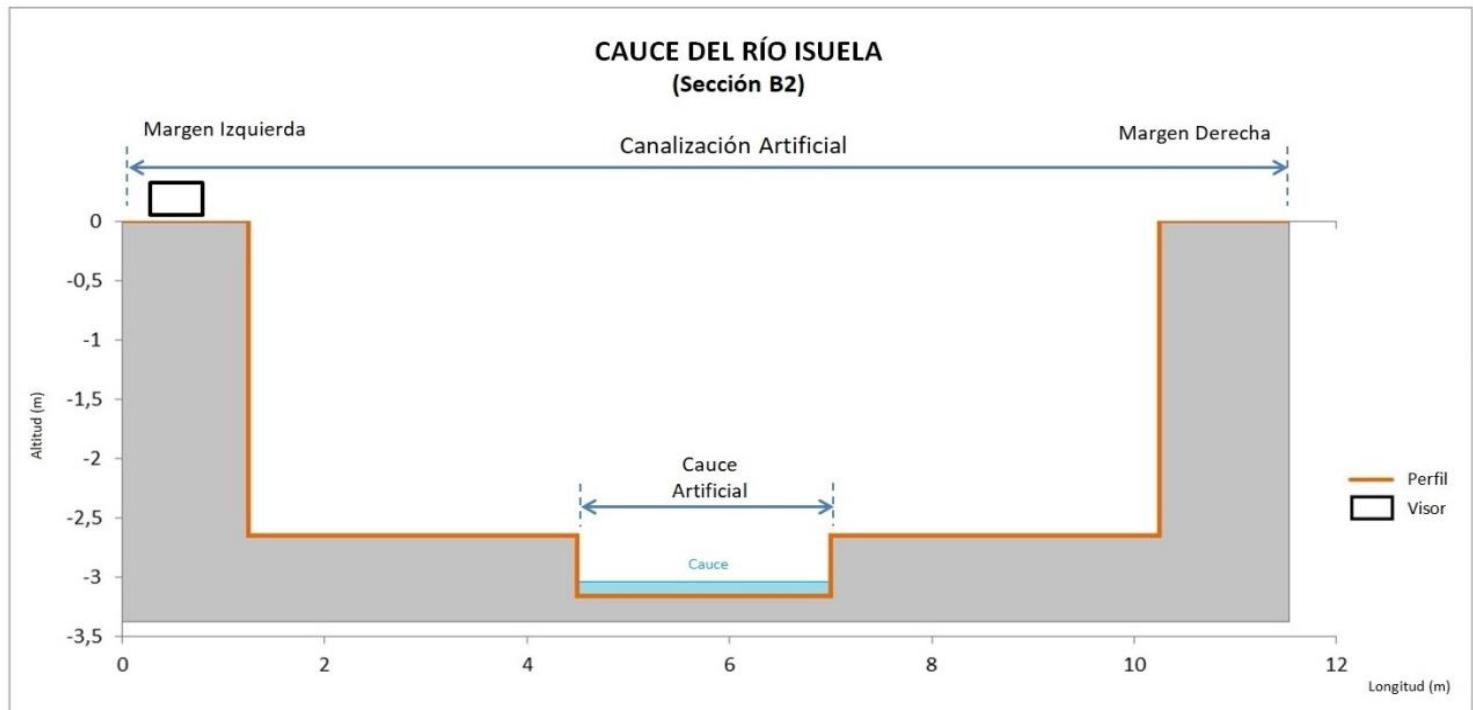


Figura 30: Sección del río Isuela en el tramo B2
Fuente: Elaboración propia

Sección C

La sección (C) se realizó en el tramo localizado aguas abajo de la ciudad de Huesca, espacio dedicado a cultivos agrícolas y huertas. En esta zona el cauce del río se encuentra en un estado seminatural, ya que muestra signos antrópicos a causa de las actividades agrícolas mencionadas. A partir de las evidencias geomorfológicas en las márgenes del cauce se calculó la sección del bankfull, aunque en este caso los límites no estaban bien definidos debido a la elevada cubierta vegetal. En cuanto a la sección de este tramo, sí que abarca completamente el grueso del caudal que discurre por este punto, ya que exhibe unas dimensiones que se ajustan a la sección efectuada (Figura 31).

En relación con las características de dicha sección transversal, tiene una ribera topográfica de 20,5 metros de longitud y un desnivel de 6 metros desde el nivel topográfico. A su vez, la ribera funcional presenta unas dimensiones más reducidas, en donde su longitud abarca un total de 6 metros y un desnivel de 1,5 metros desde la orilla hasta el fondo del lecho. De este modo, el cauce activo presenta una amplitud de 2,5 metros y una profundidad de 0,40 metros en la margen izquierda del cauce. Como se puede observar, al igual que en las secciones anteriores hay un claro encajonamiento del cauce sobre el lecho fluvial. En este caso, la incisión del río sobre el terreno es mayor, ya que dicho tramo es receptor de las aguas provenientes de la parte canalizada (B), la cual llega a este punto con una mayor energía debido a la ausencia de rozamiento. Esto hace que la intensidad con la que incide sobre el lecho y las orillas del sistema fluvial sea muy elevada, haciendo que la erosión en este tramo sea notable (Foto 12).



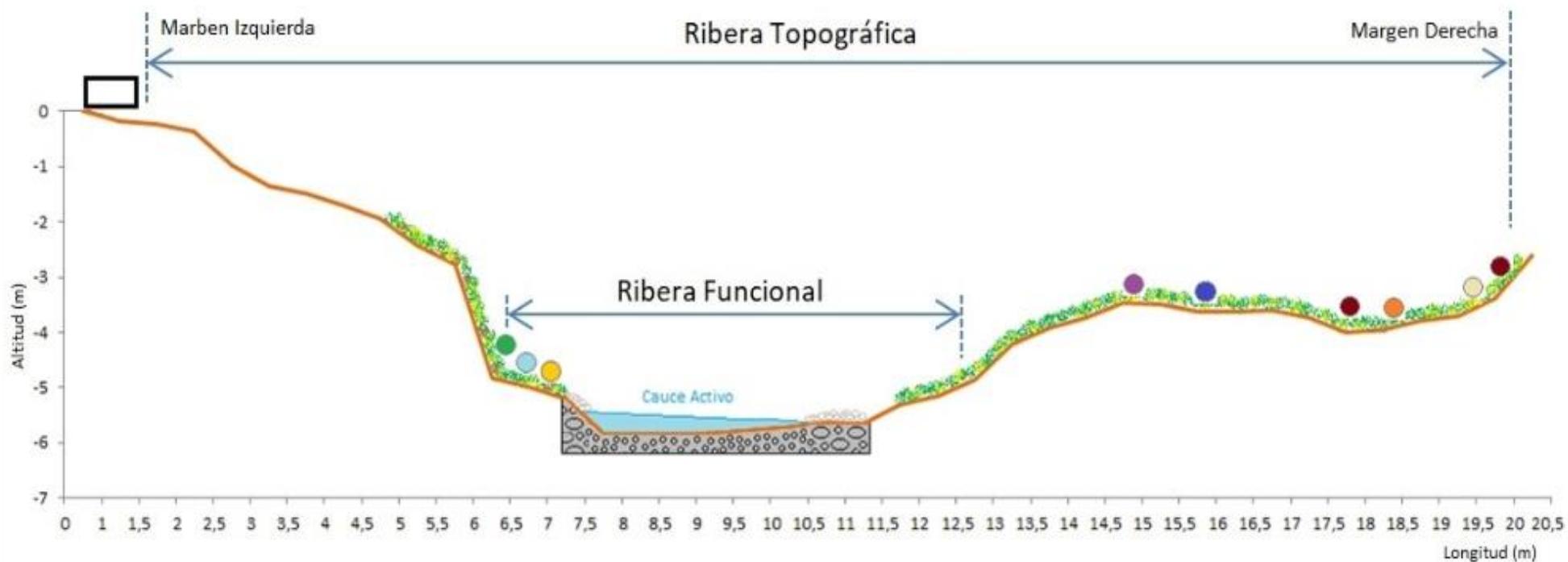
Foto 12: Sección del río Isuela en el tramo C

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al material fluvial, se puede distinguir un material de pequeño calibre en la parte central del cauce, el cual se incrementa granulométricamente a medida que nos desplazamos hacia las dos orillas. Por otra parte, cabe mencionar una importante cubierta vegetal la cual es fruto de la elevada eutrofización, procedente del uso de fertilizantes y nitratos utilizados por la actividad agrícola. En cuanto a algunas de las especies que podemos destacar en esta sección transversal son la *Arundo donax*, *Crataegus monogyna*, *Robinia pseudoacacia*, *Urtica dioica*, *Setaria viridis*, *Hordeum murinum*, *Hedera helix*, o *Scirpus lacustris* entre otras.

En relación con las estimaciones de caudal de la sección C, se realizó a partir de la fórmula de Manning. Para ello, previamente se calculó la sección ($32,25 \text{ m}^2$), el perímetro mojado (15,66 metros), la pendiente (0,034 m/m), el radio hidráulico (2,06) y la rugosidad del lecho del cauce (0,030). Como resultado se obtuvo un caudal máximo de $322,17 \text{ m}^3/\text{s}$. En relación con los valores obtenidos en las secciones anteriores, se puede apreciar un aumento de la capacidad de caudal. Esto es debido a un aumento de la profundidad del cauce, ya que lateralmente el río sigue limitado debido a los diferentes usos del suelo y la ocupación de su ribera.

CAUCE DEL RÍO ISUELA (Sección C)



Características del Cauce		Material Fluvial		Vegetación					
Perfil			Gravas pequeñas	<i>Laurus nobilis</i> (Laurel)	<i>Fraxinus excelsior</i> (Fresno)	<i>Hedera helix</i> (Hiedra)	<i>Brachypodium phoenicoides</i>		
Visor		Cauce fluvial activo	Material medio	<i>Crataegus monogyna</i> (Majuelo)	<i>Populus nigra</i> (Chopo)	<i>Rubus ulmifolius</i> (Zarza)	<i>Hordeum murinum</i> (Espigo)		
				<i>Arundo donax</i> (Cañas)	<i>Ailanthus altissima</i> (Ailanto)	<i>Urtica dioica</i> (Ortiga)			
				<i>Scirpus lacustris</i> (Juncos)	<i>Robinia pseudoacacia</i> (Robinia)	<i>Setaria viridis</i> (Setaria)			

Figura 31: Sección del río Isuela en el tramo C

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 ÍNDICE IHG

Según la Directiva Europea Marco del Agua, se establece la necesidad de aplicar las medidas oportunas para prevenir el deterioro del estado de las aguas superficiales, y la de proteger, mejorar y regenerar todas las masas de aguas con el objetivo de alcanzar un buen estado ecológico. De este modo, parte de la calificación del estadio ecológico de las masas de agua viene determinado por los parámetros, químicos, fisicoquímicos y biológicos, pero una parte sustancial de la valoración a tener en cuenta es la calidad hidrogeomorfológica. Por ello, para llevar a cabo dicha valoración se ha utilizado el índice hidrogeomorfológico en el curso fluvial del río Isuela.

Los resultados obtenidos de la aplicación del índice IHG en el área de estudio, apunta a una muy baja calidad hidrogeomorfológica en todos los tramos analizados (Tabla 13). Por ello, se ha llevado a cabo una comparación entre las diferentes secciones y los tres bloques que conforman dicho índice. Como se puede observar en los valores conseguidos, la calidad final resultante tiene una valoración deficiente en tres de las cinco secciones analizadas (Figura 33). En el caso de las otras dos restantes, la calidad es inferior y presentan una valoración muy negativa. De este modo, aunque los resultados obtenidos en estas cinco secciones son deficientes en cuanto a la calidad de las mismas, se ha llevado a cabo una comparación entre dichas secciones. Por último cabe mencionar, que también se ha efectuado el índice IHG para la totalidad de la cuenca del río Isuela (Figura 34).

SECCIÓN ÍNDICE IHG	Sección Nueno	Sección A1	Sección A2	Sección B	Sección C	Cuenca del Río Isuela
1. CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA	8	8	4	1	7	7
1.1 Naturalidad del régimen de caudal	0	0	0	0	0	0
1.2 Disponibilidad y movilidad de sedimentos	5	4	0	0	1	2
1.3 Funcionalidad de la llanura de inundación	3	4	4	0	6	5
2. CALIDAD DEL CAUCE	12	10	8	4	7	14
2.1 Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	2	3	3	0	3	4
2.2 Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	4	4	3	4	4	5
2.3 Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	6	3	2	0	0	5
3. CALIDAD DE LAS RIBERAS	12	10	8	1	12	17
3.1 Continuidad longitudinal	4	6	3	0	7	7
3.2 Anchura del corredor ribereño	4	2	2	1	2	4
3.3 Estructura, naturalidad y conectividad transversal	4	2	3	0	3	6
TOTAL ÍNDICE IHG	32	28	20	6	26	38

Tabla 13: Resultados totales y parciales (por sección y por cuenca) de la aplicación del índice IHG en los diferentes tramos del estudio. **Fuente:** IHG. Elaboración propia

(Los colores se corresponden con las cinco clases de calidad definidas en el índice:

Verde oscuro - muy buena; Verde – buena; Amarillo – moderada; Naranja – deficiente y Rojo – muy mala)

El mejor resultado obtenido dentro de la deficiente calidad de este sistema fluvial, corresponde a la sección de Nueno, la cual se localiza próxima al embalse de Arguis (Foto 13). En lo que respecta a su calidad hidrogeomorfológica total es deficiente con una puntuación de 32, siendo esta el resultado más alto conseguido en las cinco secciones realizadas.

Dentro de los diferentes apartados valorados por el índice, los peores resultados se han obtenido en el apartado encargado de evaluar la *Calidad Funcional del Sistema* (Bloque IHG 1). De este modo, este sistema fluvial presentan notables alteraciones en su caudal circulante, tanto sólido como líquido, a causa del pantano de Arguis de 2,7 hm³ de capacidad. Dicho embalse, supone una barrera directa para los sedimentos de la cuenca superior, así como también, una alteración en el régimen de caudal del río Isuela. Además cabe destacar que los diferentes afluentes y colectores de dicho río, se encuentran altamente degradados debido a la presencia de infraestructuras viarias y la notable actividad agraria de la zona, así como también, la existencia de infraestructuras hidráulicas relacionadas con los sistemas de regadío.



