

Trabajo Fin de Grado

Aplicación del Protocolo de Caracterización
Hidromorfológica de masas de agua al curso
medio-bajo del río Arba de Biel

Implementation of a characterization
hydromorphological protocol of water bodies to
the middle-lower Arba de Biel river

Autor

Javier Viar Tobajas

Director

Alfredo Ollero Ojeda

Facultad de Filosofía y Letras
2017/2018

Resumen:

La aplicación de un protocolo de caracterización hidromorfológica como este es un aspecto fundamental de cara a una gestión y ordenación del territorio adecuada y sostenible. El objetivo es el de conseguir un equilibrio entre la población que habita un territorio y la utilización de los recursos hídricos, sin llegar a un deterioro de los ríos. Por ello la importancia de este protocolo oficial, que permite realizar un control sobre las masas de agua, detectando las posibles alteraciones antrópicas y tratando de poner soluciones para llegar a un equilibrio. Para ello se estudia a lo largo del trabajo el régimen de caudales, la continuidad del río y las condiciones morfológicas del cauce de la masa 301, correspondiente al río Arba de Biel en su tramo desde la localidad del El Frago hasta su desembocadura en el Arba de Luesia en Ejea de los Caballeros. Acciones antrópicas como los dragados, extracciones de áridos y los desvíos y canalizaciones del cauce en el pasado han conducido al deterioro de esta masa.

Palabras Clave: hidromorfología, masa de agua, cuenca vertiente, presiones, impactos, espacio fluvial.

Abstract:

The implementation of a characterization hydromorphological protocol like this is a fundamental aspect in the face of proper and sustainable management and planning of territory. The objective is to strike a balance between the population which inhabit in a territory and the application of water resources, and not deteriorate rivers. For this reason the significance of this official protocol, that allows to perform a control on water bodies, detecting potential anthropogenic alterations and trying to put solutions to strike a balance. Thus it is studied along the project the flow regime, continuity of the river and morphologic conditions of the watercourse of the mass 301, relevant to Arba de Biel river in its section from the village of El Frago to its mouth in the Arba de Luesia river in Ejea de los Caballeros. Anthropogenic actions such as dredging, aggregates extraction and deviations and channellings of the river course in the past have led to the damage of this mass.

Keywords: hydromorphology, water body, river basin, pressures, impacts, room of river.

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. JUSTIFICACIÓN	5
1.2. ÁREA DE ESTUDIO	6
1.3. OBJETIVOS	9
2. METODOLOGÍA	9
3. RESULTADOS	16
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO	16
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CONTINUIDAD DEL RÍO	39
3.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES MORFOLÓGICAS DEL CAUCE.....	46
3.3.1. VARIACIÓN DE ANCHURA Y PROFUNDIDAD	51
3.3.2. ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO DEL RÍO.....	69
3.3.3. ESTRUCTURA DE LA ZONA RIBEREÑA	78
4. DISCUSIÓN	83
5. CONCLUSIONES	84
6. BIBLIOGRAFÍA	85
7. ANEXO	88

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales causas que impide que las masas de agua fluviales alcancen un buen estado son las presiones hidromorfológicas. Para ello se establecen una serie de métodos que valoren y caractericen la hidromorfología de las diferentes masas de agua (Aparicio et al, 2015).

El Protocolo de Caracterización Hidromorfológica de masas de agua (PHMF en adelante) es un elemento fundamental cuyo objetivo no es otro que cumplir con lo establecido en la Directiva 2000/60/CE, Directiva Marco del Agua (DMA). Esta directiva nace como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión del agua en la Unión Europea (Dir. 2000/60 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000). El objetivo fundamental de este protocolo es la obtención de una serie de variables hidromorfológicas que sirvan para caracterizar las diferentes masas de agua de categoría ríos (PHMF, 2017).

La Directiva Marco del Agua es la encargada de proponer a los Estados miembros de la Unión Europea que pongan en marcha programas con el fin de realizar un seguimiento de las aguas. Este protocolo ha de aplicarse a todas las masas de agua, y debe ser repetido como mínimo una vez cada ciclo del Plan Hidrológico de Cuenca. Según la Directiva Marco del Agua, los controles operativos no deben superar los 6 años sin realizarse (Durán et al., 2013).

La masa de agua escogida para la aplicación del protocolo en este trabajo es la masa 103, cuya denominación es: *Río Arba de Biel desde el barranco de Cuarzo hasta su desembocadura en el Arba de Luesia*.

1.1. JUSTIFICACIÓN

El interés en la aplicación de este protocolo de caracterización hidromorfológica surge tras la realización de mis prácticas de grado en la empresa consultora TYPESA. Uno de los trabajos de la empresa era el de aplicar este protocolo a diversos ríos de la cuenca del Ebro dentro del ciclo de planificación hidrológica actual (2015-2021). El protocolo ha sido aplicado todavía a pocas masas de agua, de manera que tanto la administración pública como las empresas consultoras que colaboran en ello tienen mucho interés en su aplicación con detalle por parte de técnicos y colaboradores con una buena preparación en hidrología y geomorfología fluvial. Desarrollar un trabajo fin de grado en Geografía y Ordenación del Territorio en la aplicación de este protocolo, completando unas prácticas anteriores, ha sido considerado muy positivamente tanto desde una perspectiva académica como técnica.

La elección de esta masa de agua, correspondiente al río Arba de Biel es debido a mi interés personal en este río como habitante de su cuenca. Es un río que pertenece a la cuenca hidrográfica de los Arbas, una de las menos conocidas y estudiadas de la margen izquierda del río Ebro, y que alberga ríos como el Arba de Biel, con una gran calidad hidromorfológica. Además, un fin de la aplicación del protocolo a esta masa es que esta información pueda ser utilizada de cara a estudios en un futuro.

El río Arba de Biel carece, además, de estudios científicos recientes, posteriores al trabajo de Ibarra (1985) en su curso medio y bajo. La masa de agua es muy interesante por sus características hidromorfológicas y por sus presiones e impactos, resultando representativa de otros muchos cursos fluviales de los somontanos pirenaicos.

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

La masa de agua *Río Arba de Biel desde el barranco de Cuarzo hasta su desembocadura en el Arba de Luesia*, con código Europeo *ES091MSPF103* (código 103 para la Confederación Hidrográfica del Ebro) está situada en la Cuenca Hidrográfica del Ebro, discurriendo por la Comunidad Autónoma de Aragón, más concretamente por los municipios de: El Frago, Luna, Erla y Ejea de los Caballeros (todos ellos en la Comarca de Cinco Villas). Si bien es cierto que la cuenca vertiente a dicha masa de agua abarca un mayor número de municipios: Agüero, Ardisa, Biel, Castejón de Valdejasa, Ejea de los Caballeros, El Frago, Erla, Las Pedrosas, Luna, Murillo de Gállego, Orés, Sierra de Luna, Valpalmas y Zuera. Esta masa de agua contiene el río Arba del Biel desde la localidad de El Frago hasta Ejea de los Caballeros, además de los barrancos de Cuarzo y Barluenga, los cuales se han excluido para la aplicación del protocolo debido a su escasa entidad.

Esta masa es la continuación de la masa *Río Arba de Biel desde su nacimiento hasta el barranco de Cuarzo*, con código Europeo *ES091MSPF304*. La división de este río en estas dos masas viene definido por el tipo de masa, siendo en el caso de la masa 304 un río de montaña mediterránea calcárea y en el caso de la masa 103 un río mineralizado de baja montaña mediterránea. Esta división viene marcada por el ministerio (MAPAMA).

El río Arba de Biel nace en la Sierra de Santo Domingo y fluye hacia el sur, discurriendo por un valle encajado hasta la localidad de Luna, a partir de donde se abre a un valle mucho más amplio. Es en la localidad de Erla donde gira hacia el oeste siguiendo por la llanura de las Cinco Villas hasta la localidad de Ejea de los Caballeros. Tras su paso por esta localidad desemboca en el río Arba de Luesia, el cual más adelante se une al río Riguel para desembocar finalmente en el Ebro a la altura de Gallur (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2008).

La red hidrográfica actual en esta cuenca vertiente está condicionada por las escasas precipitaciones y la intensa evaporación. Exceptuando el río principal (Arba de Biel), el resto de la red fluvial tiene un recorrido escaso y sus cauces carecen de agua la mayor parte del año (Ibarra, 1985).

Se puede destacar la presencia de dos espacios protegidos por la Red Natura 2000, los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) de *Sierras de Santo domingo y Caballera y Río Arba de Biel*. El primero carece de importancia dentro de la cuenca estudiada, pero el segundo (*Río Arba de Biel*), con una extensión de 2,98 km², destaca por proteger parte de la masa estudiada.

DATOS IDENTIFICATIVOS DE LA MASA DE AGUA	
Nombre de la masa de agua	Río Arba de Biel desde el barranco de Cuarzo hasta su desembocadura en el Arba de Luesia
Código CH Ebro	103
Código Europeo	ES091MSPF103
Tipo	Ríos mineralizados de baja montaña mediterránea
Longitud	47,82 Km
Naturaleza	Natural
Número de cauces	1
Masas de aguas subterráneas	Arbas 091.053
Red Natura 2000	Sierras de Santo Domingo y Caballera (LIC) Río Arba de Biel (LIC)

Figura 1. Datos significativos de la masa de agua. Elaboración propia.

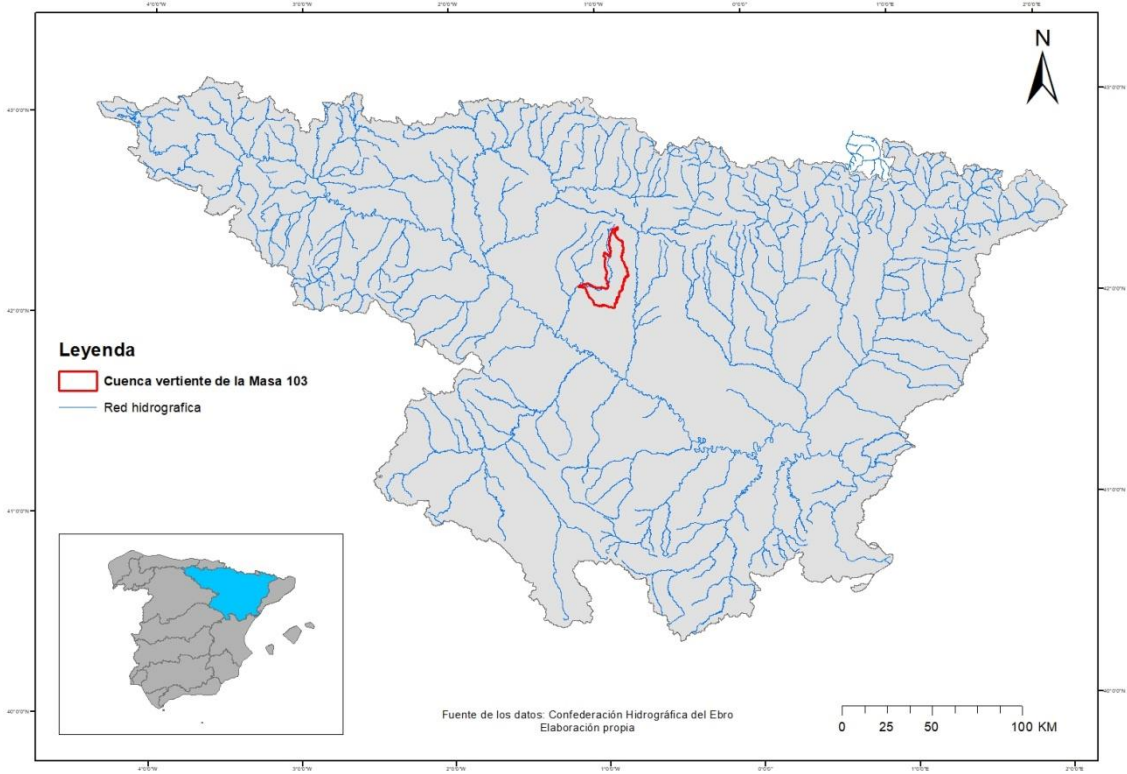


Figura 2. Localización de la cuenca vertiente de la masa 103 dentro de la Cuenca Hidrográfica del Ebro. Elaboración propia.

CUENCA VERTIENTE DE LA MASA 103

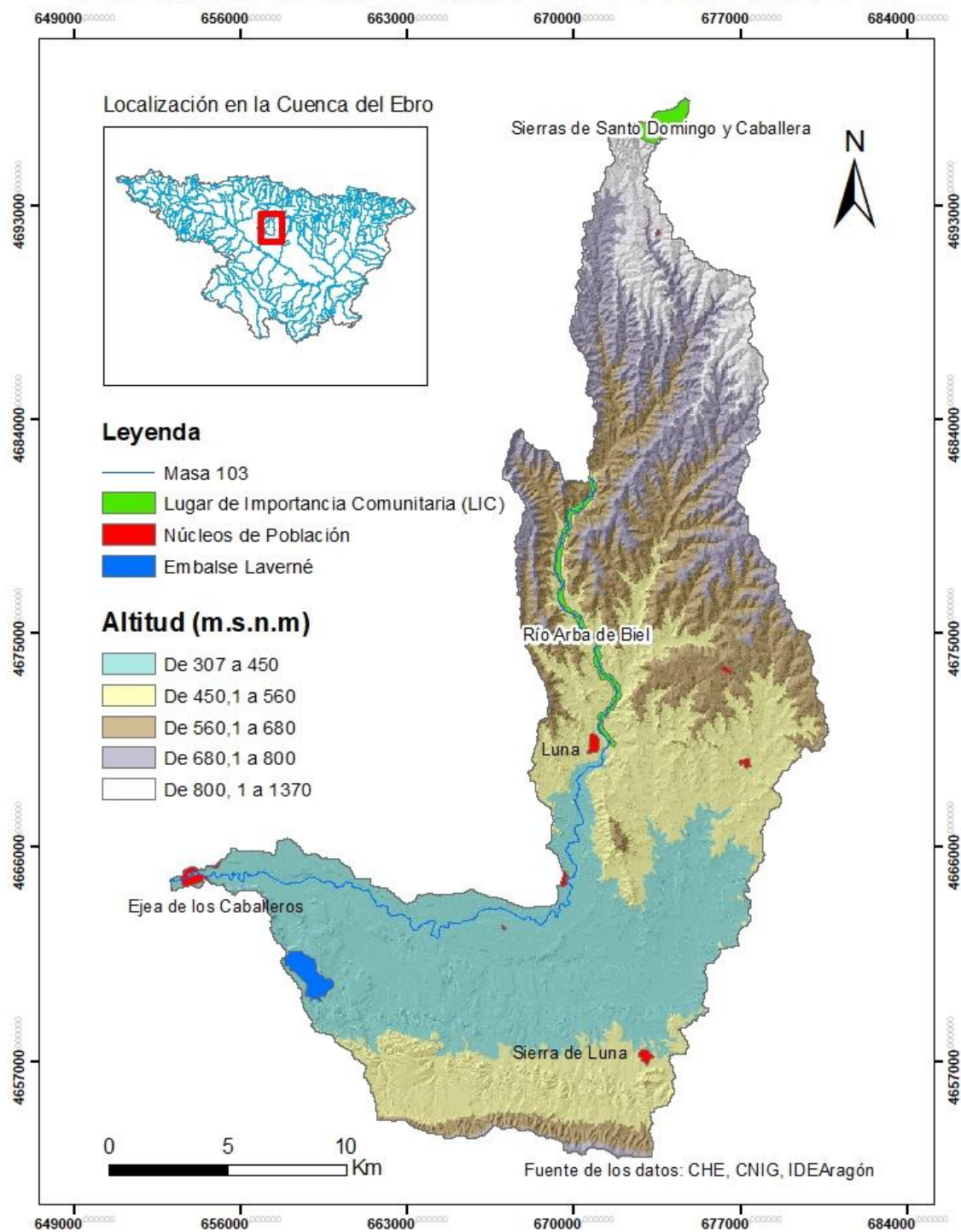


Figura 3. Cuenca vertiente de la masa 103. Elaboración propia.

1.3. OBJETIVOS

Este estudio presenta un objetivo principal y varios secundarios:

-Objetivo principal:

- Aplicar en la masa *ES091103, río Arba de Biel desde el barranco de Cuarzo hasta su desembocadura en el Arba de Luesia*, el Protocolo de Caracterización Hidromorfológica de Masas de Agua de la Categoría Ríos.

La aplicación de este protocolo lleva consigo una serie de objetivos secundarios.

-Objetivos secundarios:

- Obtener una serie de variables hidromorfológicas que permitan caracterizar la masa.
- Dividir la masa de agua en tramos hidromorfológicos atendiendo a las diferentes realidades geomorfológicas que presente la masa en cuestión.
- Establecer unos subtramos de muestreo (uno por cada tramo hidromorfológico) que permitan caracterizar detalladamente las variables morfológicas del cauce.
- Evaluar la calidad hidromorfológica de la masa de agua y proponer actuaciones para la mejora de su calidad integrando los resultados del diagnóstico en la problemática ambiental y la ordenación territorial de la comarca.

2. METODOLOGÍA

La metodología que se ha llevado a cabo para la realización de este trabajo es la que viene marcada por el PHMF (2017), aunque cabe destacar algunas modificaciones que se comentarán en este apartado.

Se han llevado a cabo tres fases bien diferenciadas:

Fase 1: Trabajo de gabinete

En primer lugar se realizó un exhaustivo trabajo de gabinete con el objetivo de conseguir los datos necesarios sobre la masa de agua y de esta manera comenzar con la caracterización del régimen hidrológico. La mayor parte del trabajo se ha realizado con el software ArcGis 10.5, Sistema de Información Geográfica que ha permitido tratar y mostrar la información espacial georreferenciada que se ha utilizado en este trabajo.

- 1) Obtención de los datos principales correspondientes a la masa 103:

Los primeros datos descargados para la realización de este trabajo fueron las masas de agua y sus respectivas cuencas vertiente georreferenciadas, disponibles en la página de

descargas del MAPAMA. Mediante ArcGis 10.5 se realizó su recorte para quedarnos tan solo con la masa 103 y su respectiva cuenca vertiente.

Además, se descargan otros datos como los embalses o estaciones de aforo, disponibles en la página de descargas de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

De la página de descargas IDE Aragón se obtienen los núcleos de población, utilizados para su representación cartográfica a lo largo de los mapas del trabajo. También se han obtenido de esta página las ortofotos del vuelo americano de 1956.

Finalmente, del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), se han obtenido las ortofotos del vuelo PNOA 2015 y el Modelo Digital del Terreno (MDT05) de elevada precisión, cuyos píxeles son de 5 metros x 5 metros.

2) Caracterización del régimen hidrológico:

-En primer lugar se realiza el **análisis climático**, el cual no aparece reflejado en el protocolo, pero en este trabajo ha sido oportuno realizar una breve caracterización climática. Para ello se realizan tres cartografías, con datos descargados del IDE Aragón y provenientes del Atlas Climático de Aragón (2007). Por otro lado se realizan dos gráficos de precipitación media anual (Luna y Biel), cuyos datos son obtenidos del Instituto Aragonés de Estadística (IAEST).

-En cuanto al **análisis de los caudales**, se ha estudiado tanto el régimen natural como el régimen real.

Los **valores en régimen natural** son datos teóricos basados en el régimen natural del punto de cierre de la masa de agua (PHMF, 2017) a partir de los datos disponibles en el Sistema Integrado de Modelización Precipitación Aportación (SIMPA) y en el Mapa de Caudales Máximos en Régimen Natural (CAUMAX). Los valores que se obtienen indican el caudal que llevaría el río si no hubiera sufrido ningún tipo de alteración. “El SIMPA constituye una modelación distribuida de los componentes básicos del ciclo hidrológico con periodo temporal mensual y simula el proceso de generación de la escorrentía a partir de información meteorológica y de las características de las cuencas” (Estrela y Quintas, 1996).

Los **valores en régimen real** son descargados del Sistema de Información del Anuario de Aforos, disponible en el MAPAMA. Son datos pertenecientes a la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA). Se han descargado los datos de la estación de aforo 9187 (Arba de Biel en Erla) y la estación de aforo 9291 (Barranco de la Barluenga en Luna). Este barranco es un canal de retorno de agua de los regadíos, que devuelve al río parte del agua sobrante que se había extraído anteriormente del mismo. Para la obtención de los datos de caudal medio mensual y anual se ha realizado una suma entre los caudales medios mensuales de ambas estaciones de aforo. Una vez con estos datos se han

realizado distintas gráficas con Microsoft Excel (variación estacional de caudal, irregularidad interanual).

En cuanto a los valores de caudal máximo instantáneo, se recogen los datos oficiales de caudal para cada periodo de retorno establecidos por el CAUMAX, y además se han calculado los periodos de retorno con el método estadístico de Gumbel (1958).

A la hora de establecer las veces que ha sido superada la máxima crecida ordinaria se han contabilizado las ocasiones que se ha superado dicho caudal en el registro de caudal máximo instantáneo mensual, disponible en la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA), accesible mediante el MAPAMA.

- 3) Conexión con aguas subterráneas: se ha utilizado la información disponible en la página de descargas de la Confederación Hidrográfica del Ebro, gracias a la cual obtenemos la información necesaria de cada masa de agua subterránea.
- 4) Posibles fuentes de alteración del régimen hidrológico:
 - a) En un primer lugar se han analizado las posibles alteraciones del régimen de caudales líquidos. Para ello se han descargado los datos mostrados en la figura 4, tal y como establece el PHMF (2017).

Denominación	Fuente
Aportación anual en régimen natural 1980/81-2005/06 (ApRN hm3)	SIMPA (CEDEX)
Sumatorio del volumen útil de todas las grandes presas (ΣVoIE hm3)	Inventario de presas y embalses (MAPAMA)
Superficie de la cuenca vertiente (Sc Km2)	Capa en formato <i>shp</i> disponible en la base de datos del geoportal del MAPAMA
Superficie regulada por grandes presas (Sc_regulada Km2)	Calculada mediante la capa <i>shp</i> con la superficie de la cuenca
Caudal máximo instantáneo para periodo de retorno de 10 años (QT10RN m3/s)	CAUMAX
Sumatorio de los caudales nominales de las centrales hidroeléctricas (ΣQ(CENTRALES) m3/s)	Base de datos del geoportal MAPAMA (sin datos para esta cuenca)
Caudal medio anual en régimen natural de la serie 1980/81-2005/06 (QmRN m3/s)	SIMPA
Superficie impermeabilizada en la cuenca (Sc_imperm Km2)	Capa en formato <i>shp</i> con los núcleos de población existentes en la cuenca vertiente, disponible en el IDEAragón
Sumatorio del vertido anual autorizado por las EDAR (ΣVertido An. Aut. EDAR de > 10.000 habitantes-eq hm3)	Base de datos asociada al geoportal MAPAMA (sin datos para esta cuenca)
Superficie de regadío en la cuenca (Sc_regadío km2)	Capa en formato <i>shp</i> de superficie de regadío, disponible en la página de descargas de la Confederación Hidrográfica del Ebro

Figura 4. Fuentes de descarga de los datos necesarios para la caracterización de las posibles alteraciones del régimen de caudales líquidos. Elaboración propia.

Una vez obtenidos estos datos, se realiza el cálculo de los Indicadores de Alteración del Régimen Hidrológico (ICAH), los cuales son propuestos por el PHMF (2017) y cuyos cálculos aparecen en el apartado correspondiente (figura 28).

- b) Por otra parte se analizan las posibles fuentes de alteración del régimen de caudales sólidos. Para ello se usan diferentes indicadores extraídos de diversas fuentes:

Indicador	Fuente
Grado de erosión de la cuenca	Mapa de erosión del suelo de Aragón
Grado de influencia de incendios forestales	Mapa de frecuencias de incendios forestales (2001 a 2014) por término municipal, disponible en el MAPAMA
% de la superficie de la cuenca cuyos aportes quedan retenidos por las grandes presas	Cálculo mediante SIG, utilizando la capa <i>shp</i> previamente descargada de la cuenca vertiente de la masa
Desconexión en laderas y afluentes aguas arriba de la masa de agua	Uso de fotografías aéreas y capa en formato <i>shp</i> de carreteras de Aragón, disponible en el IDEAragón
Existencia de retenciones en la cuenca de la masa de agua	Uso de fotografías aéreas y capa en formato <i>shp</i> de carreteras de Aragón, disponible en el IDEAragón (posterior trabajo de campo)
Existencia de extracción de áridos o dragados en la cuenca aguas arriba de la masa de agua	Utilización de la capa en formato <i>shp</i> sobre extracciones de áridos, disponible en la página de descargas de la Confederación Hidrográfica del Ebro (posterior trabajo de campo)
Existencia de extracción de áridos o dragados en la cuenca propia de la masa de agua	Utilización de la capa en formato <i>shp</i> sobre extracciones de áridos, disponible en la página de descargas de la Confederación Hidrográfica del Ebro (posterior trabajo de campo)
Azudes y obstáculos transversales	Utilización de la capa en formato <i>shp</i> en la que se localizan los azudes existentes, disponible en la página de descargas de la Confederación Hidrográfica del Ebro (posterior trabajo de campo)

Figura 5. Fuentes de descarga de los datos necesarios para la caracterización de las posibles alteraciones del régimen de caudales sólidos. Elaboración propia.

