Universidad Zaragoza
1542

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS INTEGRADO DEL RÍO ÉSERA Y SUS RIESGOS DE INUNDACIÓN

INTEGRATED ANALYSIS OF ÉSERA RIVER AND ITS RISKS OF FLOOD

Autor/es

Miguel Ángel Tobajas Carrera

Director/es

Daniel Ballarín Ferrer

Facultad de Filosofía y Letras: Grado en Geografía y Ordenación del Territorio

Septiembre 2016

Índice de contenidos

1. Introducción: Justificación del trabajo y objetivos 8

2. Metodología y trabajo de campo 9

3. Caracterización del área de estudio 11

3.1. Localización de la zona de estudio 11

3.2. Climatología de la zona de estudio 12

3.3. Pendiente de la cuenca de estudio 14

3.4. Litología en la cuenca de estudio 15

3.5. Usos de suelo y vegetación en la cuenca de estudio 17

4. Caracterización hidrológica de la zona de estudio 19

4.1. Caudalosidad 20

4.2. Variación estacional de caudal 22

4.3. Irregularidad interanual y coeficiente de irregularidad interanual 25

4.4. Fenómenos extremos: estiajes 28

5. Estudio de crecidas e inundaciones 33

5.1. Eventos de crecidas 33

5.2. Número, frecuencia, volumen y reparto de los eventos de crecida 40

5.3. Crecidas históricas y afecciones 45

5.4. Ajuste de Gumbel: probabilidad de crecidas 47

6. Evaluación ambiental: Aplicación Índice Hidrogeomorfológico (IHG) 51

7. Análisis de resultados y comparación con las mediciones llevadas a cabo por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) 58

8. Análisis de riesgos y mejora ambiental 65

8.1. Cartografía de afecciones al estado ecológico e hidrológico de la cuenca de estudio 65

8.2. Análisis en función de la evaluación de riesgos hidrológicos y ambientales, teniendo en cuenta sus características y funcionamiento hidrológico en los tramos y zona de estudio indicada 69

8.3. Efectos socio-económicos de las crecidas: análisis en zonas afectadas 72

8.4. Aplicación de medidas de mitigación: preventivas, estructurales y funcionales 76

9. Conclusiones 80

10. Bibliografía 84

11. Anexos 87

Resumen

Las crecidas fluviales son fenómenos muy importantes que deben ser estudiados y controlados para minimizar los daños que éstas pueden provocar, tanto materiales como humanos. El presente Trabajo de Fin de Grado es un estudio de caso correspondiente al tramo del río Ésera próximo a los municipios con mayor riesgo de inundación, mediante un análisis de su cuenca, junto con un diagnóstico y propuesta de soluciones para conocer y mejorar la gestión de sus riesgos de inundación, desde la perspectiva de la ordenación territorial y medioambiental.

Palabras Clave: *río Ésera, crecidas, inundaciones, Hidrología, gestión fluvial.*

Natural floods are quite relevant phenomena that should be a subject of analysis so as to lessen the damage they may cause, in which both population and material goods can be involved. The following essay contains a case of study corresponding to the Ésera river stretch next municipalities with more flood risk, by means of an analysis of its basin, together with a diagnosis and the proposal of some solutions in order to be acquainted of the floods management of the river and improve it, from the territorial planning and environmental perspective.

Key Words: *Ésera River, natural floods, floods events, Hydrology, flood management.*

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Municipio de Graus 8
Ilustración 2. Canalización en el núcleo de población de Graus. 8
Ilustración 3. Afecciones en la vegetación de ribera en el municipio de Graus 8
Ilustración 4. Esquema de actuaciones en cauces 8
Ilustración 5. Nacimiento del río Ésera: Macizo de los Montes Malditos 11
Ilustración 6. Desembocadura del río Ésera: confluencia del río Ésera con el río Cinca 11
Ilustración 7. Cascada del río Ésera en el municipio de Benasque 11
Ilustración 8. Climograma del municipio de Benasque 13
Ilustración 9. Climograma del municipio de Perarrúa 13
Ilustración 10. Climograma del municipio de Graus 13
Ilustración 11. Estación de Aforo 9128 de Barasona 19
Ilustración 12. Estación de Aforo 9013 en el municipio de Graus 19
Ilustración 13. Estación de Aforo 9258 en el municipio de Campo 19
Ilustración 14. Estación de Aforo 9145 en la localidad de Eriste 19
Ilustración 15. Embalse de Barasona a finales de primavera 22
Ilustración 16. Embalse de Barasona en verano 22
Ilustración 17. Crecida de 2013 en el municipio de Benasque en el río Ésera 39
Ilustración 18. Embalse de Paso Nuevo en el municipio de Benasque 52
Ilustración 19. Embalse de Linsoles en la localidad de Eriste 52
Ilustración 20. Central hidroeléctrica de la localidad de Eriste 52
Ilustración 21. Central hidroeléctrica en el municipio de Seira 52
Ilustración 22. Central hidroeléctrica en el municipio de Sesué 52
Ilustración 23. Central hidroeléctrica en el municipio de Argoné-Campo 52
Ilustración 24. Defensas laterales en el municipio de Benasque 52
Ilustración 25. Escolleras en el municipio de Castejón de Sos 52
Ilustración 26. Canalización en el núcleo de población de Benasque 52
Ilustración 27. Camping en zona inundable del municipio de Benasque 52
Ilustración 28. Camping en zona inundable del municipio de Graus 52
Ilustración 29. Escombros en el río Ésera a su paso por el municipio de Graus 52
Ilustración 30. Puentes en el municipio de Sesué 53
Ilustración 31. Escombros aguas abajo del municipio de Benasque 53
Ilustración 32. Puente de los Llanos del Hospital en el municipio de Benasque 53
Ilustración 33. Vado de los Llanos del Hospital en el municipio de Benasque 53
Ilustración 34. Puente en el municipio de Campo 53
Ilustración 35. Puente en el municipio de Perarrúa 53
Ilustración 36. Azud en las Ventas de Santa Lucía en el municipio de Graus 53
Ilustración 37. Defensas laterales en el municipio de Perarrúa 53
Ilustración 38. Acumulación de material en el municipio de Santaliestra y San Quílez 53
Ilustración 39. Mejillón cebra en el Embalse de Barasona en el municipio de Graus 54
Ilustración 40. Caminos en la ribera del río Ésera en el municipio de Graus 54
Ilustración 41. Río Ésera en la desembocadura 54
Ilustración 42. Congosto de Ventamillo 54
Ilustración 43. Actuaciones antrópicas en la ribera en el municipio de Castejón de Sos 54
Ilustración 44: Crecida 2013 en el municipio de Benasque 65
Ilustración 45: Camping (izquierda) e instalaciones deportivas (derecha) de Graus 72
Ilustración 46: Perarrúa (izquierda) y Besians (derecha) 73
Ilustración 47: Camping de El Run (izquierda) y Castejón de Sos (derecha) 73
Ilustración 48: Viviendas (izquierda) y Camping de Sesué (derecha) 74
Ilustración 49: Viviendas de Eriste (izquierda) e instalaciones deportivas de Sahún (derecha) 74
Ilustración 50: Instalaciones deportivas (izquierda) y núcleo de población (derecha) de Benasque 75

Índice de Figuras

Figura 1: Perfil topográfico del río Ésera 14
Figura 2: Gráfica usos de suelo y vegetación en la cuenca del río Ésera 17
Figura 3: Aportación anual (Barasona; 1949-1972) 20
Figura 4: Aportación anual (Graus; 1949-2013) 20
Figura 5: Aportación anual (Campo; 1994-2013) 21
Figura 6: Aportación anual (Eriste; 1951-2013) 21
Figura 7: Curva de variación estacional de caudal (Barasona; 1949-1972) 23
Figura 8: Curva de variación estacional de caudal (Graus; 1949-2013) 23
Figura 9: Curva de variación estacional de caudal (Campo; 1994-2013) 24
Figura 10: Curva de variación estacional de caudal (Eriste; 1951-2013) 24
Figura 11: Irregularidad interanual (Barasona; 1949-1972) 26
Figura 12: Irregularidad interanual (Graus; 1949-2013) 26
Figura 13: Irregularidad interanual (Campo; 1994-2013) 27
Figura 14: Irregularidad interanual (Eriste; 1951-2013) 27
Figura 15: Gráfica de estiaje (Barasona; 1949-1950) 28
Figura 16: Gráfica de estiaje (Barasona; 1957-1958) 29
Figura 17: Gráfica de estiaje (Graus; 1952) 29
Figura 18: Gráfica de estiaje (Graus; 2004-2005) 30
Figura 19: Gráfica de estiaje (Campo; 2010-2011) 30
Figura 20: Gráfica de estiaje (Campo; 2011-2012) 31
Figura 21: Gráfica de estiaje (Eriste; 1988-1989) 31
Figura 22: Gráfica de estiaje (Eriste; 1996-1997) 32
Figura 23: Hidrograma de crecida (Barasona; 1962) 33
Figura 24: 2º Hidrograma de crecida (Barasona; 1962) 34
Figura 25: Hidrograma de crecida (Graus; 1962) 35
Figura 26: 2º Hidrograma de crecida (Graus; 1962) 35
Figura 27: Hidrograma de crecida (Campo; 1997) 36
Figura 28: 2º Hidrograma de crecida (Campo; 1997) 37
Figura 29: Hidrograma de crecida (Eriste; 1962) 38
Figura 30: Meses de crecida río Ésera (Graus; 1962) 42
Figura 31: Número de eventos de crecida río Ésera (Graus; 1962) 42
Figura 32: Meses de crecida río Ésera (Campo; 1997) 43
Figura 33: Número de eventos de crecida río Ésera (Campo; 1997) 43
Figura 34: Meses de crecida río Ésera (Eriste; 1962) 44
Figura 35: Número de eventos de crecida río Ésera (Eriste; 1962) 44
Figura 36: Gráfica ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Graus (1949-2013) 48
Figura 37: Grafica ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Campo (1992-2013) 49
Figura 38: Gráfica ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Eriste (1992-2013) 50
Figura 39: Esquema de masas valoradas del río Ésera 51
Figura 40: Esquema de estado ecológico de las masas de agua del río Ésera 55
Figura 41: Gráfica de valoración del río Ésera 58
Figura 42: Gráfica variaciones del Nacimiento al Embalse de Paso Nuevo en el río Ésera 59
Figura 43: Gráfica variaciones del Embalse de Paso Nuevo al Río Estós en el río Ésera 60
Figura 44: Gráfica variaciones del Río Estós al Barranco de Barbaruéns en el río Ésera 61
Figura 45: Gráfica variaciones de la carretera n-260 a Aínsa a la E.A. nº13 en Graus en el río Ésera 62
Figura 46: Gráfica variaciones de la E.A. nº13 en Graus al Embalse de Barasona en el río Ésera 63
Figura 47: Gráfica variaciones del Embalse de Barasona a la Desembocadura en el río Ésera 64
Figura 48: Situación sinóptica en altura (500 hPa) y superficie en la crecida de 2012 en el Pirineo 65
Figura 49: Mapa sinóptico en altura (500hPa) de presión y temperatura del 18 de junio 65
Figura 50: Hidrograma de crecida (Eriste; 2012) 66

Índice de Cartografías

Cartografía 1: Localización de la zona de estudio (cuenca del río Ésera) 11
Cartografía 2: Núcleos de población de la cuenca del río Ésera 12
Cartografía 3: Dominios climáticos en la cuenca del río Ésera 12
Cartografía 4: Precipitaciones medias anuales en la cuenca del río Ésera 12
Cartografía 5: Temperaturas medias anuales en la cuenca del río Ésera 12
Cartografía 6: Balance hídrico medio anual en la cuenca del río Ésera 13
Cartografía 7: Topografía en la cuenca del río Ésera 14
Cartografía 8: % de pendientes en la cuenca del río Ésera 14
Cartografía 9: Componentes litológicos de la cuenca del río Ésera 15
Cartografía 10: Usos del suelo y vegetación en la cuenca del río Ésera 17
Cartografía 11: Estaciones de aforo del río Ésera 19
Cartografía 12: Calidad funcional del sistema en el río Ésera 52
Cartografía 13: Calidad del cauce en el río Ésera 53
Cartografía 14: Calidad de las riberas en el río Ésera 54
Cartografía 15: Calidad final hidrogeomorfológica en el río Ésera 55
Cartografía 16: Peligrosidad en el río Ésera 67
Cartografía 17: Zonas más vulnerables en el municipio de Benasque 67
Cartografía 18: Zonas más vulnerables en la localidad de Eriste 67
Cartografía 19: Riesgo de inundación en actividades económicas del municipio de Benasque con un periodo de retorno de 10 años 67
Cartografía 20: Riesgo de inundación en actividades económicas del municipio de Benasque con un periodo de retorno de 500 años 67
Cartografía 21: Riesgo de inundación en actividades económicas en la localidad de Eriste con un periodo de retorno de 10 años 67
Cartografía 22: Riesgo de inundación en actividades económicas en la localidad de Eriste con un periodo de retorno de 500 años 67
Cartografía 23: Riesgo de inundación en actividades económicas desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste con un periodo de retorno de 10 años 67
Cartografía 24: Riesgo de inundación en actividades económicas desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste con un periodo de retorno de 500 años 67
Cartografía 25: Riesgo de inundación de la población con un periodo de retorno de 10 años desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste 68
Cartografía 26: Riesgo de inundación de la población con un periodo de retorno de 500 años desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste 68
Cartografía 27: Máxima crecida ordinaria desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste 68
Cartografía 28: Riesgo de inundación en lugares de importancia ambiental desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste 68
Cartografía 29: Riesgo de inundación en el río Ésera en 2015 72
Cartografía 30: Medidas de mitigación en el río Ésera 77

Índice de Tablas

Tabla 1. Usos de suelo y vegetación en kilómetros y porcentajes 17
Tabla 2. Meses de crecida río Ésera (Graus; 1962) 40
Tabla 3. Meses de crecida río Ésera (Campo; 1997) 41
Tabla 4. Meses de crecida río Ésera (Eriste; 1962) 41
Tabla 5. Crecidas históricas registradas en la cuenca del río Ésera 46
Tabla 6. Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Graus (1949-2013) 47
Tabla 7. Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Campo (1992-2013) 48
Tabla 8. Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Eriste (1992-2013) 49
Tabla 9. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Nacimiento al Embalse de Paso Nuevo 51
Tabla 10. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Embalse de Paso Nuevo al Río Estós 51
Tabla 11. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Río Estós al Barranco de Barbaruéns 51
Tabla 12. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Barranco de Barbaruéns al Puente carretera N-260 a Aínsa 51
Tabla 13. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Puente carretera N-260 a Aínsa a la Estación de Aforo nº13 en Graus 51
Tabla 14. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Estación de aforo nº13 en Graus al Embalse de Barasona 51
Tabla 15. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Embalse de Barasona a Desembocadura 51
Tabla 16. Afecciones crecida 2013 en el valle de Benasque 66

1. Introducción: Justificación del trabajo y objetivos

Este trabajo se ha llevado a cabo, con objetivo de establecer una serie de medidas de mitigación frente a las diferentes avenidas o crecidas dadas en los últimos años en la cuenca del río Ésera, provocando numerosos daños en ciertas entidades de población, como causa de unas actuaciones o medidas no apropiadas para el correcto funcionamiento entre el medio antrópico y el medio natural.

Respecto a mi situación personal, he residido en la localidad de Graus (Ilustración 1: Anexos), en la cual he podido ir vendo a lo largo de los años como se ha ido realizando toda un serie de actuaciones que van desde canalizaciones (Ilustración 2: Anexos) hasta ciertos dragados en la zona, además de la construcción del embalse de Barasona, con el fin de paliar las consecuencias de las crecidas dadas en la cuenca del río Ésera, sin embargo, pese a que es cierto que estas actuaciones han conseguido controlar en cierto modo estos riesgos naturales que son las crecidas, se tratan de unas actuaciones que no favorecen a la evolución y desarrollo ambiental de la cuenca del río Ésera, generando afecciones destacadas en el estado ecológico de dicho río, especialmente en la vegetación de ribera (Ilustración 3: Anexos). Pero esto no solo se da en la localidad de Graus, sino que existen zonas en las que el riesgo de inundación y crecida es especialmente considerable, como es el caso de las localidades de Benasque, Eriste, Castejón de Sos y en Villanova, en las que a lo largo de los últimos años se han dado numerosas crecidas de gran importancia, las cuales han supuesto toda una serie de afecciones negativas en estas localidades, dando lugar a la realización de todo tipo de medidas ineficientes desde el punto de vista ambiental, higrológico y económico, como es el caso de la construcción de escolleras o muros, además de los costosos e ineficientes dragados, entre otros (Ilustración 4: Anexos).

De esta forma, mediante este estudio se pretende llevar a cabo un minucioso análisis integrado del comportamiento hidrológico de la cuenca del río Ésera, así como de todos los elementos del medio natural que condicionan su comportamiento, con el objetivo de caracterizar la cuenca de este río, tomándose como base en la evaluación ambiental del río Ésera, con el fin de extraer una serie de resultados acerca de los riesgos del río Ésera y sus efectos socio-económicos, derivados de las avenidas o eventos de crecida, para aplicar medidas de mitigación de riesgos y mejora ambiental: preventivas, estructurales y funcionales.

De este modo los **objetivos** planteados en este trabajo son los siguientes:

- Conocer los rasgos esenciales del medio natural (el clima, la topografía, la litología, y los usos del suelo), en nuestra cuenca y analizar cómo condicionan su funcionamiento hidrológico.
- Conocer las características hidrológicas de la cuenca de estudio (disponibilidad de agua, variación estacional de caudal, régimen hídrico e irregularidad interanual).
- Estudiar y conocer los fenómenos extremos existentes en la cuenca del río Ésera, centrándonos en el estudio de los eventos de crecidas (magnitud, frecuencia, distribución estacional, tipología).
- Evaluación ambiental mediante la aplicación del Índice Hidrogeomorfológico, y comparación con los resultados del pasado.
- Evaluar cuáles son los riesgos del río Ésera y sus efectos socio-económicos, derivados de las avenidas o eventos de crecida, en función de los resultados obtenidos (IHG y fenómenos extremos).
- Aplicación de medidas de mitigación de riesgos y mejora ambiental: preventivas, estructurales y funcionales.

2. Metodología y trabajo de campo

Para la elaboración de este estudio se han llevado a cabo diferentes tipos de procesos metodológicos, diferenciando de esta forma los siguientes tipos principales de análisis: el análisis cartográfico, el análisis de datos hidrológicos, el análisis hidrogeomorfológico, análisis de riesgos naturales del río Ésera y el análisis de medidas y aplicación de mejoras ambientales. De esta forma, con el objetivo de caracterizar de la forma más precisa y detallada posible la cuenca del río Ésera, se han llevado a cabo tanto un trabajo cartográfico como de campo, siendo el primero fundamental para conocer las características más relevantes y significativas de la cuenca. Y refutando o comprobando la información obtenida de dicho análisis cartográfico en campo, ya que en el tratamiento cartográfico se ha utilizado toda una serie de fuentes, las cuales serán mencionadas en el apartado de análisis cartográfico, y que se han seleccionado por su mayor cantidad de información y capacidad de adaptación al estudio elaborado. De este modo, para llevar a cabo este estudio se han analizado los cuatro principales factores que condicionan el comportamiento de una cuenca: clima, pendiente o topografía, litología, vegetación y usos de suelo y la red de drenaje. Este análisis es fundamental para abordar el estudio sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Ésera, ya que nos ayudará a entender el funcionamiento de dicha cuenca, y las variaciones de que podrían generar estos factores en la dinámica fluvial del río Ésera, analizándolos no solo de modo individual, sino teniendo en cuenta las relaciones existentes entre ellos.