Foto 13: Presa del embalse de Arguis

Fuente: Elaboración propia

En lo referente a la funcionalidad de la llanura de inundación también se encuentra altamente modificada, la cual se puede observar en los resultados obtenidos tras aplicar el índice IHG. Como se ha mencionado anteriormente, dicha alteración tiene su origen en las actividades antrópicas llevadas a cabo en este sistema fluvial, como son la alta ocupación y dominio del uso agrícola, la localización de infraestructuras de transporte como el ferrocarril, autovía y carreteras, y por último la presencia e impactos producidos por las núcleos rurales y área urbana, especialmente por la ciudad de Huesca.

Esta localidad ejerce una elevada presión directa e indirecta en el río, así como también la existencia de espacios industriales vinculados a dicha ciudad. Además hay que señalar, que las diferentes zonas con defensas hidráulicas y actuaciones intrusivas son frecuentes a lo largo del cauce, lo que hace que la respuesta se vea alterada en procesos extremos como son las crecidas. Así mismo, la mayor parte de las defensas y escolleras están directamente adosadas al cauce del río, lo cual infiere de una forma negativa en la funcionalidad de la llanura de inundación del mismo sistema fluvial.

La *Calidad del Cauce* (Bloque IHG 2) en las secciones analizadas es deficiente, siendo las secciones de Nueno y A1 las que presentan un valor mayor respectivamente. En el caso de la sección B, con un valor de 4 puntos es la que tiene una calidad muy inferior en relación al resto de secciones (Tabla 13). De este modo, tanto el cauce como la llanura de inundación de este sistema fluvial presentan numerosos impactos, los cuales repercuten de una forma negativa en la morfología, continuidad y naturalidad del cauce.

Dichos impactos, tienen su origen en los cambios y modificaciones producidos aguas arriba, lo que da lugar a la aparición de alteraciones negativas en el cauce. En lo que se refiere a dichas alteraciones, podemos destacar un visible encajamiento del cauce en la zona próxima a la ciudad de Huesca, lo cual tiene su origen en la nula capacidad de movilidad y disponibilidad de los propios sedimentos del río. Además, cabe destacar las continuas defensas adosadas al cauce y el tramo urbano del río el cual se encuentra canalizado en su totalidad (Foto 14).

También son frecuentes los puentes, vados, y azudes que generan alteraciones en la dinámica longitudinal, haciendo que el lecho fluvial se vea alterado. De este modo, la morfología, dinámica longitudinal y transversal del río se ve alterada de una forma negativa, haciendo que el cauce haya quedado prácticamente fijado, sin capacidad de movimiento lateral. Por ello, como se puede observar en los resultados del índice IHG correspondientes a este segundo bloque, los valores obtenidos son deficientes e incluso muy negativos.



Foto 14: Tramo de la canalización de la sección B
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la Calidad de las Riberas (Bloque IHG 3), también hay notables alteraciones como en los dos apartados anteriores. Aun así, la valoración obtenida en cada una de las secciones analizadas y en la cuenca fluvial es mucho mayor que en los dos bloques del IHG analizados anteriormente. El principal problema en este caso, es la discontinuidad de las riberas debido a varios factores y elementos negativos. Como son el encajonamiento del cauce aguas arriba de la ciudad de Huesca, lo que da lugar a que no haya prácticamente vegetación de ribera.

En segundo lugar, se puede destacar el tramo urbano en donde hay una ausencia total de vegetación debido a la canalización. Y por último, la presencia de numerosas defensas a lo largo del cauce, que rompen la continuidad longitudinal de la ribera. Por otro lado, aguas abajo del área urbana la continuidad longitudinal retorna, siendo mucho más constante que en el tramo superior del río, aunque la escasa anchura lateral de la ribera hace que haya numerosas zonas sin vegetación dentro del corredor.



Foto 15: Corredor ribereño del río Isuela en la sección C
Fuente: Elaboración propia



Foto 16: Ausencia de vegetación en la orilla izquierda del río Isuela en la sección A2 **Fuente:** Elaboración propia

En lo referente a la anchura del corredor ribereño, se encuentra limitado por los extensos cultivos de la zona, los cuales ejercen una fuerte presión en el área de dominio fluvial haciendo que la anchura de las riberas se vea muy limitada (Foto 16). Solamente en algún punto concreto aguas abajo de la localidad de Huesca, se conservan algunos sotos más amplios que muestran la capacidad y amplitud que tendría la ribera (Foto 15), si no hubiera sufrido las diversas presiones de origen antrópico. Por último, con respecto a la estructura, naturalidad y conectividad transversal de la ribera, la valoración obtenida también es deficiente. Debido a una clara alteración ambiental del corredor ribereño por las diversas actividades agrarias de la zona.

Por ello, la sucesión vegetal natural queda limitada a una única hilera muy estrecha, en comparación a las condiciones naturales que se tendrían que dar en dicha ribera. Además, también se pueden destacar alteraciones del sotobosque a causa de actividades como el pastoreo o el desbroce de determinadas áreas, o la modificación de las riberas con cultivos de repoblación de porte arbóreo. Por otra parte, también hay una fuerte presencia de numerosas especies de vegetación invasora que se localizan en los sectores analizados, siendo las secciones A1, A2 y C las que tienen una mayor presencia de dichas especies como *Robinia pseudoacacia* o *Arundo donax* entre otras.

Los valores más altos obtenidos en el índice IHG sobre la Calidad de las Riberas, corresponden a las secciones de Nueno y C, con una valoración de 12 puntos respectivamente (Tabla 13), al encontrarse más alejadas del área de influencia de la ciudad de Huesca. Aun así, los resultados presentan en su conjunto una calidad deficiente en los tramos no urbanos, y una calidad muy deficiente o mala para los tramos urbanos.

Para complementar el apartado de la aplicación del índice IHG de una forma más visual, se ha llevado a cabo la elaboración de un gráfico con los resultados obtenidos en las secciones analizadas. En el caso del gráfico de la cuenca del río Isuela, se ha cogido de un análisis llevado a cabo por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

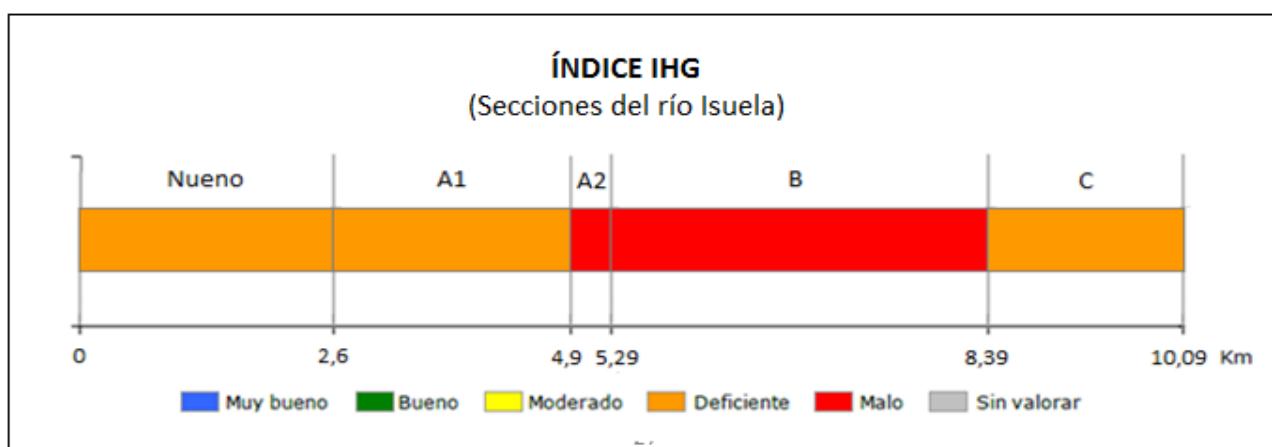


Figura 32: Gráfico del índice IHG por secciones del río Isuela

Fuente: IHG, CHE e IGEAR. Elaboración propia

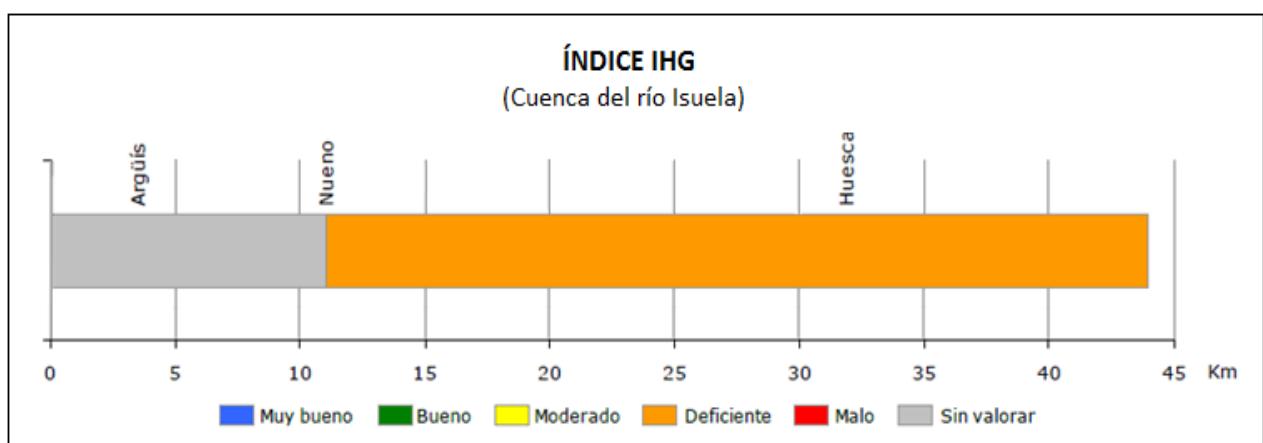


Figura 33: Gráfico del índice IHG de la cuenca del río Isuela

Fuente: IHG, CHE e IGEAR. Elaboración propia

Como se puede observar en el gráfico del índice IHG por secciones (Figura 32), y como ya se ha visto con anterioridad se han analizado un total de 5 tramos del río Isuela. En cuanto a los resultados obtenidos, en el caso de la sección de Nueno ha logrado una puntuación de 32 puntos sobre 90. En el caso de la sección A1, su puntuación ha sido de 28 y la sección C de 26. Por ello, aunque estos tres tramos tienen una valoración hidrogeomorfológica deficiente, hay una clara diferencia con la sección de Nueno la cual presentan la mayor puntuación.

En el caso de las otras dos secciones, los resultados obtenidos son más semejantes entre sí. Para las secciones A2 y B se ha conseguido una puntuación de 20 y 6, siendo estos dos tramos los que presentan uno peor resultado en el índice aplicado. Por lo tanto la calidad hidrogeomorfológica es muy mala, y queda reflejado en la calidad funcional del sistema, la calidad del cauce, y en la calidad de las riberas comentadas anteriormente.

Según los resultados obtenidos por la Confederación Hidrográfica del Ebro al aplicar el índice IHG para la cuenca del río Isuela (Figura 33), se puede destacar una puntuación de 38 sobre un valor máximo de 90 puntos.

En lo referente a la calidad funcional del sistema es la componente más penalizada con una valoración de 7 puntos sobre un total de 30, en la cual podemos destacar con una puntuación de 0 puntos la “naturalidad del régimen de caudal”. Ya indicamos, en otro capítulo de otro trabajo que las múltiples extracciones de agua para diferentes usos necesariamente debía producir esa fuerte alteración del régimen fluvial. Por otro lado, la calidad del cauce tiene un total de 14 puntos, por ello los tres parámetros de dicho apartado tienen una valoración similar. En cuanto a la calidad de la ribera, la “continuidad longitudinal” es la menos afectada con un total de 7 puntos, mientras que la “anchura del corredor ribereño” es la que presenta un mayor grado de afecciones negativas. Por lo consiguiente el río Isuela presenta una valoración hidrogeomorfológica deficiente, por lo que estaría dentro de las masas de agua que deben ser objeto de mejor según la Directiva Europea del agua.

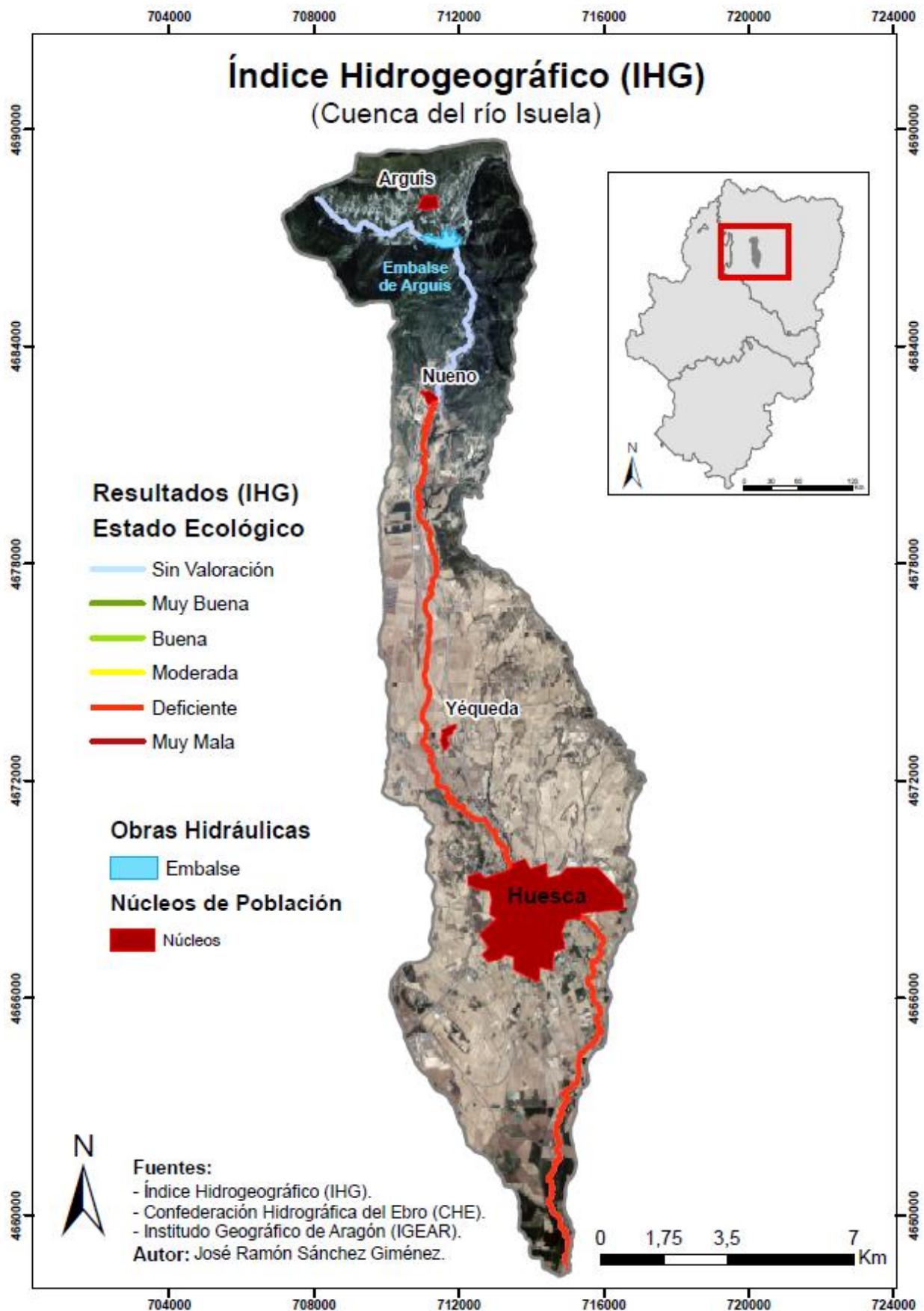


Figura 34: Índice Hidrogeomorfológico de la cuenca del río Isuela
Fuente: IHG, CHE e IGEAR. Elaboración propia

Índice Hidrogeográfico (IHG) por tramos (Cuenca del río Isuela)

Autor: José Ramón Sánchez Giménez.