Fase 2: Trabajo de campo

Una vez recopilada toda la serie de datos, se comienza a preparar diversas salidas de campo.

-En primer lugar se realiza la primera salida de campo, con el fin de recorrer la masa, aprovechando las carreteras A-125 (Ejea-Erla) y A-1103 (Erla-Biel) que discurren paralelas al río Arba de Biel. Esta salida de campo sirve para corroborar algunos datos trabajados en gabinete (como el caso de la retención de sedimentos que no llegan al cauce por la existencia de vías de comunicación) y visitar las zonas de extracción de áridos para valorar su afección. También se visitan los azudes que encontramos en el río.

Este recorrido longitudinal de la cuenca permite una aproximación para la delimitación de los tramos hidromorfológicos en los que quedará dividida la masa.

Fase 3: Trabajo de campo y gabinete conjuntamente

Una vez con el trabajo anterior realizado, se comienza una fase de gran importancia, en la cual se combina en trabajo en gabinete y el trabajo en campo.

-En primer lugar se procede al establecimiento de los tramos hidromorfológicos, los cuales nos van a servir para caracterizar las condiciones morfológicas de la masa de agua. Tras la salida de campo anteriormente comentada, se realiza la división en gabinete. El criterio utilizado para esta división ha sido geomorfológico, con la ayuda de la ortofoto actual, el MDT05 que nos permite observar las formas del relieve y el trabajo de campo.

-El tipo de fondo de valle de cada tramo se obtiene tras la realización de un perfil transversal del valle utilizando el software ArcGis 10.5. Tan solo se necesita el MDT05 y la herramienta 3D Analyst.

-Con la ortofoto actual (2015) y la ortofoto del año 1956, se digitaliza con ArcGis 10.5 el recorrido del río en estos dos años, con el objetivo de realizar comparaciones.

-El tipo morfológico se obtiene aplicando el índice de sinuosidad para cada tramo escogido. Los tramos para calcular este índice de sinuosidad se han escogido siguiendo las líneas “rectas” que hace el fondo de valle, quedando así 8 tramos, 4 para cada tramo hidromorfológico. El índice de sinuosidad se calcula dividiendo la longitud del eje central del cauce entre la longitud en línea recta del fondo de valle (PHMF, 2017). Una vez calculado para los años 1956 y 2015 se comparan.

Además se sigue también la clasificación de Rosgen (1996), explicada en la siguiente figura:

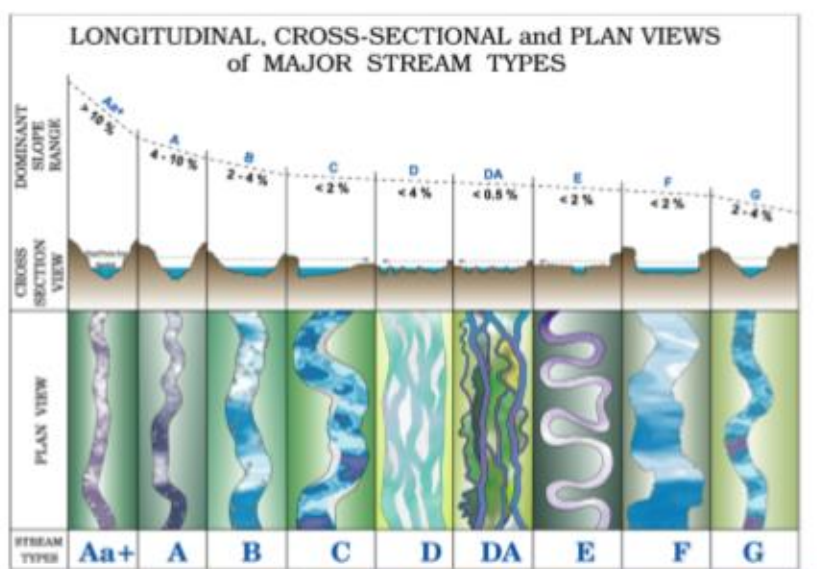


Figura 6. Tipos morfológicos en planta según Rosgen (1996). Fuente: Rosgen (1996)

-Los cambios morfológicos en las últimas décadas se obtienen tras la comparación de los cauces y ortofotos de la masa del año 1956 y 2015.

-Los tramos modificados por acciones directas en el cauce se han obtenido tras una salida de campo por el entorno de Ejea de los Caballeros, ya que se trata de la zona donde se agrupan las canalizaciones del río. Por otro lado se han utilizado las fotos aéreas para detectar las zonas con posibles desvíos del cauce. Estos últimos datos son estimados mediante la foto aérea, ya que no se nos permitió acceder a los datos de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

-Delimitación del espacio fluvial:

Según marca el PHMF (2017) para su delimitación hay que tener en cuenta:

- Dominio Público Hidráulico (DPH): se corresponde con el espacio que ocuparía el caudal de la máxima crecida ordinaria. Como para el caso de esta masa de agua no existe la capa de DPH, se ha delimitado la franja de cauce activo mediante fotointerpretación, basándose en la foto aérea del año 2015.
- Zona de Policía: franja de 100 metros a cada lado del DPH. Se realiza un *buffer* de 100 metros a cada lado del DPH estimado con el software ArcGis 10.5.
- Zona de Flujo Preferente: se corresponde con el espacio de la crecida con periodo de retorno de 10 años. Como tampoco existe lo que se ha hecho es adaptar la anchura del DPH y Zona de Policía a la geomorfología del terreno.

Una vez con estos datos se delimita el espacio o territorio fluvial de nuestra masa de agua. Sobre todo para su delimitación se utiliza el MDT05 con las formas del relieve (especialmente útil para el tramo hidromorfológico 1), las fotos aéreas de 2015 y 1956, así como el cauce del río en esos dos años.

-Para cuantificar los elementos impermeables existentes en el espacio fluvial se ha utilizado la capa de superficies en formato *shp* de las poblaciones, ya utilizada anteriormente, disponible del IDE Aragón. Como el trabajo en este punto era de mayor escala, se han fotointerpretado también los elementos impermeables que no aparecían en esa capa (edificaciones de menor entidad, granjas, etc.)

-Mediante el trabajo de campo realizado y con la ortofoto actual se han elegido los dos subtramos de muestreo, uno para cada tramo hidromorfológico. Los subtramos de muestreo en ríos de pequeña magnitud han de contar con una longitud del orden de 10 veces la anchura del cauce activo, ya que esta longitud asegura su idoneidad en los tramos altos, medios y bajos de los ríos y ante diferentes formas de planta, sinuosidad, etc. (Magdaleno y Martínez, 2014). Además ha de cumplir las siguientes condiciones:

- Ser representativo de las condiciones físicas y ambientales de la masa de agua.
- Integrador de los diferentes tipos de hábitats existentes en la masa de agua.
- Vinculado a las unidades hidromorfológicas existentes.

-Una vez elegidos los dos subtramos de muestreo se realizan dos salidas de campo para cada subtramo: una primera salida de campo para rellenar la ficha de campo establecida por el PHMF (2017), y una segunda salida con el fin de establecer el caudal con el cual el río se desbordaría, es decir, establecer el nivel bankful o caudal geomórfico. Para calcular este caudal se utiliza la fórmula de Manning (1891):

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

El objetivo de esta fórmula es la obtención del caudal bankful (Q) y para ello se ha de conocer el área de la sección (A), el radio hidráulico (R), la pendiente del cauce (S) y la rugosidad del cauce (n). Para el cálculo del área de la sección se utilizó el material cedido por el profesor Alfredo Ollero (Departamento de Geografía y ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza), quien además colaboró en las mediciones.

-Para la realización del apartado de la continuidad del río se usa la información de los azudes presentes en la masa. Existe información disponible tanto del MAPAMA como de la Confederación Hidrográfica del Ebro. La metodología utilizada no es la marcada por el protocolo en este apartado, en este caso se ha realizado una caracterización más cualitativa, sin obtener ningún índice.

-Finalmente, una vez con todos los datos obtenidos y el protocolo aplicado, se realizó la discusión y las conclusiones pertinentes.

3. RESULTADOS

Tal y como dicta el PHMF (2017), el objetivo es la obtención de unas variables hidromorfológicas que caractericen la masa de agua en cuestión, estudiando y caracterizando tres apartados: régimen hidrológico, continuidad del río y las condiciones morfológicas.

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO

Se estudia a continuación el régimen hidrológico de caudales líquidos, la conexión de aguas subterráneas y las posibles alteraciones del régimen de caudales, tanto líquidos como sólidos.

1. Régimen Hidrológico de Caudales Líquidos

Para el estudio del régimen hidrológico de caudales líquidos se hace alusión al río Arba de Biel y su cuenca vertiente al completo, ya que hacerlo solo de la masa de estudio carecería de sentido.

En la figura 7 se puede ver la cuenca hidrográfica del río Arba de Biel, y aparecen señaladas las distintas estaciones de aforo existentes (Biel, Erla y Barranco de la Barluenga).

CUENCA HIDROGRÁFICA DEL ARBA DE BIEL

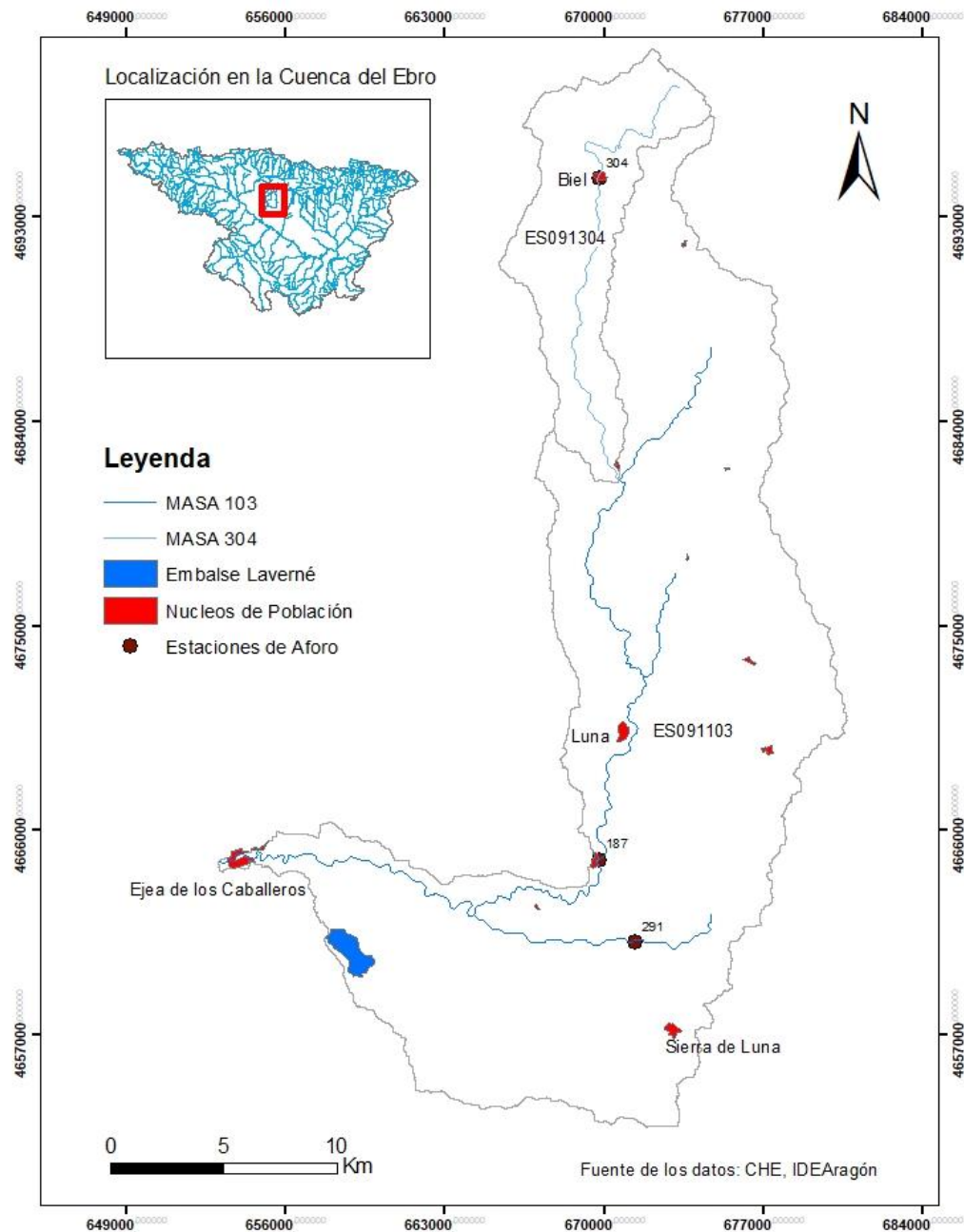


Figura 7. Cuenca hidrográfica del río Arba de Biel y sus estaciones de aforo. Elaboración propia.

Según la clasificación que establece el PHMF (2017), el Arba de Biel se caracteriza por ser un **río permanente**, ya que de manera habitual presenta agua fluyendo durante toda la parte del año. A continuación se ha realizado un análisis climático de la cuenca para posteriormente realizar un estudio de caudales.

-Análisis climático:

El tipo de clima dominante en la cuenca hidrográfica del río Arba de Biel es un clima mediterráneo continental, aunque en la zona de su cabecera el clima es de transición mediterráneo-oceánico (Atlas Climático de Aragón, 2007). A continuación se caracterizan ambos tipos de clima, haciendo alusión a las precipitaciones debido a su mayor importancia en el régimen de caudales.

- Clima Mediterráneo Continental: clima caracterizado por unas precipitaciones que superan los 400 mm anuales, con máximos pluviométricos en otoño y en primavera (Atlas Climático de Aragón, 2007). Ocupa la mayor parte de la cuenca hidrográfica del río Arba de Biel.
- Clima de Transición Mediterráneo-Oceánico: se caracteriza por unas precipitaciones abundantes (en torno a 1000 mm anuales) y que en la zona más al oeste de Aragón, como es en el caso de nuestra zona de estudio tenga mayor influencia oceánica y por tanto aparezcan las precipitaciones invernales (Atlas Climático de Aragón, 2007).

Precipitaciones:

En las figuras 8 y 9, aparece la precipitación media mensual del periodo 1981-2010 (datos extraídos del IAEST). Se han elegido los datos las localidades de Biel y Luna, ya que pueden ser representativas de gran parte de la cuenca.

En Biel se produce una elevada precipitación media anual (904,6 mm), mientras que en Luna el descenso es significativo (415 mm), viéndose todavía más acusado cuanto más nos acercamos hacia Ejea de los Caballeros.

En la figura 8 se aprecia el clima de transición al cual se hacía alusión anteriormente, con un repunte de las precipitaciones en los meses invernales, además de la abundante precipitación en otoño y primavera.

Por otra parte en la figura 9 se aprecia ese clima mediterráneo continental con una precipitación media anual en torno a 400 mm anuales y máximos otoñales.

Además, en la figura 10 se muestra el mapa de precipitación media anual (periodo 1971-2000) para la cuenca del río Arba de Biel. Se observa claramente como la precipitación disminuye contra más nos dirigimos hacia el sur.

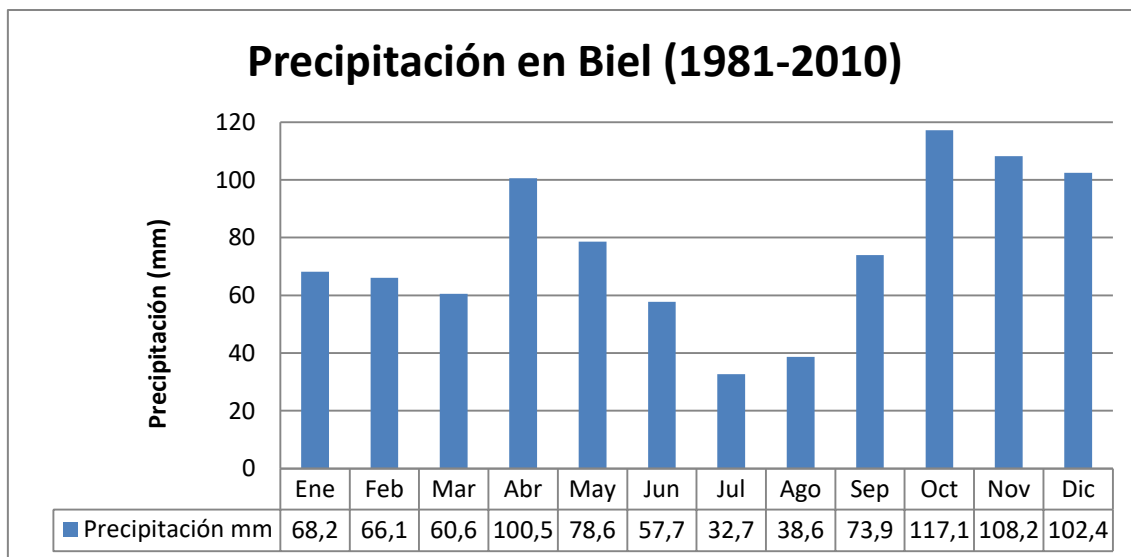


Figura 8. Precipitación media mensual en Biel en el periodo 1981-2010. Fuente: IAEST. Datos Climatológicos.
Elaboración propia.

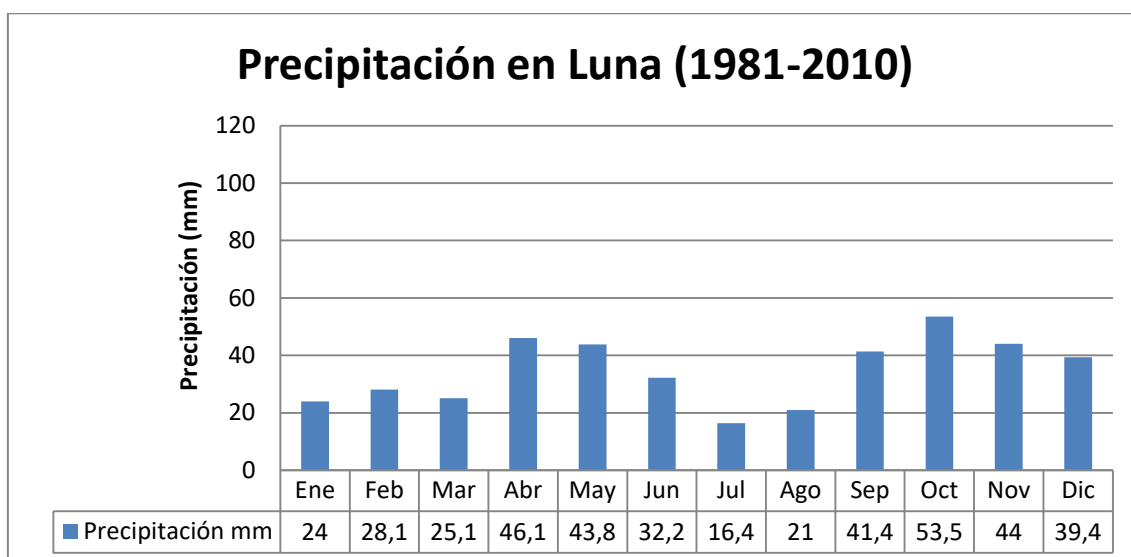


Figura 9. Precipitación media mensual en Luna en el periodo 1981-2010. Fuente: IAEST. Datos Climatológicos.
Elaboración propia.

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

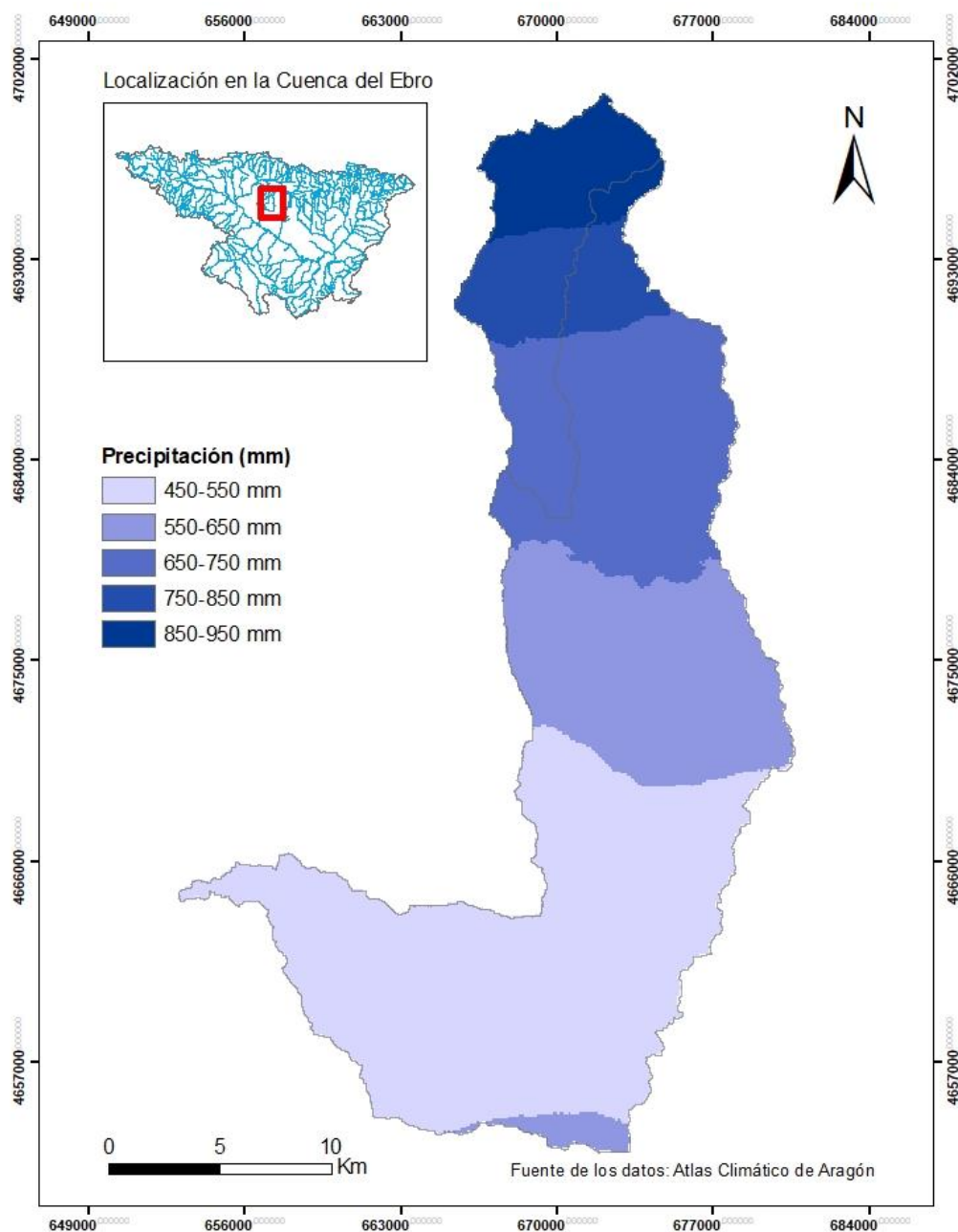


Figura 10. Precipitación media anual (1971-2000) en la cuenca hidrográfica del río Arba del Biel. Elaboración propia.

Temperaturas:

En cuanto a la temperatura, destaca su importancia debido a que influye directamente en el proceso de evapotranspiración. Se puede hablar de dos zonas diferenciadas, una zona norte con temperaturas más frescas, en torno a los 10 y 12 °C anuales, y el resto de la cuenca (parte sur)

con temperaturas medias anuales superiores a 12 °C. En general, exceptuando las zonas más elevadas de la Sierra de Santo Domingo, se caracteriza por unas temperaturas propias del clima mediterráneo continental.