Para ello, se ha elaborado toda una serie de cartografía, realizada con la herramienta ArcGis 10.3, a partir de toda una serie de capas y datos de distintas fuentes, como el portal CHEBRO de la Confederación Hidrográfica del Ebro (de donde se obtuvo toda una serie de datos hidrológicos tales como redes fluviales, divisorias hidrográficas, masas de agua, redes de control como estaciones de aforo, infraestructuras como embalses, azudes, centrales hidroeléctricas o depuradoras, además de datos geológicos para elaborar el mapa geológico de la cuenca del río Ésera o datos del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables para la elaboración de mapas de peligrosidad y riesgo entre otros), el Instituto Geográfico Nacional (IGN) desde donde se obtuvo las fotografías aéreas u ortofotos de máxima actualidad de 2012, las capas (BTN-BCN) de la Base Topográfica Nacional y la Base Cartográfica Nacional (ríos, curvas de nivel, entidades de población), el Modelo Digital de Terreno (para la elaboración de pendientes e iluminaciones), las imágenes del Plan Nacional de Ortofotrafía Aérea (PNOA) y el uso de la capa Corine Land Cover (CLC) para usos de suelo. También, se utilizó la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE) para las fotografías aéreas u ortofotos de máxima actualidad de 2015, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), o el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Mencionar el aporte de las capas de municipios de población y la ficha del Índice Hidrogeomorfológico por el tutor Daniel Ballarín Ferrer, que han sido utilizadas tanto en el análisis hidrogeomorfológico, como en la elaboración de mapas de localización.

En esta cartografía se han realizado toda una serie de procesos cartográficos y de edición, los cuales no se van a detallar por la tediosa y excesiva complejidad del proceso. Hay que destacar que en lo referente al mapa de usos del suelo y el litológico se utilizó la información disponible sin modificar ya que la propia leyenda se adaptaba correctamente a la zona de estudio. Por último se realizaron unos mapas para contextualizar la localización de la cuenca del Ésera respecto a las variables climáticas: temperatura medias, precipitaciones medias, balance hídrico y dominios climáticos. Para ello se utilizaron los mapas publicados en el Atlas Climático de Aragón y el Plan Hidrológico del Río Ésera, digitalizando y cartografiando sus publicaciones. Por otro lado, se ha llevado a cabo un análisis de los datos hidrológicos disponibles en la cuenca del río Ésera, con el fin de determinar cuál es el régimen hidrológico y el comportamiento hidrológico en términos de caudalosidad del río Ésera.

Para llevar a cabo este análisis, se han analizado los cuatro elementos principales del régimen fluvial: caudalosidad, variación estacional, irregularidad interanual y los fenómenos extremos (crecidas y estiajes). Indicando además, las diferentes crecidas históricas en la cuenca y generando un ajuste de Gumbel en las cuatro estaciones de aforo con información, por la falta de información disponible, con el fin de estimar la probabilidad de crecida en estas zonas. Además de esto, se ha elaborado una tabla de crecidas históricas mediante la información disponible en el Plan Hidrológico del Río Ésera de 2007 y el Anexo II del tomo II de las fichas de inundaciones históricas del Ebro de Protección Civil. De esta forma, se han utilizado los datos de caudal en m^3/ segundo de cuatro de las cinco estaciones de aforo de la cuenca (Barasona, Graus, Campo y Eriste), ya que son las únicas que disponen de una cantidad de datos suficiente para llevar a cabo dicho análisis hidrológico. Estos datos se han descargado desde el Sistema de Información del Anuario de Aforos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, con los que se ha analizado el funcionamiento hidrológico del río Ésera, representado mediante la elaboración de un conjunto de gráficos de los cuatro elementos principales del régimen fluvial ya mencionados. Además de esto, se ha analizado la probabilidad de crecida de estás estaciones de aforo realizando el ajuste de Gumbel. Destacar, que para el tratamiento y organización de toda esta serie de datos, se ha utilizado el software Microsoft Office (Excel 2003). Además de esto, se ha analizado también las diferentes crecidas históricas de la cuenca del río Ésera, mediante la búsqueda de los archivos históricos de inundaciones en la cuenca del río Ésera en el plan hidrológico del río Ésera y la memoria del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas de Protección Civil.

Tras esto, una vez realizado todo este análisis hidrológico, se ha llevado a cabo un análisis hidrogeomorfológico del río Ésera, mediante la aplicación del Índice Hidrogeomorfológico en la cuenca, con el objetivo de llevar a cabo una evaluación ambiental, la cual queda definida según la calidad de los diferentes tramos del río Ésera establecidos por la Confederación Hidrográfica del Ebro, para llevar a cabo este índice se ha analizado la zona de estudio mediante la fotografía aérea más actual (2015), para después comprobarse mediante el trabajo de campo, tras esto se realiza un proceso de gabinete en el que se llevará a cabo una modificación y tratamiento de la información obtenida, para luego realizar su posterior cartografía (mapas de calidad funcional del sistema, calidad del cauce, calidad de las riberas y estado ecológico o calidad final hidrogeomorfológica de la cuenca de estudio). Con los resultados obtenidos se llevará a cabo una comparación y análisis con los resultados establecidos por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el río Ésera en el año 2010, aplicándose además al municipio de Campo, no valorado por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Por otro lado, se ha realizado una valoración de riesgos del río Ésera mediante los resultados anteriormente obtenidos de los análisis, representándose mediante un análisis cartográfico del riesgo de inundación potencial, realizado con la herramienta ArcGis 10.3, a partir de capas del Instituto Geográfico Nacional (Ortofotos de máxima actualidad del año 2012, ya que son las que mayor resolución tienen, y el Modelo Digital del Terreno del Instituto Geográfico Nacional) y del portal CHEBRO de la Confederación Hidrográfica del Ebro, de la que se obtuvo capas del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables para la elaboración de mapas de máxima crecida ordinaria, peligrosidad de 10 y 500 años de periodo de retorno, y de riesgo de 10 y 500 años de retorno (se eligieron estos retornos para destacar los cambios dados), en el municipio de Benasque y la localidad de Eriste ya que es la zona que más información tiene de la zona de estudio, además de la que más afecciones por crecida e inundaciones ha sufrido. Por último, se lleva a cabo una evaluación de riesgos del río Ésera, respecto a lo analizado en municipios con mayor riesgo de inundación, teniendo en cuenta el análisis hidrológico e hidrogeomorfológico, además de la caracterización realizada en la zona de estudio, analizando también las afecciones socio-económicas de estas crecidas e inundaciones, con el fin de establecer las medidas de mitigación de riesgos y mejora ambiental pertinentes. Para finalizar se realizarán unas conclusiones finales, para conocer a modo de resumen el trabajo realizado.

3. Caracterización del área de estudio de la cuenca del Río Ésera y factores condicionantes del comportamiento hidrológico

3.1. Localización de la zona de estudio

La cuenca del Río Ésera se localiza en la Comunidad Autónoma de Aragón entre las comarcas de la Ribagorza y el Sobrarbe en la provincia de Huesca, es un río principal localizado al Noroeste de la cuenca del Ebro dentro de su demarcación, limitando por su zona norte con la vertiente francesa de los Pirineos al noreste con la cuenca del río Garona, al este con las cuencas de los ríos Noguera Ribagorzana e Isábena y al sur y al oeste con la cuenca del río Cinca, en la que desembocan todas las aguas del sistema fluvial del río Ésera (Cartografía 1: Anexos Mapa de localización de la zona de estudio).

El Río Ésera presenta una superficie de 1.093,87 km^2 suponiendo un 1,27 % del total de la superficie aragonesa, el cual discurre a lo largo de algo más de 106 km de longitud desde su nacimiento en el Macizo de los Montes Malditos (Ilustración 5: Anexos), en los que sobresale el Pico Aneto, que con 3.404 msnm es la cima más elevada de la cordillera de los Pirineos, a 2.520 msnm en las inmediaciones del ibón de Salterillo, hasta su desembocadura en el río Cinca a 339 msnm, pocos kilómetros aguas abajo del embalse de El Grado (Ilustración 6: Anexos). Así pues, el río supera un desnivel de 2.181 m en sus casi 106 km de longitud con una pendiente media aproximada del 2,06%. Dividido en nueve masas de agua según la división establecida por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

De este modo, la red fluvial se estructura en torno al cauce principal que da nombre a la cuenca, el río Ésera, que presenta una marcada trayectoria Norte-Sur, excepto en el nacimiento y desembocadura. Sus principales afluentes se dividen según el sentido de la corriente: en la margen izquierda (barranco de Cregüeña, río Vallibierna, río Remáscaro, río Rialbo, río Isábena y río Sarrón) y en la margen derecha (río Estós, río Barbaruéns y río Viú) (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2010, pp.4-6).

Dicho río Ésera presenta como único afluente de cierta entidad el río Isábena, además de ser afluente por la margen izquierda del Cinca, ya que el resto son pequeños ríos y barrancos de escaso recorrido. El rio Ésera además, tiene unos caudales importantes, pero en ciertos períodos del año podemos encontrarlo en algunas zonas seco, normalmente en períodos estivales.

A lo largo de su recorrido el río Ésera atraviesa litologías predominantemente carbonatadas, estas litologías carbonatas junto a la acción fluvial del río han dado lugar a formaciones travertinos espectaculares. Además la disposición del relieve en la parte media de su cuenca ha favorecido una morfología en forma de cascadas y pozas (Ilustración 7: Anexos) que dotan a este río de una gran belleza, siendo un lugar de un alto valor medioambiental y turístico. Se puede definir como un área de alta montaña con gran variedad e intensidad de procesos geomorfológicos: glaciares, periglaciares, kársticos, fluviales, etc., tanto actuales como pasados (Pisón et al,. 1994). Además, su disposición de las sierras pirenaicas en dirección Este-Oeste provoca que el río, discurra por todo tipo de cañones y congostos que caracterizan a esta zona del Pirineo, dificultando las comunicaciones que condicionaron su situación económica y social hasta el comienzo del desarrollo de la hidroelectricidad y de los planes de acceso por carreteras, de principios del siglo XX (Plan hidrológico del río Ésera, 2007).

Por último indicar que el río Ésera cuenta con una gran cantidad de municipios poblacionales (Cartografía 2: Anexos Mapa núcleos poblacionales) dentro de su cuenca, siendo la mayor parte de ellos de escasa entidad, pero con ciertos municipios de mayor importancia. Este río ha sido hasta el momento un río con grandes modificaciones, las cuales difieren en función del tramo o masa de agua como se indicara posteriormente en el presente documento. Estas modificaciones se deben principalmente a la construcción de embalses para abastecer de suministro de agua a los municipios de la zona de estudio, lo cual ha supuesto una importante antropización del río Ésera, y en la dinámica fluvial, reduciendo en ciertas zonas la aportación de sedimentos. Y también, hay que destacar la gran cantidad de medidas inadecuadas para hacer frente a las crecidas dadas en el río Ésera, mediante la construcción de escolleras, motas, defensas laterales, canalizaciones o modificaciones de la dinámica fluvial a través de acciones de dragados, entre otras.

3.2. Climatología de la zona de estudio

El Río Ésera se localiza en tres dominios climáticos (Cartografía 3: Anexos Mapa de dominios climáticos) según el Atlas Climático de Aragón, en la zona norte se da un clima de montaña, seguido de un clima submediterráneo húmedo en la zona central y un clima mediterráneo continentalizado al sur de la cuenca, con ciertos repuntes de clima submediterráneo continental frío, este se caracteriza por presentar unas temperaturas extremas con fuertes contrates entre el invierno y el verano y elevadas precipitaciones, las cuales se distribuyen de manera irregular a lo largo del año. Estas precipitaciones (Cartografía 4: Anexos Mapa de precipitaciones) tal y como podemos ver en el mapa elaborado a partir del Plan Hidrológico del Río Ésera varían entre 1.200 mm/año en la zona de la cabecera y 600 mm/año en la zona sur de la cuenca, aunque debido a su irregularidad a menudo pueden presentar valores más bajos o más altos, siendo más abundantes en otoño y primavera y menores en invierno y verano. Destacar, que aunque la primavera suele ser la estación más lluviosa, a menudo podemos encontrar los máximos pluviométricos en verano debido a las fuertes tormentas de carácter torrencial que se dan en la zona, como reflejo de ese rasgo más continentalizado.

Esta precipitación varía en su morfología, siendo fundamentalmente en forma de nieve en la zona de la cabecera en invierno principalmente, permaneciendo en las cumbres o glaciares y heleros de la zona, y siendo fundamental para el turismo de invierno o de nieve, básico para la obtención de recursos económicos en la zona, y constituyendo un aporte fundamental desde el punto de vista hídrico.

Respecto a la temperatura media anual, el área de estudio (Cartografía 5: Anexos Mapa de temperaturas medias) presenta un claro descenso térmico en función de la altitud, dándose variaciones entre la parte alta de la cuenca, donde oscilaría entre 4-5 °C debido a su mayor altitud, y su parte más baja donde la temperatura media se situaría entre los 13-14 °C. Las temperaturas presentan fuertes variaciones a lo largo del año alcanzando las máximas en los meses de verano (especialmente julio y agosto) con temperaturas medias en torno a los 20 °C y descendiendo hasta alcanzar las mínimas en la cabecera con valores cercanos a los 0 °C en invierno (especialmente diciembre y enero). De esta forma, a modo de ejemplo se muestran una serie de climogramas los cuales indican las características mencionadas anteriormente respecto a las temperaturas y precipitaciones dadas según los diferentes dominios climáticos. En primer lugar el climograma del municipio de Benasque representa un tipo de clima submediterráneo húmedo, es la zona más representativa de un clima de montaña por la falta de información y municipios en este dominio climático, en el que se da una temperatura templada, con una media anual de 8,2 °C y precipitaciones en torno a 1013 mm, dándose todo el año.

Por otro lado, respecto al dominio climático submediterráneo continental frío destaca el municipio de Perarrúa, municipio en el que se dan el dominio climático submediterráneo húmedo y el mediterráneo continental, pero por la ausencia de datos e información disponible, es el más representativo, con una temperatura entre templada y cálida, con una media anual de 11,8 °C y precipitaciones en torno a 652 mm, dándose todo el año. Por último, se observa un dominio climático mediterráneo continental donde a modo de ejemplo se indica el municipio de Graus con una temperatura entre más cálida, que templada, con una media anual de 12,3 °C y precipitaciones en torno a 595 mm, dándose todo el año. Destacar que en todos los municipios indicados hasta el mes más seco cuenta con elevadas precipitaciones, las cuales como ya se ha indicado anteriomente van descendiendo conforme nos acercamos a la desembocadura, donde menores alturas quedan registradas en la cuenca del río Ésera.

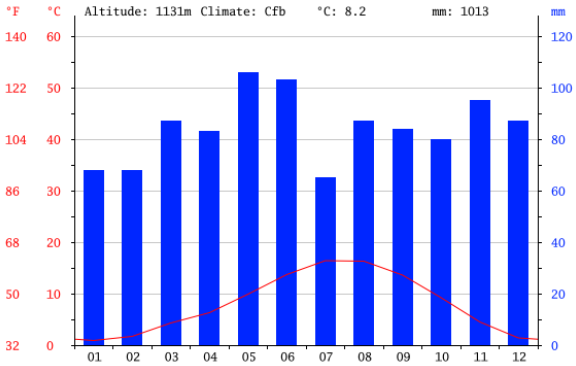


Ilustración 8: *Climograma del municipio de Benasque (Huesca)*
Fuente: *Climate-data*

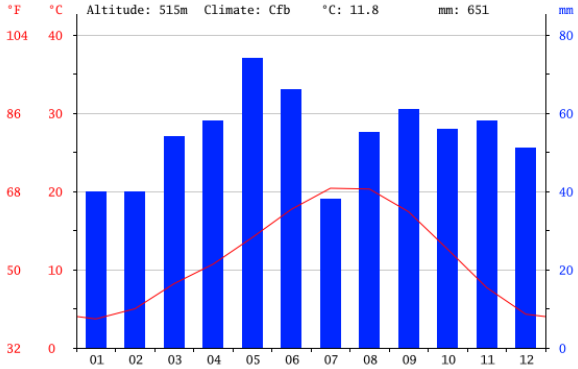


Ilustración 9: *Climograma del municipio de Perarrúa (Huesca)*
Fuente: *Climate-data*

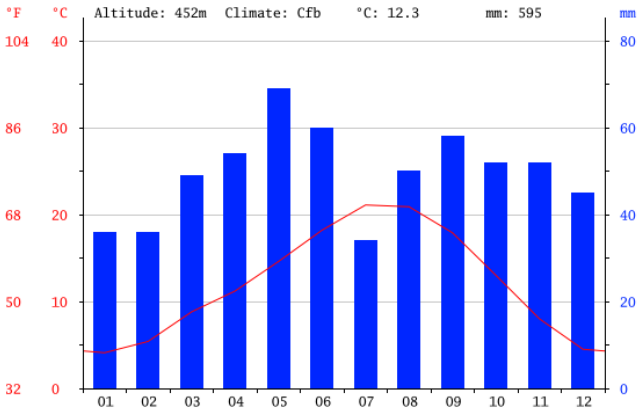


Ilustración 10: Climograma del municipio de Graus (Huesca) Fuente: Climate-data

Por último, respecto al balance hídrico (Cartografía 6: Anexos Mapa balance hídrico) hay que señalar que tal y como podemos ver en el mapa elaborado a partir del atlas climático de Aragón, la cuenca del Río Ésera presenta una gran diversidad de valores en lo que se refiere al balance hídrico. De esta forma en el mapa encontramos valores, que van desde valores más positivos en la cabecera y zonas de mayor altitud, oscilando entre 0 y 900 mm; encontrando cuatro sectores respecto a los intervalos del balance hídrico, hasta valores más positivos aumentando hacia su desembocadura con un déficit hídrico que oscila entre los 0 y -700 mm, coincidiendo con las zonas de menor altitud. Estas zonas con mayores déficit hídrico y por lo tanto de valores de evapotranspiración, dificultaran los procesos de escorrentía, y por lo tanto la probabilidad de crecidas. Destacar que estos datos de dominios climáticos y evapotranspiración, precipitaciones y temperaturas son datos de 2007.

3.3. Pendiente de la cuenca de estudio

El Río Ésera presenta un desnivel total de 2.181 metros, desde su nacimiento en el Pirineo aragonés a unos 2.520 msnm hasta su desembocadura a 339 msnm, con una pendiente media aproximada del 2,06% (Cartografía 7: Anexos Mapa topográfico). En su primer tramo nos encontramos con una gran la altitud, que es donde el río presenta una mayor pendiente. A medida que va avanzando en su recorrido el río va presentado un descenso de la pendiente cada vez más marcado, a excepción de zonas en las que el río forma cascadas para salvar los grandes saltos y desniveles que encuentra a su paso. Una vez salvados estos desniveles el río vuelve a presentar en su último tramo un descenso más paulatino, ya que en la zona de la desembocadura nos encontrarnos las zonas con menores pendientes de la cuenca (Cartografía 8: Anexos Mapa de pendientes).