Tramos

— A1 — A2 — B — C

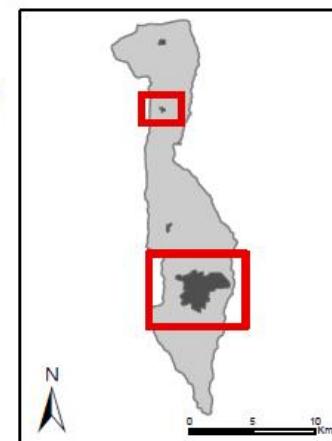
0 0,5 1 Km



Tramo — Nueno 0 0,25 0,5 Km

Resultados (IHG) Estado Ecológico

- Sin Valoración
- Muy Buena
- Buena
- Moderada
- Deficiente
- Muy Mala



Fuente: - Índice Hidrogeomorfológico (IHG). - Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR). - Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

Figura 35: Índice Hidrogeomorfológico por tramos en el río Isuela

Fuente: IHG, CHE e IGEAR. Elaboración propia

3.3.4 Riesgos de Inundación

3.3.4.1 Evolución

Para determinar y evaluar los riesgos de inundación de la ciudad de Huesca, se ha llevado a cabo una cartografía sobre la ocupación del espacio fluvial por parte de la ciudad, en el tramo urbano del río Isuela. Para ello, se han utilizado fotogramas de los vuelos: Americano (1945-1946), Interministerial (1973 – 1986), Nacional (1980 – 1986) y PNOA (2012). Esto ha permitido obtener una percepción de la zona desde el año 1945 hasta el año 2012, lo que ha posibilitado determinar la evolución de la expansión urbana sobre el espacio fluvial en estos últimos 67 años.

Como se puede observar en la cartografía del vuelo Americano (1945 – 1946), el río Isuela a su paso por la ciudad de Huesca, presenta una ocupación de su llanura de inundación muy reducida (Figura 36). Únicamente se pueden contemplar algunos edificios relacionados con la actividad agrícola, ya que existe un claro uso agrario del suelo. Por ello, no hay infraestructuras u obstáculos importantes que estén expuestos al riesgo de inundación. Por otro lado, como se puede observar en las dos imágenes (Foto 16 y 17), el cauce del río Isuela era amplio y no presentaba presiones significativas en sus márgenes. Esto daba lugar a que en eventos de crecida, ocupara su espacio fluvial y no afectara negativamente a la población de Huesca.



Foto 16: Límite fluvial del río Isuela a su paso por el puente de San Miguel **Fuente:** Santos Baso



Foto 17: Río Isuela **Fuente:** Santos Baso

En el caso de la cartografía relacionada con el vuelo interministerial (1973 – 1986), se puede observar una expansión urbana de la ciudad de Huesca hacia el este, la cual se da en ambas márgenes del río Isuela (Figura 37). Este desarrollo urbano supone una limitación de la llanura de inundación importante, debido al crecimiento de la ciudad y la ocupación de la misma por parte del suelo urbano. Además, de la construcción de nuevos edificios dentro de los límites del espacio fluvial, los cuales se encuentran en un área con riesgo de inundación.

En cuanto a los cambios que se pueden visualizar en la cartografía del vuelo nacional (1980 – 1986) (Figura 38), cabe destacar una mayor expansión del suelo urbano a lo largo del tramo fluvial que atraviesa la ciudad. Así como la edificación de nuevas viviendas en la margen derecha del río. Además es preciso señalar la construcción de un tramo de la canalización artificial, con el fin de evitar los efectos e impactos negativos de las inundaciones en esta zona de la ciudad. Por último, en lo referente al vuelo PNOA 2012 (Figura 39) la ocupación por parte del suelo urbano en este tramo fluvial es completa, así como la construcción de nuevos edificios e infraestructuras en toda la margen derecha del río. Esto conlleva que los límites fluviales establecidos en la cartografía de 1945 se hayan visto modificados por la expansión de la ciudad; lo que ha supuesto la canalización completa del río Isuela a su paso por la ciudad de Huesca.

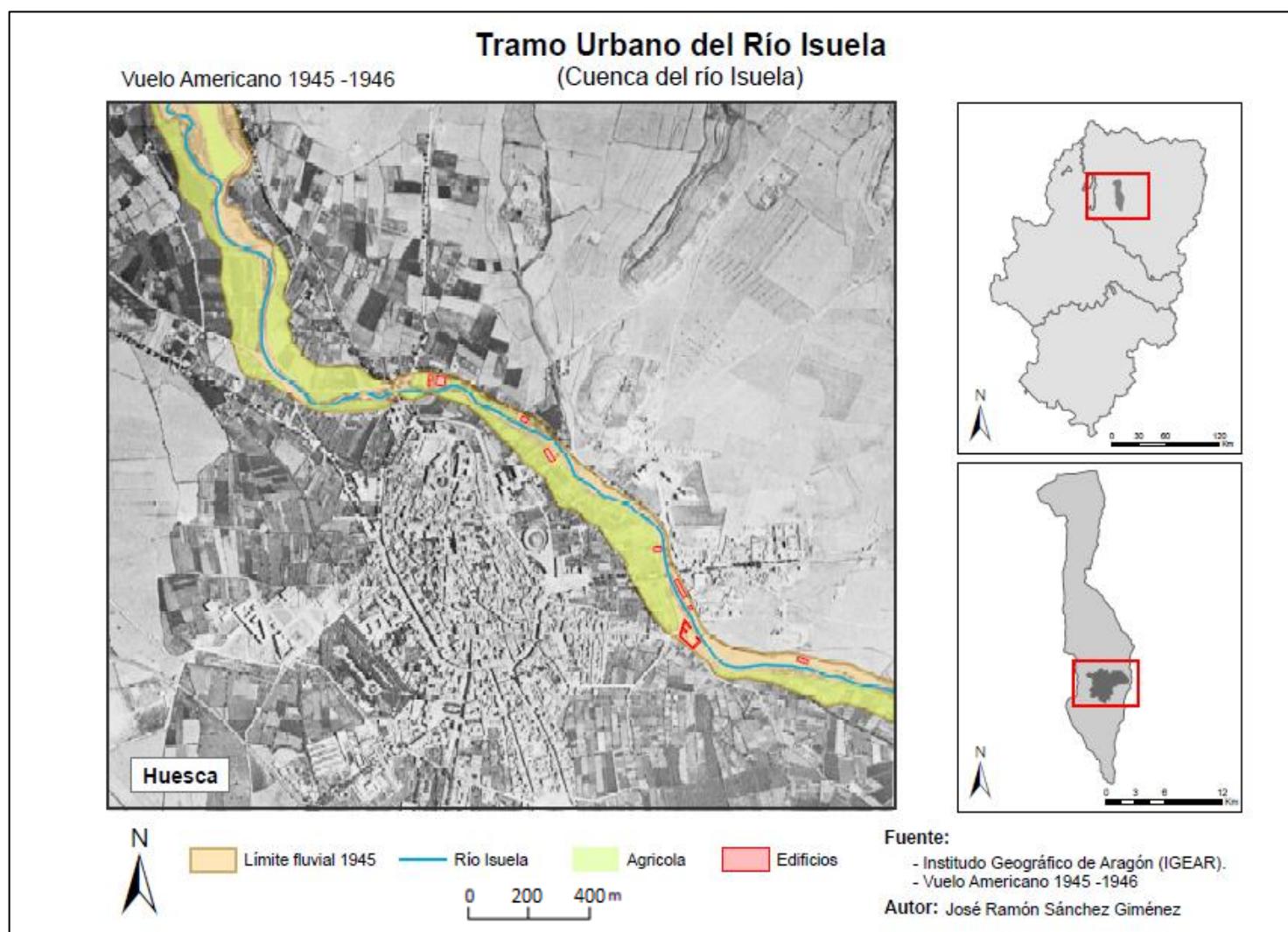
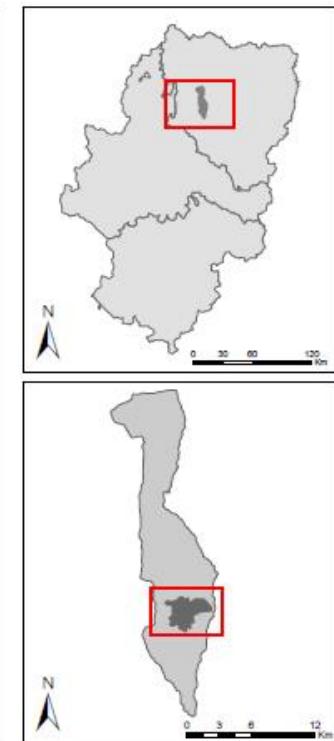
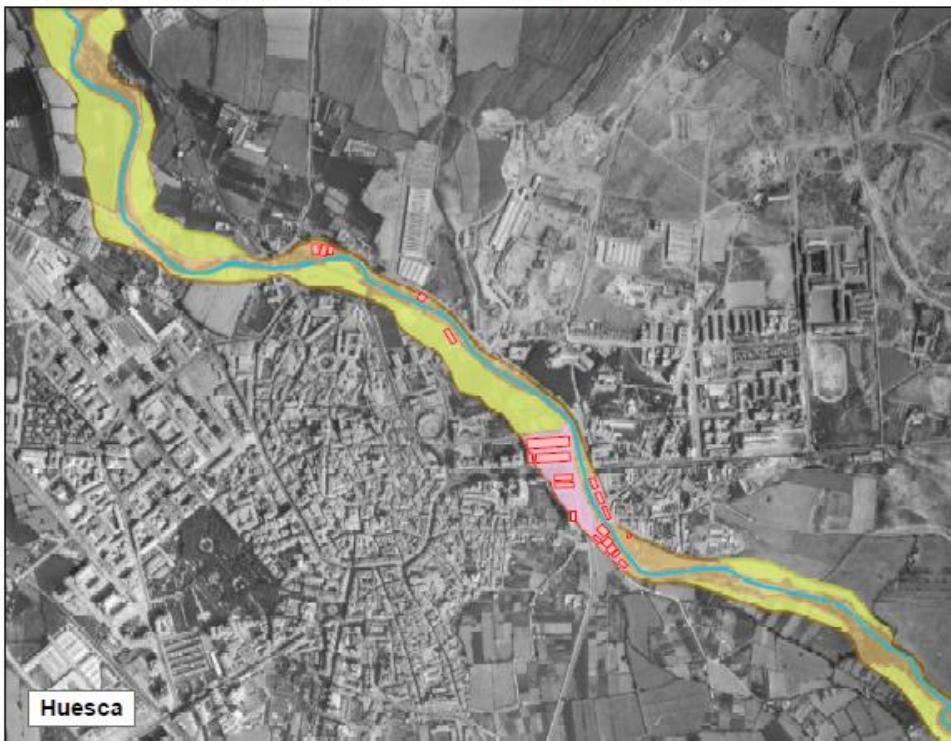


Figura 36: Tramo urbano del río Isuela, vuelo Americano 1945 - 1946
Fuente: IGEAR. Elaboración propia

Tramo Urbano del Río Isuela

(Cuenca del río Isuela)

Vuelo Interministerial 1973 -1986



Fuente:

- Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR)
- Vuelo Interministerial 1973-1986

Autor: José Ramón Sánchez Giménez

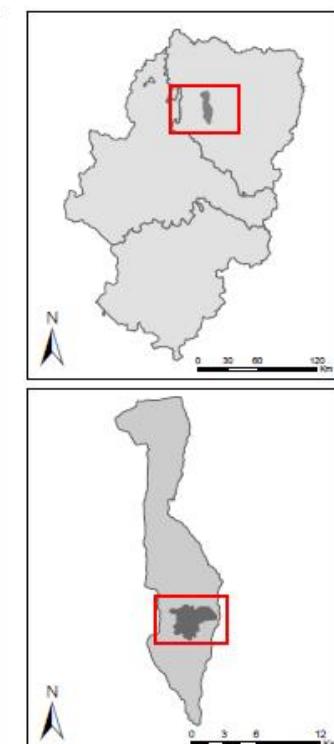
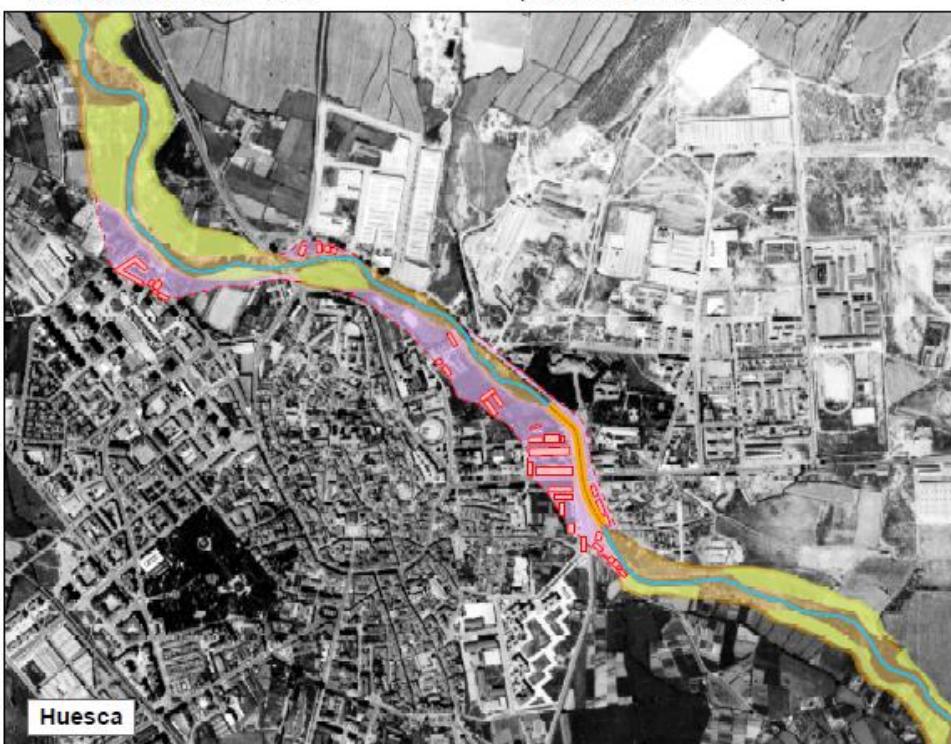
Figura 37: Tramo urbano del río Isuela, vuelo Interministerial 1973 – 1986