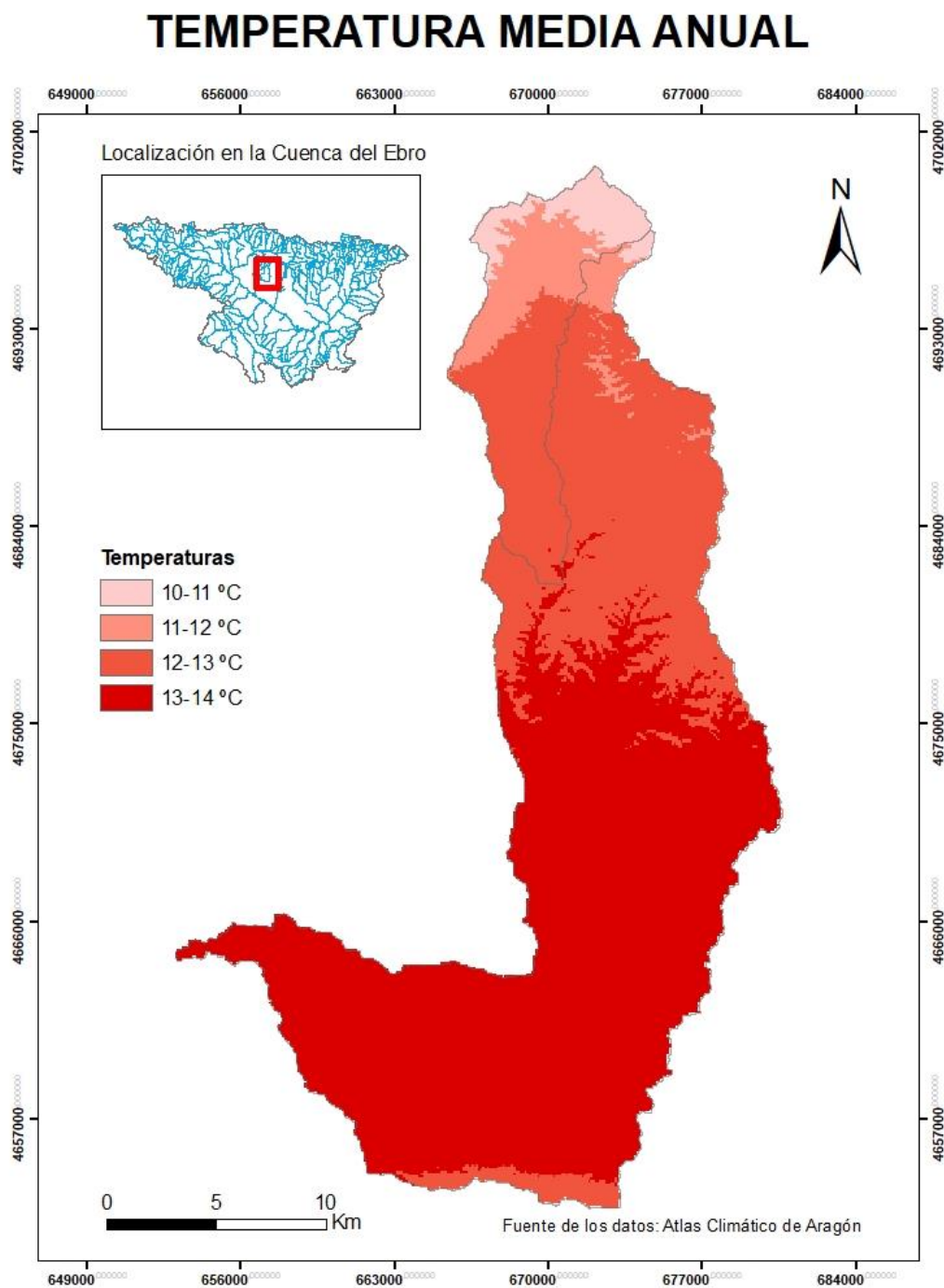


Figura 11. Temperatura media anual (1971-2000) en la cuenca hidrográfica del río Arba del Biel. Elaboración propia.

Balance Hídrico:

El balance hídrico puede definirse como la diferencia entre la evapotranspiración y las precipitaciones, obteniendo un balance hídrico deficitario cuando el resultado de esta diferencia es negativo y positivo cuando el resultado de la diferencia es positivo.

Por lo general en Aragón el balance hídrico es negativo, lo cual explica la sequedad de la comunidad. El balance hídrico positivo se encuentra en zonas húmedas pirenaicas. El valor medio en Aragón es de -565,8 mm anuales (Atlas Climático de Aragón, 2007).

En el caso de la cuenca del río Arba de Biel el balance hídrico es generalmente negativo, destacando la zona sur entre Luna y Ejea de los Caballeros donde encontramos valores similares a la media aragonesa. Conforme avanzamos hacia el norte, el balance hídrico continúa siendo negativo, pero con valores más alejados a esta media y por lo tanto zonas más húmedas. Finalmente, encontrarnos la zona de cabecera con valores cercanos a 0 e incluso en las cotas más elevadas con valores de balance hídrico positivo (azul más oscuro en la figura 12).

BALANCE HÍDRICO

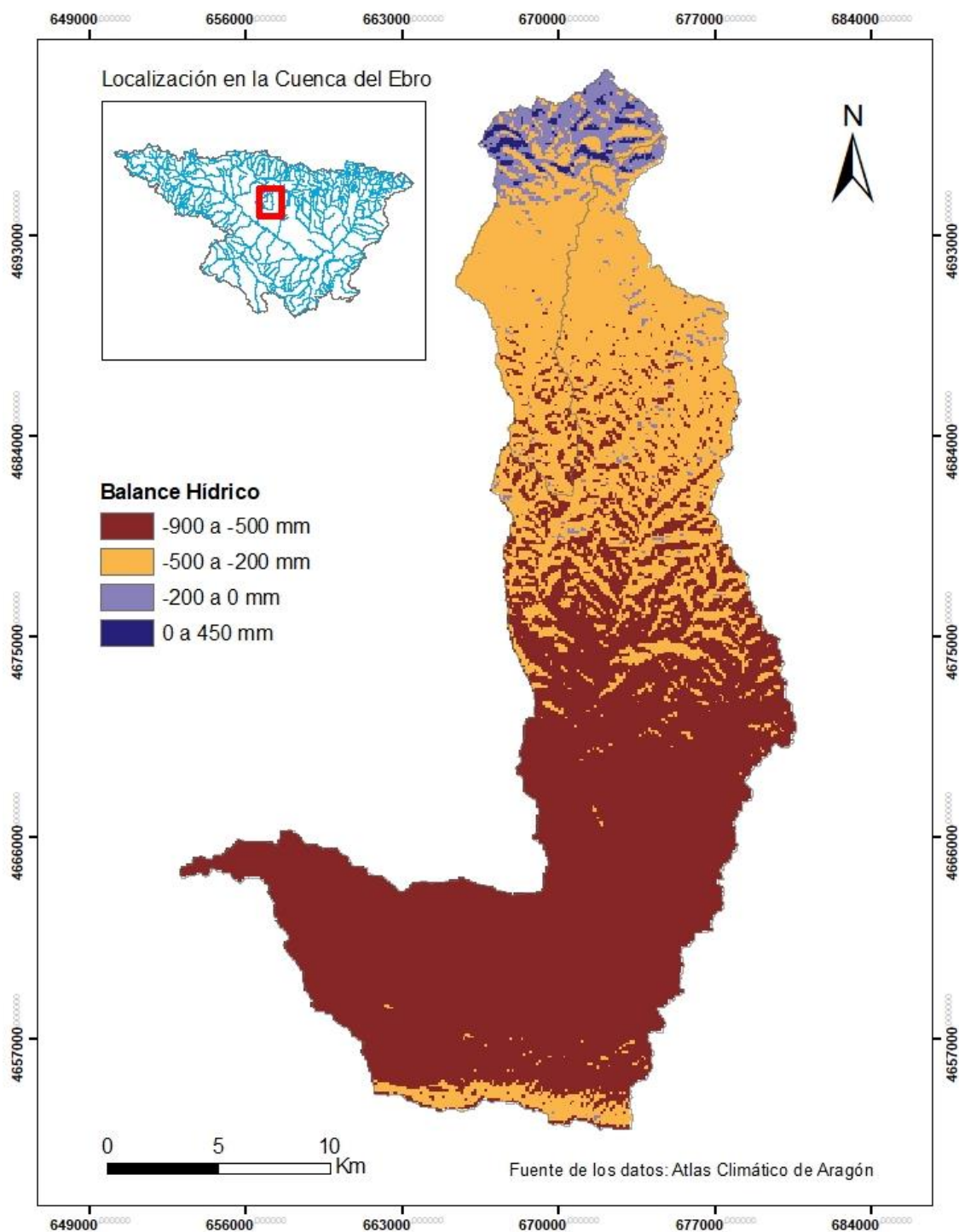


Figura 12. Balance Hídrico (1971-2000) en la cuenca hidrográfica del río Arba del Biel. Elaboración propia.

-Estudio de caudales

A continuación se ha realizado la caracterización del régimen de caudales líquidos. Para ello se han utilizado los valores en régimen natural y los valores en régimen real, ya comentados anteriormente en el apartado de metodología.

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES LÍQUIDOS	
<i>Régimen de la temporalidad del flujo</i>	<i>Río permanente</i>
<i>Régimen según el origen de las aportaciones</i>	<i>Pluvial mediterráneo (pequeña influencia pluvio-nival en cabecera)</i>

Figura 13. Regímenes de la masa de agua. Elaboración propia.

DATOS DE LA ESTACIÓN DE AFOROS				
	<i>Código</i>	<i>Nombre</i>	<i>Periodo Disponible</i>	<i>Periodo de los últimos años desde 1980</i>
<i>Río Arba de Biel en Erla</i>	9187	Arba de Biel en Erla	1978/79-2013/14	1980/81-2013/14
<i>Barranco de la Barluenga en Luna</i>	9291	La Barluenga en Luna	2005/06-2013/14	2005/06-2013/14

Figura 14. Estaciones de aforo en la cuenca vertiente a la masa de agua. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia.



Figura 15. Estación de aforo de Erla. Elaboración propia



Figura 16. Estación de aforo en el barranco de la Barluenga. Fuente: MAPAMA.

A continuación se muestran los datos obtenidos tanto en régimen natural como en régimen real.

CAUDALES MEDIOS ANUALES (m^3/s)			
<i>Caudal medio anual (m^3/s) para el periodo 1940/41-2005/06 (SIMPA)</i>	<i>Caudal medio anual (m^3/s) para el periodo 1980/81-2005/06 (SIMPA)</i>	<i>Caudal medio anual (m^3/s) para el periodo disponible</i>	<i>Caudal medio anual (m^3/s) desde 1980/81</i>
3,33	3,16	0,70	0,70
APORTACIÓN (hm^3)			
<i>Aportación (hm^3) para el periodo 1940/41-2005/06 (SIMPA)</i>	<i>Aportación (hm^3) para el periodo 1980/81-2005/06 (SIMPA)</i>	<i>Aportación (hm^3) para el periodo disponible</i>	<i>Aportación (hm^3) desde 1980/81</i>
40	38	22,48	22,35

Figura 17. Caudales medios anuales y aportaciones según SIMPA y los aforos (MAPAMA). Elaboración propia.

CAUDALES MEDIOS MENSUALES							
Mes	Caudales mensuales para el periodo 1940/41-2005/06 (SIMPA)	medios (m ³ /s)	Caudales mensuales para el periodo 1980/81-2005/06 (SIMPA)	medios (m ³ /s)	Caudales mensuales para el periodo disponible en la estación de aforos (m ³ /s)	medios para el	Caudales mensuales en los últimos años comunes a partir de 1980/1981 (m ³ /s) (Aforos)
Octubre		3		4		0,48	0,49
Noviembre		3		4		0,49	0,51
Diciembre		4		5		0,73	0,77
Enero		6		6		0,95	0,92
Febrero		5		4		1,06	1,02
Marzo		6		4		0,90	0,90
Abril		6		5		1,11	1,13
Mayo		4		4		0,80	0,82
Junio		2		1		0,69	0,68
Julio		0		0		0,41	0,42
Agosto		0		0		0,43	0,44
Septiembre		1		1		0,35	0,36
Media		3,33		3,16		0,70	0,70
Comparaciones	Cociente entre Qm serie corta / serie larga		0,949		Cociente entre Qm serie corta / serie larga		1
			Coeficiente entre Qm serie corta Real/ R Natural (Qm SIMPA corta)		0,221		

Figura 18. Caudales medios mensuales por periodos según SIMPA y los datos de los aforos (MAPAMA), además de comparaciones entre ambos. Elaboración propia.

Destaca cómo disminuye el caudal en régimen real respecto al régimen natural, debido en gran medida a la extracción de caudal para los regadíos de la zona mediante los diferentes azudes que encontramos en la masa de agua. La aportación queda reducida prácticamente a la mitad (figura 17).

En el caso de los caudales en régimen real la diferencia es mínima, ya que el periodo disponible y el periodo desde los años 80 varían tan solo en unos pocos años, como se observa en la figura 18.

Para analizar el comportamiento hidrológico se ha escogido tan solo la estación de aforo de Erla, por lo que los datos varían respecto a la anterior tabla.

-Caudal específico:

El caudal específico es la cantidad de agua que discurre por un río en un lugar y periodo de tiempo determinado, puesto en relación con la superficie de la cuenca. En el caso de la estación de aforo de Erla el periodo de tiempo es desde 1978/79 hasta el 2013/2014. En este caso la superficie de la cuenca aguas arriba de la estación de aforo es de 336 km² de un total de unos 510 km². Por lo tanto en este caso el caudal específico es de 1,73 l/sg/km².

-Irregularidad interanual:

El módulo es la cantidad de agua que llevaría el río si todos los días circulase el mismo caudal, es decir, el caudal medio anual desde que se tienen datos (en este caso el periodo es 1978/79-2013/14). El módulo para el río Arba de Biel en la estación de aforo de Erla es de 0,58 m³/sg.

Como se puede observar en la figura 19, el caudal medio anual presenta grandes variaciones, típico de un río mediterráneo como este. Podemos ver años donde se supera con creces este módulo y años en los que se sitúa muy por debajo. El año hidrológico de mayor caudal fue el 1987/88, en el cual se registró un caudal medio de 1,68 m³/sg. Por otro lado el año hidrológico de menor caudal fue el 1989/90 con 0,04 m³/sg. Destaca la proximidad de estos años, lo que nos hace recalcar el carácter mediterráneo del Arba de Biel, cómo en tan solo unos pocos años puede haber variaciones de caudal muy marcadas.

El coeficiente de irregularidad resulta de dividir el año de mayor caudal y el de menor caudal. El resultado es de 42, lo que nos permite hablar de una irregularidad interanual muy elevada.

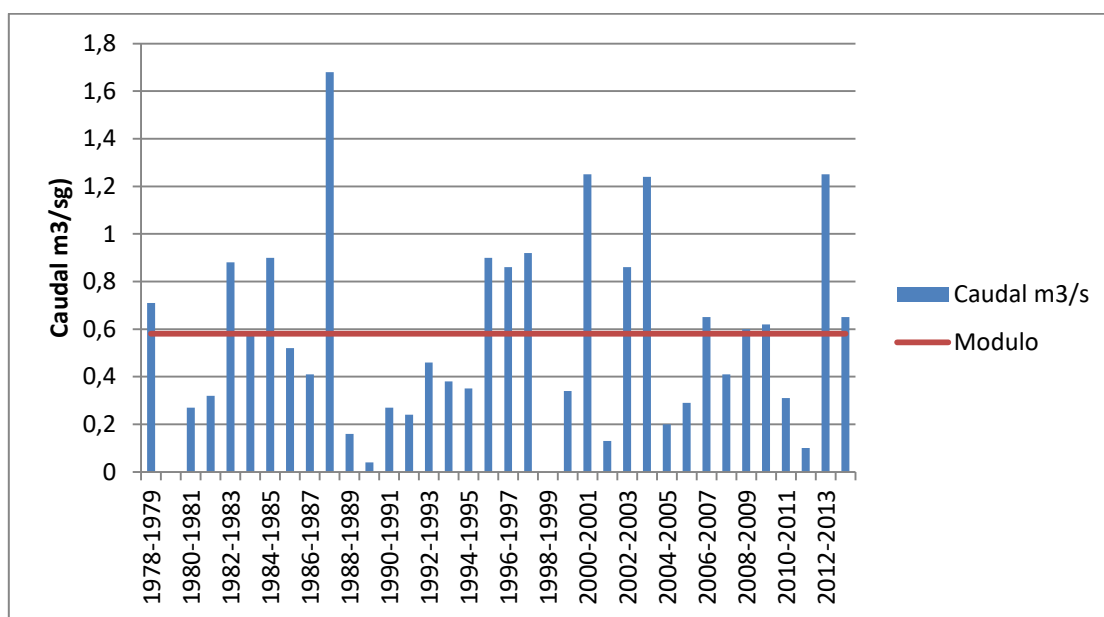


Figura 19. Caudal medio anual del río Arba de Biel en la estación de aforo de Erla (periodo 1978/79-2013/14).

Fuente: Sistema de Información del Anuario de Aforos, MAPAMA. Elaboración propia.

-Variación estacional de caudal:

Define el régimen de los ríos. Es un reflejo directo de las variaciones climáticas influenciadas por otros factores como el relieve, suelo...

Tal y como se aprecia en la figura 21, destacan dos meses por encima del resto con mayor caudal, como son febrero y abril, es decir, a finales del invierno y primavera, mientras que es los meses de verano donde tenemos el menor caudal. Si nos fijamos en las figuras 8 y 9, vemos como los meses de verano son los de menor precipitación y los de invierno y primavera los de mayor.

De acuerdo al origen de las aportaciones, el régimen fluvial de este río es **Pluvial Mediterráneo** (figura 20), si bien es cierto que puede tener un régimen Pluvio-Nival en su cabecera en los meses de invierno (Atlas Nacional de España).

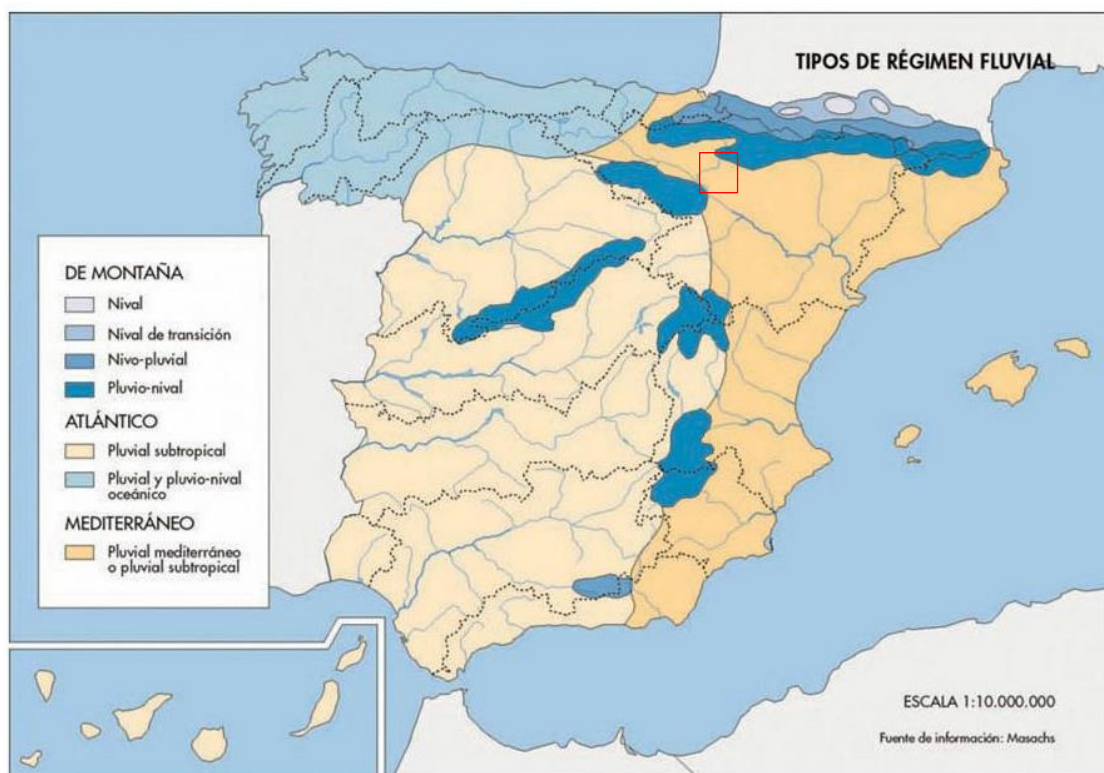


Figura 20. Tipos de Régimen Fluvial. Fuente: Atlas Nacional de España

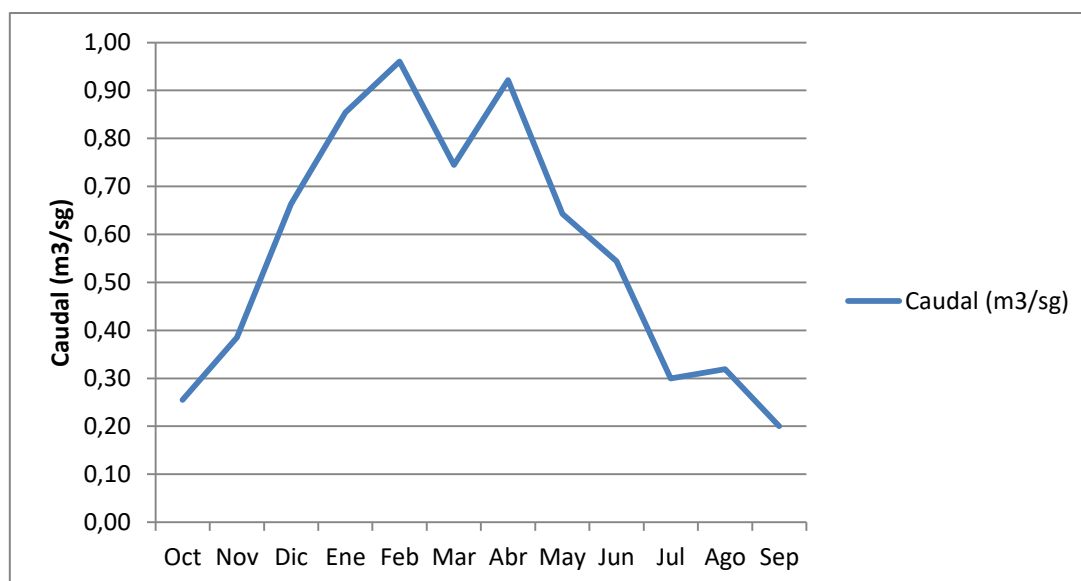


Figura 21. Caudal medio mensual del río Arba de Biel en la estación de aforo de Erla (periodo 1978/79-203/14).

Fuente: Sistema de Información del Anuario de Aforos, MAPAMA. Elaboración propia.

-Caudales Máximos:

Se han extraído los valores de caudal máximo instantáneo en régimen natural del CAUMAX y los caudales máximos instantáneos registrados desde que se tienen datos. La máxima crecida ordinaria ($34 \text{ m}^3/\text{sg}$) permite delimitar el Dominio Público Hidráulico (DPH) mientras que la crecida con periodo de retorno de 10 años ($56 \text{ m}^3/\text{sg}$) nos delimita la Zona de Flujo Preferente. Además se han estimado los caudales máximos instantáneos con el método de Gumbel (1958).

CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS EN RÉGIMEN NATURAL en m^3/s (CAUMAX)							
Máxima crecida ordinaria (CAUMAX)	$T = 2 \text{ años}$	$T = 5 \text{ años}$	$T = 10 \text{ años}$	$T = 25 \text{ años}$	$T = 100 \text{ años}$	$T = 500 \text{ años}$	
Caudal	T						
34	3,5	25	43	56	74	106	145

Figura 22. Caudales máximos instantáneos en régimen natural según los datos de CAUMAX.

CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS EN RÉGIMEN NATURAL en m^3/s (MÉTODO DE GUMBEL)							
Máxima crecida ordinaria	$T = 2 \text{ años}$	$T = 5 \text{ años}$	$T = 10 \text{ años}$	$T = 25 \text{ años}$	$T = 100 \text{ años}$	$T = 500 \text{ años}$	
Caudal	T						
36	3,5	22,3	44,7	59,5	78,3	106	137,8

Figura 23. Caudales máximos instantáneos en régimen natural calculados con el método de Gumbel (1958).

Elaboración propia.

Apenas existen diferencias entre los datos del CAUMAX y los datos de elaboración propia calculados con el método de Gumbel.

La crecida con mayor caudal fue la registrada en agosto de 1992, con un caudal punta de 81,13 m³/sg, cuyo periodo de retorno es de 30 años. La máxima crecida ordinaria (34 m³/sg) ha sido superada 16 veces a lo largo del periodo comprendido entre los años hidrológicos 1980/81-2013/14. El mes que registra más crecidas superando el valor de la máxima crecida ordinaria es junio.