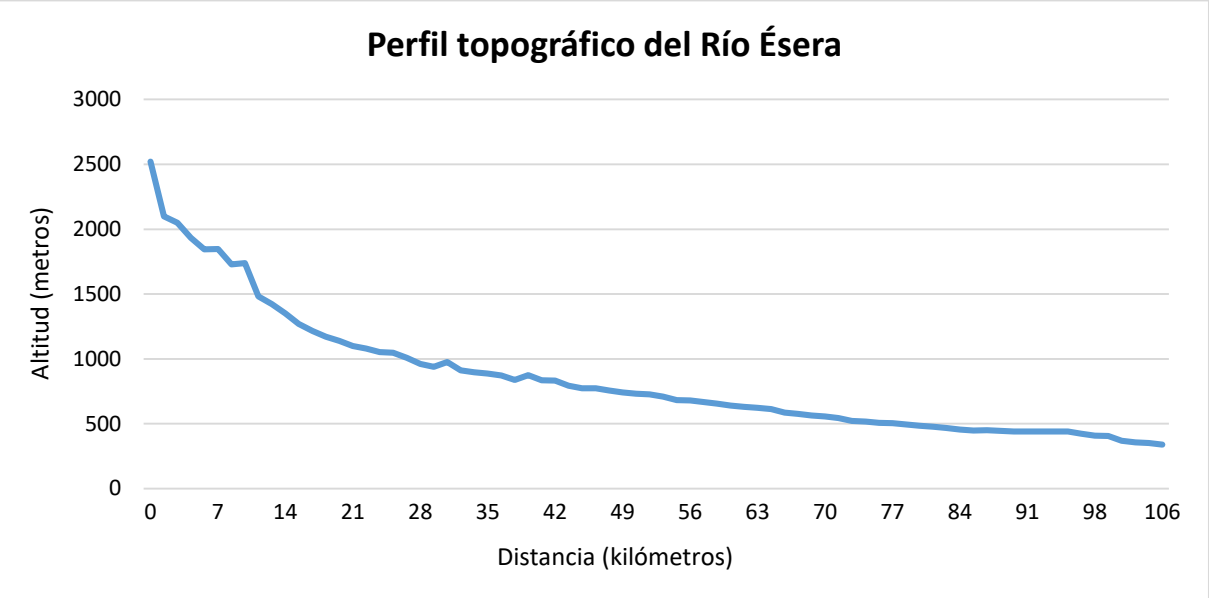


Figura 1: Perfil topográfico del río Ésera Fuente: Elaboración propia

Si analizamos las pendientes a nivel de cuenca nos encontramos con varios sectores que presentan diferentes pendientes. Tal y como reflejaba el perfil topográfico, la parte baja o desembocadura de la cuenca correspondería con zonas de pendiente baja (0-14°) y moderada (14-27°) donde predominara el proceso de infiltración, aunque también encontraríamos zonas de mayor pendiente correspondientes a las laderas y escarpes resultantes de la acción erosiva de barrancos y ríos en la zona de estudio.

Ya en el sector medio de la cuenca sería donde encontraríamos pendientes más pronunciadas y donde predominaría el proceso de escorrentía, encontrando pendientes fuertes (27-42°) y muy fuertes (>42°), coincidiendo con las zonas donde los ríos y barrancos que conforman la cuenca presentan un mayor encajonamiento. Dentro de este sector medio de la cuenca las zonas de mayor pendiente las encontraríamos tras la confluencia entre el Río Viu, Río Rialbo y Río Barbaruéns con el Río Ésera (junto a los municipios de Campo, Senz y Seira), esta zona con pendientes superiores a los 42° corresponden con la zona de valles encajados y cascadas que también veíamos en el perfil topográfico.

Por último también encontramos otro sector en la zona alta o nacimiento de la cuenca, donde las pendientes alcanzan los mayores valores, debido a las elevadas altitudes en la zona de los Pirineos, facilitando el proceso de escorrentía y erosión, con valores que superan los 42° en la mayor parte de la zona, generando además ciertos fenómenos extremos como las crecidas o los aludes, pudiendo provocar grandes costes económicos en las zonas más próximas, y suponiendo un riesgo natural para la población.

Por lo tanto nos encontramos ante un río con una gran longitud (106 km), la cual da lugar a una gran variedad de alturas, generando un enorme desnivel entre la zona de su nacimiento y su desembocadura (2.520 msnm) y diversidad de pendientes, facilitando el proceso de escorrentía y dificultando la infiltración. Siendo en el sector del nacimiento de la cuenca donde encontraríamos las pendiente más marcadas, debido a esa disposición en forma de saltos y valles encajados entre las elevadas altitudes del Pirineo mencionada anteriormente. Es por ello que que podemos considerar el factor de la pendiente, como un factor de elevado peligro ante posibles episodios fundamentalmente de crecida, los cuales serán estudiados con mayor detalle a lo largo del presente trabajo.

3.4. Litología en la cuenca de estudio

La cuenca del Río Ésera presenta clara diversidad litológica diferenciando cuatro puntos o zonas muy marcadas en la cuenca. De este modo, en la zona del nacimiento del río Ésera que engloba el Pirineo Axial, nos encontramos con las zonas más elevadas con materiales más antiguos, en la que principalmente destacan los materiales paleozoicos del Devónico calcáreo, entre los que se aprecian calizas, dolomías y pizarras, aunque también presenta áreas donde predominan ciertas formaciones paleozoicas del Silúrico con pizarras ampeliticas, del Paleozoico Carbonífero con ciertas facies (liditas, turbiditas, arenitas, pelitas y conglomerados poligénicos) y el Paleozoico Cuarcítico con ciertas pizarras, además de rocas intrusivas, conos de deyección (coluviales y depósitos fluvioglaciares) con gravas (limos, áreas y arcillas), morrenas (cantos y bloques), y ciertos depósitos aluviales con gravas y travertinos con calizas travertínicas. Además nos encontramos ante una zona en la que se aprecian una gran cantidad de contactos normales y fallas, con materiales antiguos del paleozoico (Cartografía 9: Anexos Mapa litológico).

Las rocas predominantes dentro de esta zona de la cuenca del Río Ésera son de naturaleza carbonatada, calizas y dolomías, lo que nos indica que la cuenca tendrá una alta permeabilidad y que los procesos de infiltración y percolación funcionaran correctamente. Este predominio de materiales carbonatados se traducirá en una alta permeabilidad, lo que reducirá notablemente la cantidad de agua que se movilice por escorrentía y la probabilidad de posibles episodios de crecidas. Sin embargo, esto no se da por las altas pendientes antes mencionadas, las cuales intensifican estos procesos de escorrentía. También cabe destacar que la presencia de estos materiales carbonatados ha hecho posible la existencia de formaciones travertínicas en la cuenca del Río Ésera, estas se forman por la presencia de aguas con altos contenidos de dióxido de carbono que se infiltran en la roca y que al emanar a la superficie se desgasifican (pierden el CO2), precipitando de esta forma el carbonato cálcico.

Por otro lado, nos encontramos con la zona intermedia de la cuenca del Río Ésera, la cual destaca por sus Sierras Interiores con relieves importantes tales como las sierras de Cotiella o el Turbón. En esta zona destacan principalmente los materiales del Cretácico superior con ciertas margas intercaladas de areniscas, brechas (Brecha de Campo) y turbiditas, y los materiales del Senoniense con predominio de calizas con lacazina, margas y arcillas. Aunque también presenta áreas donde predominan ciertas formaciones Cenomanienses-Turonlense de calizas, y del Paleozoico del Devónico Calcáreo (calizas, dolomías y pizarras) y el Devónico Cuarcítico (pizarras), además de puntuales facies Utrillas (areniscas), Jur (dolomías, calizas, margas y calcarenitas), Keuper (arcillas y yesos) y bundsandstein con areniscas, conglomerados y lutitas, conos de deyección (coluvios y depósitos fluvioglaciares) y morrenas con cantos y bloques. Además nos encontramos ante una zona en la que se aprecian una gran cantidad de contactos normales, cabalgamientos y fallas, con materiales del mesozoico, más recientes que los anteriores del paleozoico.

Paralelo a esta zona intermedia nos encontramos la Depresión Media, en la cual predominan materiales del Eoceno marino (margas, arcillas, yesos y calizas), Eoceno marino terminal (areniscas, conglomerados y calizas), además también aparecen ciertos materiales del Oligoceno (calizas, conglomerados, margas y areniscas) y conos de deyección del Flysch (coluvios y depósitos fluvioglaciares). Por lo que nos encontramos ante una zona en la que se aprecian una gran cantidad de contactos normales y discordantes, además de sinclinales supuestos, cabalgamientos y fallas, con materiales del cenozoico, más recientes que los anteriores del mesozoico.

Por último, en la zona de la desembocadura localizada entre las Sierras Exteriores Prepirenaicas, encontramos un claro predominio de los materiales del Oligoceno (areniscas, lutitas), con presencia de ciertas formaciones como las Facies Keuper (arcillas y yesos), Facies Garum (areniscas y arcillas) y Facies Muschelkalk (Dolomsas), materiales del Eoceno marino (calizas con alveolinas) y el Cretácico superior (calizas bioclásticas), además de Ofitas. Se trata de una zona en la que se aprecian una gran cantidad de contactos normales, además de sinclinales y cabalgamientos, con materiales del terciarios, algo más recientes que los anteriores del cenozoico, los cuales también aparecen en ciertas zonas.

De esta forma, en estas tres zonas (Sierras Interiores, Depresión Media y Sierras Exteriores Prepirenaicas) todos estos materiales detríticos, tanto mesozoicos como terciarios, presentes en diferentes áreas de la cuenca de Río Ésera se traducirán en zonas donde la permeabilidad será menor y donde los procesos de escorrentía se activaran con un menor aporte de agua. Dicho esto, hay que señalar que a pesar de la que la permeabilidad será menor en algunas áreas, esta no será en ninguno de los casos especialmente reducida, ya que a menudo estos materiales detríticos menos permeables como las arcillas aparecen acompañados de calizas.

En cuanto a las litologías cuaternarias, hay que señalar que estas no quedan representadas en la cuenca del Río Ésera, ni si quiera en su nacimiento donde los procesos erosivos son más activos por la acción fluvial del río. Sin embargo, llama la atención la presencia de formaciones travertínicas, que a pesar de presentar una extensión muy reducida, dotan a este río de una gran belleza. Además, el cauce del Ésera presenta modelo anastomosado en los rellanos glaciares superiores, sectores encajados con saltos y cascadas al atravesar los granitos y algunos tramos trenzados aguas abajo de Benasque muy alterados por las obras de defensa y extracciones de áridos. Por otro lado, destacar que desde la localidad de El Run el río Ésera se enfrenta a una sucesión de congostos (Ventamillo, Argoné, Santaliestra) con lecho rocoso y de tramos amplios de valle en los que desarrolla modelos recto-meandriformes y meandriformes de baja sinuosidad (González Amuchastegui et al., 1998)

Por lo tanto, y partir de la información obtenida de nuestro mapa elaborado con la información del Mapa Geológico de la Confederación Hidrográfica del Ebro, podemos decir que se trata de una cuenca la cual presenta un claro dominio de rocas sedimentarias, siendo estas en su mayoría de naturaleza carbonata (principalmente calizas) y terrígenas (principalmente arcillas y arenas). Este tipo de litologías de naturaleza carbonatada favorecerán los procesos hidrológicos de infiltración y percolación en nuestra cuenca, lo que a su vez supondrá una reducción de la escorrentía superficial y un predominio de la escorrentía de tipo subsuperfical y subterránea. La existencia de estas litológicas también facilitara la acción de procesos erosivos y la meteorización química. Sin embargo, la existencia además de estas rocas arcillo-arenosas reduce la capacidad de infiltración (debido a que tienen capacidad de absorber agua, incrementando el tamaño y disminuyendo los poros, dificultando la infiltración), y genera zonas ligeramente impermeables, facilitando la escorrentía superficial y subsuperficial.

3.5. Usos de suelo y vegetación en la cuenca de estudio

En lo referente a los usos del suelo encontramos un claro predominio de bosques de coníferas (1.471 km^2 corresponde al 18,1% de la cuenca), bosque de frondosas (661 km^2) los cuales están presentes en la mayor parte de la cuenca, predominando además las landas y matorrales mesófilos (362 km^2) en la zona más septentrional de la cuenca y el matorral boscoso de transición (1.066 km^2 representa el 13,1% de la cuenca) en la zona más meridional (Tabla 1: Anexos) (Figura 2: Anexos). Dicho esto hay que indicar que es en la cabecera donde se localizan los ibones y heleros, indicados como glaciares y nieves permanentes, con un gran predominio de los bosques de coníferas, matorrales boscosos de transición, landas y matorrales mesófilos y pastizales naturales. Además, se observan una serie de prados y praderas localizadas siguiendo el curso del río Ésera, allí donde las laderas por su pendiente y substrato lo permiten (Plan hidrológico del río Ésera, 2007). En esta zona de la cabecera se aprecian también espacios con bosques de coníferas, vegetación escasa y algunas zonas de roquedo en los espacios más elevados y bosques mixtos, seguidos en menor proporción, prácticamente de forma puntual se aprecian algunas playas, dunas y arenales y terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural (Cartografía 10: Anexos Mapa de usos de suelo y vegetación).

Por otro lado, en la zona más intermedia de la cuenca del río Ésera, se aprecia un mayor predominio de los bosques de coníferas (principalmente de tipo acicular) y frondosas, seguidos de landas y matorrales mesófilos aunque en menor proporción conforme nos acercamos a la desembocadura, al contrario de los matorrales esclerófilos y boscosos de transición que van aumentando su presencia por toda la cuenca, en la que los prados y praderas de escasa proporción de esta zona intermedia del río Ésera, se unen a los de la cabecera del río Isábena. Además, destaca una mayor ocupación del uso agrícola, fundamentalmente de las tierras de labor secano ya que es el que mejor se adapta a las condiciones de este medio, encontrando sus mayores extensiones en las zonas altas de la cuenca y conforme nos acercamos a la desembocadura. También encontramos zonas de limítrofes al río Ésera con un uso agrícola de regadío o regado permanentemente, terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural, y puntuales zonas de mosaico de cultivo, los cuales corresponderían con esas zonas de huerta tradicional localizadas en las riberas de los ríos a su paso junto a los municipios y algunos pastos naturales. Destacan además, puntuales bosques mixtos en las zonas más alejadas del cauce del río Ésera, y algunas playas, dunas y arenales en zonas propicias para ello, roquedos y espacios con vegetación escasa.

Respecto, en la parte baja de la cuenca, y en especial en la del río Isábena, se ubican la mayor parte de las tierras de labor de secano, principalmente, y de regadío o terrenos regados permanentemente y mosaico de cultivos, con la presencia terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural, y puntuales espacios de olivares. En cuanto a la vegetación predominante destacan fundamentalmente los bosques de frondosas, seguidos de los bosques de coníferas y mixtos, además de los matorrales esclerófilos y boscosos en transición, los cuales aumentan en mayor proporción que en el resto de la cuenca. Mencionar algunas formaciones de roquedo en las zonas más cercanas al embalse de Barasona.

Por ultimo también encontraríamos el uso correspondiente con los municipios rurales, distinguiendo entre tejido urbano continuo, el cual queda representado por los municipios de Graus, Campo y Benasque, y el tejido urbano discontinuo el cual comprendería en núcleo de población de Cerler, el cual contaría con un uso de suelo destinado a instalaciones deportivas y recreativas (turismo de nieve, instalaciones de esquí y complejo hotelero) y el municipio de La Puebla de Castro.

La gran cantidad de vegetación disponible en la cuenca del río Ésera, facilita que haya una cubierta vegetal, en la que la vegetación hace de filtro, generando la interceptación del agua precipitada, e impidiendo la compactación del suelo, lo cual facilita la infiltración. Además, la vegetación ralentiza la llegada de agua al suelo, dando lugar a que no se sobreexplote el proceso de infiltración, y actúa de freno del agua que circula por la superficie terrestre dificultando la escorrentía superficial, además de generar huecos por los cuales el agua se cuela con mayor facilidad por su sistema de raíces facilitando la infiltración.

De esta forma, como podemos ver la cuenca del río Ésera está ocupada principalmente por bosques de coníferas, bosque de frondosas y landas y matorrales mesófilos. Este tipo de vegetación sirve a modo de filtro en episodios de crecida, por su capacidad de retención, absorción y de sujeción del suelo, además de su capacidad de interceptación de las precipitaciones por ser un tipo de vegetación de gran porte, reduciendo considerablemente la cantidad de agua que se moviliza por escorrentía en comparación a otras zonas con suelos desnudos. Esta gran extensión de estos bosques, da lugar a un tipo de vegetación, sobre todo la de ribera que tiene un alto valor ambiental, ya que forma parte del río y juega un importante papel dentro de la dinámica fluvial del río Ésera, que además evita en buena medida la erosión, sirve de filtro en episodios de fuertes lluvias y es el sustento de la fauna de la zona de estudio.

Por último, en referencia a los campos de cultivo (principalmente tierras de labor secano), estos ocupan partes altas de la cuenca del río Ésera y en muchas ocasiones aparecen atravesados por barrancos, modificando de esta forma sus cauces, generando ciertas afecciones sobre la dinámica fluvial del río Ésera.

4. Comportamiento hidrológico y variables morfométricas de la cuenca

Para analizar el comportamiento hidrológico del Río Ésera se utilizaron los datos hidrológicos disponibles en el Anuario de aforos, en el caso de este río no existían datos disponibles en todas las estaciones de aforo de la cuenca (Estación de Aforo de Aragón y Cataluña, Estación de Aforo de Barasona, Estación de Aforo de Graus, Estación de Aforo de Campo y Estación de Aforo de Eriste), es por esto por lo que se utilizaron los datos de cuatro de las cinco estaciones de aforo del Río Ésera (Cartografía 11: Anexos Mapa de Estaciones de Aforo):

- Estación de Aforo nº 9128 de Barasona, localizada en el embalse de Barasona cercano a los municipios de la Puebla de Castro y de Graus. Se encuentra en el tramo bajo del cauce, es el más cercano a la desembocadura del río Ésera, a 500 metros sobre el nivel del mar y a unos escasos kilómetros del municipio de Graus. Esta estación comenzó a recoger datos en el periodo de 1949-1950 hasta el periodo 1970-1971. Destacar que el régimen de caudal de esta estación de aforo está alterado, con una tipología de encauzamiento y un sensor de boya y contrapeso, con limnígrafo (Ilustración 11: Anexos).

- Estación de Aforo nº 9013 de Graus, localizada a la salida del municipio de Graus. Se encuentra en el tramo medio-bajo del cauce, a 450 metros sobre el nivel del mar y prácticamente localizada en el municipio de Graus. Esta estación comenzó a recoger datos en el periodo de 1949-1950 hasta el periodo 2012-2013. Destacar que el régimen de caudal de esta estación de aforo está alterado, con una tipología de encauzamiento y un sensor de boya y contrapeso, con limnígrafo. Mencionar que los daros de 2009-2010 y 2010-2011 son provisionales pendientes de revisión (Ilustración 12: Anexos).

- Estación de Aforo nº 9258 de Campo. Se encuentra en el tramo medio del cauce, a 675 metros sobre el nivel del mar y prácticamente localizada en el municipio de Campo. Esta estación comenzó a recoger datos en el periodo de 1994-1995 hasta el periodo 2012-2013. Destacar que el régimen de caudal de esta estación de aforo está alterado, con una tipología de encauzamiento y un sensor de boya y contrapeso, con limnígrafo. Mencionar que los daros de 2008-2009 y 2010-2011 son provisionales pendientes de revisión (Ilustración 13: Anexos).