Fuente: IGEAR. Elaboración propia

Tramo Urbano del Río Isuela

(Cuenca del río Isuela)

Vuelo Nacional 1980 - 1986



Fuente:

- Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR)
- Vuelo Nacional 1980 - 1986

Autor: José Ramón Sánchez Giménez

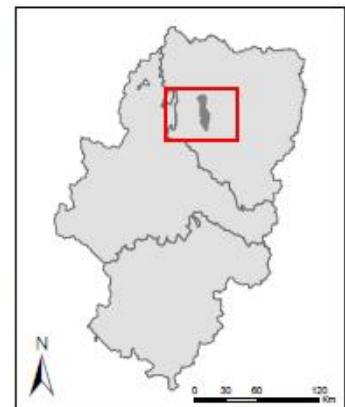
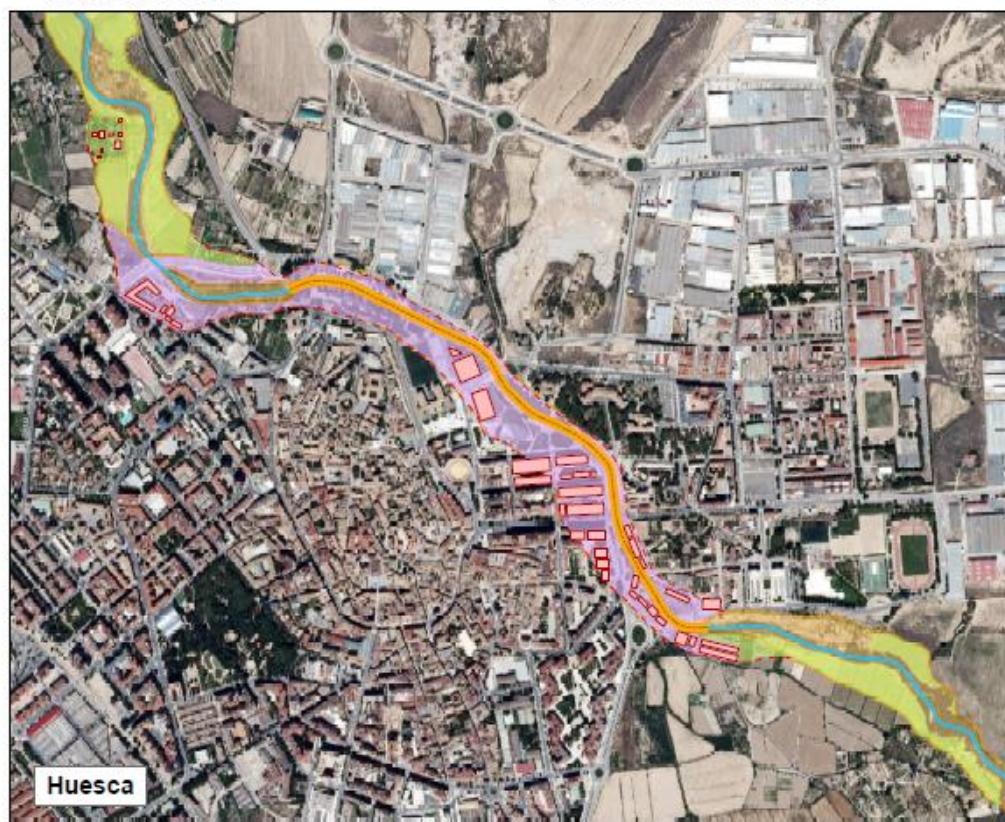
Figura 38: Tramo urbano del río Isuela, vuelo Nacional 1980 – 1986

Fuente: IGEAR. Elaboración propia

Tramo Urbano del Río Isuela

Vuelo PNOA 2012

(Cuenca del río Isuela)



Límite Fluvial 2012 Río Isuela Agrícola
- - - Límite 1945 Canalización

Edificios Agrícola
Urbano

0 100 200 m

Fuente:

- Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR).
- Vuelo PNOA 2012.

Autor: José Ramón Sánchez Giménez

Figura 39: Tramo urbano del río Isuela, vuelo PNOA 2012 **Fuente:** IGEAR.
Elaboración propia

3.3.4.2 Riesgos

En la cuenca del río Isuela se han definido dos áreas del territorio para las que existe un riesgo significativo de inundación. En cuanto a la localización de dichas áreas, se encuentran próximas entre sí. La primera de ellas se sitúa a lo largo del tramo canalizado del río Isuela, la cual transcurre a través del espacio urbano de Huesca. La segunda y última zona con riesgo, corresponde al polígono industrial de la Magantina ubicado al norte de la capital Altoaragonesa. En dicho polígono se localiza el barranco del Diablo, el cual confluye con el río Isuela siguiendo una distribución transversal a través del área urbana. Por ello, a partir de la información obtenida de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), se ha elaborado una serie de mapas sobre las zonas inundables, calados, y posibles zonas inundables no recogidas actualmente en (SNCZI). De este modo, se han cartografiado los períodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, así como los posibles edificios urbanos e industriales afectados por dichos períodos.

En el caso de la primera área con riesgo de inundación correspondiente al tramo fluvial que transcurre por el espacio urbano (Figura 41). Cabe destacar la ocupación de la zona de flujo preferente (*definida como aquella en la que para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se pueden producir graves daños personales y materiales*) por parte de edificios residenciales.

De este modo, los períodos de retorno de 100 y 500 años respectivamente serían los que peores consecuencias producirían en este sector, ocasionando notables desperfectos e impactos negativos sobre la población. Todo ello, quedaría ratificado con los resultados de calado obtenidos para esta zona, los cuales podrían alcanzar entre 1 y 1,5 metros, e incluso los 2 metros de altura en varios puntos determinados (Figura 43).

Con respecto al modelo de zonas inundables realizado por la CHE, se puede observar que está incompleto, ya que el polígono de mayor entidad presenta unos límites regulares y no se ajustan a las características reales de dicha área (Figura 41). Por ello, a partir de documentos históricos y testimonios de los habitantes, así como la utilización de un MDT de alta resolución, se han cartografiado las posibles zonas inundables (Figura 42). En vista a los resultados obtenidos, podemos observar un aumento del área de influencia de los períodos de retorno de 100 y 500 años. Esto supone una mayor cantidad de edificios urbanos en la zona de riesgo, y por consiguiente un mayor número de habitantes dentro de un área vulnerable ante un evento de crecida.

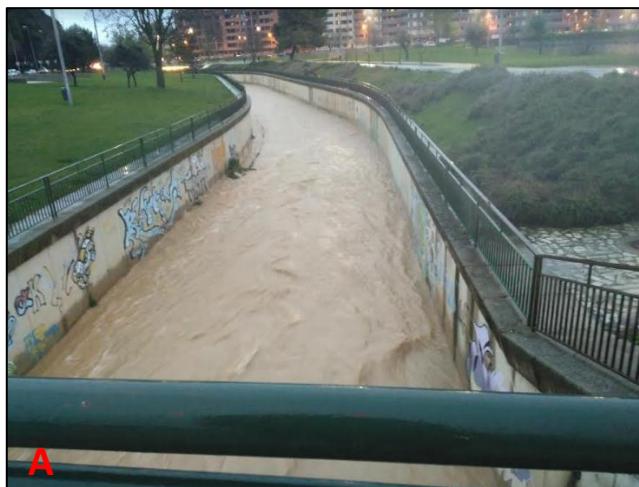


Figura 40: Crecida del río Isuela en abril de 2018. (A: Sección B2, B: Sección A2, C: Sección B1 y D: Fuentes de Marcelo sección A1) **Fuente:** Elaboración propia

La segunda y última zona con riesgo de inundación se sitúa al norte de la ciudad de Huesca. En dicha zona, se localiza el barranco del Diablo (Fotos 18), colector principal de toda la red de barrancos localizado al noreste de la ciudad de Huesca. Por ello, debido a la reducida capacidad hidráulica del mismo, en los eventos de crecida extraordinarios las aguas discurren fuera de su cauce natural. Esto conlleva a que se produzcan inundaciones en las áreas colindantes del barranco (Foto 19), así como en el espacio urbano y periurbano de la ciudad (Figura 41).

Como se puede observar en la cartografía (Figura 41), los períodos de retorno que mayor impacto ejercen sobre la zona, son los de 10 y 50 años. En el caso de los períodos de 100 y 500 años, afectarían de una forma directa a la totalidad del polígono industrial de la Magantina. Por ello, en esta área la ocupación de la zona de flujo preferente está asociada a edificios e infraestructura industrial (Figura 43). En cuanto a los valores de calado para este sector, la mayor parte presenta unas cifras comprendidas entre 0,3 y 0,5 metros, o incluso menos de 0,3 metros. Esto es debido a que, al no existir obstáculos ni presiones en el entorno del barranco, la lámina de crecida se desbordaría ocupando las áreas limítrofes del mismo.



Foto 18: Barranco del Diablo (río Isuela) **Fuente:** lagua

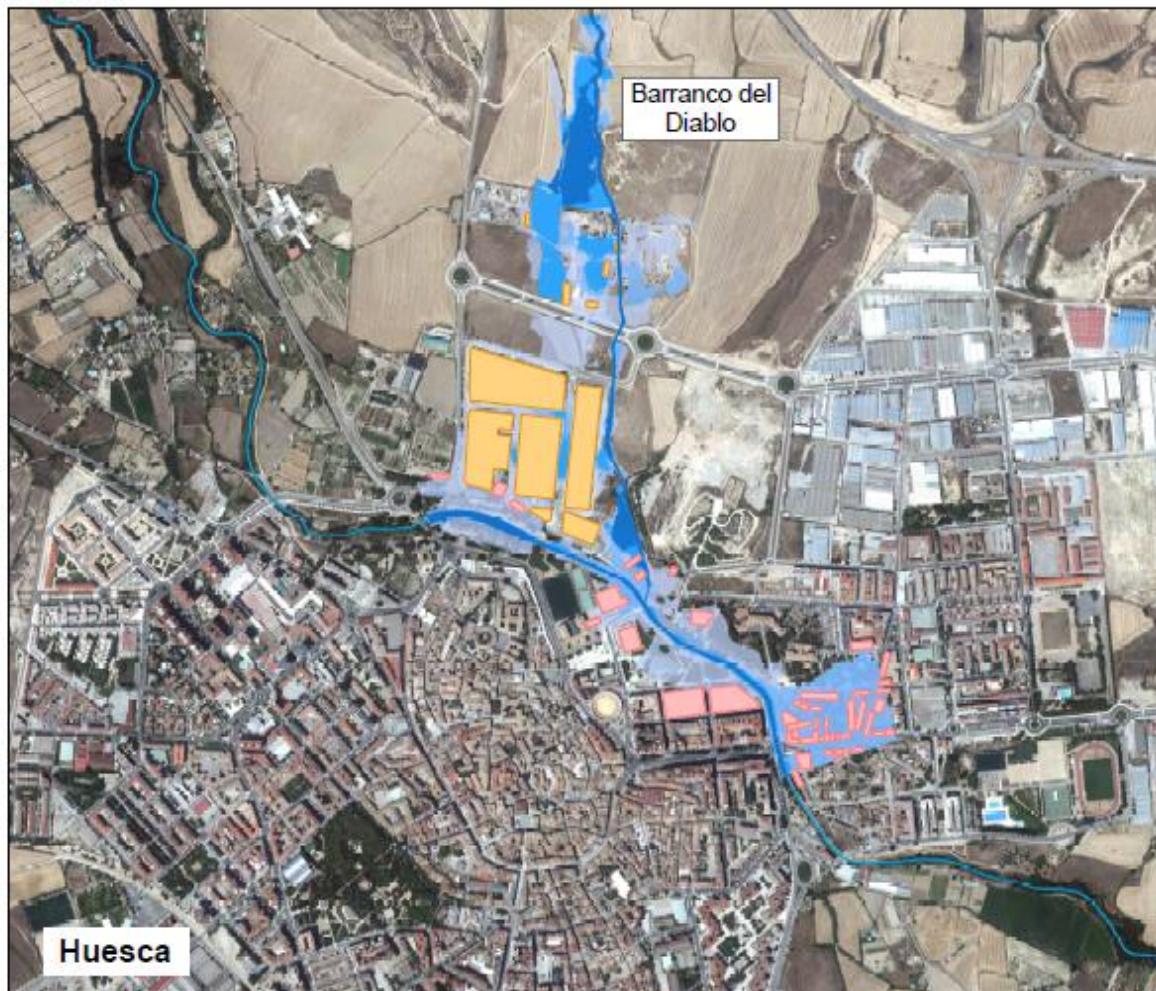


Foto 19: Crecida del barranco del Diablo (río Isuela) año 2012
Fuente: Diario del Alto Aragón

Mapa de Zonas Inundables por el Río Isuela en la Ciudad de Huesca

SNCZI

(Cuenca del río Isuela)