<i>CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS REGISTRADOS (AFOROS)</i>	
<i>Caudal máximo instantáneo registrado (m³/s) para el periodo disponible</i>	81,13 Fecha: 08/08/1992
<i>Caudal máximo instantáneo registrado (m³/s) para los últimos años comunes a partir de 1980/81</i>	81,13 Fecha: 08/08/1992
<i>Número de veces que se ha superado la máxima crecida ordinaria desde octubre de 1980</i>	16 Periodo:1980/81-2013/14

Figura 24. Caudales máximos instantáneos registrados. Elaboración propia.

2. Conexión con Masas de Agua Subterránea

Tal y como establece el PHMF (2017), se trata de un indicador adicional al de régimen de caudales. Se evalúa la conexión de la masa de agua superficial con la masa de agua subterránea. A lo largo de la cuenca vertiente de la masa 103 encontramos dos masas de agua subterránea (figura 25):

-Santo Domingo-Guara (33): de escasa importancia en la cuenca, por lo que no se va a tener en cuenta para caracterizar la conexión, ya que no presenta alteraciones en la masa 103.

-Arbas (53): esta masa de agua subterránea se sitúa en la zona más llana de la masa 103, siguiendo al río desde su giro en Erla hacia el oeste hasta su desembocadura en el Arba de Luesia en Ejea de los Caballeros. Es un acuífero constituido por depósitos aluviales y glaciocuaternarios (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2008). En el caso de la cuenca vertiente de la masa 103 el acuífero solo está constituido por los depósitos aluviales, formados por gravas, arcillas y arenas.

La **conexión** entre la masa de agua 103 y la masa de agua subterránea 53 (Arbas) es **temporal**, es decir el régimen de caudales puede verse influido temporalmente por aportes de aguas subterráneas. La **distribución espacial** es **difusa**, con una **continuidad directa** y un **sentido ganador**, es decir, el río gana a lo largo de un tramo concreto, sin que exista desconexión hidráulica entre el río y el acuífero (PHMF, 2017).

Tal y como se señala en la figura 26, la alteración del régimen hidrológico por parte de las aguas subterráneas es baja, pudiéndose llegar a producir alguna pequeña alteración sin relevancia en algún periodo concreto del año.

MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

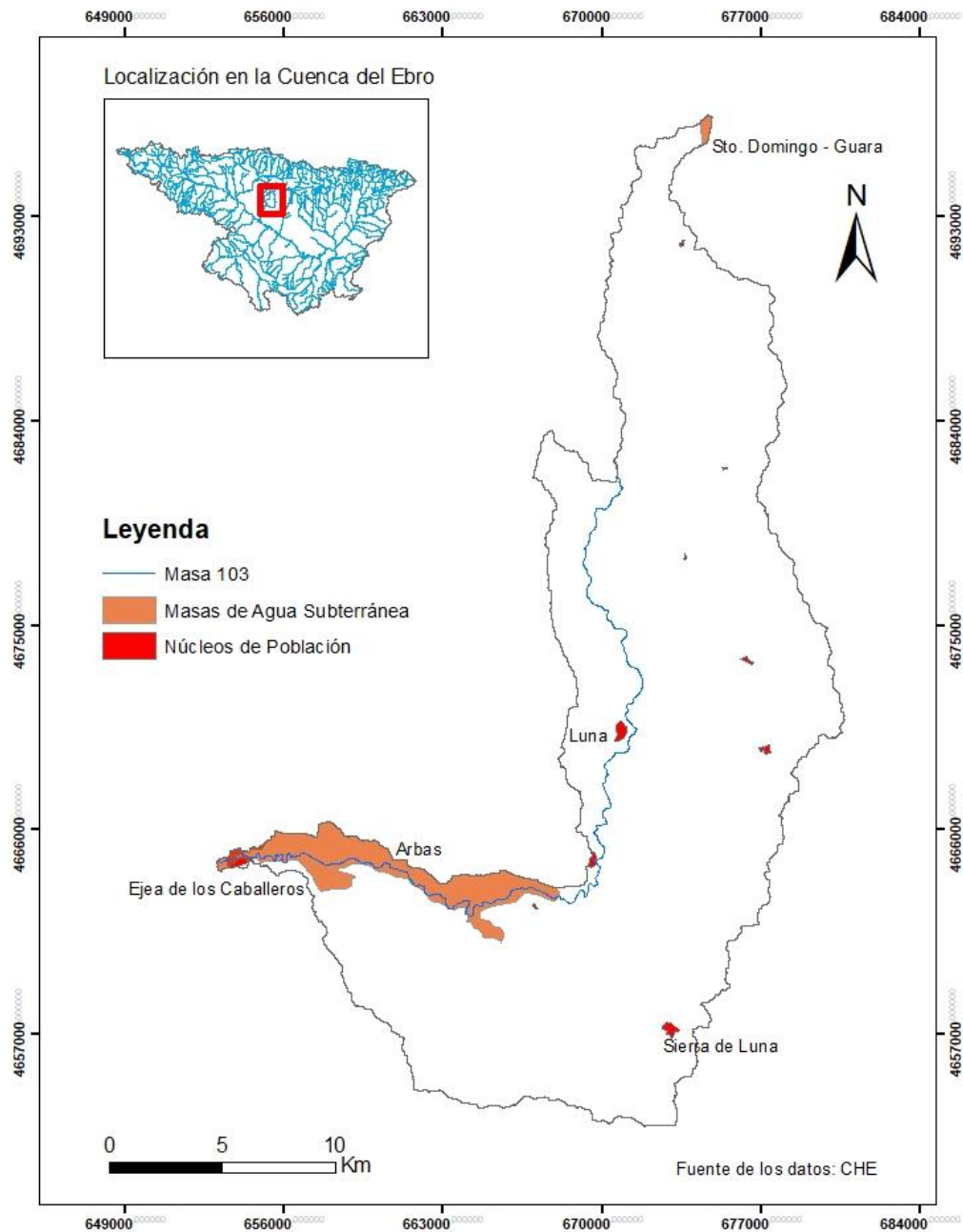


Figura 25. Masas de agua subterránea dentro de la cuenca vertiente de la masa 103. Elaboración propia.

CONCLUSIONES A LA CARACTERIZACIÓN DE LA CONEXIÓN CON MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SU GRADO DE ALTERACIÓN	
Nombre de la Masa de Agua Subterránea	<i>Arbas</i>
Código de la Masa de Agua Subterránea	<i>091.053</i>
GRADO DE CONEXIÓN	
<i>Sin conexión</i>	
<i>Con conexión temporal</i>	<i>X</i>
<i>Con alto grado de conexión</i>	
CARACTERIZACIÓN DE LA CONEXIÓN	
<i>Distribución espacial</i>	<i>Difusa</i>
<i>Continuidad o discontinuidad de la conexión hidráulica</i>	<i>Directa</i>
<i>Sentido (pérdidas/ganancias)</i>	<i>Ganador</i>
GRADO DE ALTERACIÓN	
<i>Alteración muy baja</i>	
<i>Alteración baja</i>	En algunas zonas concretas de la masa de agua o durante periodos cortos del año existe una cierta alteración en la conexión natural
<i>Alteración moderada</i>	
<i>Alteración alta</i>	

Figura 26. Conclusiones a la caracterización de la conexión con masas de agua subterránea y su grado de alteración. Elaboración propia.

3. Posibles Fuentes de Alteración del Régimen Hidrológico

Estamos ante un punto que es complementario a los anteriores y mediante el cual se pretende evaluar en qué medida las acciones antrópicas son capaces de alterar el régimen hidrológico mediante una serie de indicadores que vienen recogidos en el PHMF (2017).

Este apartado se divide en las acciones que alteran el régimen de los caudales líquidos y las que alteran el régimen de los caudales sólidos.

- **Fuentes de alteración del régimen de caudales líquidos**

<i>DENOMINACIÓN</i>	<i>VALOR OBTENIDO</i>
<i>Aportación anual en régimen natural 1980/81-2005/06 (ApRN hm³)</i>	38
<i>Sumatorio del volumen útil de todas las grandes presas ($\Sigma VoIE$ hm³)</i>	37,84 (Embalse de Laverné)
<i>Superficie de la cuenca vertiente (Sc Km²)</i>	438,43
<i>Superficie regulada por grandes presas (Sc_regulada Km²)</i>	13,63 (Cuenca del barranco de Laverné)
<i>Aportación anual máxima autorizada para trasvase (ApTRmax hm³)</i>	No aplica
<i>Caudal máximo instantáneo para periodo de retorno de 10 años (QT10RN m³/s)</i>	56
<i>Sumatorio de los caudales nominales de las centrales hidroeléctricas ($\Sigma Q(CENTRALES)$ m³/s)</i>	No aplica
<i>Caudal medio anual en régimen natural de la serie 1980/81-2005/06 (QmRN m³/s)</i>	2,91
<i>Superficie impermeabilizada en la cuenca (Sc_imperm Km²)</i>	3,85
<i>Sumatorio del vertido anual autorizado por las EDAR (ΣVertido An. Aut. EDAR de > 10.000 habitantes-eq hm³)</i>	No aplica
<i>Superficie de regadío en la cuenca (Sc_regadío km²)</i>	78,66

Figura 27. Fuentes de alteración del régimen de caudales líquidos. Elaboración propia.

A partir de estas variables se definen una serie de Indicadores de Caracterización de las fuentes de Alteración Hidrológica (ICAHs) que permiten identificar de forma genérica las posibles causas de las alteraciones en su régimen de caudales líquidos. Estos indicadores cuantifican el potencial de la masa de agua de sufrir alteraciones en su régimen de caudales (PHMF, 2017).

CONCLUSIONES A LA CARACTERIZACIÓN DE LAS POSIBLES FUENTES DE ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO				
AGENTE GENERADOR	INDICADOR	UMBRAL	VALOR OBTENIDO	POTENCIAL DE ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO
Embalses: Alteración de aportaciones	ICAH 1	>0,3	no aplica	no aplica
	$\frac{\sum VoIE}{ApRN}$			
Embalses: Laminación de avenidas	ICAH 2	>5	no aplica	no aplica
	$\frac{\sum VoIE}{[0,0864 * Q_{10}]}$			
Hidrópicos	ICAH 3	>0,3	no aplica	no aplica
	$\frac{\sum Q(CENTRALES)}{QmRN}$			
Impermeabilización del suelo en la cuenca	ICAH 4	>0,20	0,009	MUY BAJO
	$\frac{Sc_{imper}}{Sc}$			
Vertidos de EDAR de >10.000 hab-eq.	ICAH 5	>0,30	no aplica	no aplica
	$\frac{\sum \text{Vertido anual EDAR}}{ApRN}$			
Derivaciones y retornos por regadíos	ICAH 6	>0,20	0,179	BAJO
	$\frac{Sc_{regadío}}{Sc}$			

Figura 28. Conclusiones a la caracterización de las posibles fuentes de alteración del régimen hidrológico.
Elaboración propia.

El embalse de Laverné es considerada una gran presa de acuerdo al artículo 358 Reglamento DPH, ya que supera los 15 metros de altura desde la base de la cimentación, siendo su altura de 54,500 metros. En el caso de este embalse, la capacidad para alterar las aportaciones es muy escasa, debido a que no se encuentra en la propia masa sino en un barranco que desemboca en ella. Por ello mismo, la capacidad de laminar avenidas es nula.

Además de esto, no encontramos centrales hidroeléctricas en la cuenca, ni vertidos EDAR ni se han producido trasvases, por lo que se puede decir que el régimen hidrológico está poco alterado en este aspecto. Podría destacarse la aportación de agua al Arba de Biel procedente del Canal de las Bardenas, que se realiza gracias al azud de Santía (Erla). También en la localidad de Ejea de los Caballeros, el azud de Facemón puede recibir agua procedente del río Arba de Luesia. Estos trasvases de agua no tienen la suficiente importancia como para alterar el régimen de caudales líquidos.

Por otro lado sí que encontramos superficie impermeabilizada (núcleos de población) que aumenta la escorrentía y disminuye la producción de sedimentos, aunque la superficie es muy baja y no afecta en gran medida.

En cuanto a la superficie de regadío presente en la cuenca el valor es bajo ya, que tan solo hay regadío en la mitad sur de la cuenca, coincidiendo con la parte más llana. Por lo tanto, la capacidad para alterar la estacionalidad del caudal es baja. Aquí podría destacar el papel del barranco de la Barluenga, que actúa como un canal de retorno del agua procedente de los regadíos, agua que anteriormente había sido extraída del Arba de Biel, gracias a los distintos azudes.

- **Fuentes de alteración del régimen de caudales sólidos**

“La generación y el transporte de sedimentos vienen determinados por la dinámica fluvial y la geomorfología del cauce. La alteración de cualquiera de estos factores supone la pérdida de equilibrio del río y por tanto la modificación de los procesos de erosión/sedimentación que en él se producen. La generación y continuidad en el transporte de sedimentos vendrán determinadas por la presencia de infraestructuras en la cuenca y el cauce y por la tipología de los propios sedimentos” (PHMF, 2017).

Las posibles fuentes de alteración del régimen de caudales sólidos se dividen en dos grupos: las fuentes que generan sedimentos y los factores que generan déficit de sedimentos.

AGENTE GENERADOR	INDICADOR	VALOR OBTENIDO	POSIBLES EFECTOS EN RÉGIMEN DE CAUDALES SÓLIDOS
Usos del suelo en la cuenca	<i>Grado de erosión del suelo</i>	<i>BAJO</i>	<i>Valor compatible con la morfología natural del ecosistema fluvial.</i>
Incendios forestales	<i>Grado de influencia de incendios forestales</i>	<i>MUY BAJO</i>	<i>Valor compatible con la morfología natural del ecosistema fluvial.</i>
Grandes presas	<i>% de sup. de la cuenca vertiente de la masa de agua cuyos aportes quedan retenidos por las grandes presas</i>	<i>3,11</i>	<i>La masa de agua tiene un déficit de sedimentos muy bajo.</i>
Desconexión en laderas y afluentes en cuenca no regulada aguas arriba de la masa	<i>Grado de desconexión en cuenca no regulada</i>	<i>BAJO</i>	<i>Valor compatible con la morfología natural del ecosistema fluvial.</i>
Existencia de retenciones en la cuenca propia de la masa	<i>Grado de desconexión en cuenca propia de la masa de agua</i>	<i>MUY BAJO</i>	<i>Valor compatible con la morfología natural del ecosistema fluvial.</i>
Existencia de extracciones de áridos en los cauces de la cuenca no regulada aguas arriba de la masa de agua	<i>Grado de extracción</i>	<i>ALTO</i>	<i>Puede generar un importante déficit de sedimentos que puede alterar el ecosistema fluvial.</i>
Existencia de extracciones de áridos en los cauces de la cuenca propia de la masa de agua	<i>Grado de extracción</i>	<i>ALTO</i>	<i>Puede generar un importante déficit de sedimentos que puede alterar el ecosistema fluvial.</i>
Azudes en la masa de agua*	<i>Grado de afección de los azudes</i>	<i>% longitud remansada / longitud masa de agua = 3,69</i>	<i>Valor compatible con la morfología natural del ecosistema fluvial.</i>

Figura 29. Fuentes de alteración del régimen de caudales sólidos. Elaboración propia.

-Fuentes de generación de sedimentos:

Erosión: según el mapa de erosión del suelo en Aragón la masa en estudio presenta una erosión baja en su valle.

Incendios: el grado de afección por incendios en la cuenca es muy bajo, ya que por regla general se han producido en los municipios de la cuenca menos de 25 incendios entre los años 2001 y 2014 (Fuente: mapa de frecuencia de incendios forestales por término municipal del MAPAMA).

-Fuentes de generación de déficit de sedimentos:

Grandes presas: el embalse de Laverné regula tan solo un 3,11 % de la cuenca vertiente de la masa, por lo que la retención de sedimentos es muy baja.

Retención o desconexión de sedimentos en laderas y afluentes: según lo que se ha visto tanto a través de ortofotografías como en las salidas de campo se concluye que la desconexión de sedimentos no es significativa en cuanto a este aspecto, por lo que no alteraría la morfología natural del ecosistema fluvial.

Extracciones de áridos y dragados: con la información de las concesiones para la extracción de áridos en la Confederación Hidrográfica del Ebro, se comprobó en la salida de campo que sí existían evidencias de estas extracciones y su capacidad para alterar el funcionamiento fluvial. Se ha concluido que el grado de extracción es alto, encontrando grandes evidencias en Luna, El Frago y Biel (figuras 30, 31, 32 y 33).

Azudes y otros obstáculos en la masa: del total de longitud de la masa, un 3,69 % de agua se encuentra remansada por la presencia de azudes. No se trata de un porcentaje significativo, por lo que el grado de alteración es bajo.



Figura 30. Zona de extracción de áridos en el entorno de la localidad de Luna. Elaboración propia.



Figura 31. Zona de extracción de áridos en Biel. Elaboración propia.



Figura 32. Zona de extracción de áridos en Luna. Fuente: Alfredo Ollero.



Figura 33. Zona de extracción de áridos en las cercanías de Luna. Fuente: Alfredo Ollero.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CONTINUIDAD DEL RÍO

En este apartado se trata de analizar la continuidad de la masa de agua, por lo que se estudian aquellos elementos artificiales (azudes) que suponen un obstáculo para las especies piscícolas en periodo de migración.

Las diferentes especies que podemos encontrar en el río Arba de Biel según el Plan Hidrológico del río Arba (2008) son:

-*Luciobarbus graellsii*: su nombre vulgar es “Barbo de Graells”. Se trata de una especie que suele ocupar tramos medios y bajos de los ríos durante la mayor parte del año, y en época de reproducción se desplaza a tramos más altos (Salvador, 2013), por lo que los azudes pueden suponer una gran barrera para su migración en sentido ascendente a la masa de agua. Es una especie amenazada por la introducción de especies exóticas. Además, su hábitat se ve amenazado por infraestructuras hidráulicas, extracciones de agua para regadíos y contaminación (Doadrio et al., 2011), por lo que la presencia de azudes en la masa son muy perjudiciales para esta especie y su hábitat.

-*Barbus haasi*: su denominación común es “Barbo colirrojo”. Es una especie endémica en España, que ocupa los tramos altos de los ríos, con aguas frías y rápidas, con sustrato de fondo formado por gravas y piedras (Verdiell, 2011), lo cual nos indica que su presencia en el Arba de

Biel se sitúa aguas arriba del El Frago, y por lo tanto fuera de la masa 103. Es una especie principalmente amenazada por la construcción de infraestructuras hidráulicas (canalizaciones o presas), extracciones de áridos, introducción de especies invasoras, extracción de agua para regadíos, contaminación, etc. Al ser una especie que se encuentra en el tramo alto del río, la existencia de azudes sería menos condicionante.

-*Achondrostoma arcasii*: esta especie es conocida como “bermejuela”. Se distribuye por los ríos del norte peninsular, siendo una especie endémica de la Península Ibérica. En una especie en amenaza por la introducción de especies invasoras y las repoblaciones de trucha. Su hábitat es amenazado por la existencia de obras hidráulicas y las extracciones de gravas (Banco de Datos de la Naturaleza).

-*Parachondrostoma miegii*: su nombre común es “madrilla”. Esta especie puede sobrevivir tanto en aguas remansadas como en tramos de agua corriente, siempre que puedan remontar los ríos durante su época de reproducción (TAXAGUA).

-*Phoxinus phoxinus*: especie conocida vulgarmente como “piscardo”. Se trata de una especie que podemos encontrar en los cursos medios-altos de los ríos, zonas con aguas limpias, frescas y fondos pedregosos (García de Jalón y González de Tánago, 1983). Como otras especies de ciprínidos, realiza movimientos migratorios aguas arriba, por lo que los azudes pueden suponer una gran barrera para esta especie en sus migraciones ascendentes.

-*Cobitidae*: especie conocida vulgarmente como “locha”. Es una especie que se puede encontrar con bastante asiduidad en los ríos de Eurasia y Marruecos, perteneciente a la familia de los ciprínidos (Nelson, 1994).

Todas las especies que encontramos en la masa realizan movimientos tanto ascendentes como descendentes, los cuales pueden verse gravemente afectados por la presencia de infraestructuras hidráulicas como son los azudes. A continuación se caracteriza brevemente cada uno de los azudes existentes en la masa, cuya distribución espacial se muestra en la figura 34.

LOCALIZACIÓN DE LOS AZUDES

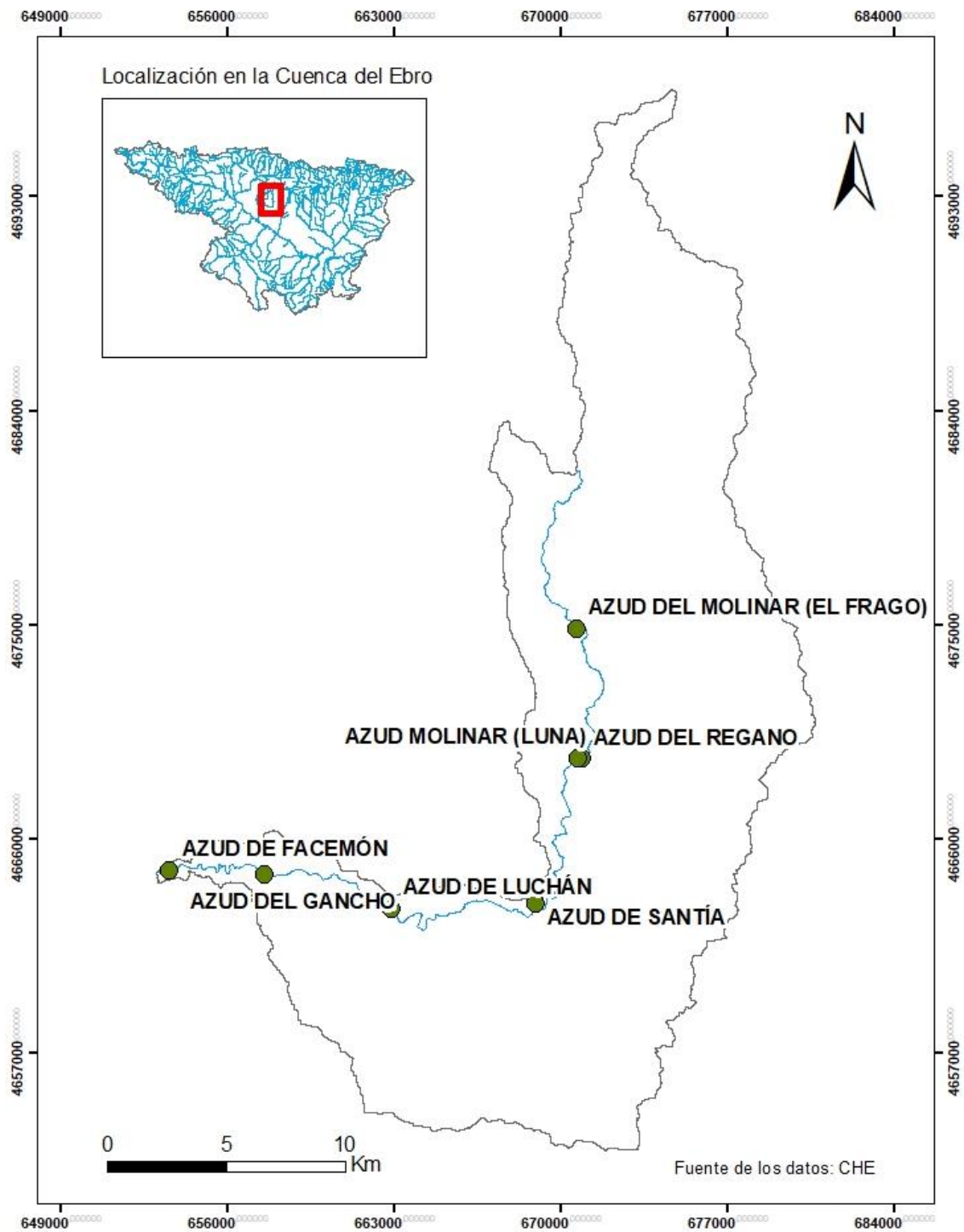


Figura 34. Localización de los azudes en la cuenca vertiente. Elaboración propia.

-Azud Molinar (El Frago): es el azud que encontramos más al norte la masa, situado entre las localidades de El Frago y Luna. Su misión es derivar agua para riego gracias a la acequia Real del Molinar (Confederación hidrográfica del Ebro, 2008). Por sus características, supone una barrera para las diferentes especies durante los movimientos de migración.