- Estación de Aforo nº 9145 de Eriste. Se encuentra en el tramo medio-alto del cauce, es el más cercano al nacimiento del río Ésera, a 830 metros sobre el nivel del mar y prácticamente localizada entre el municipio de Sahún y la localidad de Eriste (en el municipio de Sahún). Esta estación comenzó a recoger datos en el periodo de 1951-1952 hasta el periodo 2012-2013. Destacar que el régimen de caudal de esta estación de aforo está alterado, con una tipología de encauzamiento y un sensor de boya y contrapeso, con limnígrafo. Mencionar que los daros de 2008-2009 y 2010-2011 son provisionales pendientes de revisión (Ilustración 14: Anexos).

Hay que señalar que los datos disponibles son representativos, ya que debemos de tener en cuenta este río es el río principal de la cuenca del Río Ésera, además también hay que señalar que estas estaciones de aforo desde donde se han obtenido los datos se localizan ciertos de los municipios más poblados de la zona de estudio, lo cual permitirá realizar un análisis más detallado de los riesgos que sufren estos municipios más poblados y cercanos al Río Ésera, extrayendo los aspectos más representativos y aquellos que puedan ayudar caracterizar el comportamiento hidrológico del río de este ámbito. Para llevar a cabo este análisis del comportamiento hidrológico, se han estudiado los cuatro elementos principales del régimen hídrico: caudalosidad, variación estacional de caudal, irregularidad interanual y los fenómenos extremos (crecidas y estiajes).

A continuación, se presentan los datos y las gráficas obtenidas a partir del análisis de cada uno de estos elementos, para cada estación de aforo.

4.1. Caudalosidad

Para analizar la caudalosidad del Río Ésera se han elaborado una serie de gráficas para cada estación de aforo, en los cuales se han representado las aportaciones anuales en Hm³ y el caudal medio de cada mes (variación estacional).

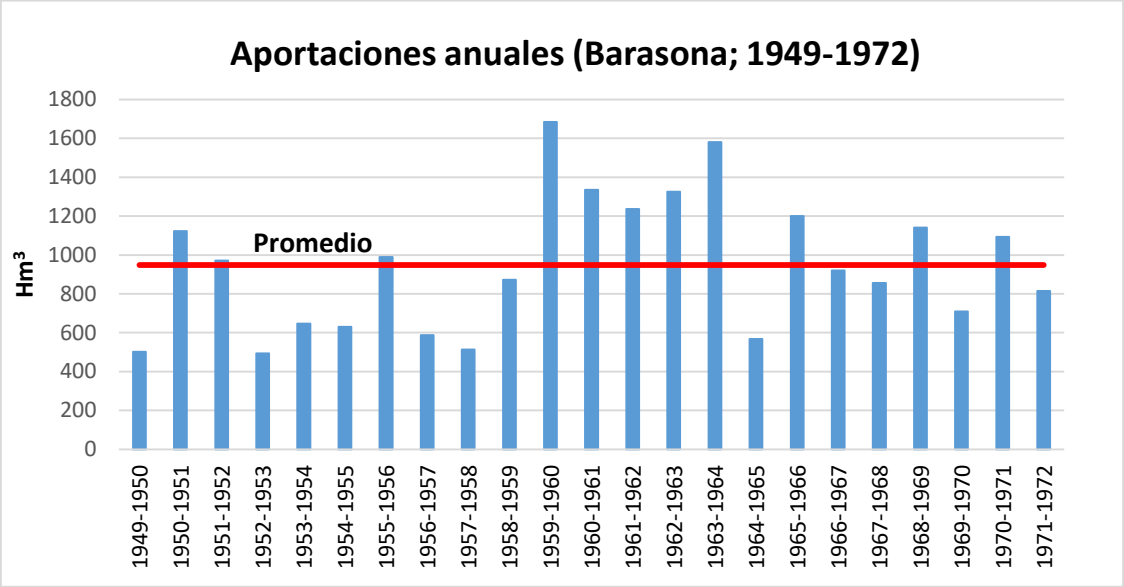


Figura 3: Aportación anual (Barasona; 1949-1972)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

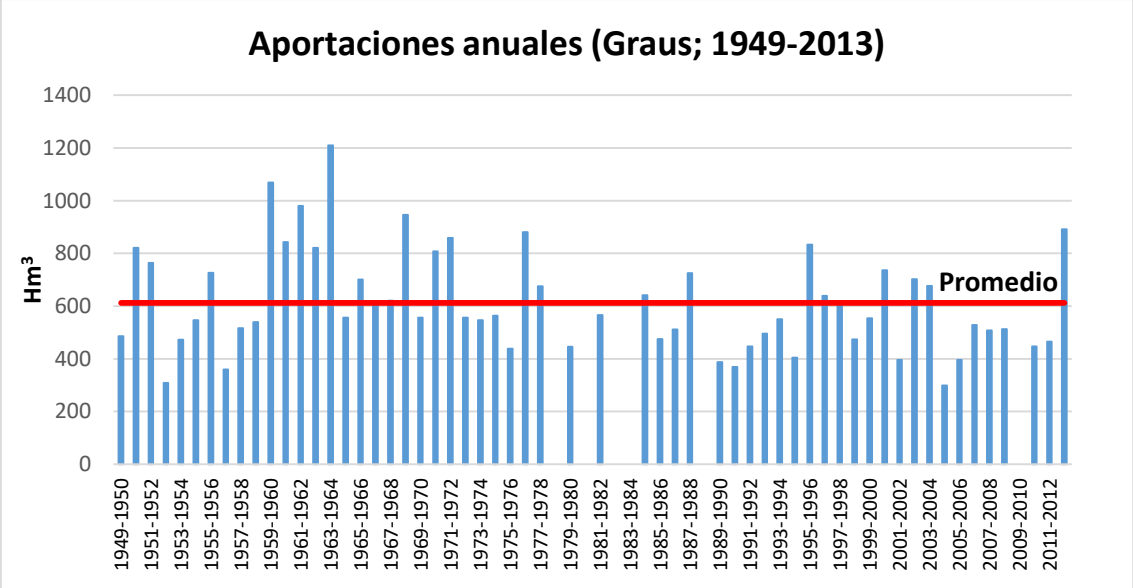


Figura 4: Aportación anual (Graus; 1949-2013)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

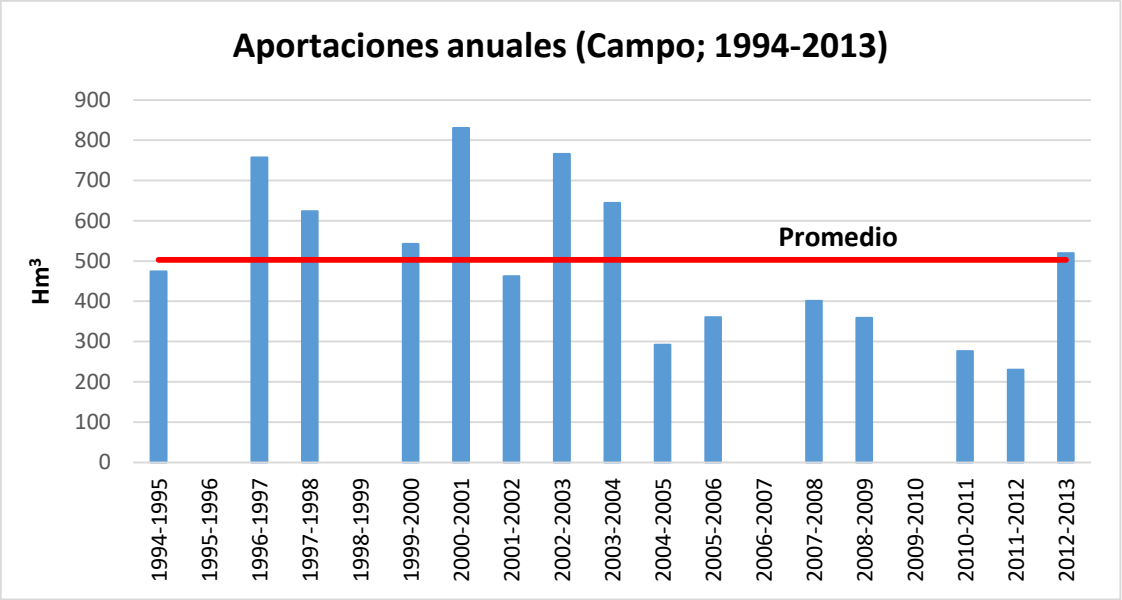


Figura 5: Aportación anual (Campo; 1994-2013)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

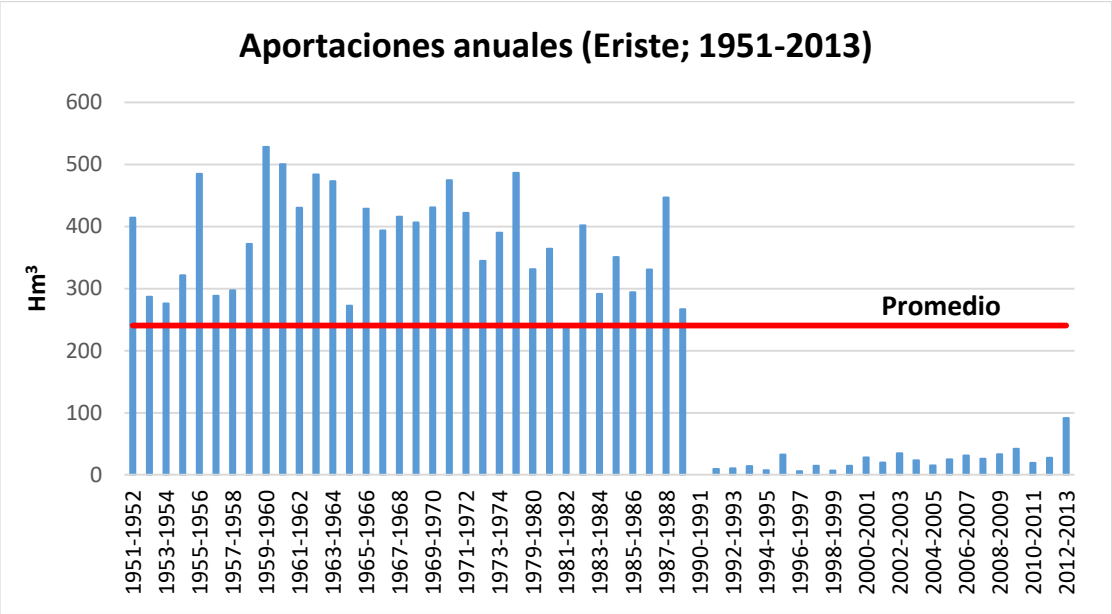


Figura 6: Aportación anual (Eriste; 1951-2013)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

Respecto a las aportaciones anuales hay que señalar, que estas son elevadas en las cuatro estaciones de aforo, siendo ascendentes conforme nos acercamos a la desembocadura del Río Ésera, debido a las aportaciones de sus barrancos y el aumento de su longitud, aumentando la capacidad de retención de agua, estos valores son los que se muestran a continuación, y se sitúan en torno a una media de 555,29 Hm³ anuales (línea roja) para las cuatro estaciones, se trata por lo tanto de un río característico del ámbito pirenaico con aportaciones anuales muy elevadas, que fácilmente superan los 1.000 Hm³.

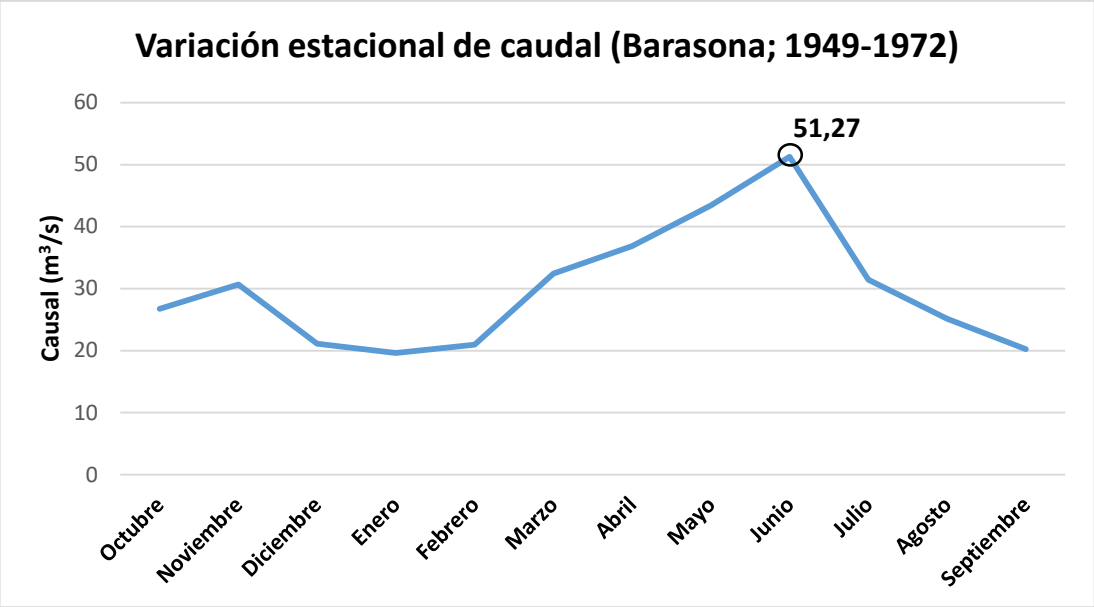
Llama la atención el hecho de que se hayan reducido considerablemente las aportaciones en las últimas tres décadas, esto puede deberse a la construcción de los embalses y presas en los diferentes puntos de estudio de la cuenca del río Ésera (Embalse de Linsoles en el año 1964 y de Paso Nuevo en el año 1969), los cuales retienen y gestionan el uso de agua de la zona de estudio, ya sea para el uso privado o público. De esta forma, estos efectos se hacen patentes, en las áreas más antropizadas como es el caso del localidad de Eriste o el municipio de Graus a partir del periodo 1987-1988, indicando una gran serie de años con aportaciones anuales inferiores al promedio de estas estaciones de aforo, pero en general sigue un patrón homogéneo en sus aportaciones anuales, como puede observarse en las cuatro estaciones de aforo, a excepción de la del localidad de Eriste, ya que se trata de un río antropizado solamente en ciertos puntos, de ahí las variaciones en ciertos periodos, y donde no encontramos grandes superficies de huerta.

4.2. Variación estacional de caudal

En primer lugar, hay que indicar que el río Ésera, como cualquier río, presenta una serie de variaciones en la disponibilidad de caudal a lo largo de las diferentes estaciones del año, las cuales están influenciadas por variables climáticas, de modo muy directo, pero también por otro tipo de factores como el relieve, suelo, vegetación y modificaciones antrópicas. De esta forma, estas variaciones del caudal en los distintos meses definen el régimen fluvial.

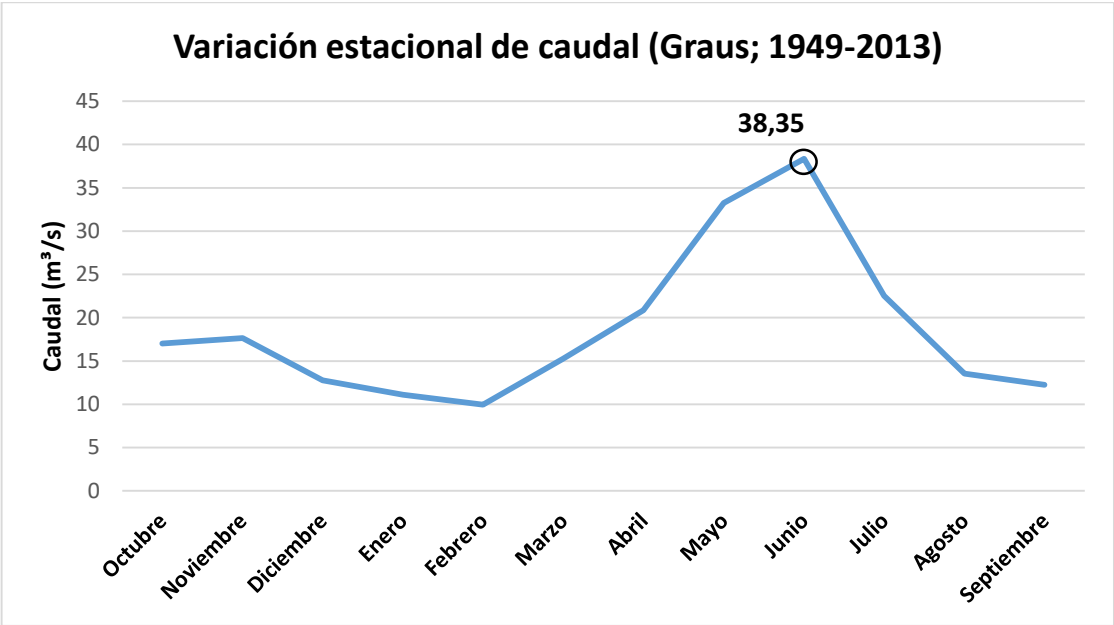
En lo que se refiere a la variación estacional podemos ver que el caudal presenta importantes variaciones a lo largo del año, presentando un máximo y dos mínimos en las estaciones más cercanas a la desembocadura y de menor altitud (Campo y Eriste), o dos máximos y un mínimo de caudal en las estaciones de aforo más cercanas al nacimiento de mayor altitud (Barasona y Graus). Como podemos ver en las gráficas sería el mes de Mayo (Campo y Eriste) o Junio (Barasona y Graus) cuando encontraríamos el principal máximo de caudal, el cual se sitúa como promedio de las cuatro estaciones de aforo en los 35,43 m^3/s, dándose el caudal punta mínimo en Eriste con 18,47 m^3/s y el máximo en Barasona con 51,27 m^3/s, indicando que conforme nos acercamos a la desembocadura y desciende la altitud, el caudal punta de variación estacional de caudal es mayor.

Todo esto, indica que nos encontramos ante un río con un régimen complejo cambiante según la clasificación de Parde, ya que según la zona que atraviesa, se dan diferentes situaciones en distintos tramos, lo cual es propio de grandes río como el Río Ésera que atraviesan zonas climáticas diferentes y modificaciones antrópicas que influyen en su régimen, además de la orografía. Se trata de un régimen hídrico complejo cambiante en el que hay una destacada influencia nival, registrándose el periodo principal de aguas altas en primavera debido a la fusión de la retención nival invernal y las precipitaciones (fundamentalmente líquidas) entre finales de la primavera (Ilustración 15: Anexos) y principios de verano (Abril, Mayo y Junio). De este modo, en la cabecera se muestra un contraste muy marcado entre el periodo de aguas altas y el de aguas bajas, el cual disminuye al desplazarnos aguas abajo, hacia la desembocadura, en la cual las aguas altas no alcanzan niveles tan elevados como en cabecera. En cuanto al máximo secundario es otoñal en los meses de Octubre o Noviembre, aunque este con un caudal promedio de 18,30 m^3/s, es menos marcado, ligado a precipitaciones fundamentalmente líquidas. Por otro lado, se aprecian dos mínimos principales muy acentuados, uno durante el verano (Agosto y Septiembre con caudales promedio de 11,31 y 11,98 m^3/s respectivamente), periodo en el que ha terminado la fusión nival y se registran pocas lluvias (Ilustración 16: Anexos), y un mínimo secundario en invierno (Enero y Febrero con caudales promedio de 11,31 y 10,63 m^3/s respectivamente), estación en que la mayor parte de las precipitaciones quedan temporalmente retenidas, engrosando un manto nival que aportará agua al río durante la fusión primaveral. En definitiva, nos encontramos ante un río con una gran disponibilidad de caudal.