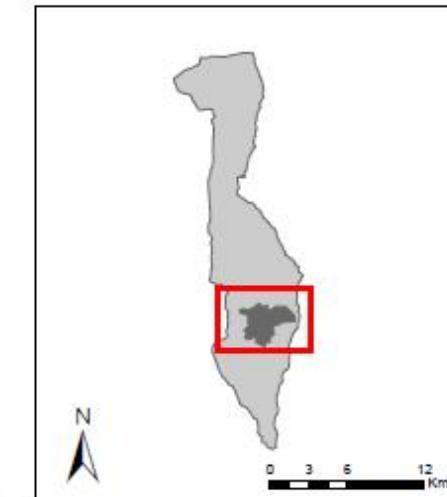
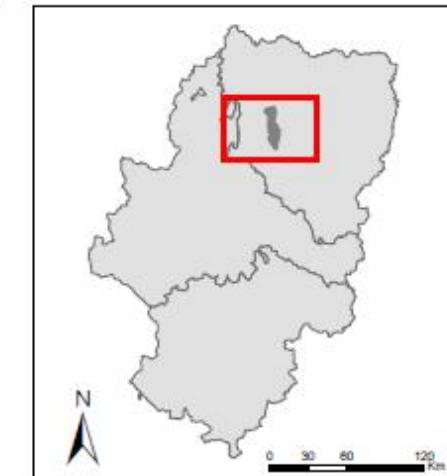


Periodo de retorno T10 Periodo de retorno T100 Edificios Urbanos
Periodo de retorno T50 Periodo de retorno T500 Edificios Industriales



Río Isuela

0 100 200 m



Fuente:

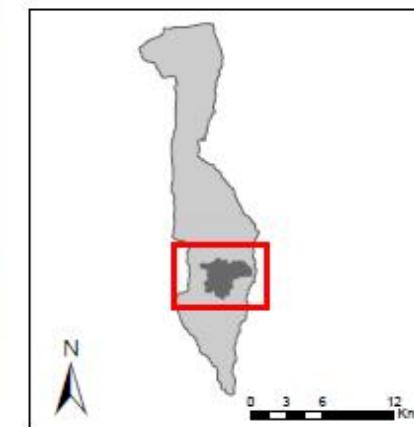
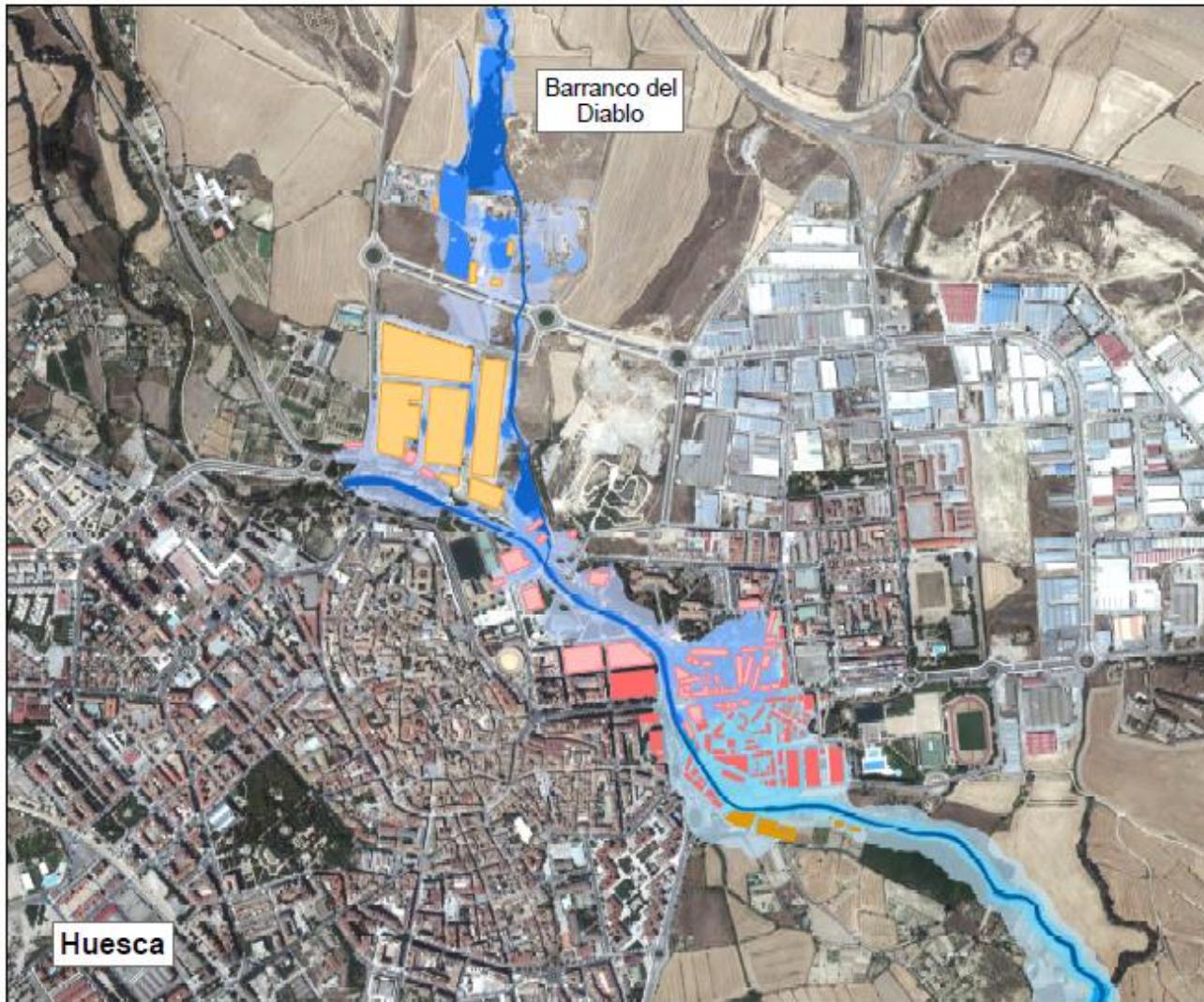
- Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR).
- Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

Autor: José Ramón Sánchez Giménez

Figura 41: Zonas inundables por el río Isuela en la ciudad de Huesca
Fuente: IGEAR y CHE. Elaboración propia

Posibles Zonas Inundables por el Río Isuela en la Ciudad de Huesca

(Cuenca del río Isuela)



Zonas Inundables SNCZI

- Periodo de retorno T10
- Periodo de retorno T50
- Periodo de retorno T100
- Periodo de retorno T500
- Edificios Urbanos
- Edificios Industriales

Posibles Zonas Inundables

- Possible periodo de retorno T10
- Possible periodo de retorno T50
- Possible periodo de retorno T100
- Possible periodo de retorno T500
- Edificios Industriales
- Edificios Urbanos

Fuente: - Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR). - Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

Autor: José Ramón Sánchez Giménez

0 100 200 m



Figura 42: Posibles zonas inundables por el río Isuela en la ciudad de Huesca

Fuente: IGEAR y CHE. Elaboración propia

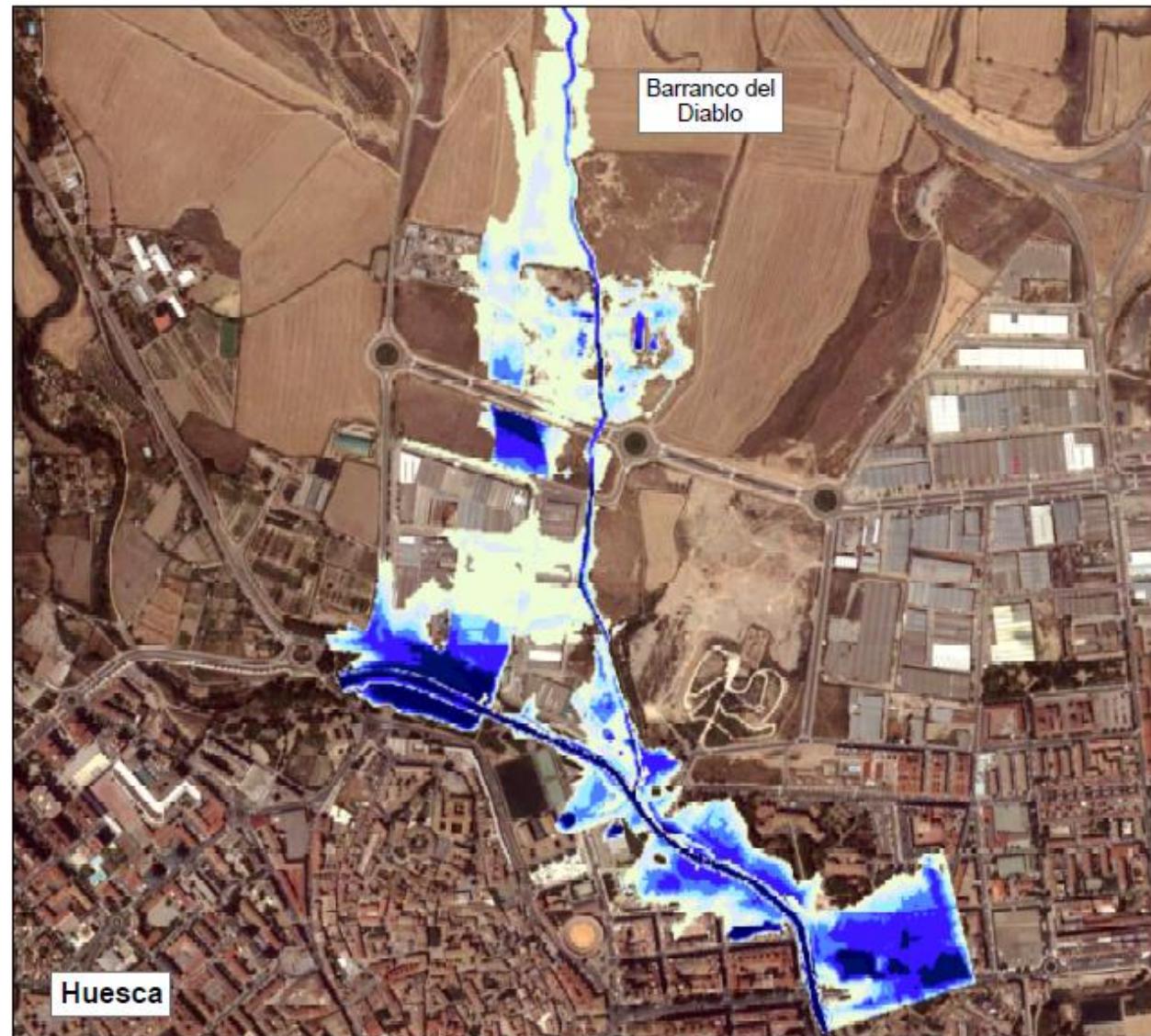
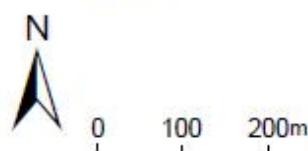
Mapa de Peligrosidad - Calados por el Río Isuela en la Ciudad de Huesca

(Cuenca del río Isuela)



Calados

- [Verde Claro] Calado menor de 0,3 metros.
- [Azul Claro] Calado en 0,3 y 0,5 metros.
- [Azul Oscuro] Calado en 0,5 y 0,7 metros.
- [Morado Oscuro] Calado en 0,7 y 1 metros.
- [Morado Oscuro] Calado en 1 y 1,5 metros.
- [Morado Oscuro] Calado en 2 y 2,5 metros.
- [Negro] Calado mayor de 2 metros.



Fuente: - Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR). - Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Autor: José Ramón Sánchez Giménez

Figura 43: Peligrosidad y calados por el río Isuela en la ciudad de Huesca

Fuente: IGEAR y CHE. Elaboración propia

3.3.4.3 Factores intensificadores del riesgo

El alto grado de antropización de estos espacios es sin lugar a dudas un factor intensificador del riesgo, ya que favorece y favorecería los posibles efectos de una inundación haciéndola todavía más grave. Es por ello, que son varios los aspectos de origen antrópico los que se podrían citar como intensificadores del riesgo de inundación.

En primer lugar, la canalización del río Isuela a su paso por la ciudad de Huesca no tiene las dimensiones suficientes para que en un episodio extraordinario de crecida el río no se desborde en el espacio urbano, como se ha visto reflejado en la cartografía de zonas inundables. Así mismo, existen un gran número de casas construidas en la llanura de inundación, las cuales presentan una mayor exposición ante una crecida, y por lo tanto, son más vulnerables a dicho riesgo.

Además, hay que señalar la existencia de infraestructura hidráulica no adecuada a las características de este cauce. Como por ejemplo la presencia de un puente con unas dimensiones de desagüe muy reducidas. Lo que ocasionaría, la acumulación de sedimentos y madera en suspensión, produciendo un efecto “tapón” en los ojos del puente. Por último, cabe destacar la elevada ocupación de la llanura de inundación por infraestructura industrial y urbana, tanto del cauce del río Isuela como del barranco del Diablo.

4. INTERPRETACIÓN, APLICACIÓN Y DISCUSIÓN

4.1 Limitaciones, condicionantes y oportunidades para rehabilitación fluvial.

Los resultados de la caracterización de la cuenca, pero esencialmente los resultados de la granulometría, morfometría de los cantos, análisis de perfiles-secciones y aplicación del IHG evidencian un mal estado hidrogeomorfológico de todos los tramos fluviales analizados. Este mal estado se confirma con los datos químicos y biológicos que se han podido recoger de otros trabajos. Ante esta situación y, según las directrices marcadas por la Directiva Europea del Agua, es imprescindible llevar a cabo una labor de rehabilitación de estos tramos del río Isuela, para mejorar el estado de sus masas de agua. Se plantea en este apartado como acometer esa rehabilitación y cuál podría ser la manera más efectiva de desarrollarla.

El deterioro de estos tramos del sistema fluvial del Isuela está muy ligado a un incremento de la exposición ante el riesgo de inundación. La disminución de este riesgo debería ser también una referencia en todo ese proceso de rehabilitación.

De esta forma, a la hora de llevar a cabo la rehabilitación del entorno fluvial en el espacio urbano, hay que tener en cuenta las limitaciones, condicionantes y oportunidades que nos encontramos. Por ello, es fundamental analizar el espacio donde se van a aplicar dichas estrategias, ya que debido a esta serie de limitaciones y condicionantes, es imposible recuperar el estado fluvial inicial a causa de los impactos generados por el espacio urbano. Del mismo modo, existen una serie de oportunidades que se deben tener en cuenta para lograr la rehabilitación fluvial, y así conseguir que el proceso tenga éxito. Por consiguiente, la combinación de los condicionantes y las oportunidades son los aspectos fundamentales y necesarios para conseguir una adecuada rehabilitación.