Figura 35. Azud del Molinar (El Frago). Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro.

-Azud del Regano: situado junto a la localidad de Luna, tras pasar el puente y el vado en dirección al monasterio de Monlora. Su misión es derivar agua por su margen izquierda (Confederación hidrográfica del Ebro, 2008). En la figura 36 se aprecia la parte cementada del azud tras la realización de las últimas obras, lo que supone un auténtico obstáculo para los movimientos migratorios de las especies piscícolas.



Figura 36. Azud del Regano. Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro.

-Azud Molinar (Luna): se sitúa también junto a la localidad de Luna, tan solo 200 metros aguas abajo del azud del Regano. Su misión en este caso es derivar agua por la margen derecha (Confederación hidrográfica del Ebro, 2008).



Figura 37. Azud El Molinar (Luna). Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro.

-Azud de Santía: localizado 1,5 km aguas debajo de la localidad de Erla. Tiene gran importancia por recibir en ocasiones agua procedente del Canal de las Bardenas (Confederación hidrográfica del Ebro, 2008).



Figura 38. Azud de Santía. Elaboración propia

-Azud de Luchán: situado entre las localidades de Erla y Ejea de los Caballeros. Su misión es derivar agua para riego (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2008).



Figura 39. Azud de Luchán. Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro.

-Azud del Gancho: se sitúa próximo a la localidad de Ejea de los Caballeros. Es utilizado para abastecer de agua a la estanca del Gancho, a través de la acequia con mismo nombre.



Figura 40. Azud del Gancho. Fuente: J.Gaspar (CincoVillas.com).

-Azud de Facemón: se localiza en la localidad de Ejea de los Caballeros, en el tramo canalizado de la localidad. Puede recibir agua procedente del río Arba de Luesia, derivada en el azud de Bañera (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2008).



Figura 41. Azud de Facemón. Elaboración propia.

Estos 7 azudes presentes en la masa de agua presentan una distancia media entre ellos de 6,83 km, una distancia libre de obstáculos superior a los 2 km, por lo que no altera significativamente. Sin embargo, algunos de ellos pueden suponer una barrera infranqueable para algunas de las especies piscícolas presentes en la masa. Destacan los azudes Molinar (Luna) y el del Regano cuya separación es de tan solo 200 metros, suponiendo estos dos azudes una gran barrera.

Se considera oportuna la construcción de una escala de peces para cada uno de los diferentes azudes con el objetivo de solucionar los problemas de continuidad, además del estudio para la posible eliminación de uno de los dos azudes nombrados anteriormente (Molinar y el Regano).

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES MORFOLÓGICAS DEL CAUCE

En este apartado se procede a estudiar la variación de anchura y profundidad del cauce, la estructura y sustrato del lecho y la estructura de la zona ribereña. Para ello se han delimitado dos tramos hidromorfológicos y un subtramo de muestreo para cada uno de los dos tramos hidromorfológicos.

Para llevar a cabo el estudio de la variación de anchura y profundidad del cauce se ha dividido a la masa 103 en **dos tramos hidromorfológicos** (figura 42). Los dos tramos establecidos son:

-El Frago-Luna (16,48 km): el río discurre relativamente encajado, con escasa llanura de inundación y mayor pendiente. Casi su totalidad discurre por el LIC *Arba de Biel*.

Luna-Ejea (31,33 km): es a partir de aquí donde el valle es mucho más amplio, discuriendo por una gran llanura y con escasa pendiente.

TRAMOS HIDROMORFOLÓGICOS Y SUBTRAMOS DE MUESTREO

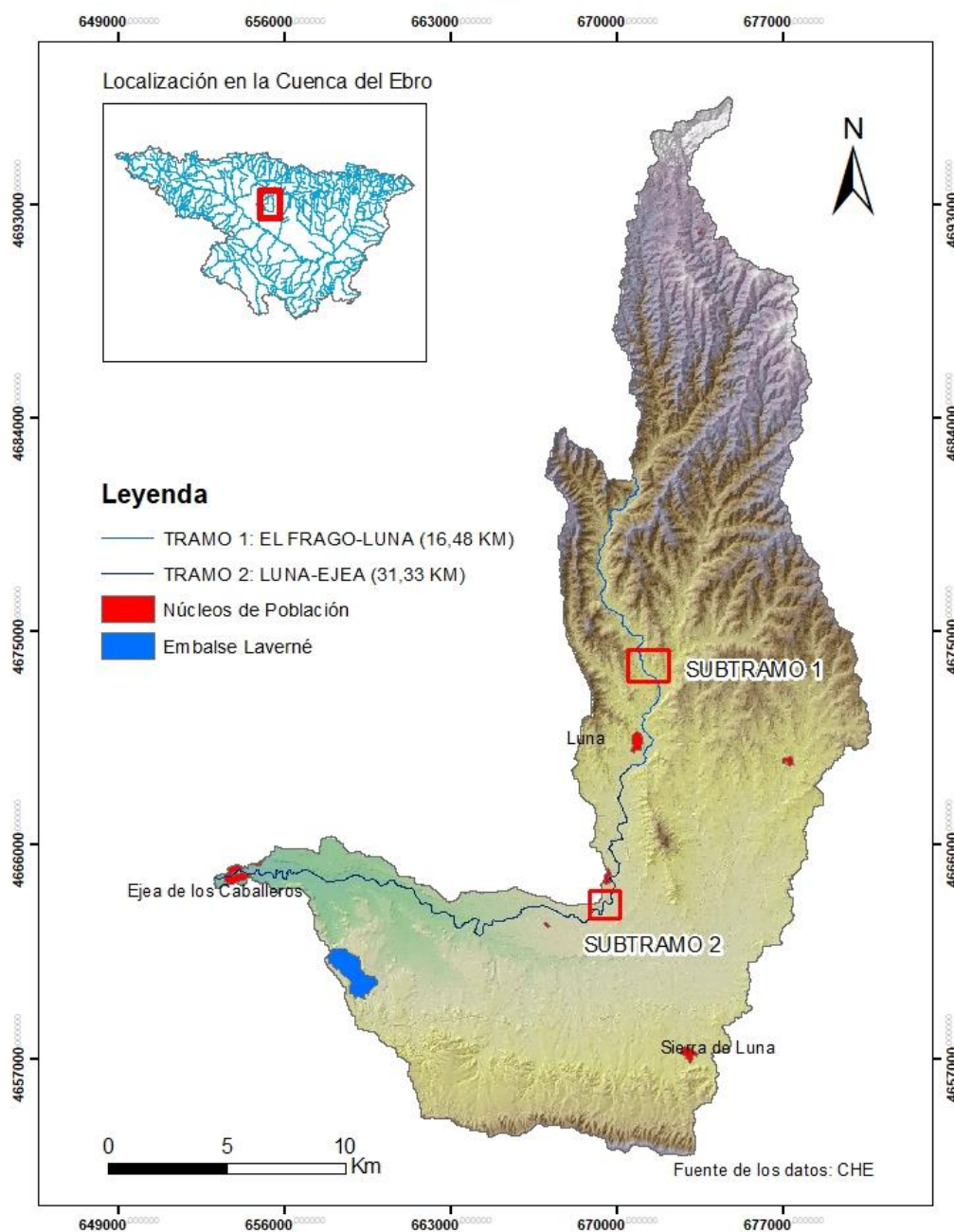


Figura 42. Tramos hidromorfológicos y subtramos de muestreo de la masa 103. Elaboración Propia.

Por otra parte, se han elegido dos subtramos de muestreo (aparecen localizados en la figura 42 y delimitados en las figuras 43 y 47) representativos de la realidad del tramo hidromorfológico en cuestión.

Para cada uno de estos subtramos de muestreo, se ha calculado el caudal “bankfull” o caudal geomórfico, es decir, el caudal que cabe en el cauce menor completo. Es un trabajo fundamental ya que nos permite conocer el caudal que circula durante las crecidas ordinarias más frecuentes en ese tramo del río. Es el caudal que más trabajo realiza en la movilización de carga de fondo, y con el cual la velocidad y energía es potente, ya que todavía no se ha producido el desbordamiento. El periodo de retorno medio anual es de 1,5 años (Ollero, 2014).

-Subtramo de muestreo en Luna, representativo del tramo hidromorfológico El Frago-Luna:

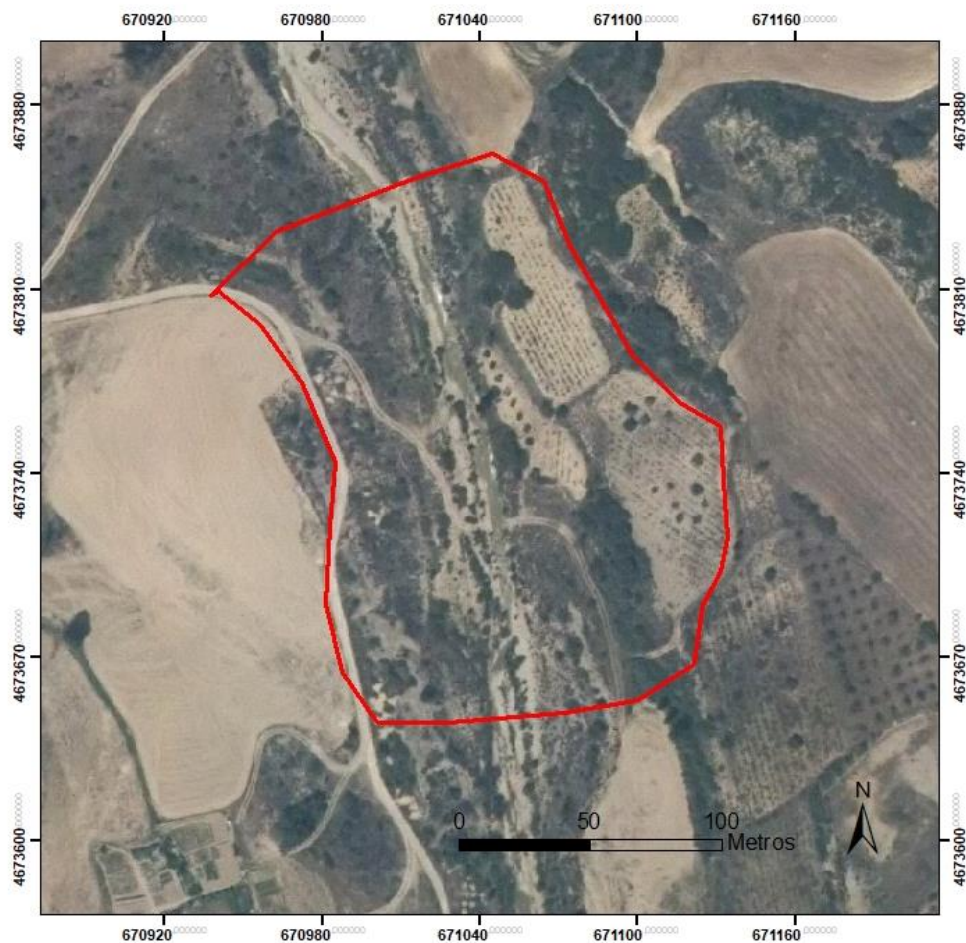


Figura 43. Subtramo de muestreo 1 en Luna, representativo del tramo hidromorfológico El Frago-Luna.
Elaboración propia.

Este subtramo, representativo del tramo hidromorfológico El Frago-Luna, se localiza 3,5 km al norte de la localidad de Luna. En él encontramos la presencia de un vado para cruzar el río. Se ha calculado el caudal bankfull según la fórmula de Manning. El resultado final nos da un caudal de **30,5 m³/sg** en este tramo del río. Teniendo en cuenta los datos de la estación de aforo de Erla y con el cálculo de los periodos de retorno según el método de Gumbel (1958), este caudal bankfull tendría asociado un periodo de retorno de 2,6 años. En las dos siguientes figuras se muestra el perfil de la sección transversal del cauce y los valores obtenidos.

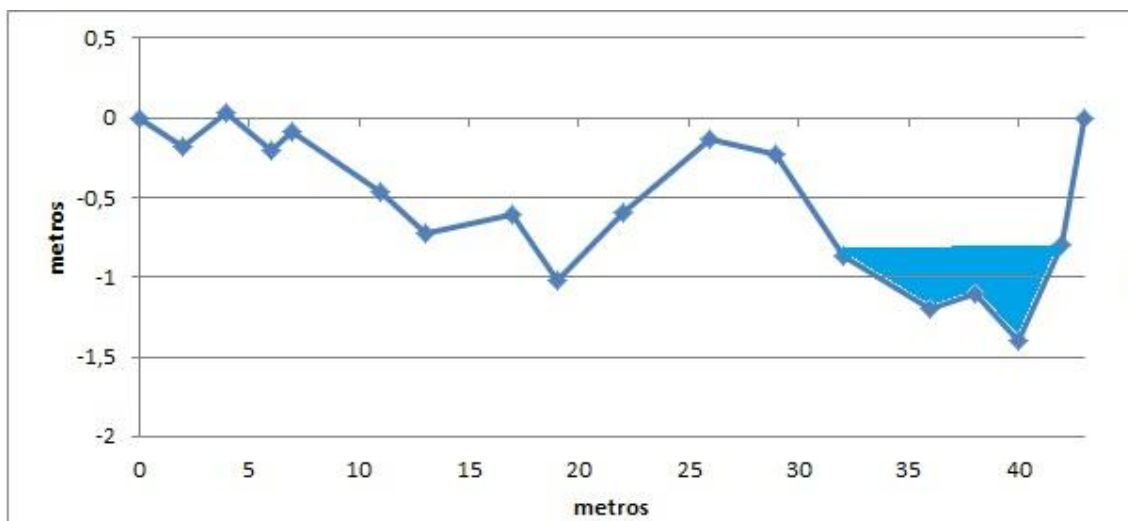


Figura 44. Perfil de la sección transversal del cauce (en azul la lámina de agua que circulaba el día de la salida de campo). Elaboración propia.

Área de la Sección (m²)	24,97
Perímetro Mojado (m)	45
Radio Hidráulico	0,55
Pendiente (m/m)	0,0066
Rugosidad	0,045
Caudal Bankull (m³/sg)	30,5

Figura 45. Datos obtenidos tras las medidas realizadas en campo. Elaboración propia.



Figura 46. Perfil de la sección del cauce. Elaboración propia.

-Subtramo de muestreo en Erla, representativo del tramo hidromorfológico Luna-Ejea



Figura 47. Subtramo de muestreo 2 en Erla, representativo del tramo hidromorfológico Luna-Ejea. Elaboración propia.

Este subtramo, representativo del tramo hidromorfológico-Luna-Ejea, se localiza junto a la localidad de Erla. En él encontramos también la presencia de un vado para cruzar el río. Se ha calculado el caudal bankfull según la fórmula de Manning. El resultado final nos da un caudal de **31,5 m³/sg** en este tramo del río. Este tramo se sitúa muy próximo a la estación de aforo de Erla, por lo que los datos son de mayor fiabilidad. Este caudal bankfull tiene asociado un periodo de retorno de 2,75 años. Por otro lado, la máxima crecida ordinaria es de 34 m³/sg (ya se ha desbordado el río en este tramo) y tiene un periodo de retorno de 3,5 años.

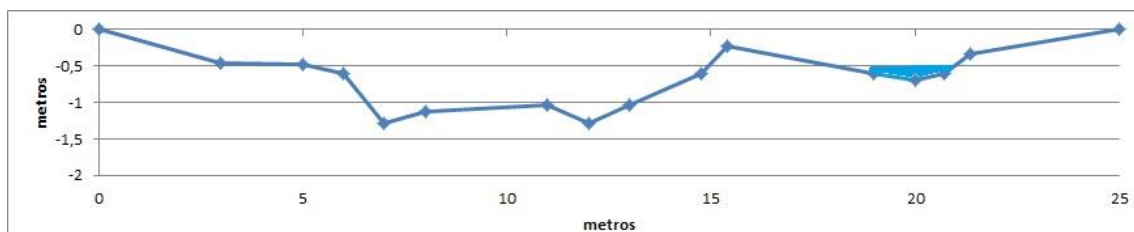


Figura 48. Perfil de la sección transversal del cauce (en azul la lámina de agua que circulaba el día de la salida de campo). Elaboración propia.

Área de la Sección (m ²)	15,85
Perímetro Mojado (m)	27,65
Radio Hidráulico	1,14
Pendiente (m/m)	0,0036
Rugosidad	0,033
Caudal Bankull (m ³ /sg)	31,5

Figura 49. Datos obtenidos tras las medidas realizadas en campo. Elaboración propia.



Figura 50. Perfil de la sección del cauce. Elaboración propia.

3.3.1. VARIACIÓN DE ANCHURA Y PROFUNDIDAD

“Se analizan las variables que definen la geomorfología del trazado en planta del cauce y de sus secciones transversales” (PHMF, 2017).

1. Tipo de fondo de valle

Es importante conocer la topografía del fondo de valle ya que condiciona los procesos fluviales y además permite conocer la capacidad de desbordamiento del río. Se ha realizado una caracterización del fondo de valle para los dos tramos hidromorfológicos.

- Tramo hidromorfológico 1:

TIPO DE FONDO DE VALLE EN EL TRAMO 1

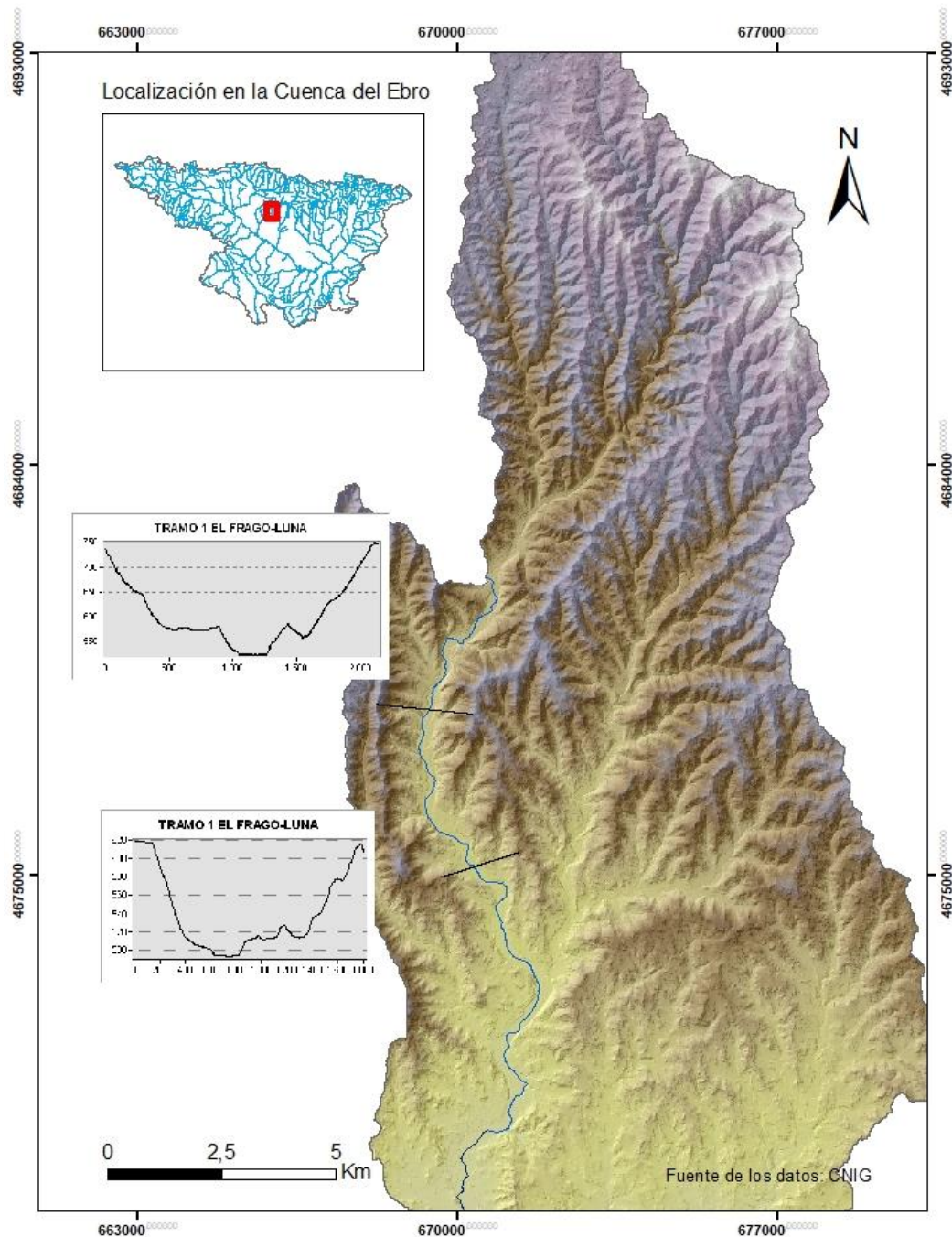


Figura 51. Tipo de fondo de valle en el tramo hidromorfológico 1. Elaboración Propia.

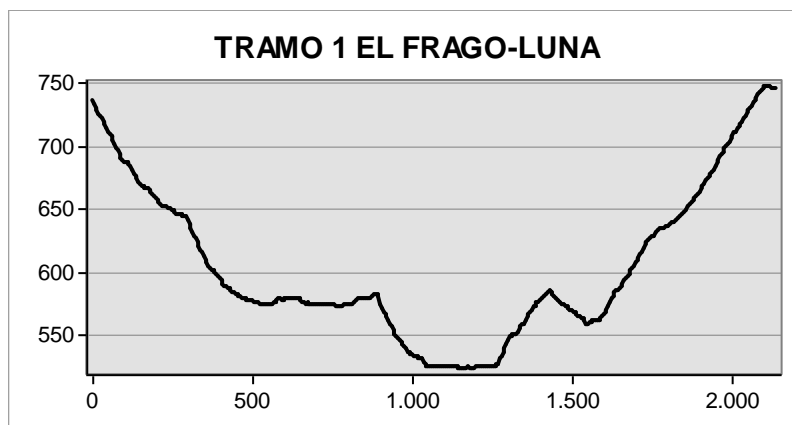


Figura 52. Perfil topográfico del valle del tramo 1. Realizado con ArcGis. Elaboración propia.

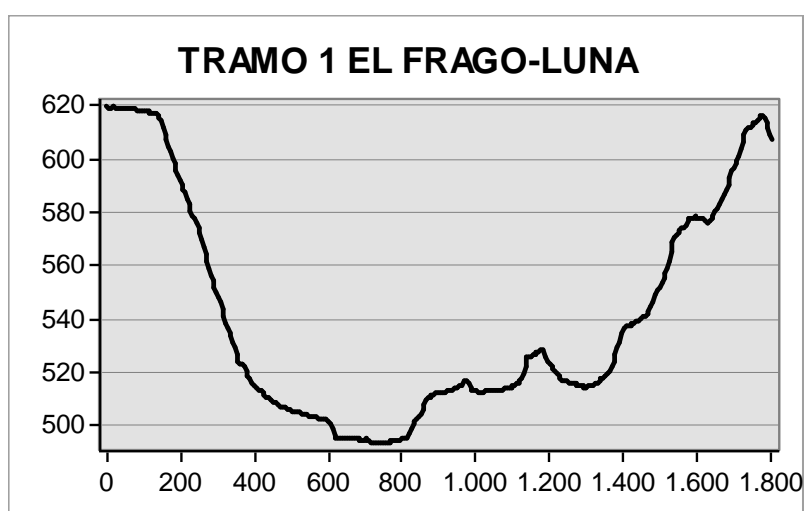


Figura 53. Perfil topográfico del valle del tramo 1. Realizado con ArcGis. Elaboración propia.

VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD Y ANCHURA: TIPOS DE FONDO DE VALLE	
Confinado	
Con llanura de inundación estrecha y discontinua	X
Con llanura de inundación amplia	

Figura 54. Tipo de fondo de valle.

Este primer tramo presenta un fondo de valle con una llanura de inundación estrecha y discontinua, en muchos casos desarrollada solo en una de las orillas del río. Como se observa en las figuras 51, 52 y 53, el río discurre por un valle relativamente encajado, lo que hace que la llanura de inundación sea estrecha.