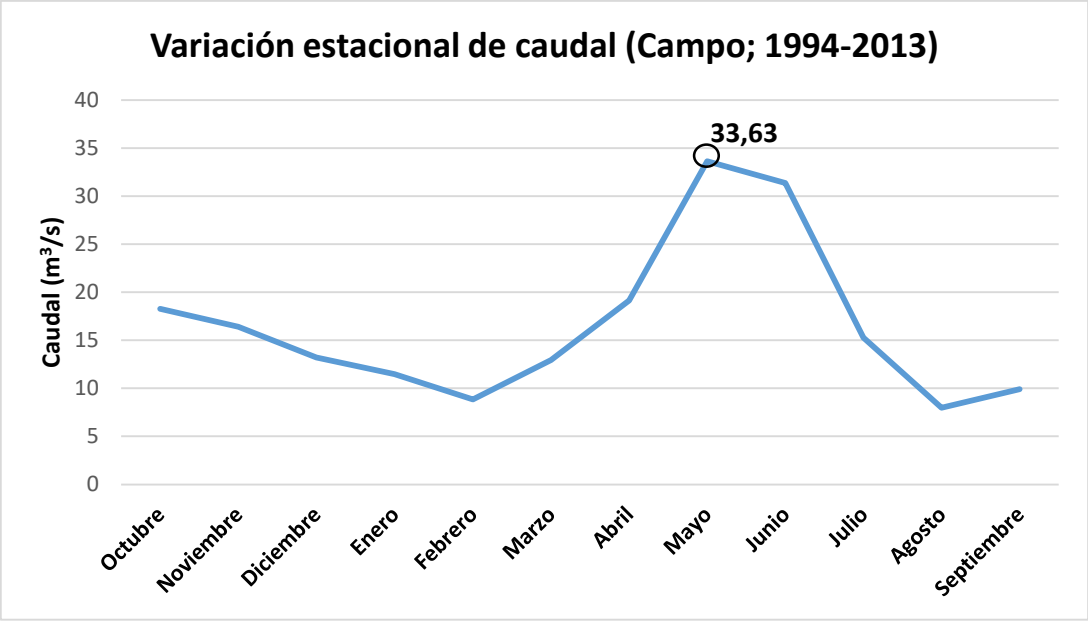
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Coeficiente de caudal	0,89	1,02	0,70	0,65	0,70	1,08	1,23	1,45	1,71	1,05	0,84	0,67

Figura 7: Variación estacional de caudal (Barasona; 1949-1972)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)



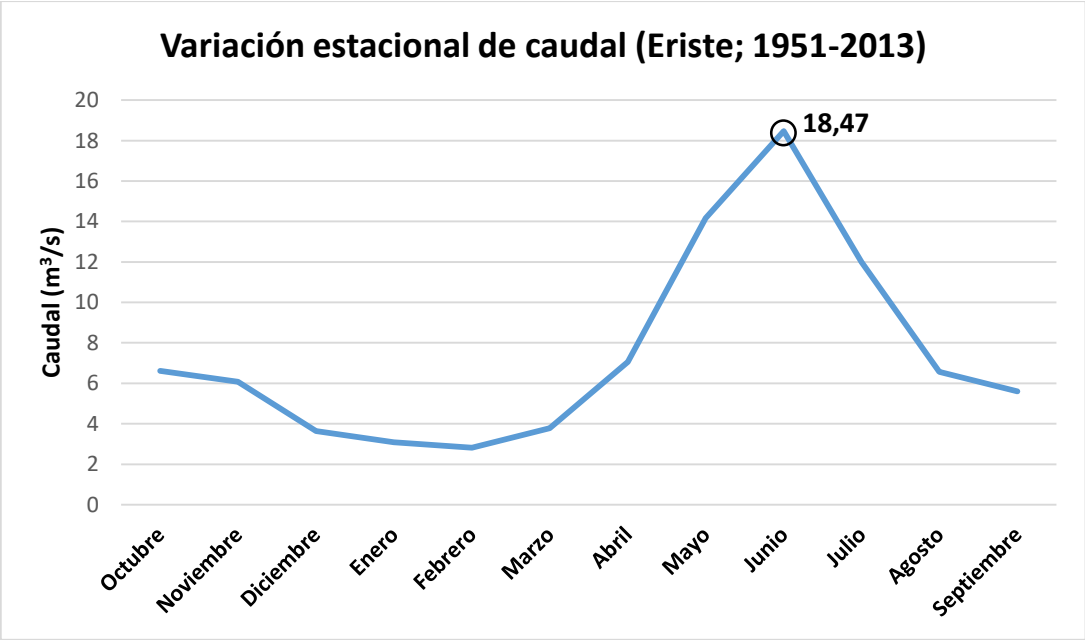
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Coeficiente de caudal	0,88	0,91	0,66	0,57	0,52	0,79	1,08	1,72	1,99	1,17	0,70	0,63

Figura 8: Variación estacional de caudal (Graus; 1949-2013)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)



	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Coeficiente de caudal	1,15	1,03	0,83	0,72	0,55	0,81	1,20	2,11	1,97	0,96	0,50	0,62

Figura 9: Variación estacional de caudal (Campo; 1994-2013)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)



	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Coeficiente de caudal	0,87	0,80	0,48	0,40	0,37	0,50	0,93	1,86	2,42	1,57	0,86	0,74

Figura 10: Variación estacional de caudal (Eriste; 1951-2013)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

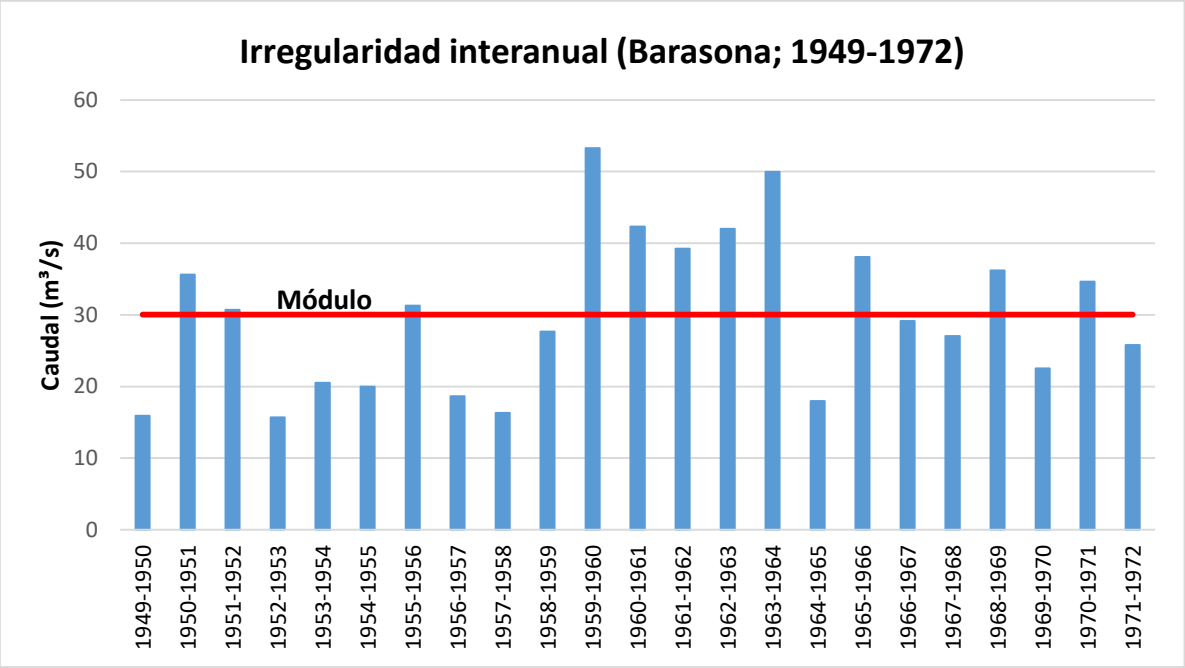
En cuanto, al coeficiente de caudal cómo podemos ver en las figuras (7, 8, 9 y 10) refleja las variaciones en el caudal medio de cada mes respecto al módulo anual, para una serie larga de años, en el cual si el valor es > 1 encontraremos caudales superiores al módulo (aguas altas), mientras que si por el contrario es < 1 tendremos caudales inferiores al módulo (aguas bajas). De esta forma, en el caso de estas cuatro estaciones de aforo se puede observar un patrón significativo, en el que el coeficiente de caudal se engloba en dos categorías: por un lado los meses en los que el caudal medio mensual supera el módulo, que corresponden a octubre, noviembre (en Campo y Barasona), marzo, abril, mayo, junio y julio, principalmente por el aporte procedente de precipitaciones y el deshielo en verano, y en Octubre y Noviembre debido a precipitaciones fundamentalmente liquidas. Y por otro lado, aquellos meses que el coeficiente de caudal, no supera el módulo, ya que suele corresponder a los últimos meses de verano (Agosto y Septiembre), en los cuales no existe aporte de precipitaciones, y el río se abastece con la escorrentía, y los meses de invierno (Octubre) por la retención nival. En las estaciones de aforo de Eriste y Graus, el coeficiente de caudal de los meses de Octubre y Noviembre está por debajo del módulo, dándose un periodo de aguas bajas. Mencionar además, que los meses de Mayo (Campo) y Junio (Eriste) el coeficiente de caudal duplica el módulo, debido fundamentalmente a las precipitaciones y el deshielo dado a finales de la primavera.

4.3. Irregularidad interanual

Para el estudio de la irregularidad interanual (variación experimentada por el caudal medio anual de un río, durante una serie larga de años) se ha elaborado un histograma para cada una de las estaciones de aforo seleccionadas en el estudio, en el cual podemos ver el caudal medio anual de Río Ésera en el período que comprende entre 1949-1950 y 2012-2013. De este modo, en los siguientes histogramas podemos ver como el Río Ésera presenta una baja irregularidad interanual, presentando de esta forma valores de caudal prácticamente homogéneos entre años y que se sitúan de forma habitual en torno al módulo o muy cercano a este (línea roja).

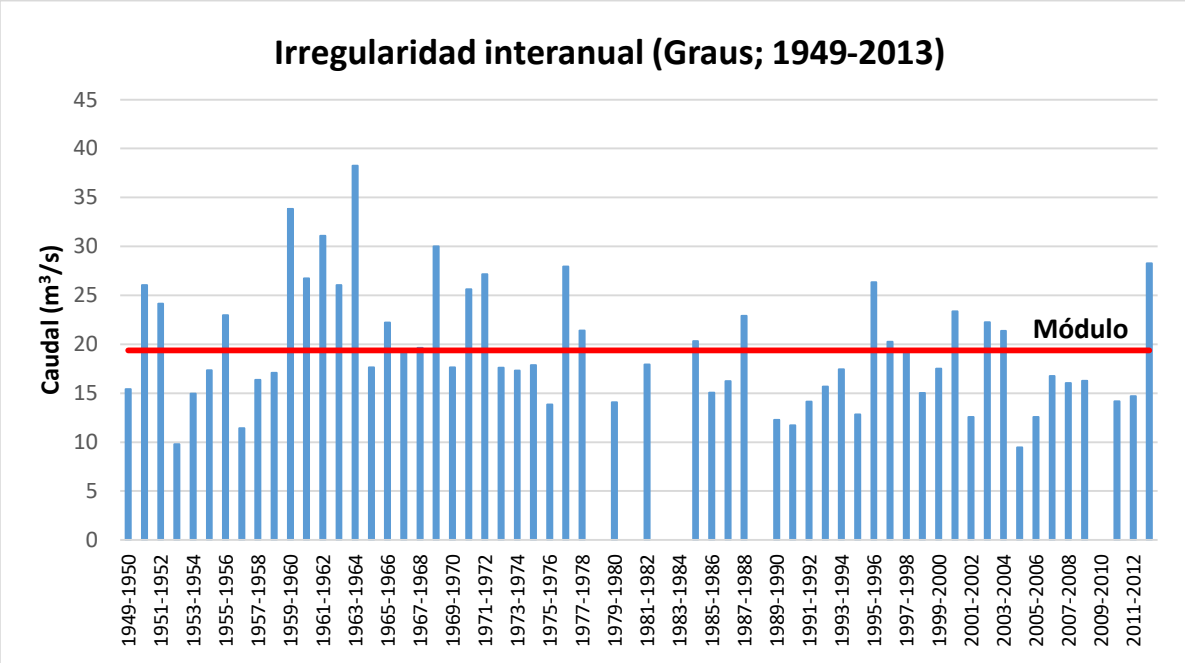
De este modo, como es lógico, de la misma forma que ocurría con las aportaciones anuales (datos absolutos), el caudal medio anual del Río Ésera presenta un importante descenso desde la década de los 80, debido como ya se ha indicado antes a la construcción de los embalses y presas en los diferentes puntos de estudio de la cuenca del río Ésera (Embalse de Linsoles en el año 1964 y de Paso Nuevo en el año 1969), los cuales retienen y gestionan el uso de agua de la zona de estudio, ya sea para el uso privado o público, esto queda muy marcado en la estación de aforo de Eriste, pero también debido a causas naturales como el posible descenso de las precipitaciones y los cambios en la ocupación y uso (abandono de campos de cultivo y variaciones en la cubierta vegetal) señaladas y estudiadas por García Ruiz et al. (2001) en el Pirineo Aragonés. Sin embargo, es entre los años 50-60, el caudal en la mayor parte de las estaciones, alcanza el máximo caudal por encima del módulo, debido a unos registros de precipitación mayores.

Además, en estos histogramas se puede observar como la cantidad de años de caudal medio anual por debajo del módulo, es mayor para el mismo periodo de años 1952-1972, en los histogramas de Barasona y Graus (tienen una menor cantidad de años por encima del módulo en este periodo), que en el de Eriste. Esta diferencia puede deberse al incremento del consumo y utilización de agua para el riego u otros usos conforme nos acercamos a la desembocadura. También, es necesario señalar la notable reducción del volumen de caudal en los últimos 30 años, debido a la disminución en este periodo de las precipitaciones en forma de nieve, un aporte fundamental para el Río Ésera, el cual como ya se ha señalado se trata de un río pirenaico, donde el principal aporte hídrico se produce en forma de nieve, aunque se da un régimen nivo-pluvial que va modificándose a pluvio-nival conforme descendemos en altura y nos acercamos a la desembocadura.



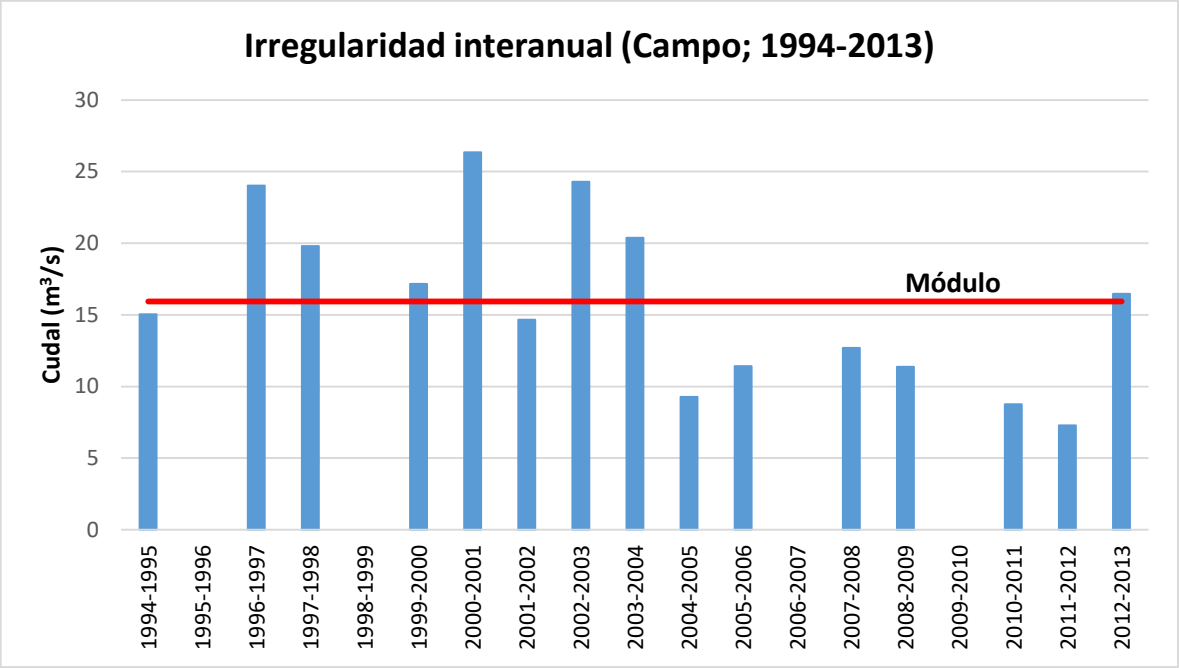
Coeficiente de irregularidad interanual	3,35157233

Figura 11: Irregularidad interanual (Barasona; 1949-1972)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)



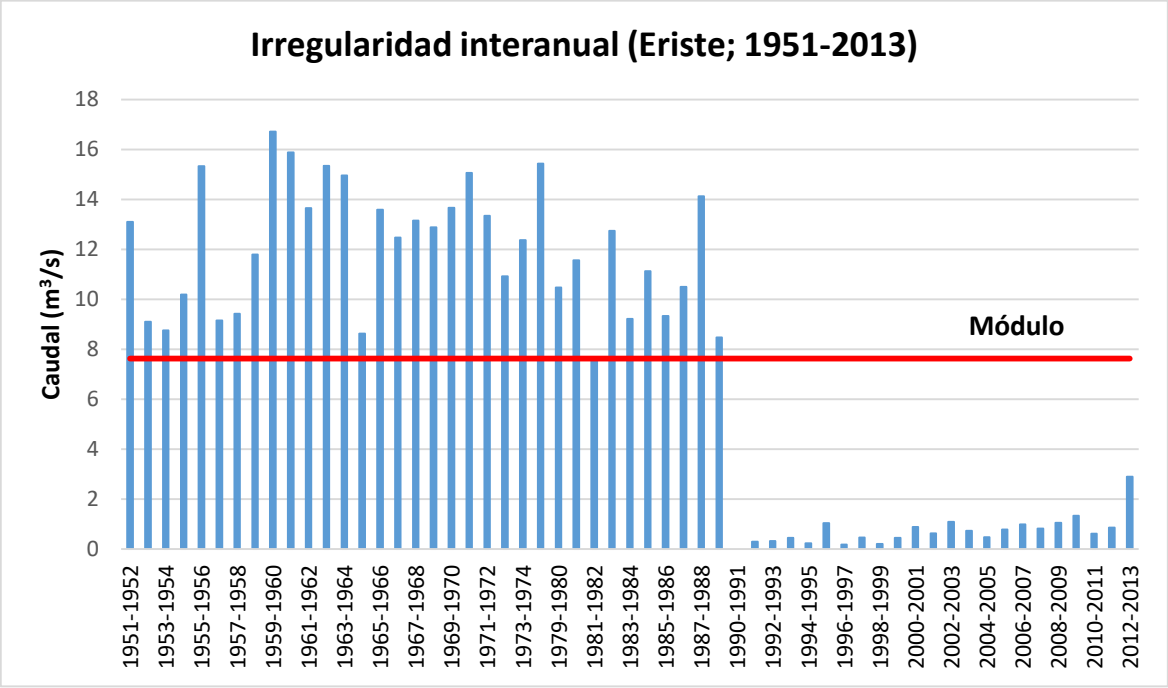
Coeficiente de irregularidad interanual	4,04439746

Figura 12: Irregularidad interanual (Graus; 1949-2013)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)



Coeficiente de irregularidad interanual	3,61316872

Figura 13: Irregularidad interanual (Campo; 1994-2013)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)



Coeficiente de irregularidad interanual	87,9473684

Figura 14: Irregularidad interanual (Eriste; 1951-2013)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

Por último destacar, que este río tiene un coeficiente de irregularidad interanual (cociente entre el valor máximo de caudal medio anual de toda la serie, y el mínimo de caudal medio de toda la serie, el cual permite comparar coeficientes de otros cursos fluviales) de entre 3 y 4 a excepción de la estación de aforo de Eriste con 87,94 de coeficiente de irregularidad interanual debido a la construcción de los embalses de Linsoles en el año 1964 y de Paso Nuevo en el año 1969, los cual ha supuesto una gran variación de los resultados por su disminución en sus aportaciones de caudal, por lo tanto se trata de un río con una baja irregularidad interanual, lo cual indica que nos encontramos ante un río claramente de montaña, ya que el valor que aporta el coeficiente de irregularidad interanual se sitúa próximo a 4, bastante regular en cuanto a sus aportaciones de caudal, debido a su gran cantidad de precipitaciones anualmente, especialmente en forma de nieve en la cabecera, y en forma líquida conforme nos vamos acercando a la desembocadura.