4.1.1 Limitaciones y condicionantes

Antes de entrar en detalle con las limitaciones y condicionantes del área de estudio, según los autores (Eden & Tunstall, 2006; Niezgoda & Johnson, 2005; Petts, 2006; Bernhardt & Palmer, 2007), existen una serie de limitaciones y condicionantes genéricos para las zonas urbanas, los cuales se citan a continuación:

- En los ríos urbanos existe una importante ocupación y limitación espacial. Por ello en la mayoría de las zonas urbanas, el espacio fluvial está intensamente delimitado por infraestructuras industriales, residenciales o de carácter público; que infieren sobre la dinámica fluvial.
- Existe una mayor prevalencia por el desarrollo económico y urbanístico frente a la conservación de los sistemas fluviales en las áreas urbanas. Los cuales están relegados a un segundo plano, debido a la falta de sensibilización y concienciación por parte de los organismos competentes.

- Por otra parte es evidente que la seguridad de las personas y la protección de los bienes e infraestructuras frente a las inundaciones supone un condicionante a cualquier tipo de actuación sobre la rehabilitación del sistema fluvial.
- Los aspectos sociales, políticos y económicos de la ciudad serán determinantes para llevar a cabo cualquier tipo de actuación en el sistema fluvial. Ya que son los elementos representativos del sistema urbano, y tienen un gran peso en la toma de decisiones.

En cuanto a las principales limitaciones que podemos destacar, la cuestión espacial es la que mayor peso tiene en el tramo analizado. La parte del río Isuela que transcurre por el espacio urbano de la ciudad de Huesca, está limitada espacialmente por las infraestructuras hidráulicas, urbanas e industriales presentes a lo largo de todo el espacio fluvial. De este modo la limitación y ocupación por el suelo urbano, deriva en diversas restricciones, como por ejemplo la necesidad de mantener una buena capacidad de evacuación del río a través del tramo urbano, o la de proteger los bienes humanos y materiales frente a los riesgos de inundación. Todo ello condiciona la eliminación de las causas que originan dicha degradación, y por lo tanto, la recuperación del sistema fluvial se ve comprometida.

Otra serie de limitaciones a destacar vienen determinadas por la falta de información y conocimiento técnico dentro del campo de la rehabilitación de los ríos urbanos, como se ha comentado anteriormente. Además, la falta de información hidrológica (ausencia de estación de aforo) para el río Isuela ha supuesto un condicionante a la hora de poder profundizar en el análisis realizado. Por otra parte, las características del propio río condicionan el mayor o menor potencial para su recuperación. Es por ello que el potencial energético, según Soar & Thorne (2001), determina las posibilidades de recuperación. Y por lo tanto, a un mayor potencial energético mayor recuperación, ya que la actividad geomorfológica del río viene determinada por dicho potencial. En este caso el río Isuela presenta una energía potencial baja, por lo que su respuesta a la recuperación será deficiente. Esto es debido a que las modificaciones impuestas sobre la morfología del cauce (modificaciones en la sección transversal y defensas adosadas a las márgenes) influyen sobre el caudal circulante, la rugosidad y la erosión.

4.1.2 Oportunidades

Con respecto a las oportunidades, destacar el hecho de que el río Isuela atraviese un espacio urbano como es el de la ciudad de Huesca. Esto, que inicialmente es más bien unas limitación y un inconveniente, puede convertirse en algo positivo para determinadas acciones. Y así hay que tratarlo al llevar a cabo diferentes estrategias de rehabilitación fluvial. Así, la unión entre el río Isuela y la ciudad de Huesca ofrece la posibilidad de mejorar la calidad del espacio urbano, fomenta el uso recreativo y escénico del medio fluvial, facilita la propuesta de acciones de educación en valores ambientales y anima a la participación ciudadana. En este sentido, dichas oportunidades son un elemento fundamental, ya que actualmente el río Isuela está relegado a un segundo plano en la ciudad de Huesca.

4.1.3 Propuestas de objetivos a conseguir con la rehabilitación fluvial

Los principales objetivos de la rehabilitación fluvial deben tener en cuenta la recuperación de la estructura y funcionalidad del sistema fluvial, tal y como está establecido en la Directiva Marco del Agua.

De este modo, el principal objetivo debe ser la recuperación de los procesos fluviales, así como el de restablecer la dinámica fluvial (Ollero, 2015). Por ello, a continuación se citan las principales propuestas para llevar a cabo dicha rehabilitación fluvial, y por consiguiente mejorar las condiciones del río Isuela.

Propuestas:

- Mejorar la conectividad lateral en aquellos tramos en donde haya restricciones por la ocupación de las márgenes por actividades y elementos antrópicos.
- Mejorar la conectividad longitudinal y transversal en aquellos tramos en donde se hayan producido discontinuidades. (Presencia de azudes, pasarelas, puentes y vados).
- Naturalización del cauce en el tramo canalizado o con defensas en las márgenes, en donde actualmente no es posible el crecimiento de ningún tipo de vegetación.
- Incremento de la heterogeneidad de los hábitats y renaturalización del cauce.
- Recuperación de las riberas y su corredor ribereño.
- Mejorar la calidad fisicoquímica y química del agua.

4.2 Bases y criterios técnicos para una rehabilitación fluvial

4.2.1 Propuestas de rehabilitación

Una vez realizado el diagnóstico de la situación del río Isuela, así como el análisis de las limitaciones, condicionantes y oportunidades, es posible comenzar a sentar las bases para determinar las estrategias y medidas más adecuadas, de cara a una posible rehabilitación fluvial. En primer lugar, a la hora de llevar cabo la correspondiente rehabilitación, es fundamental que las alternativas de restauración se centren en el origen de los problemas, y no solo en los síntomas actuales. Por otro lado si no es posible actuar sobre el origen de los problemas, la alternativa será actuar sobre los síntomas, con la finalidad de reducir o mitigar los impactos producidos.

De este modo, a continuación se presentan una serie de propuestas que podrían ser aplicadas en la zona de estudio. En cuanto a estas propuestas, varían en función del nivel de actuación ya que, algunas de ellas se deberán implementar a nivel de cuenca u otras a un nivel de tramo o de sección. Por último, cabe destacar que las alternativas formuladas a continuación se tratan únicamente de propuestas realizadas en base a un diagnóstico básico y tomando como referencia otros trabajos y diversa información bibliográfica.

Por estos motivos, las propuestas presentadas a continuación son meramente teóricas, ya que para su posible aplicación haría falta un análisis de mayor profundidad y detalle, con el fin de determinar la viabilidad e idoneidad de las mismas.

4.2.1.1 Alternativas de rehabilitación fluvial

- **Mejorar la conectividad lateral en aquellos tramos en donde haya restricciones por la ocupación de las márgenes por actividades y elementos antrópicos.**

El principal objetivo de esta propuesta es mejorar la conectividad lateral del río Isuela, para ello se llevara a cabo una recuperación del espacio fluvial, con el fin de reactivar la funcionalidad de la llanura de inundación. Esta recuperación es fundamental para que los procesos hidrológicos puedan tener lugar sin ninguna restricción y poder recuperar su funcionalidad y dinámica. (Ollero, 2015). De este modo, la recuperación de la funcionalidad de la llanura de inundación es fundamental ante un evento de crecida, ya que ayudaría a disipar el caudal circulante o disminuiría la energía potencial del mismo. Además, la acumulación de sedimentos en la llanura de inundación haría que los procesos de erosión se redujesen, haciendo que la incisión o acreción del cauce fuera menor.

La actuación para la mejora de la conectividad lateral se llevaría a cabo, mediante la desocupación de la llanura de inundación de actuaciones y elementos antrópicos. Sobre todo con la liberación del espacio por el uso agrícola y la retirada de edificaciones e infraestructuras. De este modo, la actuación iría encamina a establecer una regulación en dicho espacio y a la creación de una zona libre próxima al cauce, con el objetivo de favorecer la dinámica lateral del sistema fluvial.

En cuanto a la aplicación de esta propuesta en el área de estudio, se podría llevar a cabo en los tramos A1, y C respectivamente; ya que son los que presentan una mayor ocupación por la actividad agrícola. Además, en dichos tramos se puede observar una sobreelación del terreno, lo cual se solucionaría realizando un rebaje topográfico del mismo. Esta intervención, ayudaría a mejorar la continuidad lateral en estas zonas, y reactivaría la funcionalidad de la llanura de inundación. Así mismo, esta actuación en la sección A1 contribuiría a que en eventos de crecida, la energía liberada en estas zonas redujese el impacto aguas abajo, sobre todo en la sección B. Por otra parte, se laminarían los caudales de la crecida y se reducirían los riesgos de inundación en la ciudad de Huesca.

- **Mejorar la conectividad longitudinal y transversal en aquellos tramos en donde se hayan producido discontinuidades. (Presencia de azudes, pasarelas, puentes y vados).**

La finalidad de esta propuesta es la recuperación de la continuidad longitudinal y transversal del cauce, en aquellos tramos donde se hayan producido discontinuidades. Para conseguir este objetivo, lo que se ha planteado es la eliminación y permeabilización de los obstáculos situados en el cauce, como por ejemplo azudes, pasarelas, puentes y vados; los cuales fracturan la uniformidad e influyen en las características del cauce. La eliminación de dichos elementos repercute positivamente en la recuperación de la movilidad de sedimentos y en la creación de nuevos hábitats dentro del espacio fluvial.

Las posibles actuaciones frente a este tipo de obstáculos se basarían en dos alternativas diferentes. La primera de ellas consistiría en el redimensionamiento de los puentes y pasarelas (la segunda opción será la de su eliminación). En el caso de la segunda opción, cualquiera de los obstáculos mencionados, habría que verificar varias cuestiones relacionadas con el estado concesional o el valor histórico y patrimonial de los mismos.

Las zonas de estudio con la presencia de estos obstáculos son los tramos de Nueno, A1, y A2. En los cuales, a continuación, se valoran las opciones de redimensionar o eliminar dichos elementos. En cuanto a las pasarelas, se localizan en el tramo A2 las cuales dan acceso a las fincas colindantes al cauce. De este modo, se procedería a su eliminación ya que están originado diversos impactos sobre el río Isuela, como por ejemplo la acumulación de sedimentos, o la erosión de las márgenes del cauce. En relación con los puentes, se llevaría a cabo la eliminación del puente localizado en el tramo A2; el cual debido a su reducida capacidad de desagüe supone un grave problema frente a un evento de crecida. En el caso del puente A1, situado en las fuentes de Marcelo, se efectuaría su eliminación ya que su utilidad es mínima y meramente cumple una función estética. A su vez, con el puenteemplazado en el tramo de Nueno, se realizaría un redimensionamiento ya que su capacidad de desagüe es limitada. Con respecto al vado situado en el tramo A1, se procedería a su eliminación, debido a las reducidas dimensiones de sus ojos, y al efecto “tapón” que se produciría a causa de la acumulación de madera muerta y sedimentos. Por último, el azud localizado en el tramo A2 se eliminaría, puesto que supone un desequilibrio para el caudal y una ruptura para la continuidad longitudinal.

- **Naturalización del cauce en el tramo canalizado o con defensas en las márgenes, en donde actualmente no es posible el crecimiento de ningún tipo de vegetación.**

En cuanto a esta tercera propuesta de rehabilitación, tiene como objetivo la mejora de la conectividad lateral y naturalización del cauce. Para ello, es fundamental retirar las defensas adosadas a las márgenes del río, como son las escolleras, muros o canalizaciones. Además, esto contribuye a la recuperación de los caudales sólidos y a restaurar la morfología del cauce fluvial. Así mismo, los procesos de erosión lateral y lineal se reducen, ya que el río puede liberar la energía hacia las márgenes una vez desprotegidas.

Con respecto a las alternativas que se pueden aplicar a la hora de retirar o modificar las defensas ubicadas en el cauce, se reducen a tres posibilidades las cuales se citan a continuación: Ollero (2015)

- Eliminación de las defensas en una sola orilla.
- Desencauzamiento o eliminación de una actuación dirigida a estabilizar el cauce dentro de una forma determinada.
- Eliminación o desencauzamiento de un canal rectilíneo de anchura fija y de materiales homogéneos.

Por lo que se refiere a las defensas localizadas en el área de estudio, los tramos A2 y B son los que presentan este tipo de elementos. A su vez, el tramo A2 presenta una defensa longitudinal en la margen izquierda compuesta por escolleras.

Dicha defensa longitudinal se eliminaría en este tramo, ya que la utilidad que cumple en este espacio es innecesaria debido a la ausencia de elementos importantes a proteger. Esto permitiría mejorar el funcionamiento de la dinámica lateral del río, y permitiría al cauce que se ajustara morfológicamente.

Con respecto al tramo B, se procedería a la eliminación de la mayor parte de la canalización localizada en el tramo urbano de Huesca. En la primera parte de la canalización (B1), se llevaría a cabo la eliminación del cauce artificial asentado en hormigón, lo cual permitiría recuperar la dinámica lateral y vertical del río, así como readquirir la libertad del sistema fluvial. En cuanto a la segunda parte de la canalización (B2), la situación es más complicada ya que el objetivo de esta parte de la canalización es la de proteger el espacio urbano frente a las inundaciones. Por ello, se podrían realizar modificaciones en la canalización pero sin su eliminación. Con respecto a estas actuaciones se llevaría a cabo la eliminación del lecho de hormigón, lo que permitiría una movilidad parcial del cauce. Por otro lado, se produciría un reajuste topográfico ya que esta parte del río se encuentra descolgada de su entorno, y se encuentra en un segundo plano dentro de la ciudad. Por último, para no perder la efectividad y protección de la defensa se procedería a la eliminación de los materiales actuales (hormigón), por técnicas de bioingeniería. Como, por ejemplo, la creación de revestimientos de piedras sueltas y vegetación, o la incorporación de gaviones con vegetación.

- **Incremento de la heterogeneidad de los hábitats y renaturalización del cauce.**

Con respecto a los ríos que han sido canalizados y presentan un alto grado de inferencia antrópica, es posible llevar a cabo un proceso de regeneración fluvial. Esto permite la recreación parcial de las condiciones naturales en estos cauces, lo que proporciona un espacio de calidad al área urbana, y mejora las condiciones del sistema fluvial al recuperarse ciertos procesos más naturales. Además, la recuperación de estos espacios, posibilita la reconexión funcional de los tramos fluviales situados aguas arriba y aguas abajo.