- Tramo hidromorfológico 2:

TIPO DE FONDO DE VALLE EN EL TRAMO 1

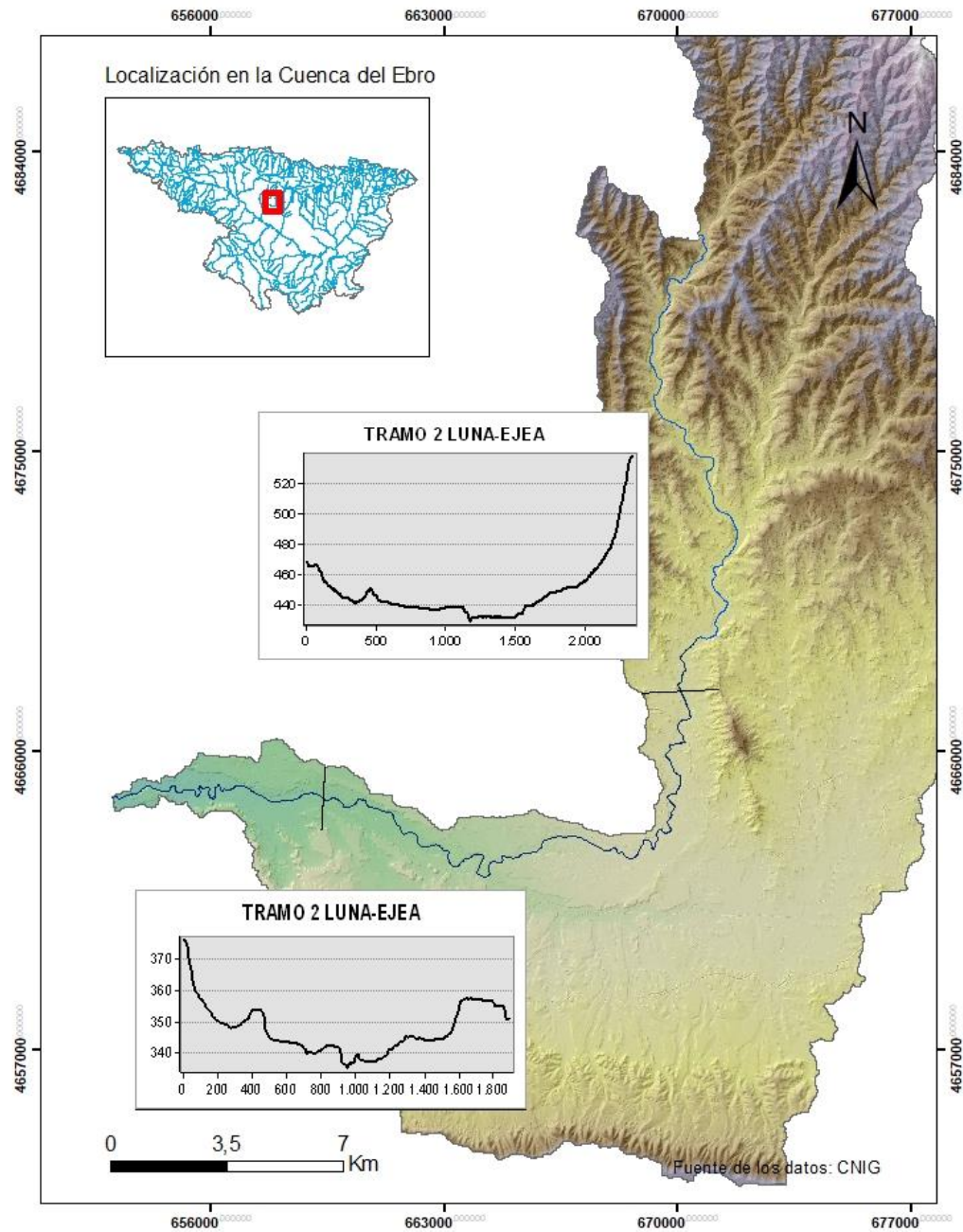


Figura 55. Tipo de fondo de valle en el tramo hidromorfológico 2. Elaboración Propia.

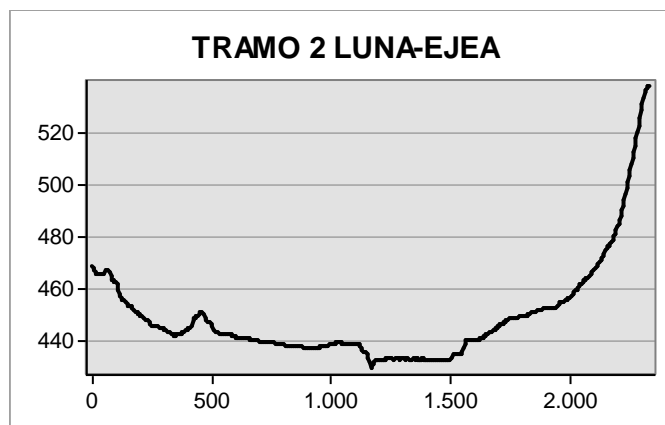


Figura 56. Perfil topográfico del valle del tramo 2. Realizado con ArcGis. Elaboración propia.

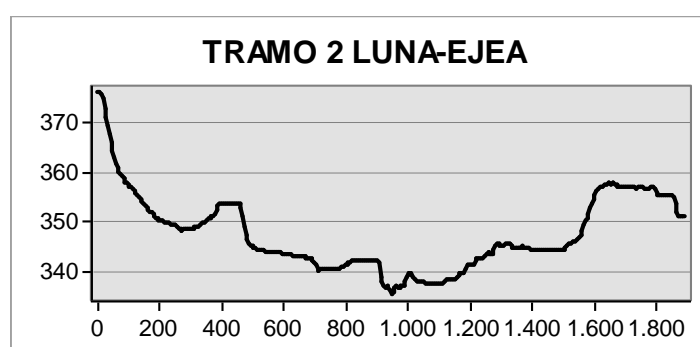


Figura 57. Perfil topográfico del valle del tramo 2. Realizado con ArcGis. Elaboración propia.

VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD Y ANCHURA: TIPOS DE FONDO DE VALLE	
Confinado	
Con llanura de inundación estrecha y discontinua	
Con llanura de inundación amplia	X

Figura 58. Tipo de fondo de valle.

Se puede apreciar en las figuras 55, 56 y 57 cómo, a diferencia del tramo anterior el río discurre por una llanura amplia. El perfil topográfico de la figura 56 ha sido realizado en la zona donde se encuentra el relieve tabular de Monlora, lo que hace que en este caso la margen izquierda tenga una menor llanura de inundación. Es un tramo no muy extenso pero se ha considerado oportuno señalarlo. El resto del tramo hidromorfológico sí que presenta amplia llanura de inundación a ambos lados.

2. Tipos morfológicos en planta

Es una variable fundamental que ha de identificarse tanto en estado natural (ortofoto 1956/57) como en estado actual (ortofoto de 2015). Esta caracterización de los tipos morfológicos en planta da mucha información acerca de las características e intensidad de las presiones que ha tenido la masa de agua.

En este caso el estudio se ha realizado dividiendo la masa en 8 tramos (figura 59) según se ha creído oportuno con el fin de obtener un índice de sinuosidad y caracterizar de este modo el tipo morfológico en planta.

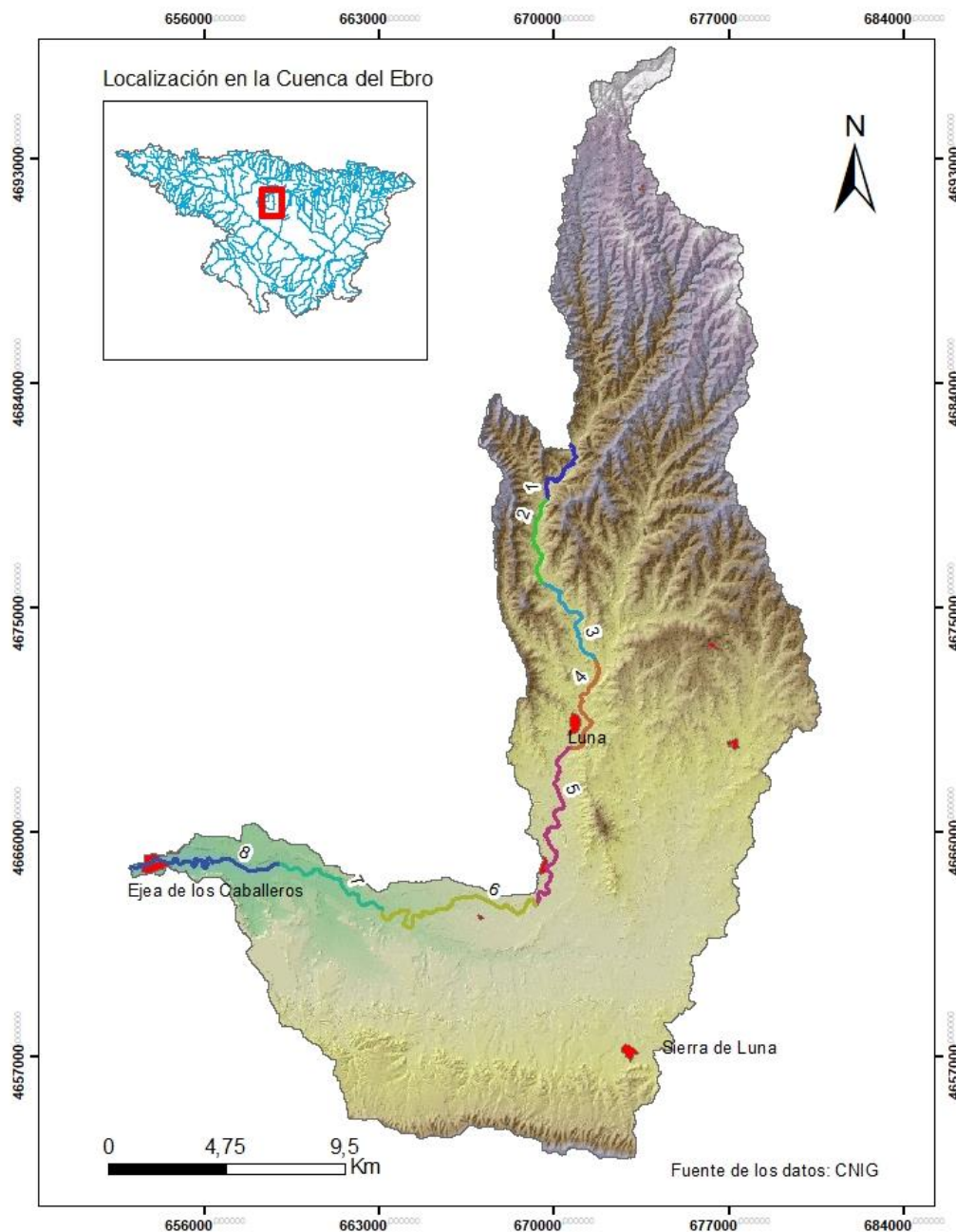


Figura 59. Tramos elegidos para estudiar los cambios de tipo morfológico en planta. Elaboración propia.

Tras analizar los cambios de tipo morfológico en la actualidad respecto a 1956, se puede decir que ningún tramo cambia de tipo morfológico, pero sí que varían los índices de sinuosidad (figura 60).

Número de Tramo	Índice de sinuosidad en estado natural (1956)	Índice de sinuosidad en estado actual (2015)
1	1,38	1,39
2	1,24	1,14
3	1,3	1,23
4	1,38	1,32
5	1,40	1,34
6	1,69	1,49
7	1,26	1,21
8	1,48	1,33

Figura 60. Índice de sinuosidad en los diferentes tramos estudiados. Elaboración propia.

Los valores entre 1,1 y 1,3 corresponden a tipos morfológicos sinuosos, mientras que los superiores a 1,3 son tipos morfológicos meandriiformes. Se observa cómo ha disminuido el índice de sinuosidad en todos los tramos excepto en el primero, lo cual quiere decir que el río es más sinuoso y menos meandriiforme. Esto es debido en gran medida a los cambios en los usos del suelo y a las acciones directas del hombre sobre el cauce. Por encima de todos destaca el tramo 6, el cual dibujaba una serie de meandros que actualmente han sido cortados. En el siguiente apartado se estudiarán estos cambios a mayor escala.

Además, se ha utilizado la metodología de Rosgen (1996), la cual se utiliza para ríos poco alterados. Esta metodología define los tipos morfológicos en función de la morfología del cauce en planta, la forma de la sección transversal y la pendiente longitudinal (PHMF, 2017). Según esta metodología, el tipo de cauce fluvial es de tipo C para el primer tramo hidromorfológico y de tipo F para el segundo tramo hidromorfológico.

El tipo de cauce C se caracteriza por una pendiente inferior al 2%, un cauce sinuoso y una llanura de inundación amplia y ligeramente encajada. La única diferencia que tienen los cauces de tipo F es que estos tienen una llanura e inundación mucho más amplia y desarrollada.

A continuación se muestra un perfil longitudinal de la masa de agua:

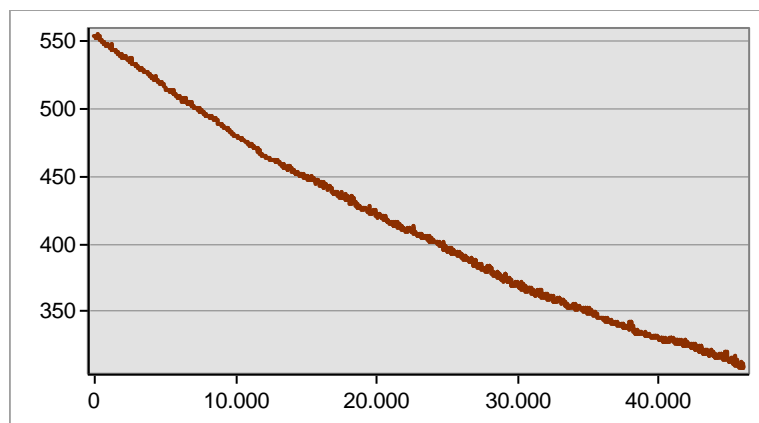


Figura 61. Perfil de la masa 103. Elaboración propia mediante ArcGis.

Longitud	47818 m.
Cota más elevada	554,4 m.s.n.m
Cota más baja	307,1 m.s.n.m
Pendiente media	0,51 %

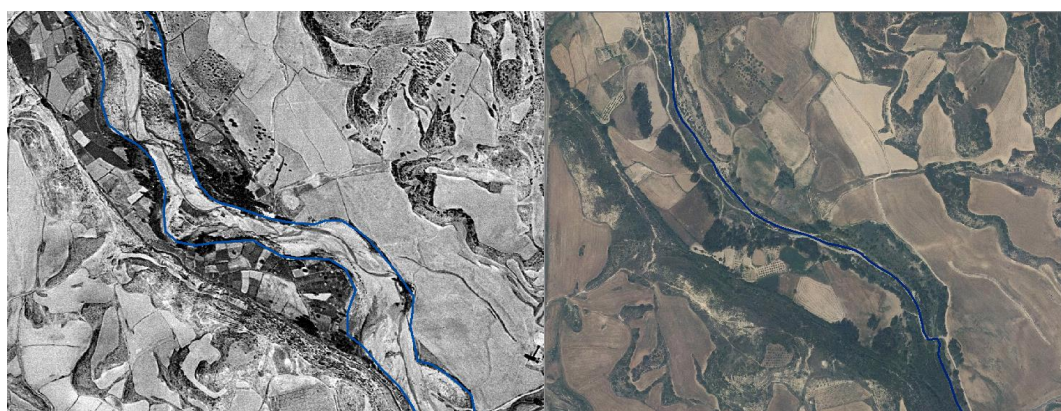
Figura 62. Datos obtenidos con el perfil de la masa. Elaboración propia.

3. Caracterización inicial de los cambios de tipo morfológico en las últimas décadas

A continuación se realiza un análisis comparado de la tipología morfológica de la masa de agua en las últimas décadas, para poder observar la dinámica fluvial de la masa de agua.

Para ello se han utilizado las ortofotos actuales y las del vuelo de 1956, disponibles en la página de descargas del IDE Aragón.

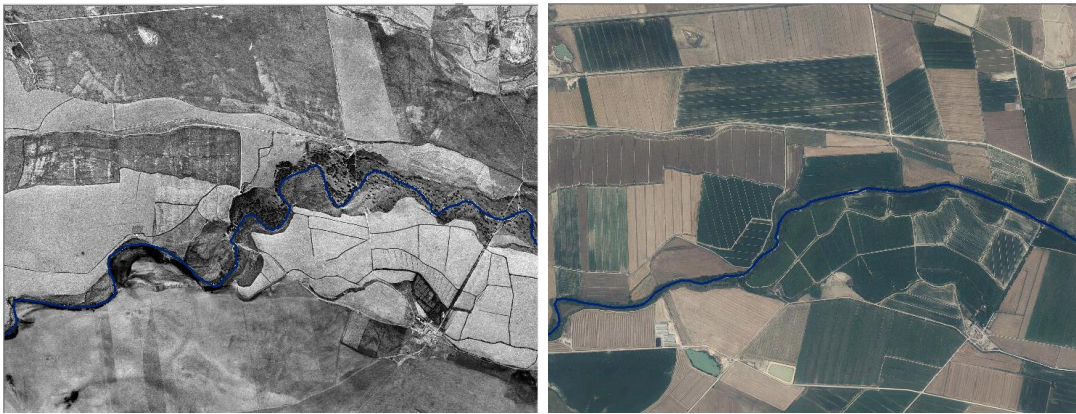
Se pueden observar los cambios en las siguientes imágenes:



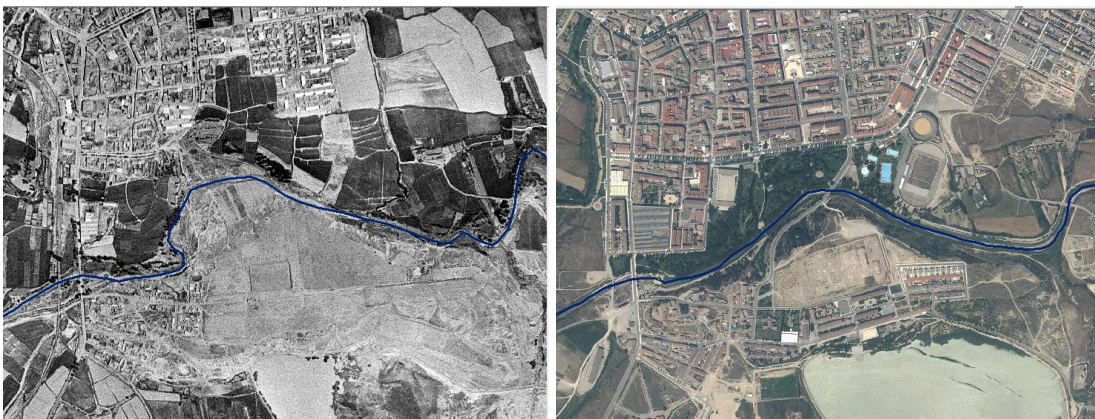
Figuras 63 y 64. Ejemplo de cambio de tipo morfológico en planta del río Arba de Biel aguas abajo de El Frago. Tipo trezado (1956) a tipo sinuoso (2015) por el efecto de los cambios de los usos del suelo. Escala 1:6.000



Figuras 65 y 66. Ejemplo de cambio de tipo morfológico en planta del río Arba de Biel aguas abajo de Luna. Tipo meandriforme (1956) a tipo recto (2015) por el efecto de los cambios de los usos del suelo y posiblemente por acciones directas sobre el cauce. Escala 1:10.000



Figuras 67 y 68. Ejemplo de cambio de tipo morfológico en planta del río Arba de Biel aguas abajo de Erla. Tipo meandriforme (1956) a tipo sinuoso (2015) por el efecto de los cambios de los usos del suelo y posiblemente por acciones directas sobre el cauce. Tramo 6 en la figura 60. Escala 1:15.000



Figuras 69 y 70. Ejemplo de cambio de tipo morfológico en planta del río Arba de Biel en Ejea de los Caballeros. Tipo meandriforme (1956) a tipo sinuoso (2015) por acciones directas en el cauce (desviación). Escala 1:8.000

VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD Y ANCHURA: CAMBIO DE TIPO MORFOLÓGICO EN PLANTA			
NO		–	
SI	Causas	Regulación aguas arriba	NO
		Cambios en los usos del suelo en cuenca	Cambio generalizado en los usos del suelo. Aumento de la vegetación, mayor número de hectáreas de regadío...
		Acción directa sobre el cauce	Varias desviaciones y canalización en el tramo de Ejea de los Caballeros
		Otras causas	Azudes y barreras transversales

Figura 71. Cambios de tipo morfológico en planta en las últimas décadas. Elaboración propia.

En las últimas décadas la masa de agua ha sufrido diferentes cambios de tipo morfológico que cabe destacar.

-En primer lugar destaca el tramo entre El Frago y Luna, que se corresponde con nuestro tramo hidromorfológico 1. En este caso el río ha pasado en muchas zonas de un tipo morfológico divagante y trenzado a uno sinuoso. En 1956 el río contaba con una llanura de inundación compuesta por barras de sedimentos que no estaban colonizadas por la vegetación. Sin embargo, en la ortofoto de 2015 se ve como la vegetación ha colonizado muchas de estas barras de sedimentos y el bosque de ribera tiene una mayor continuidad. El río circula algo más encajado por un único canal reduciendo su movilidad. Los cambios en los usos del suelo, la disminución caudal y el menor número de crecidas extraordinarias de los últimos años son los causantes de estos cambios de tipo morfológico en este tramo.

-En segundo lugar tenemos el tramo entre la localidad de Luna y Ejea de los Caballeros. En este caso en el año 1956 el río ya circulaba más encajado, sin esas barras de sedimentos, dibujando en su recorrido varios meandros. En la actualidad muchos de estos meandros han desaparecido, dando lugar a un tipo morfológico sinuoso e incluso recto en algún pequeño tramo. Destacar sobre todo la canalización que se ha realizado en el tramo urbano de Ejea de los Caballeros.

4. Identificación de tramos modificados por acciones directas en el cauce

En el tramo 1 no se han encontrado tramos modificados por acciones directas en el cauce.

TRAMO 1: VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD Y ANCHURA: TRAMOS MODIFICADOS POR ACCIONES DIRECTAS		
Tipo de modificación	Longitud total del tramo modificado (km)	Porcentaje sobre la longitud del tramo hidromorfológico(%)
Desviado	0	0
Acortado	0	0
Estrechado	0	0
Canalizado	0	0
Modificación total	0	0

Figura 72. Tramos modificados por acciones directas en el tramo hidromorfológico 1.

El tramo 2 presenta zonas modificadas por la acción antrópica, en especial en la zona de Ejea de los Caballeros (desvío del cauce dentro de la localidad, canalización, escolleras...), además de distintas zonas que parecen haber sido desviadas por la acción antrópica, aunque han sido estimadas ya que no hemos podido acceder a los datos de la Confederación Hidrográfica del Ebro, tal y como ya se indicaba en el apartado de metodología. Estos ejemplos aparecen en las figuras de la 65 a la 70 del apartado anterior. Con las fotos aéreas de 1956 y 2015 se ha estimado que 4 km del total del tramo han sido desviados por la acción antrópica.

En total, un 19% de la longitud de este segundo tramo está modificada por acciones del hombre, lo que supone que la alteración sea moderada, pudiendo haber influido notablemente en la variación de anchura y profundidad del cauce.

TRAMO 2: VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD Y ANCHURA: TRAMOS MODIFICADOS POR ACCIONES DIRECTAS		
Tipo de modificación	Longitud total del tramo modificado (km)	Porcentaje sobre la longitud del tramo hidromorfológico (%)
Desviado	4	12,77
Acortado	0	0
Estrechado	0	0
Canalizado	2,06	6,57
Modificación total	6,06	19,35

Figura 73. Tramos modificados por acciones directas en el tramo hidromorfológico 2.

5. Otras actuaciones humanas que generan alteraciones en la profundidad y anchura del cauce

En este apartado se analizan el resto de actuaciones humanas que pueden alterar las condiciones hidromorfológicas de la masa de agua. Para la realización de este estudio se ha determinado el espacio fluvial de esta masa de agua.

El concepto de espacio fluvial o territorio fluvial lo podemos definir como “el terreno, espacio o paisaje dominado por un sistema fluvial. Es un espacio del río, que incluye el cauce, el corredor ribereño y, total o parcialmente, la llanura de inundación” (Ollero et al., 2009). Este espacio debe de ser ancho, inundable, dinámico, erosionable, sin defensas y no urbanizable. Por ello se trata de un espacio que ha de ser tenido en cuenta de cara a la ordenación del territorio, acomodando los usos del suelo a este territorio fluvial.

Se ha elaborado una cartografía del espacio fluvial para la masa 103, con el objetivo de que sea tenido en cuenta de cara a la ordenación territorial, llevando a cabo actuaciones de restauración fluvial.