4.4. Fenómenos extremos (estiajes)

Para el estudio de los estiajes se han analizado los dos episodios de estiaje de mayor entidad que se han producido en el río Ésera en el periodo comprendido entre el año 1949-1950 y 2011-2012. Estos dos episodios de estiaje, se localizan de un modo muy variable desde el punto de vista temporal, dándose en los años 1949, 1950, 1952, 1957, 1958, 1988, 1989, 1996, 1997, 2004, 2005, 2010, 2011 y 2012. Se trata de contabilizar el número de días, en cada año hidrológico de la serie, en los que el caudal medio diario no alcanza el umbral correspondiente, aproximadamente, a la mitad del caudal medio mensual del mes con valor más reducido, fijando el umbral de estiaje, siendo la mitad del caudal medio mensual más bajo de cada estación de aforo.

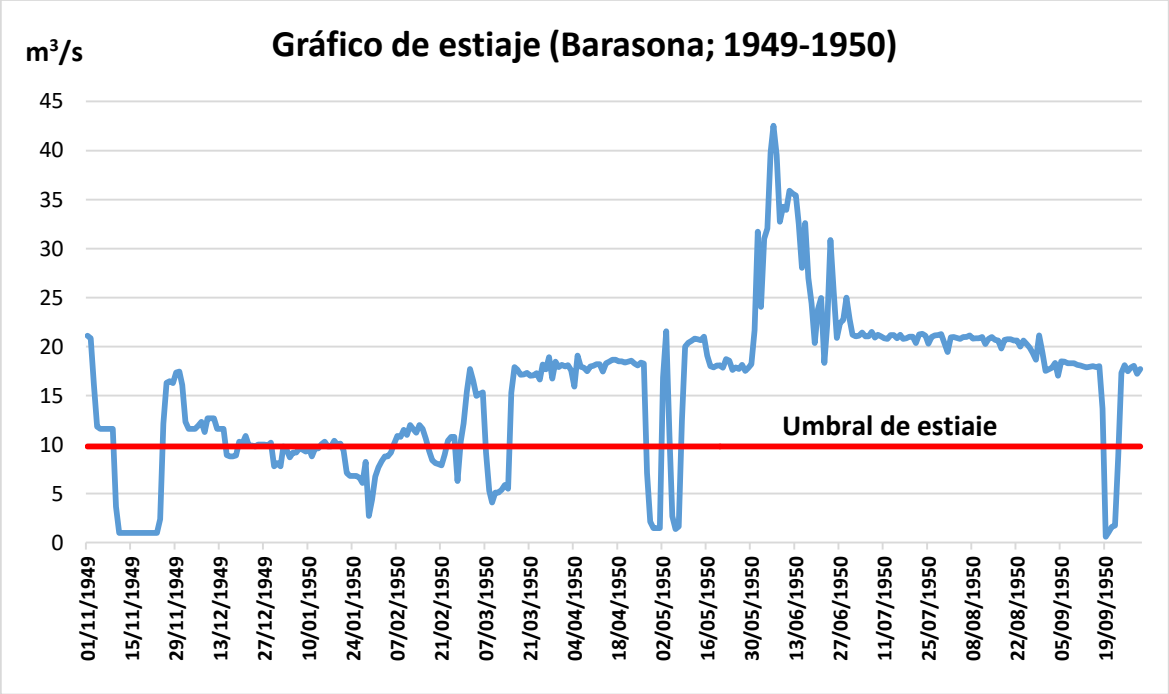


Figura 15: Gráfico de estiaje (Barasona; 1949-1950)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

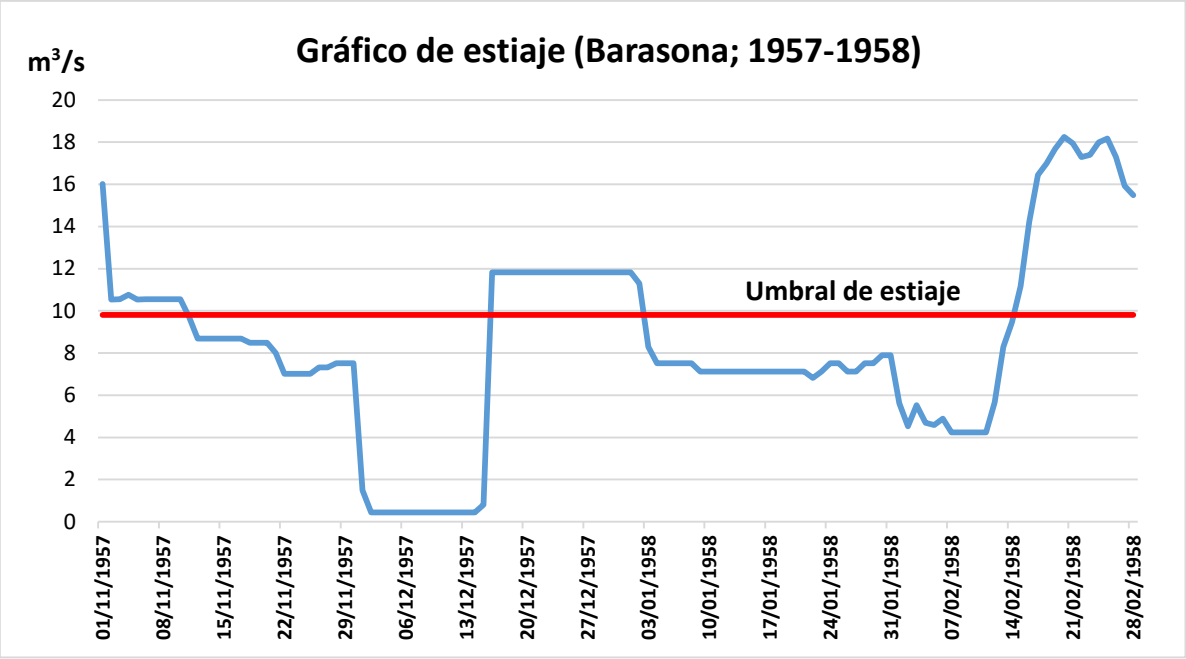


Figura 16: Gráfico de estiaje (Barasona; 1957-1958)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

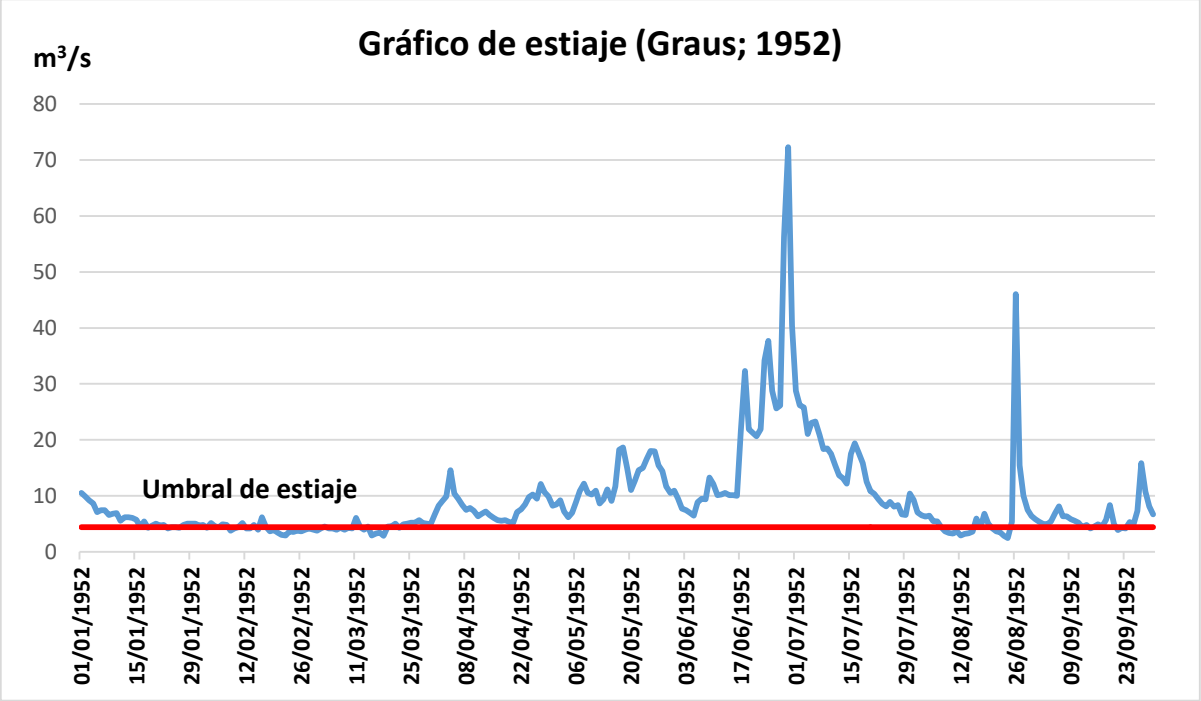


Figura 17: Gráfico de estiaje (Graus; 1952)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

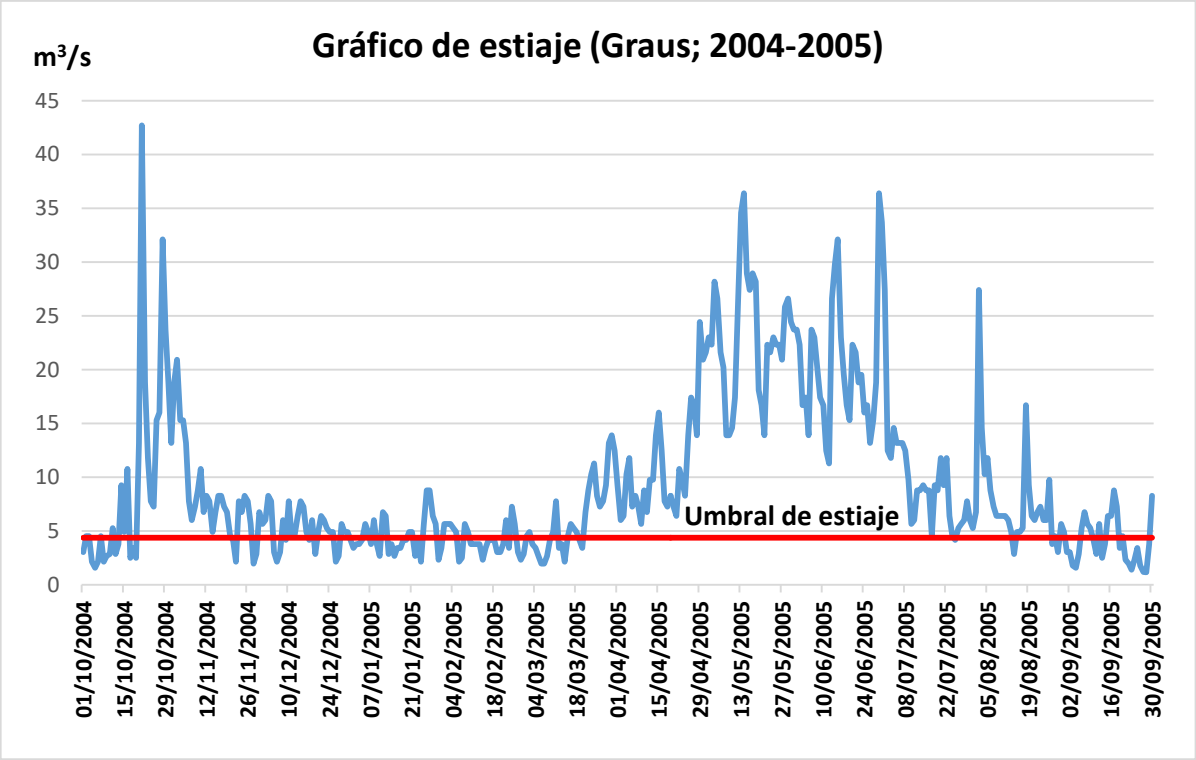


Figura 18: Gráfico de estiaje (Graus; 2004-2005)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

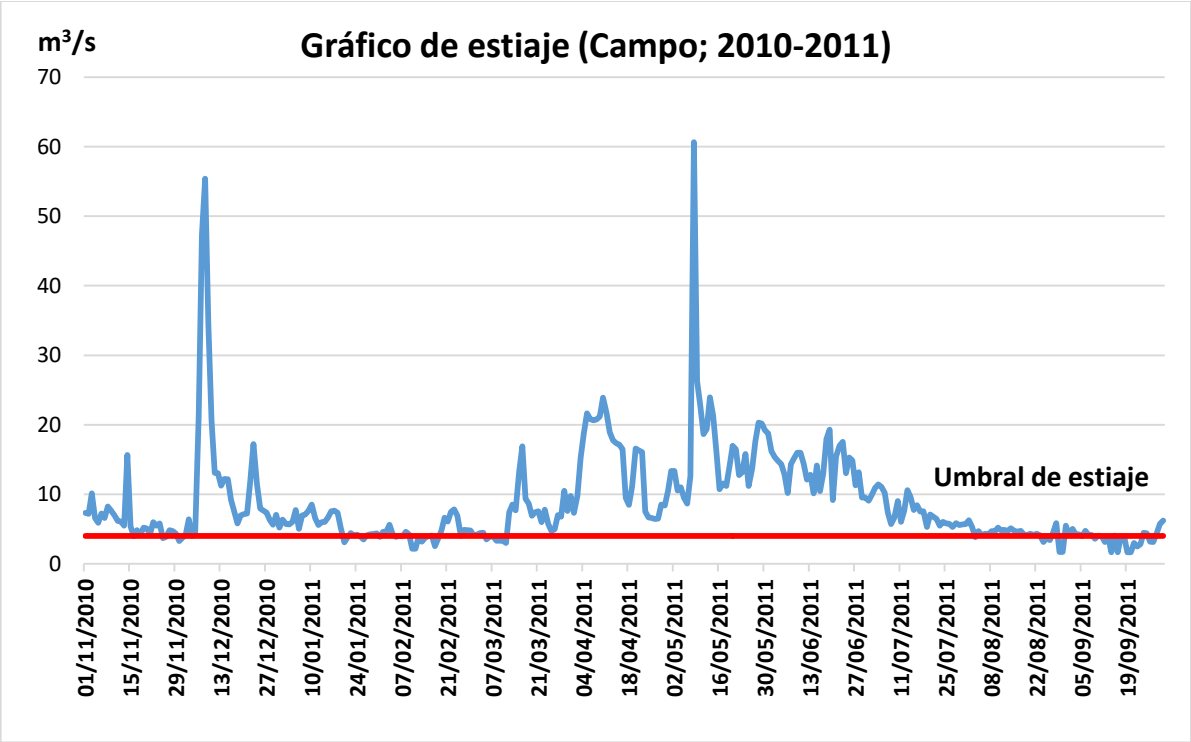


Figura 19: Gráfico de estiaje (Campo; 2010-2011)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

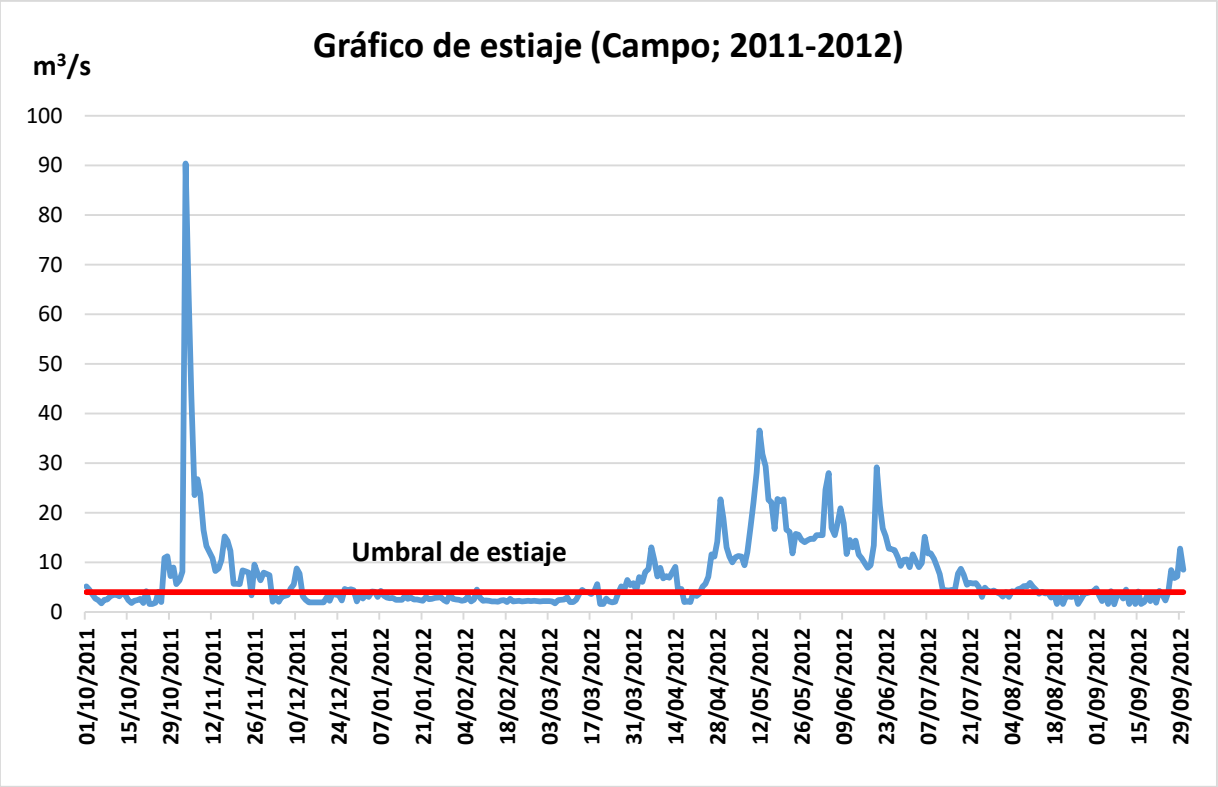


Figura 20: Gráfico de estiaje (Campo; 2011-2012)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