La naturalización y recuperación del cauce se lleva a cabo mediante la aplicación de diferentes técnicas de bioingeniería. En cuanto a las medidas que se suelen aplicar, están orientadas a la recuperación morfológica del cauce y a la formación de nuevos hábitats.

De este modo, se introducen diferentes elementos como piedras, grava, maderas etc, con el objetivo de crear remansos y rápidos dentro de los límites de las defensas laterales. La incorporación de estos elementos da lugar a la aparición de nuevos hábitats, los cuales podrían ser colonizados por comunidades biológicas. Además, esta naturalización del cauce mejoría la calidad escénica y ambiental, y acrecentaría la calidad del espacio urbano en dicha área.

En cuanto a su aplicación en el área de estudio, el tramo (B) sería un espacio idóneo para llevará cabo una naturalización del cauce, ya que toda esta sección presenta una canalización con lecho de hormigón. Esta actuación, permitiría recuperar la morfología del lecho y la mejora ambiental y ecológica de dicho espacio; además posibilitaría la integración escénica del río Isuela dentro del parque de la Universidad, y mejoraría su valor paisajístico.

En relación con estos procesos de naturalización del cauce, existen varias actuaciones llevadas a cabo, como por ejemplo: la rehabilitación del río Saw Mill en Yonkers (Nueva York), o la rehabilitación del río Huécar a su paso por Cuenca. De esta manera es posible conseguir de una forma exitosa, la renaturalización del cauce y la mejora de sus condiciones ambientales y ecológicas.

- Recuperación de las riberas y su corredor ribereño.

El objetivo de esta propuesta consiste en la recuperación del corredor ribereño, mediante la restauración y mejora de la vegetación de ribera. Es fundamental llevar a cabo esta propuesta, ya que aparte de la importancia que tiene la vegetación como factor estructurante del paisaje, proporciona diversos beneficios al sistema fluvial. Como por ejemplo la regulación de la temperatura, el aporta de nutrientes y restos orgánicos, la estabilización de las márgenes del cauce o el desarrollo de la fauna acuática. En cuanto a las prácticas de mejora de la vegetación de ribera pueden responder a diversos motivos, desde actuaciones para ayudar a la recuperación de un corredor ripícola que se ha visto degradado por alguna alteración antrópica, hasta actuaciones con un mero sentido estético. (Ollero, 2015).

Por otro lado, la recuperación de la vegetación de ribera en las zonas urbanas tiene una gran importancia, debido a que otorga un papel estético y social que contribuye a la diversificación del paisaje y a la formación y aprendizaje de los valores naturales y ambientales. (Arizpe et al., 2008).

En cuanto a la aplicación de esta propuesta en el área de estudio, se podría llevar a cabo en los tramos A2 y B respectivamente. En el caso de la sección A2, la vegetación de ribera está limitada únicamente a la margen derecha del río Isuela. Además presenta un bosque de ribera degradado, el cual está conformado por una línea de árboles situada de forma paralela al cauce. De este modo se procedería a la mejora de la margen derecha, mediante la ampliación del corredor ribereño, y la recuperación espacial del mismo; lo que permitiría el desarrollo y proliferación de la vegetación de forma natural.

Con respecto a la margen izquierda, la restauración de la vegetación será más complicada, ya que aparte de las medidas señaladas anteriormente (eliminación escollera), habría que retirar un camino artificial que trascurre paralelo al río Isuela. Esto permitiría la ampliación del corredor y la colonización de este espacio por parte de la vegetación.

En relación con el tramo B, la recuperación de la vegetación de ribera se tendrá que llevar a cabo de una forma artificial o no natural, ya que en esta sección se localiza el tramo canalizado. Por ello, en este tramo en donde no es posible eliminar completamente las causas de la alteración y degradación, la recuperación de la vegetación se realizará mediante la plantación de especies autóctonas.

Además de las medidas anteriores para conseguir la recuperación de las riberas del río Isuela, es necesaria la eliminación de las *Especies Exóticas Invasoras* (EEI). Las cuales alteran la estructura y funcionamiento de los corredores fluviales, y limitan las condiciones naturales del sistema debido a su rápida expansión. De este modo las principales especies invasoras localizadas en el área de estudio son *Robinia pseudoacacia*, *Tradescantia fluminensis*, *Arundo donax*, *Cortaderia selloana*, *Acer negundo*, y *Ailanthus altissima*. En cuanto a las técnicas de eliminación y control varían en función de la especie a tratar, pero en estos casos la combinación de la acción mecánica y herbicida son las más efectivas.

- Mejora de la calidad fisicoquímica y química del agua.

La mejora de la calidad fisicoquímica y química del agua, es un requisito necesario y fundamental para poder llevar a cabo una rehabilitación fluvial exitosa. Por ello, ninguna de las propuestas anteriores podrá realizarse si los niveles de alteración de la calidad de las aguas no se reducen a unos valores ordinarios. Para conseguir esta mejora, es fundamental una adecuada gestión de las aguas de escorrentía generadas en superficies impermeables, es decir en ámbitos urbanos e industriales. Por este motivo las principales medidas para solucionar este problema, buscan reducir o eliminar la fuente contaminante.

Para conseguir eliminar el origen de la contaminación, actualmente se están llevando a cabo técnicas de drenaje sostenible, las cuales consisten en la construcción de nuevas infraestructuras (depósitos de tormentas), cambios en las costumbres (como por ejemplo, la limpieza viaria) y cambios en las prácticas tradicionales.

De este modo, en el área urbana de Huesca se pueden diferenciar dos zonas que son las que producen mayor afección al sistema fluvial. En primer lugar, todo el espacio urbano próximo al río Isuela presenta una extensa superficie impermeabilizada, la cual es lavada por la lluvia; esto produce el arrastre de los contaminantes por la escorrentía superficial, y hace que el agua vaya a parar directamente al río Isuela. Para solucionar este problema, la principal medida es la construcción de sistemas de infiltración, por ejemplo pavimentos porosos o permeables; que permitan la infiltración de parte del agua, pero que disminuyan el volumen de agua movilizada hacia la red de drenaje. En cuanto a la segunda zonas a intervenir, en los polígonos industriales de la Magantina, Sepes y Monzú. Dichas zonas industriales, producen un importante deterioro de la calidad fisicoquímica y química del agua.

Esto es debido a la escorrentía superficial, la cual arrastra los contaminantes de origen industrial y los vierte en los barrancos localizados en sus proximidades, (barranco del Diablo para el P.I Magantina, y el barranco de Alfonfiga para los P. I Sepes y Monzú) los cuales posteriormente confluyen con el río Isuela. Para solucionar este problema, se procedería a la construcción de depósitos o tanques de tormentas, los cuales permiten almacenar el agua contaminada de la escorrentía superficial. Por otro lado, sería fundamental la renovación de la red de saneamiento del área urbana e industrial de Huesca, ya que presentan un sistema de saneamiento antiguo y con signos de deterioro, lo que da lugar a roturas y filtraciones. Así mismo, otra medida importante a llevar a cabo, sería la construcción de depuradoras en los municipios de Nueno, Chimillas, Banastas, Yéqueda y Pompenillo, para el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

En cuanto a los problemas a nivel de cuenca, podemos destacar la elevada ocupación de la zona por cultivos agrarios. Esto da lugar a un elevado aporte de nitratos, lo cual modifica la calidad química del río. De este modo, aparte de la construcción de infraestructuras adecuadas y de la implementación de sistemas de control y valorización de las aguas pluviales, es importante promover y potenciar la puesta en prácticas medidas como la gestión de residuos, el control del uso de fertilizantes y plaguicidas, el control de la escorrentía en zonas urbanas e industriales, y la creación de programas de educación pública sobre la mejora de la calidad del agua.

4.2.1.2 Necesidades

Ante las diferentes propuestas para la rehabilitación fluvial en el entorno urbano citadas anteriormente, han surgido una serie de necesidades que deben ser afrontadas para que la rehabilitación de dicho espacio se consiga con ciertas garantías de éxito. De este modo, para cumplir estos requisitos es fundamental tener en cuenta las necesidades y desafíos a la hora de llevar a cabo cualquier rehabilitación fluvial en un entorno como este.

- Utilización y aplicación efectiva de los instrumentos normativos.

Dominio Público Hidráulico (DPH).

Existen una serie de leyes e instrumentos jurídicos para llevar a cabo las diversas actuaciones en el ámbito de la rehabilitación fluvial. No obstante, su aplicación o utilidad no han resultado efectivas, lo que ha originado más problemas que soluciones. El caso más claro es la figura del Dominio Público Hidráulico (DPH) (*Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas*). A partir del DPH se establece una zona en la cual se aplican una serie de regulaciones, con un claro objetivo protecciónista.

Dichas medidas son: prevenir el deterioro de los ecosistemas acuáticos, contribuyendo a su mejora, y proteger el régimen de las corrientes en avenidas, preservar su estado, favorecer la función de los terrenos colindantes con los cauces en la laminación de caudales y carga sólida transportada. Según la ley, la delimitación y deslinde supondría una base fundamental para aplicar y regular de una forma efectiva el entorno fluvial. Lo cual ayudaría a devolver espacio al río. Por otro lado, en el aspecto práctico se puede observar a lo largo del área de estudio como no se respetan las delimitaciones establecidas en el marco normativo. Esto ha dado lugar a una ocupación del espacio fluvial del río Isuela por suelo urbano, industrial y agrícola en la mayor parte de la cuenca.

Planes de Gestión del Riesgo de Inundación.

Los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación tienen como objetivo lograr una actuación coordinada de todas las administraciones públicas y la sociedad para reducir las consecuencias negativas de las inundaciones (Ministerio de Medio Ambiente). De este modo, son una importante herramienta de gestión de los sistemas fluviales en el ámbito urbano. Por ello sería fundamental la consideración de las actuaciones de rehabilitación fluvial, que ayuden a maximizar la capacidad natural reguladora de los ecosistemas. Así mismo, es necesario el desarrollo y elaboración de un plan que se ajuste a las necesidades específicas analizadas, en cada una de las zonas en riesgo del espacio urbano de Huesca.

4.2.1.3 Desafíos

Coordinación entre técnicos y las administraciones.

A la hora de llevar a cabo procesos de rehabilitación fluvial en tramos urbanos, es necesaria la coordinación y el trabajo en equipo entre los técnicos y las administraciones, ya que es un proceso de trabajo interdisciplinar y a diferentes niveles de actuación. En el caso de las administraciones públicas con algún tipo de competencia, es necesaria la coordinación a dos niveles de intervención, vertical y horizontal. En el caso de la actuación a nivel vertical, es necesaria la coordinación entre los diferentes niveles de gobierno, como son el local y autonómico. Por otro lado, las actuaciones a nivel horizontal requieren la acción de diferentes políticas como la territorial, urbanística, económica, hidrológica etc. Por otra parte, es necesario el trabajo en equipo entre expertos procedentes de diversas áreas del conocimiento (hidrología, ecología, química, urbanismo, geomorfología, economía etc) y diferentes puntos de vista, ya que un proceso de rehabilitación fluvial requiere un trabajo interdisciplinar y con una actitud integradora.

La participación pública.

Los procesos de rehabilitación fluvial requieren de una parte técnica y rigurosa (análisis, diagnóstico y aplicación), pero actualmente la participación pública o ciudadana es un elemento clave para que el proceso de rehabilitación se pueda completar de una forma exitosa.

Por esa razón, la participación ciudadana tiene que ser de calidad, informada y formada, para que se pueda tener en cuenta a la hora de llevar a cabo el proceso de rehabilitación, ya que si no hay interés por parte del ciudadano esta actuación estará abocada al fracaso. Por otro lado, el río en el medio urbano es el mejor escenario práctico para la puesta en marcha de las experiencias de la participación ciudadana. De este modo, los ciudadanos pueden materializar y compartir sus diversos puntos de vista sobre el estado actual del río, y que beneficios les ofrecería un río en mejor estado. En el caso del río Isuela, es un escenario ideal para la puesta en marcha de esta práctica, ya que la ciudad de Huesca ha crecido de “espaldas” a su río.

5. CONCLUSIONES

La influencia del área urbana de Huesca, así como los diferentes usos del suelo y actividades antropogénicas en la zona han dado lugar a una serie de modificaciones, intervenciones y afecciones sobre el medio natural, lo que ha ocasionado consecuencias directas sobre el sistema fluvial del río Isuela. Esto ha supuesto una importante degradación en la calidad ambiental y ecológica del río, y en la pérdida parcial o total de su funcionalidad hidrogeomorfológica.

De este modo, a través del estudio del caso del río Isuela se ha pretendido dar respuesta al principal objetivo planteado al inicio de este trabajo; siendo este, el de identificar los efectos negativos producidos por el área urbana de Huesca en varios tramos del río Isuela. Así como la búsqueda de diversas opciones para llevar a cabo una posible rehabilitación fluvial del río.

En cuanto a los resultados obtenidos en este trabajo, han permitido extraer las siguientes conclusiones las cuales se exponen a continuación. En relación a los resultados de los indicadores geomorfológicos aplicados en el río Isuela (granulometría, secciones, morfometría y acorazamiento de sedimentos) han permitido determinar la influencia ejercida aguas abajo por el embalse de Arguis, el cual supedita la funcionalidad geomorfológica del río. Además, el tramo canalizado que atraviesa el espacio urbano y el embalse restan naturalidad al funcionamiento de todo el sistema fluvial.

En relación al índice IHG, a nivel general se han obtenido unos resultados de calidad hidrogeomorfológicos deficientes para el río Isuela. Dichos resultados varían en cada una de las secciones analizadas en función de la proximidad al espacio urbano. Por lo que hay una clara diferencia entre los tramos que se localizan aguas arriba y aguas abajo de la ciudad de Huesca. De este modo, la calidad funcional del sistema, la calidad del cauce y la calidad de las riberas se han visto condicionadas por las actividades antrópicas de la zona.

Las diversas presiones como las fuentes puntuales y difusas de contaminación, las extracciones y modificaciones de regulación de flujo y las alteraciones morfológicas han producido afecciones sobre diversos ámbitos de la calidad del río. Por ello, las variables analizadas muestran cambios y modificaciones en aspectos hidrogeomorfológicos como, por ejemplo, la estructura y naturalidad de las riberas, la funcionalidad de la llanura de inundación, la naturalidad de las márgenes del cauce, y la movilidad lateral y anchura del río.