En las figuras 74 y 75 aparece el espacio fluvial que se ha establecido para cada tramo hidromorfológico. Se puede apreciar, especialmente en el tramo Luna-Ejea como parte de la zona de policía en ocasiones se queda fuera del espacio fluvial, debido a que invade zonas que no se consideran como espacio fluvial atendiendo a criterios geomorfológicos.

ESPACIO FLUVIAL DEL TRAMO HIDROMORFOLÓGICO EL FRAGO-LUNA

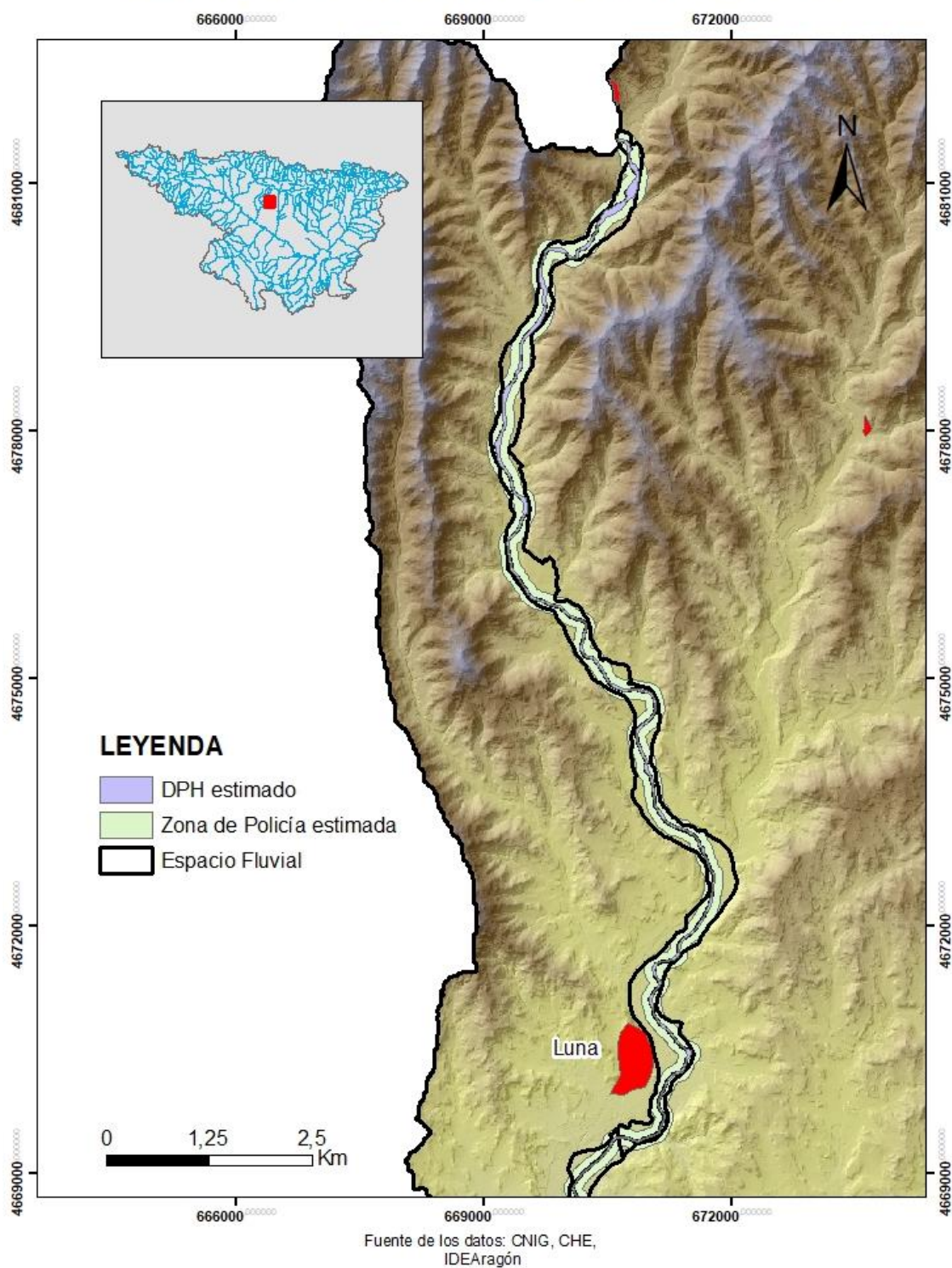


Figura 74. Espacio fluvial perteneciente al tramo hidromorfológico El Frago-Luna. Elaboración propia.

ESPACIO FLUVIAL DEL TRAMO HIDROMORFOLÓGICO LUNA-EJEA

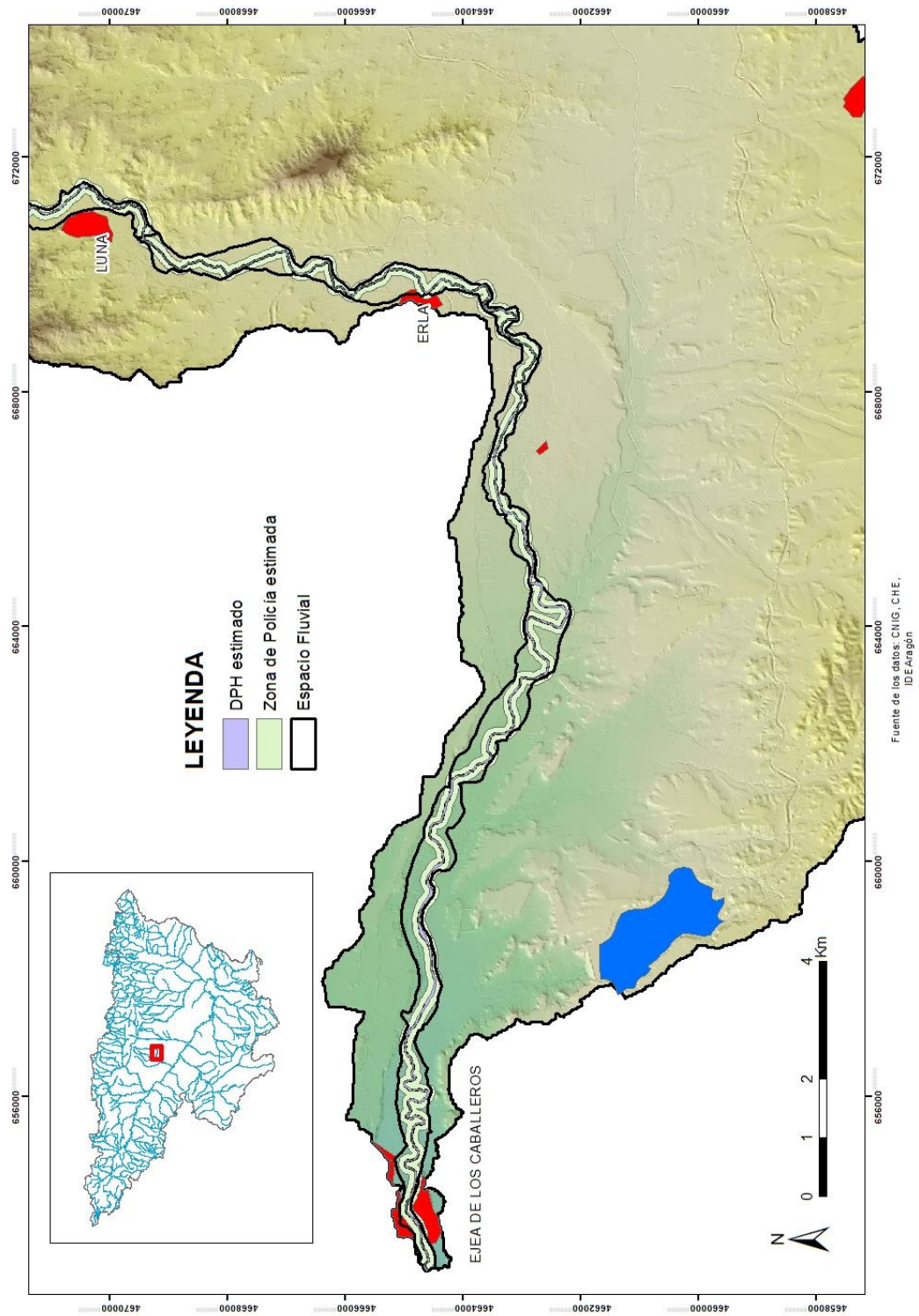


Figura 75. Espacio fluvial perteneciente al tramo hidromorfológico Luna-Ejea. Elaboración propia

5.1. Grado de ocupación del espacio fluvial por elementos impermeables

En este apartado se ha contabilizado la superficie (hectáreas) del espacio fluvial que está ocupada por espacios impermeables, considerando los espacios derivados de la urbanización y la construcción de vías de comunicación, tal y como señala el PHMF (2017).

Como se muestra en las figuras 76 y 77 la superficie impermeable dentro del espacio fluvial es muy pequeña, ya que ningún núcleo urbano al completo está dentro de este. Por lo tanto los elementos impermeables tienen poca capacidad para modificar las características de la masa. La superficie impermeable es mayor en el tramo hidromorfológico 1 que en el 2.

TRAMO 1:GRADO DE OCUPACIÓN DEL ESPACIO FLUVIAL POR ELEMENTOS IMPERMEABLES			
	Margen izquierda	Margen derecha	Valor global del tramo de estudio
Superficie de la Zona fluvial adyacente al cauce del tramo hidromorfológico (ha)	196,47	187,34	383,81
Superficie impermeabilizada en la Zona fluvial adyacente al cauce del tramo hidromorfológico (ha)	0,604	1,813	2,417
Porcentaje de superficie impermeabilizada en la Zona fluvial adyacente al cauce del tramo hidromorfológico (%)	0,30	0,96	0,62

Figura 76. Ocupación del espacio fluvial por elementos impermeables en el tramo hidromorfológico 1.Elaboración propia.

TRAMO 2:GRADO DE OCUPACIÓN DEL ESPACIO FLUVIAL POR ELEMENTOS IMPERMEABLES			
	Margen izquierda	Margen derecha	Valor global del tramo de estudio
Superficie de la Zona fluvial adyacente al cauce del tramo hidromorfológico (ha)	378,66	501,31	879,97
Superficie impermeabilizada en la Zona fluvial adyacente al cauce del tramo hidromorfológico (ha)	7,527	7,852	15,379
Porcentaje de superficie impermeabilizada en la Zona fluvial adyacente al cauce del tramo hidromorfológico (%)	1,98	1,56	1,74

Figura 77. Ocupación del espacio fluvial por elementos impermeables en el tramo hidromorfológico 2. Elaboración propia

5.2. Obras de estabilización de márgenes y de protección o defensa de zonas inundables

Como se observa en las siguientes figuras, el tramo 1 carece de obras de estabilización de márgenes. En el caso del tramo 2 encontramos en el entorno de Ejea de los Caballeros.

TRAMO 1: OBRAS DE ESTABILIZACIÓN DE MÁRGENES Y DE PROTECCIÓN O DEFENSA DE ZONAS INUNDABLES			
	Margen izquierda	Margen derecha	Valor global del tramo de estudio
Longitud total de obras de estabilización de márgenes (escolleras, muros o gaviones) en el tramo hidromorfológico (km)	0	0	0
Porcentaje de la longitud del tramo hidromorfológico con obras de estabilización de márgenes (%)	0	0	0

Figura 78. Obras de estabilización de márgenes y de protección o defensa de zonas inundables en el tramo hidromorfológico 1. Elaboración propia.

TRAMO 2: OBRAS DE ESTABILIZACIÓN DE MÁRGENES Y DE PROTECCIÓN O DEFENSA DE ZONAS INUNDABLES			
	Margen izquierda	Margen derecha	Valor global del tramo de estudio
Longitud total de obras de estabilización de márgenes (escolleras, muros o gaviones) en el tramo hidromorfológico (km)	1,20	1,53	2,73
Porcentaje de la longitud del tramo hidromorfológico con obras de estabilización de márgenes (%)	3,83	4,89	8,72

Figura 79. Obras de estabilización de márgenes y de protección o defensa de zonas inundables en el tramo hidromorfológico 2. Elaboración propia.

En la figura 80 aparece cartografiado el entorno de Ejea de los Caballeros, ya que se trata de la zona en la que más obras para la estabilización de márgenes se han realizado, encontrando zonas totalmente canalizadas (muro de escollera), además de gaviones y escolleras. Se han cartografiado estas zonas tras la realización de trabajo de campo.

ACCIONES ANTRÓPICAS EN EL ETORNO DE EJEA DE LOS CABALLEROS

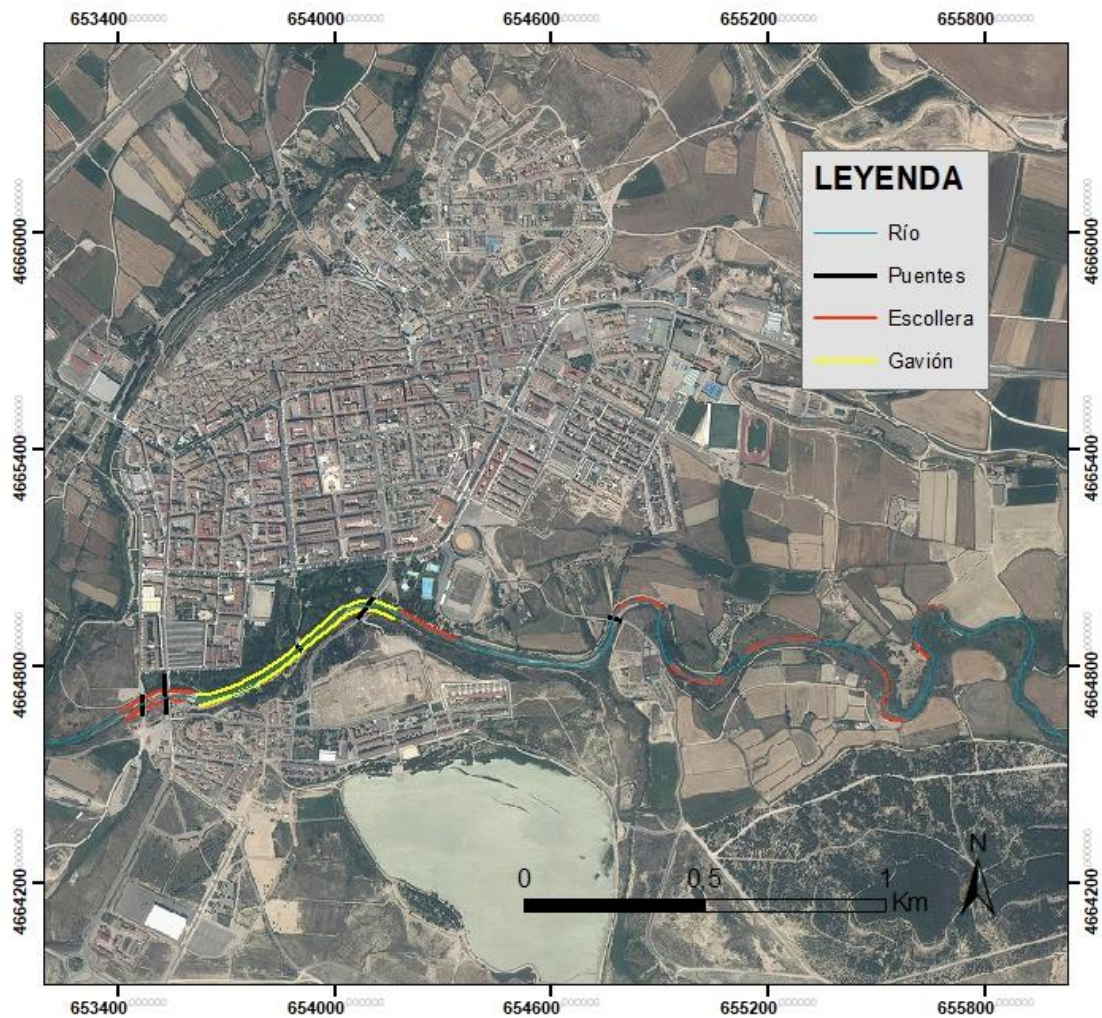


Figura 80. Acciones antrópicas de estabilización de márgenes llevadas a cabo en Ejea de los Caballeros. Ortofoto Vuelo PNOA 2015 (CNIG). Elaboración propia.



Figura 81. Tramo canalizado (muro de escollera) a la salida del Parque de Ejea. Elaboración propia.



Figura 82. Zona protegida con gaviones (izquierda en la foto) y muro de escollera (derecha) en el Parque Central de Ejea de los Caballeros. Fuente: Alfredo Ollero.

3.3.2. ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO DEL RÍO

En este apartado se recogen los datos obtenidos tras la salida de campo, con la visita a ambos subtramos de muestreo.

TRAMO HIDROMORFOLÓGICO EL FRAGO-LUNA. SUBTRAMO DE MUESTREO DE LUNA

El tipo de sustrato que encontramos es **aluvial** (el río se asienta sobre sus propios depósitos), con una dominancia de **sedimento grueso** (más gravas que cantos) entre 25 y 90 mm y con presencia de bloques (inferior al 5%) y sedimento fino (arenas, limos y arcillas). Los sedimentos se clasifican de forma **efectiva**, bien imbricados, barras bien formadas, y acorazamiento moderado (figuras 92 y 93) y la movilidad del sedimento es **efectiva**. En estos casos cabe destacar que la salida de campo es dos semanas posterior a la crecida de 2018, por lo que se considera que en condiciones de normalidad la clasificación del sedimento y su movilidad es limitada. En cuanto a la estructura longitudinal (secuencia de elementos del fondo del cauce en el sentido de la pendiente dominante), se puede hablar de una estructura de rápidos y pozas, más conocida como **rifle-pool**. Encontramos **barras marginales** en la margen derecha. No se encuentran síntomas de incisión en el cauce, pero sí que se encuentran evidencias de extracciones de áridos en el pasado (figura 94). También destaca la presencia del azud del Molinar 1 km aguas arriba del subtramo de muestreo, lo que puede llevar a una alteración de la estructura y sustrato del lecho. En cuanto a los microhábitats existentes destacan las **orillas vegetadas**.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: TIPO DE SUSTRATO	
En roca	<input type="checkbox"/>
Coluvial	<input type="checkbox"/>
Aluvial	X
Mixto	<input type="checkbox"/>

Figura 83. Tipo de sustrato del lecho. Subtramo de muestreo de Luna. Elaboración propia.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: TAMAÑO DOMINANTE DEL SEDIMENTO				
	DOMINANCIA	ABUNDANCIA	PRESENCIA	AUSENCIA
Rocoso			X	
Grueso	X			
Fino			X	
Lodos			X	
				X

Figura 84. Tamaño dominante del sedimento. Subtramo de muestreo de Luna. Elaboración propia.

CLASIFICACIÓN DE LOS SEDIMENTOS		
Efectiva	X	Los sedimentos se encuentran imbricados, hay un acorazamiento moderado y las barras se encuentran bien formadas.
Limitada		Falla alguno de los indicadores: no se observa imbricación clara o el acorazamiento es muy alto o muy bajo o las barras son incipientes. Si el sedimento es arena o fino no habrá una buena construcción de depósitos.
Nula		Fallan todos los aspectos: no se registra imbricación, no hay acorazamiento o este es excesivo y no hay depósitos sedimentarios claros.

Figura 85. Clasificación de los sedimentos. Subtramo de muestreo de Luna.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: ESTRUCTURA LONGITUDINAL		
Poza/marmita de gigante		
Salto/poza		
Rápido/poza		X
Rápido/remanso		
Rápido continuo		
Grada		
Rampa		
Tabla		
Otra (especificar)		
Modificada	SI	NO X

Figura 86. Tipo de estructura longitudinal. Subtramo de muestreo de Luna.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: PRESENCIA DE DIVERSAS FORMAS DEL LECHO		
Barra en el cauce		
Barra marginal		X
Isla		X
Canal secundario		
Canal de crecida		
Surco		
Brazo ciego		
Cauce abandonado		
Otra (especificar)		
Sin formas naturales		

Figura 87. Presencia de diversas formas del lecho. Subtramo de muestreo de Luna. Elaboración propia.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: MOVILIDAD DE SEDIMENTOS		
Efectiva	X	El sedimento está suelto y es fácilmente movilizable, no está cubierto por una capa de finos, no hay colonización vegetal o ésta es muy débil, hay madera muerta transportada y/o arribazones integrados con los sedimentos.
Limitada		El sedimento muestra algunos síntomas de compactación o asiste a una colonización vegetal moderada.
Nula		El sedimento está encostrado superficialmente o bien cubierto de una capa continua de material fino o está totalmente colonizado por vegetación.

Figura 88. Movilidad de los sedimentos. Subtramo de muestreo de Luna. Elaboración propia.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: SÍNTOMAS DE DINÁMICA VERTICAL ACELERADA			
	Margen derecha	Margen izquierda	Valor global del tramo de estudio
¿Existen síntomas de incisión?	NO	NO	NO

Figura 89. Síntomas de dinámica vertical acelerada. Subtramo de muestreo de Luna. Elaboración propia.

ACTUACIONES HUMANAS QUE GENERAN ALTERACIONES EN LA ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO	
Remociones, extracciones de áridos y dragados	X
Azudes y otras estructuras de fondo	X

Figura 90. Actuaciones humanas que generan alteraciones. Subtramo de muestreo de Luna. Elaboración propia.

MICROHÁBITATS DIFERENCIABLES				
HÁBITATS	Estimación de ocupación en el tramo de muestreo			
	DOMINANCIA	ABUNDANCIA	PRESENCIA	AUSENCIA
Detritos vegetales o restos vegetales muertos			X	
Orillas vegetadas		X		
Macrófitos sumergidos				X

Figura 91. Microhábitats diferenciables. Subtramo de muestreo de Luna. Elaboración propia.



Figura 92. Barra marginal bien formada con el sedimento bien imbricado (fotografía posterior a l crecida de 2018).
Elaboración propia.



Figura 93. Acorazamiento del sedimento. Elaboración propia.



Figura 94. Evidencia de extracciones de áridos en el pasado. Elaboración propia.

TRAMO HIDROMORFOLÓGICO LUNA-EJEA. SUBTRAMO DE MUESTREO DE ERLA

El tipo de sustrato que encontramos es **aluvial**, con una dominancia de **sedimento grueso** (más gravas que cantos) con una media de unos 30 mm. Los sedimentos se clasifican de forma **limitada**, la imbricación no es clara, y la movilidad del sedimento es **limitada**, con síntomas de compactación y colonizada por la vegetación. En este caso cabe destacar que la salida de campo es anterior a la crecida de 2018. En cuanto a la estructura longitudinal (secuencia de elementos del fondo del cauce en el sentido de la pendiente dominante), se puede hablar de una estructura de rápidos y pozas, más conocida como **rifle-pool**. Encontramos **barras marginales** en la margen derecha. No se encuentran síntomas de incisión en el cauce. Destaca la presencia de un azud (azud de Santía) 500 metros aguas arriba del subtramo de muestreo, lo cual puede modificar la estructura y el sustrato del lecho. En cuanto a los microhábitats existentes destacan las **orillas vegetadas**.

Tras visitar el subtramo de muestreo antes y después de la crecida de 2018, lo que sí que se puede decir es que la calificación de sedimentos y su movilidad es muy buena tras este tipo de crecidas, pero al ser tan lejanas en el tiempo (caudal de 63,8 m³/sg y un periodo de retorno de 13 años según el método de Gumbel) hace que con el paso de meses o años la vegetación colonice estas barras marginales y compacte mucho el sedimento.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: TIPO DE SUSTRATO	
En roca	<input type="checkbox"/>
Coluvial	<input type="checkbox"/>
Aluvial	X
Mixto	<input type="checkbox"/>

Figura 94. Tipo de sustrato del lecho. Subtramo de muestreo de Erla. Elaboración propia.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: TAMAÑO DOMINANTE DEL SEDIMENTO				
Rocoso	DOMINANCIA	ABUNDANCIA	PRESENCIA	AUSENCIA
Grueso				X
	X			
Fino			X	
Lodos				X

Figura 95. Tamaño dominante del sedimento. Subtramo de muestreo de Erla. Elaboración propia.

CLASIFICACIÓN DE LOS SEDIMENTOS		
Efectiva		Los sedimentos se encuentran imbricados, hay un acorazamiento moderado y las barras se encuentran bien formadas.
Limitada	X	Falla alguno de los indicadores: no se observa imbricación clara o el acorazamiento es muy alto o muy bajo o las barras son incipientes. Si el sedimento es arena o fino no habrá una buena construcción de depósitos.
Nula		Fallan todos los aspectos: no se registra imbricación, no hay acorazamiento o este es excesivo y no hay depósitos sedimentarios claros.