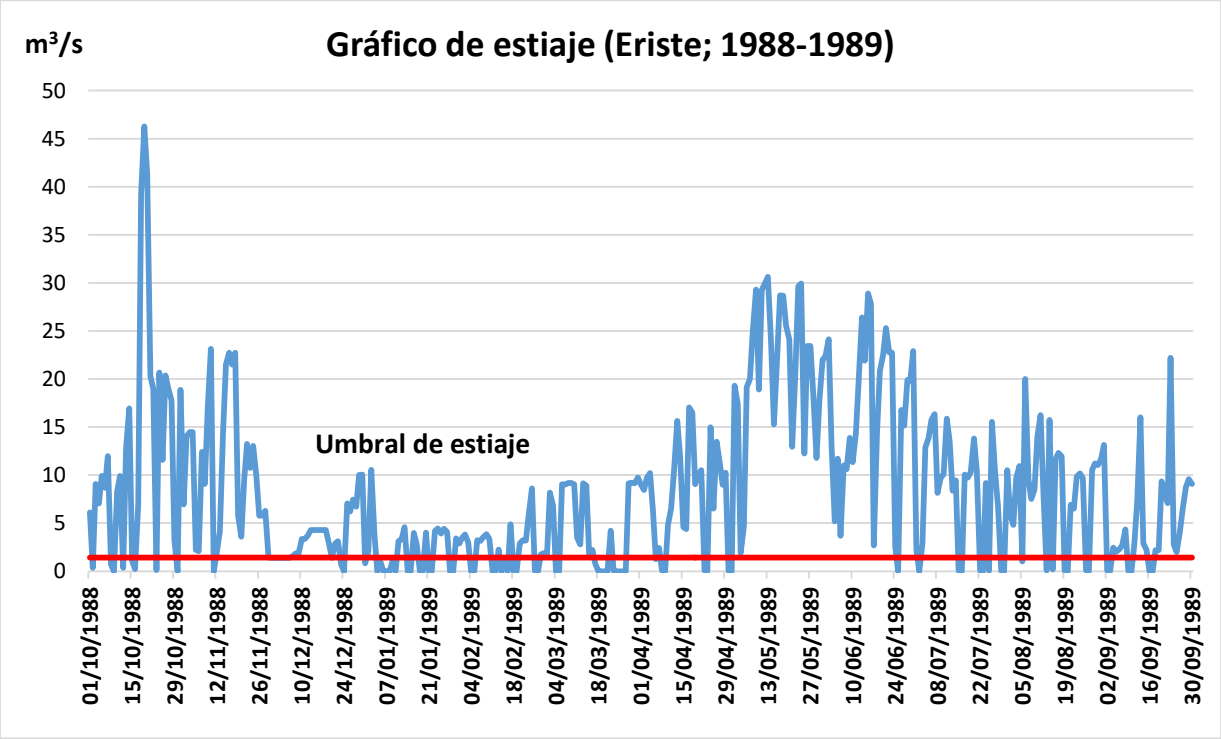


Figura 21: Gráfico de estiaje (Eriste; 1988-1989)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

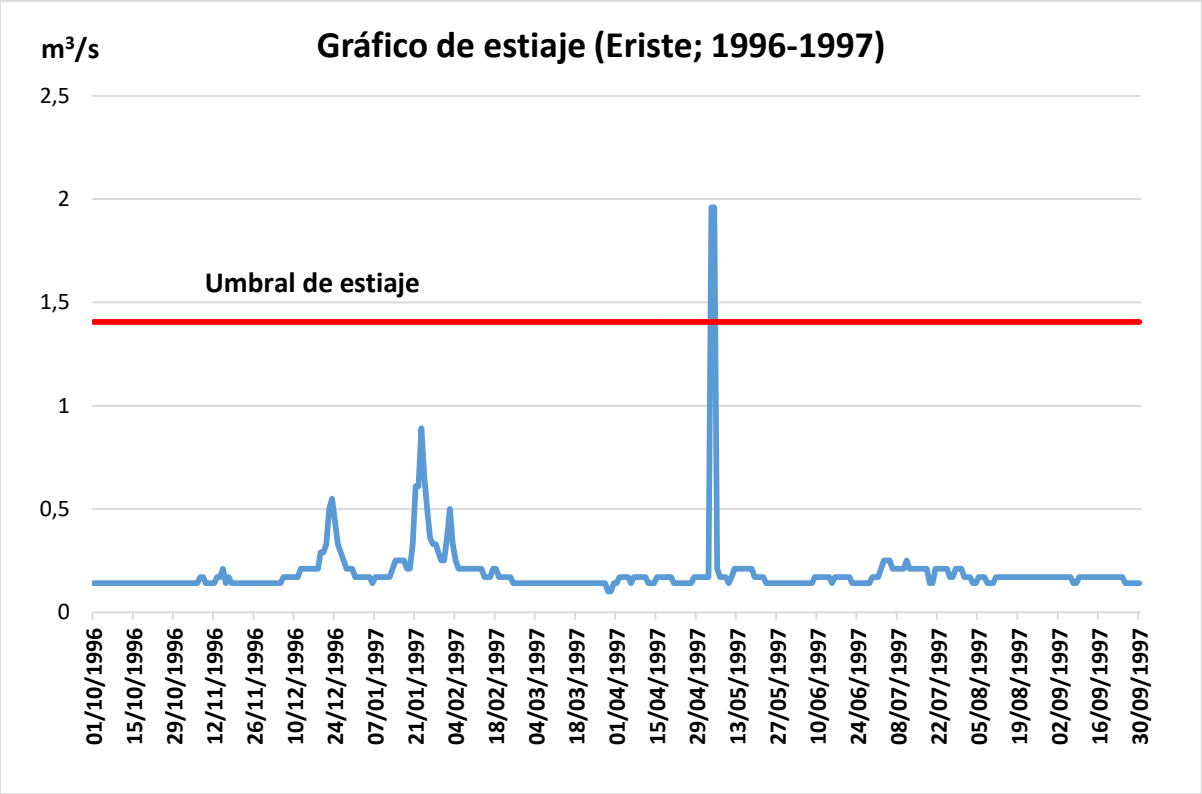


Figura 22: Gráfico de estiaje (Eriste; 1996-1997)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

En estos gráficos se representan varios de los periodos de estiaje del río Ésera, los cuales se produjeron entre los años 1949 y 2012, principalmente en los meses de inviernos y verano, dándose continuos repuntes entre meses, y siguiendo un patrón relativamente general, en el que los mayores estiajes se producen en los meses de Julio, Agosto, Septiembre, Noviembre y Diciembre, quizás por ser los periodos estacionales que mayor dependencia tienen de las aportaciones de las precipitaciones nivales para el verano y en forma líquida para el invierno, por lo que nos encontramos con un periodo de estiaje en el que el caudal se situó durante cortos periodos de tiempo (diarios o mensual) por debajo del umbral de estiaje, a excepción de los estiajes de 1996-1997 en Eriste el cual tiene prácticamente una duración de un año, a excepción de un gran repunte de caudal por encima del umbral de estiaje el 5 de Julio de 1997. De este modo, nos encontramos ante un río el cual presenta un gran número de estiajes muy acusados, con una serie de picos los cuales varían bruscamente, en los que el caudal supera momentáneamente el umbral de estiaje pero sin llegar a regularizare (generados por precipitaciones fundamentalmente convectivas), por lo que no se ha considerado como una regularización del caudal, dándose largos periodos de estiaje en casos excepcionales, ya que el caudal presenta muchísimas variaciones de caudal a lo largo de estos periodos, intercalando de esta forma pequeños picos (precipitaciones muy escasas) y fuertes bajadas de caudal.

A lo largo de estos períodos el caudal alcanzó un cierto periodo de sequía en los años 1988-1989 en Eriste, aunque se dan un gran número de periodos en los que el caudal alcanza mínimos muy cercanos a la sequía en todas las estaciones de aforo, durante todo este período el caudal se sitúa bastante alejado del umbral de estiaje.

Estos estiajes de duración tan corta, están directamente relacionados con las características climáticas de nuestra cuenca, ya que estos son un reflejo de baja irregularidad interanual, lo cual indica que nos encontramos ante un río claramente de montaña, bastante regular en cuanto a sus aportaciones de caudal, debido a su gran cantidad de precipitaciones anualmente, especialmente en forma de nieve en la cabecera, y en forma líquida conforme nos vamos acercando a la desembocadura, como ya se ha indicado antes.

Por último, hay que destacar que estos estiajes no sólo se dan en los meses de verano como es habitual en los ríos de ámbito Mediterráneo, sino que también son acusados durante los meses de invierno, esto se debe a ese rasgo continental que presenta el clima de nuestro ámbito de estudio. Por ello es habitual la presencia de periodos de estiaje a lo largo del año, siendo especialmente acusados en los meses de invierno y verano. Destacar además, que como ya se ha mencionado, el río Ésera presenta una gran cantidad de materiales detríticos, tanto mesozoicos como terciarios, los cuales se traducirán en zonas donde la permeabilidad será menor y donde los procesos de escorrentía se activaran con un menor aporte de agua, pero estos materiales acompaños fundamente de calizas, harán que aumente la permeabilidad, generando una pérdida relevante en el caudal y por lo tanto influyendo en las sequías, en periodos de gran estiaje.

5. Estudio de crecidas e inundaciones

5.1. Eventos de crecida

En primer lugar hay que indicar que las crecidas son la respuesta hidrológica que los sistemas fluviales manifiestan ante eventos de lluvias muy intensas, muy necesarias para el mantenimiento de la diversidad ecológica, geomorfológica e hidrológica del sistema (Colegio de Geógrafos, 2012). Para el estudio de las crecidas se han analizado los dos episodios de crecidas de mayor entidad producidos en el río Ésera en cada una de las estaciones de aforo evaluadas en la zona de estudio. Estos dos episodios de crecidas, se localizan temporalmente en los años 1962 y 1997.

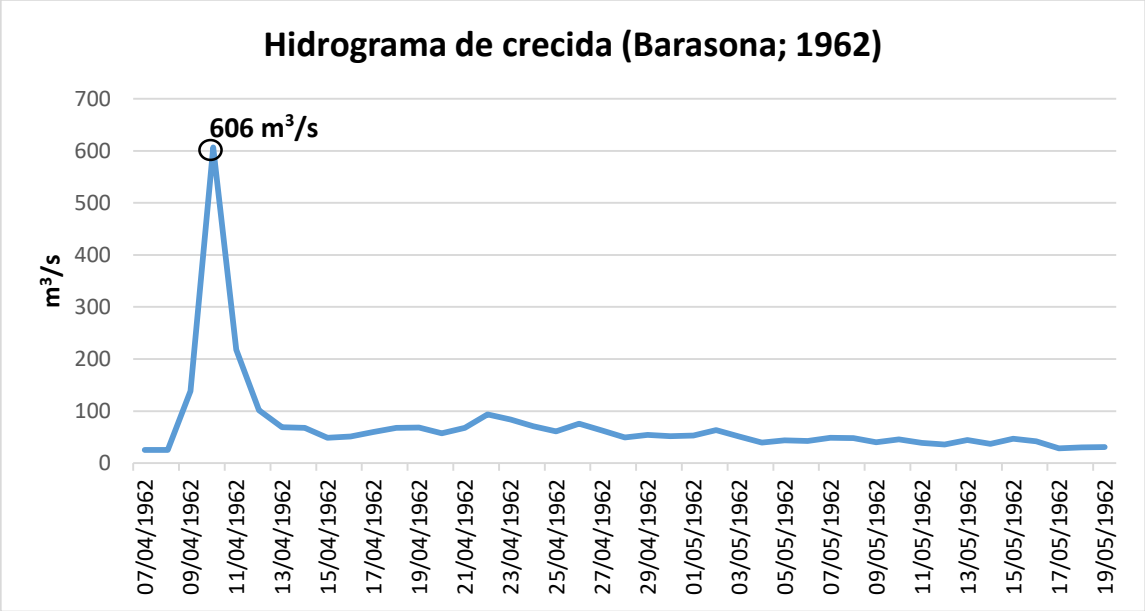


Figura 23: Hidrograma de crecida (Barasona; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

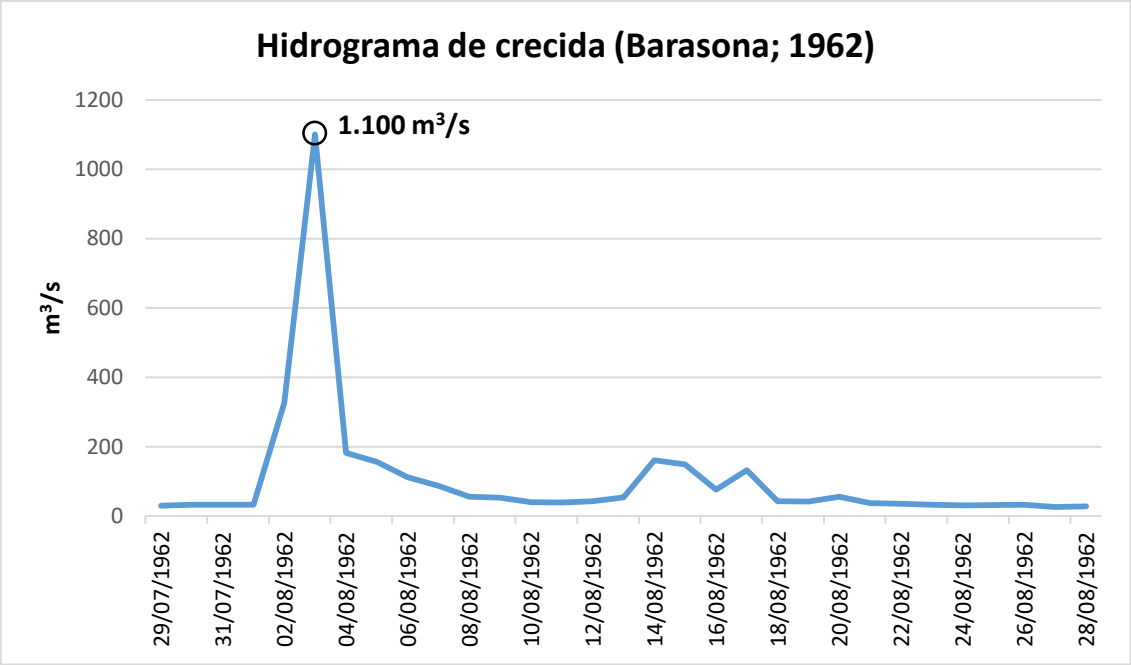


Figura 24: Hidrograma de crecida (Barasona; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

En estas gráficas (figuras 23 y 24) quedan representados los dos hidrogramas de crecida elaborados, para el episodio de crecidas que tuvo lugar en el período comprendido entre el 7 de Abril de 1962 y el 19 de Mayo de 1962, y el periodo comprendido entre el 29 de Julio de 1962 y el 28 de Agosto de 1962, presentando una duración total de 43 días el primero y 31 días el segundo, desde el inicio de la crecida hasta la normalización del caudal, que marca el final de la escorrentía superficial. Tal y como observamos en los gráficos se da un importante incremento del caudal del río o crecida (curva de ascenso), entre el día 8 y el día 10 de Abril y entre el día 1 y 3 de Agosto, dándose el pico de crecida máximo el día 10 de Abril, con una media de caudal de 606 m^3/s y el día 3 de Agosto con una media de caudal de 1.100 m^3/s, momento a partir del cual comienza a descender (curva de descenso) drásticamente hasta su normalización (curva de agotamiento) el día 19 de Mayo y 28 de Agosto, dándose una serie de picos de crecida secundarios de menor caudal, lo cual indica que nos encontramos ante un tipo de crecida simple de triple pico de crecida. Además indicar, que se trata de una crecida la de Agosto que multiplica por más de 25 el módulo (30 m^3/s), mientras que la de Abril lo multiplica por más de 10.

Esta crecida corresponde con un fuerte episodio de precipitación, ya que como vemos encontramos un pico de caudal muy marcado de escasa duración, lo que nos indica que las precipitaciones se encontraran concentradas en un período de tiempo relativamente corto. También hay que señalar que probablemente nos encontremos ante una tormenta de tipo convectivo acentuado por el deshielo dado en esta estación del año en la zona de estudio, ya que se produce entre finales de primavera y el verano, siendo muy características en este ámbito mediterráneo continentalizado en el que se localiza la estación de aforo de Barasona.

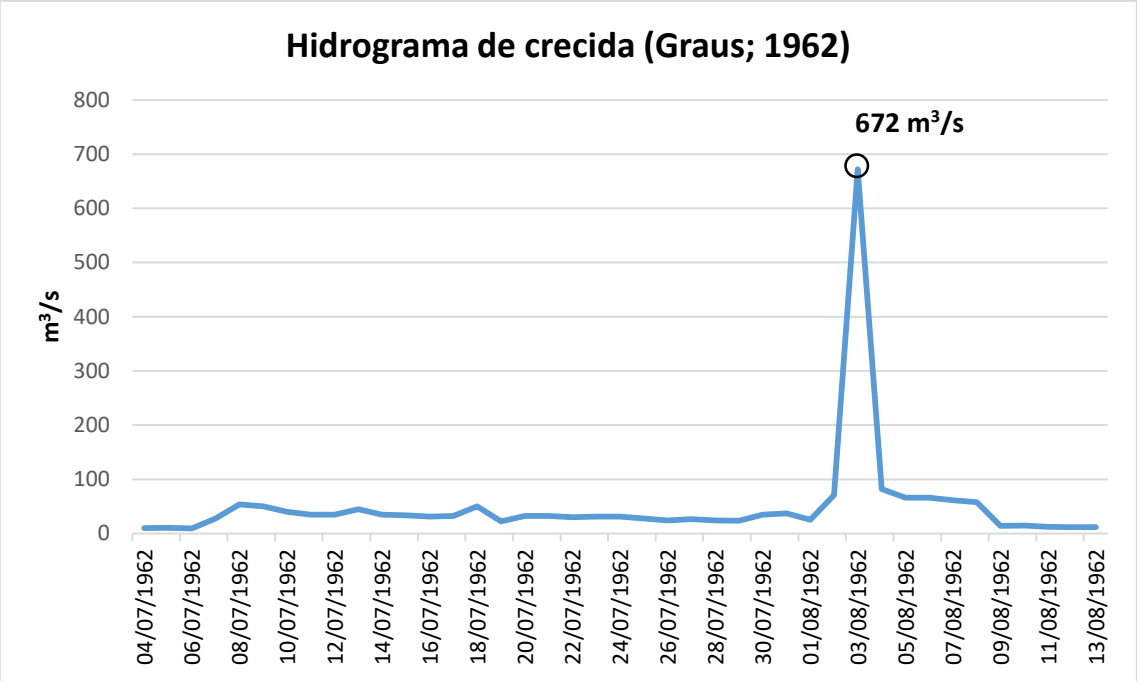


Figura 25: Hidrograma de crecida (Graus; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

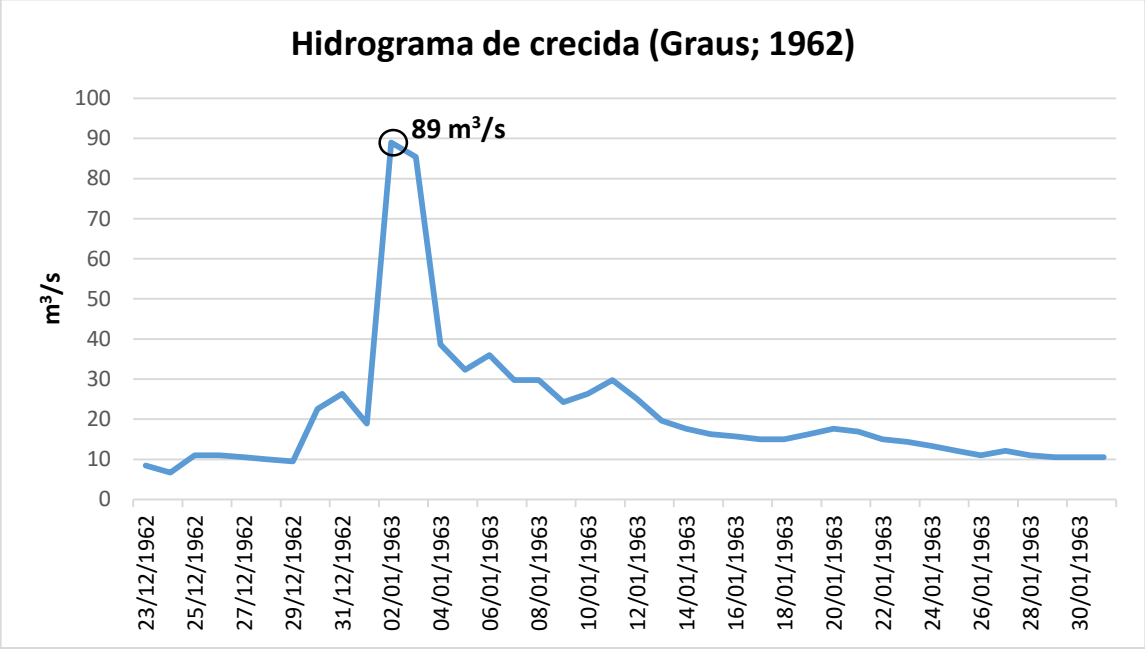


Figura 26: Hidrograma de crecida (Graus; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

En estas gráficas (figuras 25 y 26) quedan representados los dos hidrogramas de crecida elaborados, para el episodio de crecidas que tuvo lugar en el período comprendido entre el 4 de Julio de 1962 y el 13 de Agosto de 1962, y el periodo comprendido entre el 23 de Diciembre de 1962 y el 30 de Enero de 1963, presentando una duración total de 41 días el primero y 40 días el segundo, desde el inicio de la crecida hasta la normalización del caudal, que marca el final de la escorrentía superficial.