Además dichas presiones también influyen en la calidad química y fisicoquímica de las aguas, la cual es deficiente debido a los elevados niveles de nitrógeno. En el caso de la calidad biológica, también manifiesta unos resultados deficientes, los cuales están determinados por el deterioro de los hábitats a consecuencia de las alteraciones producidas por el resto de presiones.

Estas alteraciones no se producen en la misma medida ni en todos los tramos analizados. De este modo, las afecciones se muestran con un mayor grado de incidencia en los tramos localizados en el área urbana y después de esta, en los cuales hay una mayor ocupación del espacio fluvial. Por ello, dichas alteraciones están supeditadas por los usos del suelo urbano, agrícola e industrial, los cuales influyen directamente sobre el espacio del sistema fluvial del Isuela.

En cuanto a las posibilidades de llevar a cabo una rehabilitación fluvial, hay que tener en cuenta la imposibilidad de eliminar completamente las causas que producen la degradación, ya que debido a la presencia del espacio urbano son difícilmente reversibles. Por ello, la ocupación del espacio fluvial por las diversas infraestructuras, así como los diferentes usos del suelo condicionan la puesta en marcha de las estrategias de rehabilitación. Pero aun así, existen posibilidades de mejorar las condiciones actuales del río Isuela a su paso por la ciudad de Huesca. De este modo, sería fundamental retirar las defensas adosadas a la margen del río, como son las escolleras o la canalización. Esto contribuiría a recuperar parcialmente las condiciones del cauce, siempre y cuando no se pusieran en riesgo los bienes materiales y personales frente a los eventos de crecidas.

Por otra parte, es necesaria la integración de los conocimientos técnicos para mejorar los diagnósticos de los sistemas fluviales en los espacios urbanos, y potenciar el trabajo coordinado con las administraciones públicas. Así mismo, es fundamental la participación e implicación ciudadana en el proceso de rehabilitación, ya que son los ciudadanos los que pueden ofrecer y compartir sus diversos puntos de vista, sobre el estado actual y futuro del río, y su implicación contribuirá al éxito del proyecto rehabilitador. Más allá de las actuaciones concretas de rehabilitación fluvial, es fundamental la incorporación de los espacios fluviales dentro de las áreas urbanas, como elementos de cohesión y vertebración entre el espacio urbano y el espacio fluvial. Lo que daría lugar a un desarrollo urbano eficiente y respetuoso con el espacio fluvial.

Por último, las fuentes de alteración responsables de la degradación de los ríos en los espacios urbanos, no aparecen de forma aislada en el entorno, sino que son fruto de diversas gestiones territoriales y diversos factores (sociales, económicos, demográficos...). Por ello, una adecuada ordenación del territorio es fundamental para el desarrollo y cohesión de los espacios fluviales y urbanos, en beneficio de las condiciones naturales y ambientales de los ríos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Arizpe, D., Mendes, A., y Rabaca, J. E. (2008). Áreas de ribera sostenibles. Una guía para su gestión. Generalitat Valenciana.
- Ballarín, D., & Rodríguez, I. (2013). *Hidromorfología fluvial. Algunos apuntes aplicados a la restauración de ríos en la cuenca del Duero*. Confederación Hidrográfica del Duero (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).
- Bernhardt, E. S., & Palmer, M. A. (2007). "Restoring streams in an urbanizing world". *Freshwater Biology*, 52(4), pp. 738-751.
- Camarasa, A., Mateu, J. (2000). *Las inundaciones en España en los últimos veinte años: una perspectiva geográfica*. Madrid: Serie geográfica, Universidad de Alcalá de Henares.
- Camarasa, A.M. y Mateu, J.F. (2000). "Las inundaciones en España en los últimos veinte años: Una perspectiva geográfica". *Serie geográfica*, 9, pp. 11-16.
- CHE (2005). *Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua – Protocolos de muestreo y análisis de indicadores biológicos en la cuenca del Ebro*.
- Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza (2010). Subcuenca del Rio Isuela.
- Cuadrat, J.M. (2004). "El clima de Aragón". En Peña, J.L. y otros: Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, 2004, pp. 15-26.
- Cuchí Oterino, J.A., (2004). "La Comisión de Riegos del Sindicato del Pantano de Arguis (1933-1938)". *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, pp. 31-48.
- De la Cal, P., Pellicer, F. (2002). *Río y Ciudades, Aportaciones para la recuperación de ríos y riberas de Zaragoza*, Zaragoza, Institución «Fernando el Católico.
- del Valle Melendo, J. (1989). "El régimen pluviométrico de la Hoya de Huesca". *Lucas Mallada: revista de ciencias*, (1), pp. 167-188.
- Del Valle, J., Ollero, A., Sánchez, M., (2007). *Atlas de los ríos de Aragón*, Prames, Zaragoza,
- Eden, S., & Tunstall, S. (2006). "Ecological versus social restoration? How urban river restoration challenges but also fails to challenge the science – policy nexus in the United Kingdom". *Environment and Planning C: Government and Policy*, 24(5), pp. 661-680.
- Elosegi, A., & Sabater, S. (2012). Effects of hydromorphological impacts on river ecosystem functioning: a review and suggestions for assessing ecological impacts. *Hydrobiologia*, 712(1), pp. 129-143
- Freire, M. A., y Gutián, L. (2005). "Caracterización de la vegetación en los ambientes ribereños del curso medio del río Ulla". *Xeográfica*, (5), pp. 61-83.

Gallardo, A., Macias, S., y Toja, J. (2004). "Efectos de la descarga en la calidad del agua a lo largo de un río mediterráneo: el río Guadaira (Sevilla)". *Limnetica*, 23(1-2), pp. 65-78.

García, J.M., Beguería, S., López, J.I., Llorente, A., Seeger, M., (2001). *Los recursos hídricos superficiales del Pirineo aragonés y su evolución reciente*. Geoforma Ediciones.

García-Ruiz, J.M., Puigdefábregas, J., Creus, J. (1986). Los recursos hídricos superficiales del alto Aragón. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Colección de estudios Altoaragoneses, vol 2

González del Tánago, M., García de Jalón, D., & Román, M. (2012). "River Restoration in Spain: Theoretical and Practical Approach in the Context of the European Water Framework Directive". *Environmental Management*, 50(1), pp. 123-139.

González del Tánago, M., y García de Jalón, D. (2007). *Restauración de Ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Gurnell, A., Lee, M., & Souch, C. (2007). "Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology, Ecology and Opportunities for Change". *Geography Compass*, 1(5), pp. 1118-1137.

Harrelson, C. C., Rawlins, C. L., & Potyondy, J. P. (1994). *Stream channel reference sites: an illustrated guide to field technique*. 245, pp. 1-63.

Ibisate, A., Acín, V., Granado, D., Ballarín, D., Sáenz de Olazagoitia, A., Ollero, A., Horacio, J., Herrero, X., Mora, D., Elso, J., Rey, K. (2015). Determinación de condiciones de referencia para la restauración de la morfología fluvial en ríos de Gipuzkoa. En *II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial - RESTAURARIOS*. Pamplona, Navarra.

Lara, F., Garilleti, R., y Calleja, J. A. (2007). *La vegetación de ribera de la mitad norte española* (2a ed.). Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Larson, M. G., Booth, D. B., & Morley, S. A. (2001). Effectiveness of large woody debris in stream rehabilitation projects in urban basins. *Ecological Engineering*, 18(2), pp. 211-226.

Lassettre, N. S., & Kondolf, G. M. (2012). "Large woody debris in urban stream channels: redefining the problem". *River Research and Applications*, 28(9), pp. 1477-1487.

Magdaleno, F. (2005). *Estructura y composición de la vegetación de ribera, evolución de los bosques riparios en el Ebro medio*. CEDEX (Ministerio de Fomento – Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Magdaleno, F., y Martínez, R. (2011). Marco metodológico para la restauración fluvial en el nuevo contexto normativo y técnico., 4, pp. 25-30.

Martín Vide, J. P. (1997). *Ingeniería Fluvial*, Barcelona, Edicions UPC.

Meyer, J. L., Paul, M. J., & Taulbee, W. K. (2005). "Stream ecosystem function in urbanizing landscapes". *Journal of the North American Bentholological Society*, 24(3), pp. 602-612.

Molina, E. (1986). Excursión al cretácico superior y paleógeno del pre-pirineo oscense en el sector de Arguis. Memorias I: Jornadas paleontología, pp. 235-247.

Niezgoda, S. L., & Johnson, P. A. (2005). "Improving the Urban Stream Restoration Effort: Identifying Critical Form and Processes Relationships". *Environmental Management*, 35(5), pp. 579-592.

Olcina, J. (2004). Riesgos de inundación y Ordenación Territorial en la escala local: el papel del planeamiento urbano municipal. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante. Boletín de la A.G.E, 37, pp. 49-84.

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.

Ollero, A y Sánchez Fabre, M. (2007). "Función, problemática y restauración de ríos y riberas". *Revista de Andorra*, 7, pp. 61-82.

Ollero, A. (2009). Aplicación de índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro. Guía metodológica.

Ollero, A. (2015). *Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial. Manual para gestores. Versión 1.0*. Contrato del río Matarraña.

Ollero, A. et al. (2007): "Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales." *Geographicalia*, 52 (2007), pp. 113- 141.

Ollero, A., Ballarín, D., Díaz, E., Mora, D., Sánchez, M., Acín, V., Echeverría, M.T., Granado, D., Ibáñez, A., Sánchez, L., Sánchez, N. (2008). IHG: Un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales. *Limnetica*, 27(1), pp. 171-188.

Ollero, A., Echeverría, M.T., Sánchez Fabre, M., Auría, V., Ballarín, D. y Mora, D. (2004). "Metodología para la tipificación hidromorfológica de los cursos fluviales de Aragón en aplicación de la Directiva Marco de Aguas (2000/60/CE)". *Geographicalia*,

Ollero, A., Ibáñez, A. I., García, J. H., Ferrer i Boix, C., Martín Vide, J. P., Acín, V., Ballarín, D., Díaz, E., Granado, D., Mora, D., Sánchez, M. (2011). Indicadores geomorfológicos para el seguimiento de la restauración fluvial. En *Congreso Ibérico de Restauración Fluvial RESTAURARÍOS*. León.

Ortega, J.A., Razola, L. & Garzón, G. 2014, "Recent human impacts and change in dynamics and morphology of ephemeral rivers". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, pp. 713-730.

Oscoz, J. (2009). Guía de campo: Macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro.

Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Calyton, S., Dahm, C.N., Follstad Shah, J., Galat, D.L., Loss, S.G., Goodwin, P., Hart, D.D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G.M., Lave, R., Meyer, J.L., O'Donnell, T.K., Pagano, L., Sudduth, E. (2005). "Standards for ecologically successful river restoration". *Journal of Applied Ecology*, 42(2), pp. 208-217.

- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J. L., & Vivas, S. (2002). "El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat". *Limnetica*, 21(3-4), pp. 115-133.
- Petts, J. (2006). "Managing public engagement to optimize learning: Reflections from urban river restoration". *Human Ecology Review*, 13(2), pp. 172-181.
- Piñeiro Rebolo, R. (2016). *La rehabilitación fluvial en el ámbito urbano estudio de caso: El río Sar*, Proyecto de Fin de Master, Universidad de Zaragoza, Escuela Politécnica Superior.
- Puente, J. (2004) *Guía de la flora de la depresión del Ebro*, 2^a Edición, Zaragoza, Consejo de protección de la naturaleza de Aragón.
- Puyeta Moncayola, B. (2015). *Evaluación de la calidad del agua de una cuenca fluvial debido a un aumento en la afluencia del turismo. Caso del río Isuela, Huesca*, Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Zaragoza, Escuela Politécnica Superior.
- Rice Roger, J., (1983). *Fundamentos de geomorfología*, Madrid, Paraninfo.
- Roldán Pérez, G., (1999). "Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua". *Revista Académica Colombiana de Ciencia*, 23(88), pp. 376-386.
- Sánchez Fabre, M., Ollero, A. y del Valle, J. (2004). "La red fluvial en Aragón". En Peña, J.L. y otros: Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, 2004, pp. 55-70.
- Senciales González, J. (1999). *Redes fluviales*. 1st ed, Málaga, Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga.
- SNCZI. (2011). *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Valencia, J.L. (2007). *Estudio estadístico de la calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río Ebro*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Werrity, A. (1997). "Short-term changes in channel stability". En *Applied fluvial geomorphology for river engineering and management*, Wiley, pp. 47-65.
- Werrity, A. (1997). Short-term changes in channel stability. En *Applied fluvial geomorphology for river engineering and management* pp. 47-65.
- Wolman, M. G., & Leopold, L. B. (1957). "River flood plains: some observations on their formation". *USGS Professional Paper*, 282C, pp. 1-30.

Recursos Electrónicos

Atlas climático de Aragón. [En línea]. Gobierno de Aragón, 2018. [Fecha de consulta: 2 de abril de 2018]. Disponible en: <http://anciles.aragon.es/AtlasClimatico/tools.htm>

Centro de Descargas del CNIG (IGN). [En línea]. Instituto Geográfico Nacional, 2018. [Fecha de consulta: 14 de febrero de 2018]. Disponible en: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

IBERPIX. Ortofotos y cartografía raster. [En línea]. Instituto Geográfico Nacional, 2017. [Fecha de consulta: 18 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://www.ign.es/iberpix2/visor/>

Plan urbanístico de Huesca. [En línea]. Ayuntamiento de Huesca, 2018. [Fecha de consulta: 3 de marzo de 2018]. Disponible en:

<http://www.huesca.es/areas/urbanismo/planeamiento-urbanistico/plan-general-de-ordenacion-urbana/>

Registro de Aguas. [En línea]. Confederación Hidrográfica del Ebro, 2018. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://iber.chebro.es/webche/raCriterios.aspx>

Sistema de Información del Anuario de Aforos. [En línea]. SIG MAGRAMA, 2017. [Fecha de consulta: 21 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://sig.magrama.es/aforos/>

Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) - Gestión de los riesgos de inundación - Agua [En línea]. SIG MAGRAMA, 2018. [Fecha de consulta: 22 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/mapa-peligrosidad-riesgo-inundacion/>