Figura 96. Clasificación de los sedimentos. Subtramo de muestreo de Erla. Elaboración propia.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: ESTRUCTURA LONGITUDINAL		
Poza/marmita de gigante		
Salto/poza		
Rápido/poza		X
Rápido/remanso		
Rápido continuo		
Grada		
Rampa		
Tabla		
Otra (especificar)		
Modificada	SI	NO X

Figura 97. Tipo de estructura longitudinal. Subtramo de muestreo de Erla. Elaboración propia.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: PRESENCIA DE DIVERSAS FORMAS DEL LECHO		
Barra en el cauce		
Barra marginal		X
Isla		
Canal secundario		
Canal de crecida		
Surco		
Brazo ciego		
Cauce abandonado		
Otra (especificar)		
Sin formas naturales		

Figura 98. Presencia de diversas formas del lecho. Subtramo de muestreo de Erla. Elaboración propia.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: MOVILIDAD DE SEDIMENTOS		
Efectiva		El sedimento está suelto y es fácilmente movilizable, no está cubierto por una capa de finos, no hay colonización vegetal o ésta es muy débil, hay madera muerta transportada y/o arribazones integrados con los sedimentos.
Limitada	X	El sedimento muestra algunos síntomas de compactación o asiste a una colonización vegetal moderada.
Nula		El sedimento está encostrado superficialmente o bien cubierto de una capa continua de material fino o está totalmente colonizado por vegetación.

Figura 99. Movilidad de sedimentos. Subtramo de muestreo de Erla. Elaboración propia.

ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO: SÍNTOMAS DE DINÁMICA VERTICAL ACELERADA			
	Margen derecha	Margen izquierda	Valor global del tramo de estudio
¿Existen síntomas de incisión?	NO	NO	NO

Figura 100. Síntomas de dinámica vertical acelerada. Subtramo de muestreo de Erla.

ACTUACIONES HUMANAS QUE GENERAN ALTERACIONES EN LA ESTRUCTURA Y SUSTRATO DEL LECHO	
Remociones, extracciones de áridos y dragados	
Azudes y otras estructuras de fondo	X

Figura 101. Actuaciones humanas que generan alteraciones en la estructura y sustrato del lecho. Subtramo de muestreo de Erla. Elaboración propia.

MICROHABITATS DIFERENCIABLES				
HÁBITATS	Estimación de ocupación en el tramo de muestreo			
	DOMINANCIA	ABUNDANCIA	PRESENCIA	AUSENCIA
Detritos vegetales o restos vegetales muertos			X	
Orillas vegetadas		X		
Macrófitos sumergidos				X

Figura 102. Microhábitats diferenciables. Subtramo de muestreo de Erla. Elaboración propia.



Figura 103. Subtramo de muestreo de Erla, antes de la crecida de 2018. Elaboración propia.



Figura 104. Subtramo de muestreo de Erla, después de la crecida de 2018. Elaboración propia.



Figura 105. Barra marginal colonizada por la vegetación, con mala imbricación y sedimento poco movilizable (antes de la crecida de 2018). Elaboración propia.



Figura 106. Acorazamiento del sedimento. Elaboración propia.

-Conclusiones:

Refiriéndonos a los dos subtramos de muestreo, se puede decir que en cuanto a la estructura y sustrato del lecho, la similitud es clara. Se podría destacar especialmente el mayor tamaño de los sedimentos en el caso del subtramo de Luna (encontramos más cantos y bloques), debido especialmente a la mayor fuerza erosiva del río en el tramo más alto, con una pendiente más elevada.

3.3.3. ESTRUCTURA DE LA ZONA RIBEREÑA

Al igual que en apartado anterior los datos fueron recogidos en la salida de campo de cada subtramo de muestreo, apoyado con el trabajo de gabinete.

TRAMO HIDROMORFOLÓGICO EL FRAGO-LUNA. SUBTRAMO DE MUESTREO DE LUNA

En cuanto a la vegetación de la zona ribereña, en este subtramo de muestreo encontramos dos especies dominantes como son el *Populus nigra* (álamo o chopo negro) y el *Salix eleagnos* (sargatillo), repartiéndose aproximadamente un 50 % para cada especie.

-La especie *Populus nigra* o chopo negro (nombre vulgar) es una especie arbórea típica de bosques aluviales europeos (Vanden Broeck, 2017). Aparece en este subtramo de muestreo tanto en la margen izquierda como en la derecha.

-La especie *Salix eleagnos* es un tipo de sauce, de pequeño tamaño (hasta 6 metros), caducifolio y su hábitat son los cursos de agua. Aparece también bien representado tanto en la margen izquierda como en la derecha.

RIBERA Y CAUCE ACTIVO DEL SUBTRAMO 1

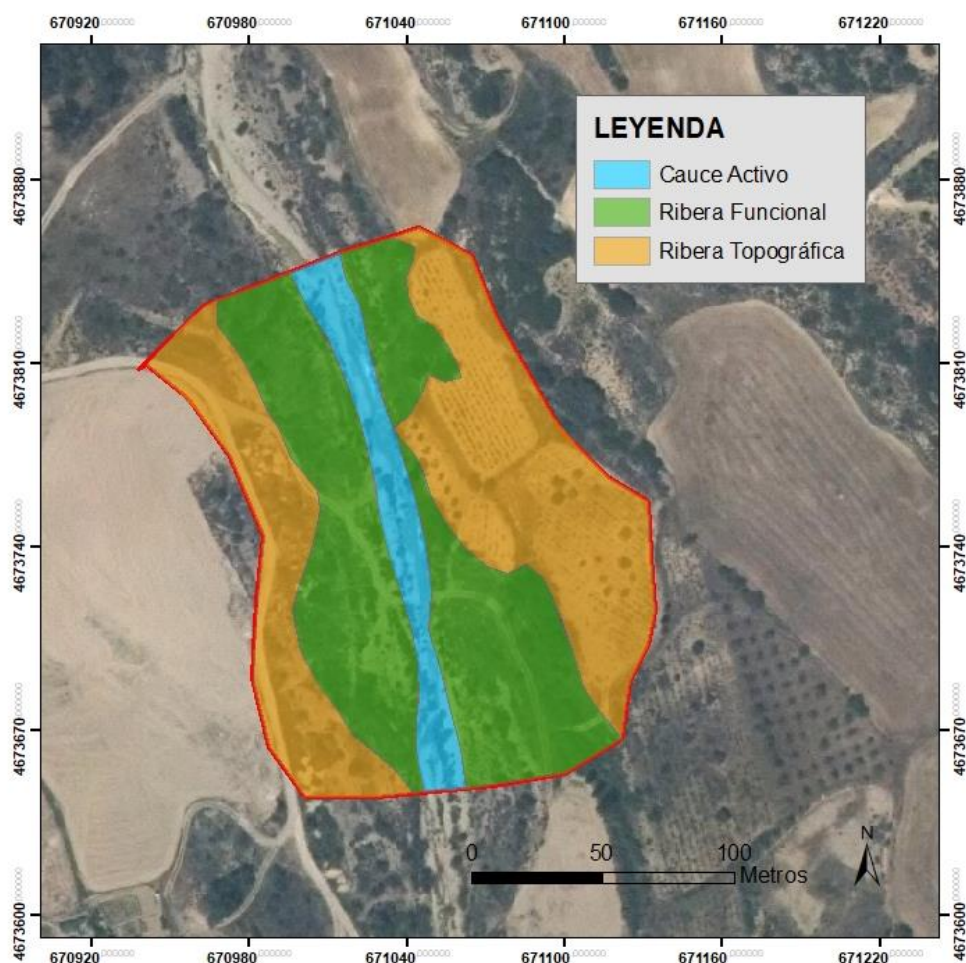


Figura 107. Ribera y cauce activo en el subtramo de muestreo de Luna. Ortofoto vuelo PNOA 2015 (CNIG).
Elaboración propia.

ESTRUCTURA DE LA ZONA RIBEREÑA: ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA			
	Margen derecha	Margen izquierda	Valor global del tramo de estudio
Conectividad ecológica longitudinal (%)	40	40	40
Superficie de la ribera topográfica actual (ha)	0,46	0,77	0,62
Superficie de la ribera funcional (ha)	0,60	0,60	0,60
Conectividad ecológica transversal (%)	50	5	27,5
Categoría de conexión entre estratos	ESCASA	CONECTADA	MODERADA

Figura 108. Estructura de la vegetación de ribera. Subtramo de muestreo de Luna. Elaboración propia.

ESTRUCTURA DE LA ZONA RIBEREÑA: COMPOSICIÓN ESPECÍFICA			
	<i>Margen derecha</i>	<i>Margen izquierda</i>	<i>Valor global del tramo de estudio</i>
<i>Formación dominante en la vegetación ribereña</i>	<i>Populus nigra y Salix eleagnos</i>	<i>Populus nigra y Salix eleagnos</i>	<i>Populus nigra y Salix eleagnos</i>
<i>Formación potencial de la vegetación ribereña</i>	<i>Bosques de galería de salix y populus</i>	<i>Bosques de galería de salix y populus</i>	<i>Bosques de galería de salix y populus</i>
<i>Naturalidad: porcentaje de la ribera funcional con especies autóctonas (%)</i>	100	100	100
<i>Categoría de diversidad de pisos/clases de edad, incluyendo regenerado (salvo por condiciones naturales)</i>	Varios pisos de edades	Varios pisos de edades	Varios pisos de edades
<i>Presencia de árboles muertos</i>	SI	NO	SI
<i>Hábitats presentes de la Directiva 92/43/CEE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres</i>		NO	

Figura 109. Composición específica de la zona ribereña. Subtramo de muestreo de Luna. Elaboración propia.

No se encuentran limitaciones en la conexión transversal con la ribera topográfica por estructuras artificiales, ni alteración de los materiales del sustrato por actividades humanas.

TRAMO HIDROMORFOLÓGICO LUNA-EJEA. SUBTRAMO DE MUESTREO DE ERLA

En este segundo subtramo de muestreo nos encontramos con una ribera funcional menos definida en algunas zonas (figura 110). En este caso sobresale la presencia de una especie, *Populus nigra*. Además podemos encontrar la especie *Salix alba*, aunque es cierto que en menor presencia.

RIBERA Y CAUCE ACTIVO DEL SUBTRAMO 2

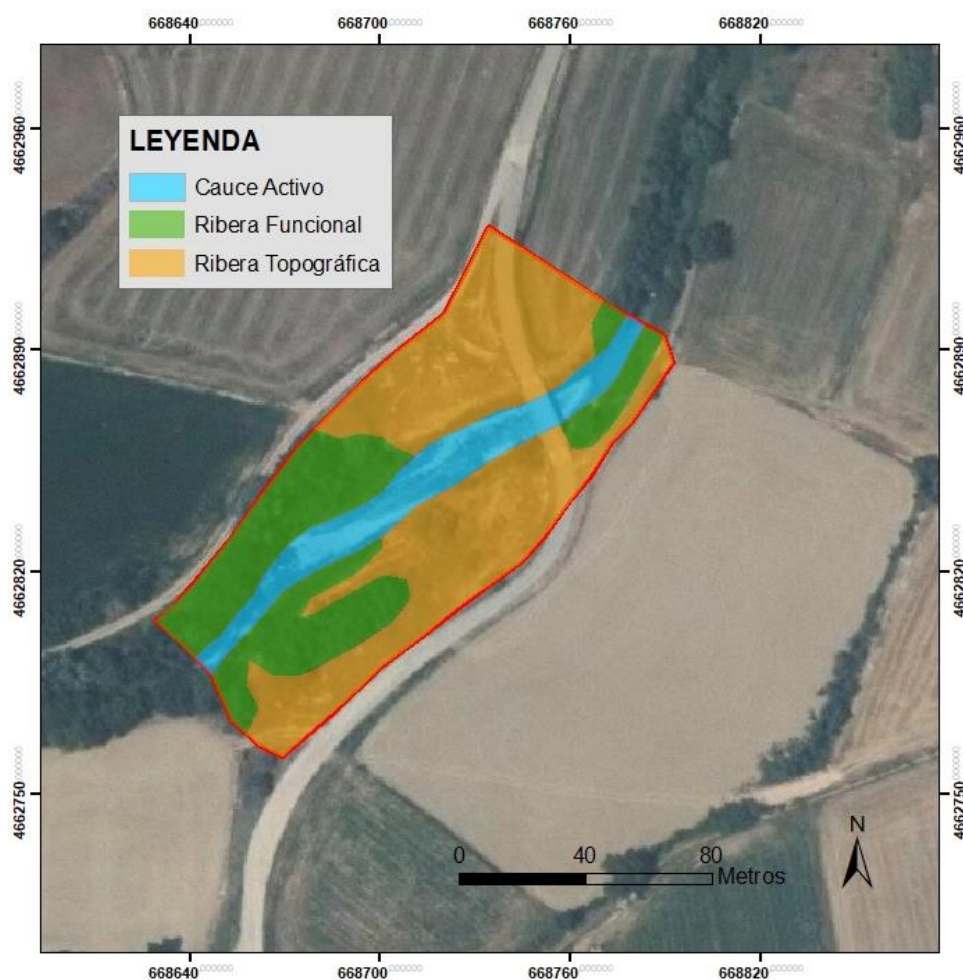


Figura 110. Ribera y cauce activo en el subtramo de muestreo de Erla. Ortofoto vuelo PNOA 2015 (CNIG).
Elaboración propia.

ESTRUCTURA DE LA ZONA RIBEREÑA: ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA			
	Margen derecha	Margen izquierda	Valor global del tramo de estudio
Conectividad ecológica longitudinal (%)	51,69	62,57	57,15
Superficie de la ribera topográfica actual (ha)	0,48	0,50	0,49
Superficie de la ribera funcional (ha)	0,17	0,349	0,26
Conectividad ecológica transversal (%)	35,41	69,8	52,6
Categoría de conexión entre estratos	CONECTADA	ESCASA	MODERADA

Figura 111. Estructura de la vegetación de ribera. Subtramo de Erla. Elaboración propia.

ESTRUCTURA DE LA ZONA RIBEREÑA: COMPOSICIÓN ESPECÍFICA			
	<i>Margen derecha</i>	<i>Margen izquierda</i>	<i>Valor global del tramo de estudio</i>
<i>Formación dominante en la vegetación ribereña</i>	<i>Populus nigra</i>	<i>Populus nigra</i>	<i>Populus nigra</i>
<i>Formación potencial de la vegetación ribereña</i>	<i>Bosques de galería de salix y populus</i>	<i>Bosques de galería de salix y populus</i>	<i>Bosques de galería de salix y populus</i>
<i>Especies acompañantes</i>	<i>Salix alba</i>	<i>Salix alba, Fraxinus excelsior</i>	<i>Salix alba</i>
<i>Naturalidad: porcentaje de la ribera funcional con especies autóctonas (%)</i>	100	100	100
<i>Categoría de diversidad de pisos/clases de edad, incluyendo regenerado (salvo por condiciones naturales)</i>	Varios pisos de edades	Varios pisos de edades	Varios pisos de edades
<i>Presencia de árboles muertos</i>	NO	NO	NO
<i>Hábitats presentes de la Directiva 92/43/CEE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres</i>		NO	

Figura 112. Composición específica de la zona ribereña. Subtramo de Erla. Elaboración propia.

Al igual que en el subtramo anterior no se encuentran limitaciones en la conexión transversal con la ribera topográfica por estructuras artificiales, ni alteración de los materiales del sustrato por actividades humanas.

-Conclusiones:

Como se ha podido observar, en cuanto a la vegetación de ambas riberas, la diferencia no es muy notable, encontrando en ambos subtramos chopos y sauces como especies dominantes. Los que sí que es destacable son las diferencias de forma de la ribera funcional. En el caso del subtramo de Luna encontramos una ribera que ocupa toda la orilla prácticamente, pero con densidad escasa. Sin embargo en el subtramo de Erla, la ribera funcional es menos continua, pero tiene gran densidad en la mayoría de las zonas.

4. DISCUSIÓN

Como ya ha sido comentado en este trabajo, la metodología que se ha llevado a cabo es la que propone el PHMF (2017). Por ello, ha parecido oportuno dedicar este apartado a la realización de una crítica a esa metodología, destacando aspectos que en mi opinión deberían ser mejorados de cara a futuras actualizaciones del protocolo.

En primer lugar, la división de un río en varias masas distintas no parece adecuada de cara a la aplicación de un protocolo que estudia la hidromorfología de un río, ya que un río y su cuenca hidrográfica han de considerarse como un conjunto y no debe estar dividida en varios subconjuntos. La división no se ha realizado por criterios hidromorfológicos, sino a partir de un sistema de ecología regional que estableció el ministerio (MAPAMA). La aplicación habría sido más efectiva si los tramos hubieran respondido a diferencias hidromorfológicas entre sí.

En el apartado de régimen de caudales del PHMF (2017) debería introducirse un pequeño análisis climático de la cuenca hidrográfica, ya que no aparece reflejado en la metodología del protocolo. En este trabajo sí que se ha introducido este análisis climático, ya que se considera de gran importancia para entender el régimen de caudales y sus posibles alteraciones.

En cuanto a la caracterización de las fuentes de alteración del régimen de caudales sólidos se han detectado varios aspectos que se podrían mejorar:

- Para la caracterización del grado de afección por incendios forestales el protocolo establece que la fuente para la catalogación de estos sea el Mapa de Frecuencia de incendios forestales (2001 a 2014) por término municipal. En mi opinión, sería más oportuno que para catalogar el grado de afección por incendios se consideren el número de hectáreas quemadas, en lugar del número de incendios por término municipal.

- Para la caracterización de la retención de sedimentos en laderas y afluentes, así como para las extracciones de áridos y dragados, el protocolo no establece unos criterios claros para cuantificar estos aspectos. Por lo tanto, deberían revisarse estos aspectos e introducir otros criterios que permitan una cuantificación de mayor calidad, como la caracterización de los materiales de las laderas, cartografía de las zonas de fuente de sedimentos, observación de los pasos de los barrancos afluentes bajo las carreteras, etc.

Otro aspecto importante a destacar son las salidas de campo para diagnosticar la estructura y sustrato del lecho y la estructura de la zona ribereña. Las fichas de campo que ofrece el protocolo son demasiado superficiales, sin entrar en detalles técnicos, especialmente en cuanto al sustrato y estructura del lecho. Un protocolo de caracterización hidromorfológica debería profundizar más en este aspecto, con unas fichas de campo de carácter más técnico.

5. CONCLUSIONES

La aplicación del Protocolo de Caracterización Hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos es una buena metodología para el análisis hidromorfológico de un río, aunque como bien se ha comentado en el apartado de discusión tiene algunos aspectos que podrían ser mejorables.

En cuanto a la masa estudiada, destaca por la poca alteración del régimen de caudales líquidos, debido a la ausencia de embalses dentro de la propia masa, ya que el embalse de Laverné se sitúa fuera de la masa, en un barranco adyacente. Sin embargo, el régimen de caudales sólidos sí que ha sido alterado, debido a las numerosas extracciones de áridos y dragados realizados en esta masa en los últimos años.

Por otra parte, la masa estudiada destaca por las numerosas actuaciones que se han realizado en el cauce en el tramo desde Luna, con desviaciones del cauce muy marcadas y la canalización en el entorno de Ejea de los Caballeros, lo que puede llevar a alteraciones en la variación de anchura y profundidad del cauce del río.

En definitiva, encontramos un tramo entre Luna y Ejea de los Caballeros, que se corresponde con el tramo hidromorfológico 2 de este trabajo muy marcado por las presiones antrópicas y otro tramo entre El Frago y Luna (tramo hidromorfológico 1 del trabajo) con menos presiones y protegido por el LIC *Arba de Biel*.

Una vez conocidas las problemáticas que presenta la masa sería interesante actuar para conservar la calidad de este río. Deberían llevarse a cabo actuaciones como frenar las extracciones de áridos y dragados, la construcción de escalas de peces en cada azud y estudiar la eliminación de alguno de estos si fuera oportuno.

Además, las zonas del cauce que fueron desviadas en el pasado deberían estudiarse, ya que el río durante sus crecidas tiende a volver a su cauce natural, y por lo tanto las zonas de cultivo y el entorno de Ejea de los Caballeros próximo a estas zonas se encuentran en zona de mayor riesgo por inundación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, M., Ballarín, D., Corrochano, A., Fernández, J.A., García, J., González, G., Horacio, J., Ibisate, A., Magdaleno, F., Vilan, X.M., Martínez, C., Núñez, J.L., Ollero, A., Pérez, A., Puig, A., Sánchez, F.J. (2015). Protocolo para la caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos en España. II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial-RESTAURARIOS 2015, 198-206.
- Banco de Datos de la Naturaleza (MAPAMA). Peces continentales de España. *Chondrostoma arcasii* (Steindachner, 1866).
- Confederación Hidrográfica del Ebro (2008). *Plan Hidrológico del río Arba*.
- Doadrio, I., Perea, S., Garzón-Heydt, P., González, J. L. (2011). Ictiofauna Continental Española. Bases para su seguimiento. Dirección General Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. 610 pp.
- Durán, C.; Navarro, P.; Rodríguez, M^a. J. (coords., 2013) Protocolos de muestreo y análisis para indicadores hidromorfológicos. Confederación Hidrográfica del Ebro, 42 p. + apéndice, Zaragoza.
- Estrela, T., Quintas, L. (1996). El sistema integrado de modelización precipitación aportación SIMPA. *Revista de Ingeniería Civil*, 104, 43-52.
- García de Jalón, D., González del Tánago, M. (1983). Estudio biotipológico de las comunidades piscícolas de la cuenca del Duero. *Bol. Est. Cent. Ecol.*, 12, 57-66.
- Gaspar, J. Estanca del Gancho - Cinco Villas. Recuperado de: <http://www.cincovillas.com/estanca-del-gancho/>
- Gumbel, E.J. (1958). Statistics of extremes. *Columbia University Press*, Nueva York (EE.UU.).
- Ibarra, P. (1985). Geomorfología de la depresión del Arba de Biel. *Medio Geográfico*, II, 59-95.
- López Martín, F., Cabrera Millet, M., Cuadrat Prats, J., Saz Sánchez, M., Vicente Serrano, S. (2007). Atlas climático de Aragón. [Zaragoza]: Gobierno de Aragón. Departamento de Medio Ambiente.
- Magdaleno, F., y Martínez, R. (2014). Evaluating the quality of riparian forest vegetation: The Riparian Forest Evaluation (RFV) index. *Forest Systems*, 23, 259-272.

-Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2017). Guía de Interpretación del “Protocolo de Caracterización Hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos”.

-Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2017). Protocolo de Caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos (PHMF).

-Nelson, J.S. (1994). Fishes of the world. *Third edition. John Wiley & Sons*, New York. 600 p.

-Ollero, A., Ibisate, A., & Elso, J. (2009). El territorio fluvial y sus dificultades de aplicación. *Geographicalia*, 56, 37-62.

-Ollero, A. (2014). Guía metodológica sobre buenas prácticas en gestión de inundaciones. Manual para gestores. Contrato de río del Matarraña, ECODES, 143 p., Zaragoza.

-Rosgen, D.L. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22(3), 169-199

-Salvador, A. (2013). Barbo de Graells – *Luciobarbus graellsii*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Elvira, B. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>

-Unión Europea. Directiva (UE) 2000/60 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre del 2000. Directiva Marco del Agua.

-Vanden Broeck, A. (2007). EUFORGEN Guía Técnica para la conservación genética y uso del Chopo negro europeo (*Populus nigra*).

-Verdiell, D. (2011). Barbo colirrojo – *Barbus haasi*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Elvira, B. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>

FUENTES DE DESCARGA DE DATOS:

-Atlas Nacional de España. Disponible en: <http://www.ign.es/ane/ane1986-2008/>

-Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG): descargas. Disponible en: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

-DATAGUA: Inventario de presiones en aguas superficiales. MAPAMA. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/datagua-2008.aspx>

-GeoPortal SITEbro: descargas. Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Disponible en: <http://iber.chebro.es/geoportal/>

-IDEAragón: descargas. Disponible en: <http://idearagon.aragon.es/descargas>

-Mapa de Caudales Máximos en Régimen Natural (CAUMAX). Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/mapa-de-caudales-maximos/>

-Sistema Integrado de Precipitación Aportación (SIMPA). Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/simpa.aspx>

-Sistema de Información del Anuario de Aforos. MAPAMA. Disponible en: <http://sig.magrama.es/aforos/>

-TAXAGUA: Tesauro Taxonómico para la clasificación del estado ecológico de las masas de agua continentales. MAPAMA. Disponible en:

<http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/programas-seguimiento/TAXAGUA.aspx>

7. ANEXO

PRESIONES ANTRÓPICAS EN LA MASA 103