Tal y como observamos en los gráficos se da un importante incremento del caudal del río o crecida (curva de ascenso) entre el día 2 y el día 3 de Agosto de 1962 y entre el día 1 y 2 de Enero de 1963, dándose el pico de crecida máximo el día 3 de Agosto, con una media de caudal de 672 m^3/s y el día 2 de Enero con una media de caudal de 89 m^3/s, momento a partir del cual comienza a descender (curva de descenso) drásticamente hasta su normalización (curva de agotamiento) el día 13 de Agosto de 1962 y 30 de Enero de 1963, dándose una serie de picos de crecida secundarios de menor caudal, lo cual indica que nos encontramos ante un tipo de crecida de tipo complejo, por la gran cantidad de picos de crecida, generando un gran número de altibajos, aunque es cierto que se da una cresta o pico de crecida más marcado, es decir con un mayor caudal, que indica cual es el verdadero pico de crecida. Además indicar, que se trata de una crecida la de Agosto de 1962 que multiplica por más de 25 veces el módulo (19,37 m^3/s), mientras que la de Enero de 1963 lo multiplica por más de 3.

Esta crecida corresponde con un fuerte episodio de precipitación, ya que como vemos encontramos un pico de caudal muy marcado de escasa duración, lo que nos indica que las precipitaciones se encontraran concentradas en un período de tiempo relativamente corto. También hay que señalar que probablemente nos encontremos ante una tormenta de tipo convectivo de invierno y de verano acentuada por el deshielo dada en esta estación del año en la zona de estudio, ya que se produce en el verano y son muy características de este ámbito mediterráneo continentalizado en el que se localiza la estación de aforo de Graus.

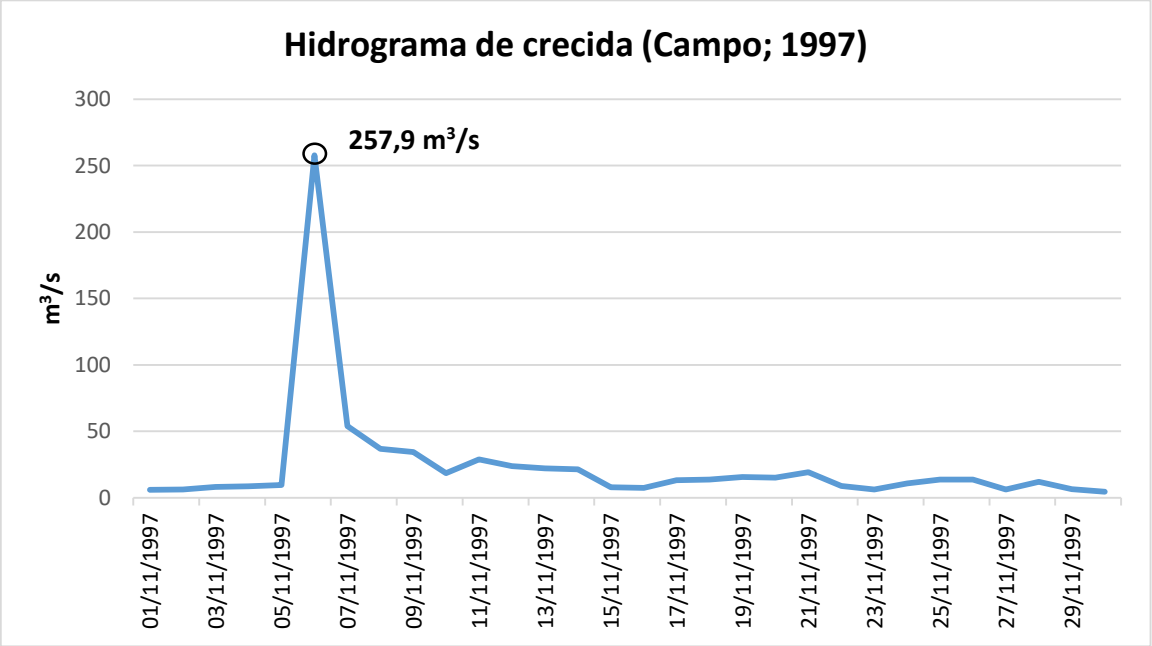


Figura 27: Hidrograma de crecida (Campo; 1997)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

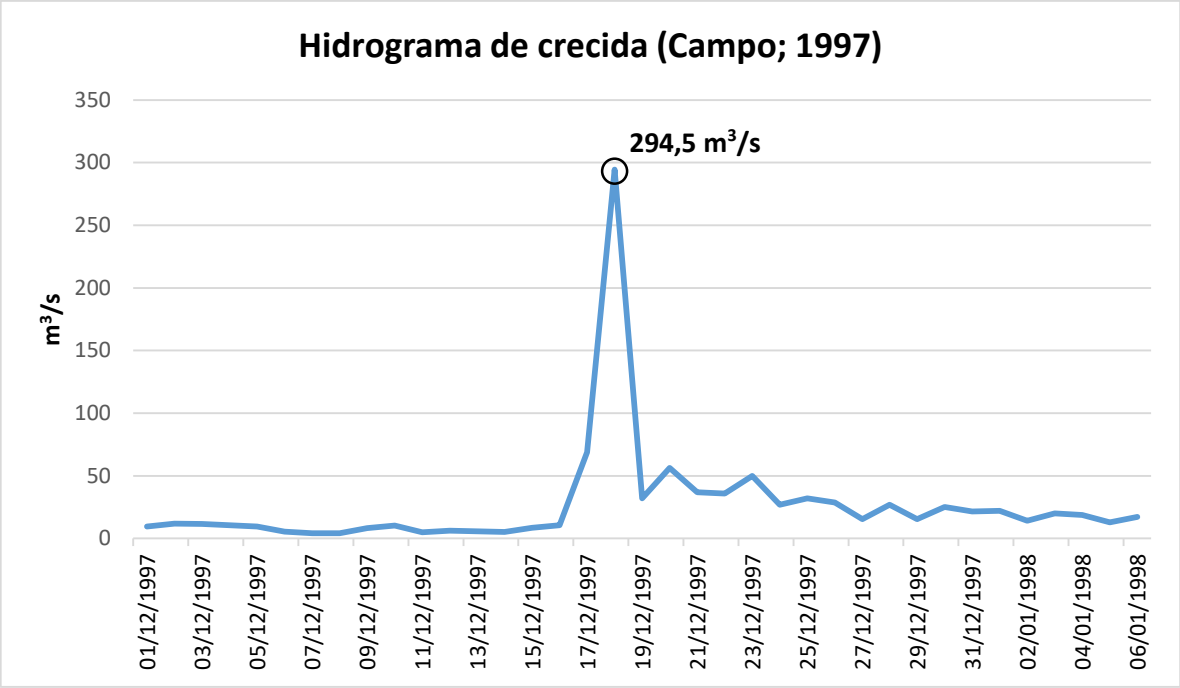


Figura 28: Hidrograma de crecida (Campo; 1997)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

En estas gráficas (figuras 27 y 28) quedan representados los dos hidrogramas de crecida elaborados, para el episodio de crecidas que tuvo lugar en el período comprendido entre el 1 de Noviembre de 1997 y el 30 de Noviembre de 1997, y el periodo comprendido entre el 1 de Diciembre de 1997 y el 6 de Enero de 1998, presentando una duración total de 30 días el primero y 37 días el segundo, desde el inicio de la crecida hasta la normalización del caudal, que marca el final de la escorrentía superficial.

Tal y como observamos en los gráficos se da un importante incremento del caudal del río o crecida (curva de ascenso) entre el día 5 y el día 6 de Noviembre de 1997 y entre el día 16 y 18 de Enero de 1998, dándose el pico de crecida máximo el día 6 de Noviembre, con una media de caudal de 257,9 m^3/s y el día 18 de Enero con una media de caudal de 294,5 m^3/s, momento a partir del cual comienza a descender (curva de descenso) drásticamente hasta su normalización (curva de agotamiento) el día 30 de Noviembre de 1997 y el 6 de Enero de 1998, dándose una serie de picos de crecida secundarios de menor caudal, lo cual indica que nos encontramos ante un tipo de crecida de tipo complejo, por la gran cantidad de picos de crecida, generando un gran número de altibajos, aunque es cierto que se da una cresta o pico de crecida más marcado, es decir con un mayor caudal, que indica cual es el verdadero pico de crecida. Además indicar, que se trata de dos crecidas que multiplican por más de 10 veces el módulo (15,93 m^3/s).

Esta crecida corresponde con un fuerte episodio de precipitación, ya que como vemos encontramos un pico de caudal muy marcado de escasa duración, lo que nos indica que las precipitaciones se encontraran concentradas en un período de tiempo relativamente corto. También hay que señalar que probablemente nos encontremos ante una tormenta de tipo convectivo de invierno dada en esta estación del año en la zona de estudio, ya que se produce entre finales de primavera y el verano y son muy características de este ámbito submediterráneo húmedo en el que se localiza la estación de aforo de Campo.

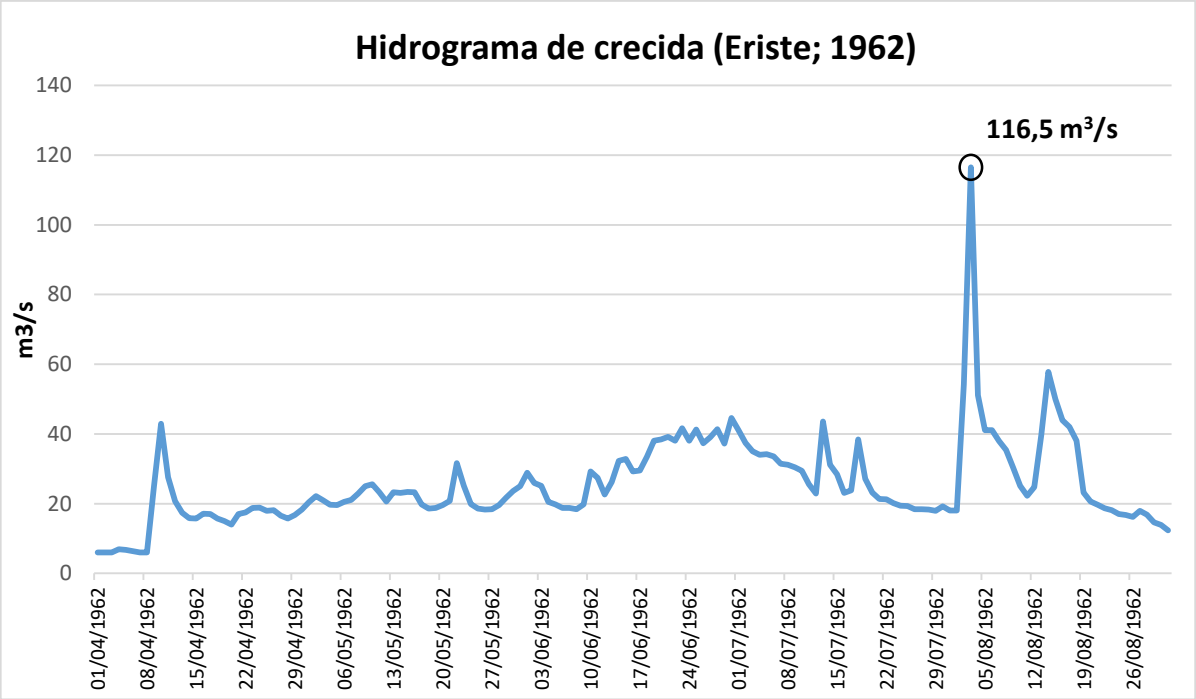


Figura 29: Hidrograma de crecida (Eriste; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

En esta gráfica (figura 29) queda representado el hidrograma de crecida elaborado, para el episodio de crecidas que tuvo lugar en el período comprendido entre el 1 de Abril de 1962 y el 26 de Agosto de 1962, presentando una duración total de 153 días, desde el inicio de la crecida hasta la normalización del caudal, que marca el final de la escorrentía superficial.

Tal y como observamos en el gráfico (figura 29) se da un importante incremento del caudal del río o crecida (curva de ascenso) entre el día 1 y el día 3 de Agosto de 1962, dándose el pico de crecida máximo el día 3 de Agosto, con una media de caudal de 116,5 m^3/s, momento a partir del cual comienza a descender (curva de descenso) drásticamente hasta su normalización (curva de agotamiento) el día 26 de Agosto de 1962, dándose una serie de picos de crecida secundarios de menor caudal, lo cual indica que nos encontramos ante un tipo de crecida de tipo complejo, por la gran cantidad de picos de crecida, generando un gran número de altibajos, aunque es cierto que se da una cresta o pico de crecida más marcado, es decir con un mayor caudal, que indica cual es el verdadero pico de crecida. El hecho de que el pico del 3 de Agosto sea el más marcado probablemente se deba al hecho de que el nivel freático se haya recuperado y a que el grueso del caudal haya aumentado durante los días anteriores. Además indicar, que se trata de una crecida que multiplica por más de 10 el módulo (7,62 m^3/s), y que la gran sucesión de picos que le confieren grandes probabilidades de desbordamiento, con el consiguiente riesgo para las actividades y municipios de población instaladas en las proximidades del cauce.

Esta crecida corresponde con un fuerte episodio de precipitación, ya que como vemos encontramos un pico de caudal muy marcado de escasa duración, lo que nos indica que las precipitaciones se encontraran concentradas en un período de tiempo relativamente corto. También hay que señalar que probablemente nos encontremos ante una tormenta de tipo convectivo de verano acentuada por el deshielo dado en esta estación del año en la zona de estudio, ya que se produce en el verano y son muy características de este ámbito submediterráneo húmedo en el que se localiza la estación de aforo de Eriste.

De esta forma a modo de resumen podemos decir, que el Río Ésera tiene una tipología de crecidas dadas fundamentalmente en los periodos estivales, es decir en invierno y verano, que coincide con los periodos en los que se da una mayor afluencia de precipitaciones tanto en forma líquida como en forma de nieve en la zona de estudio, esto se debe fundamentalmente a que este río se localiza en tres dominios climáticos según el Atlas Climático de Aragón como ya se ha mencionado anteriormente, en la zona norte se da un clima de montaña, seguido de un clima submediterráneo húmedo en la zona central y un clima mediterráneo continentalizado al sur de la cuenca, lo cual da lugar a elevadas precipitaciones, las cuales se distribuyen de manera irregular a lo largo del año. Estas crecidas alcanzan su máximo con 1.100 m^3/s en la zona más cercana a la desembocadura (Barasona) y 116 m^3/s en la zona más próxima a la cabecera o nacimiento, aunque debido a su irregularidad a menudo pueden ser presentar valores más bajos o más altos (89 m^3/s en Graus), siendo más abundantes en otoño, primavera y verano y menores en invierno por la retención nival.

Destacar, que aunque la primavera suele ser la estación más lluviosa, a menudo podemos encontrar los máximos pluviométricos en verano debido a las fuertes tormentas de carácter torrencial que se dan en la zona, como reflejo de ese rasgo más continentalizado. Y además nos encontramos con una tipología de crecidas de tipo complejo, por la gran cantidad de picos de crecida, generando un gran número de altibajos, aunque es cierto que se da una cresta o pico de crecida más marcado, es decir con un mayor caudal, que indica cual es el verdadero pico de crecida, como ya se ha mencionado anteriormente. Por último, hay que indicar que la mayor parte de las crecidas del Río Ésera se dieron en el año 1962, año en el cual se dieron intensas precipitaciones en un periodo corto de tiempo, generando unos caudales instantáneos máximos de 995 y 370 m^3/s, dando lugar a grandes afecciones especialmente en el municipio de Benasque como se indicará más adelante en el apartado de crecidas históricas. Mencionar que para este análisis de crecidas se ha realizado tomado como referencia las crecidas de 2012 y 2013 (Ilustración 17: Anexos) como crecidas más actuales y significativas, estas crecida se analizarán a continuación en el trabajo.

Tras haber analizado todo los elementos del régimen hidrológico del río Ésera podemos señalar una serie de aspectos en su comportamiento:

1. Elevado caudal a lo largo del año

2. Los episodios de crecida se suelen dar a finales de la primavera y durante los meses de verano, especialmente en los meses de Mayo y Junio, y en invierno

3. Estiajes muy acusados, principalmente en verano, aunque también en invierno

4. En los meses de verano es habitual encontrar tanto episodios de crecida como de estiaje, también en ciertos casos se da en invierno

5. Máximos de caudal en primavera y principios de verano (aguas altas por el deshielo), aunque también máximos más atenuados en invierno principalmente por tormentas de tipo convectivo

6. Mínimos de caudal ente Agosto y Septiembre, aunque sin grandes diferencias respecto a Octubre, Noviembre y Diciembre (aguas bajas)

7. Baja irregularidad interanual

8. Régimen complejo cambiante, principalmente nivo-pluvial

5.2. Número, frecuencia, volumen y reparto de los eventos de crecida

En primer lugar hay que indicar que los eventos de precipitación extremos en esta zona de estudio, en la que parte de la cuenca del río Ésera se encuentra localizada en el Pirineo pueden provocar incrementos de caudal que, asociados a la actividad geomorfológica en el entorno y en función de la intensidad y duración de la precipitación registrada, provocando cierto riesgo en el desarrollo normal de la actividad antrópica.

De forma complementaria a estos hidrogramas de crecida, se ha realizado una tabla con los máximos instantáneo mensuales para toda la serie de datos disponibles, con el objetivo de determinar en qué meses del año se producen las mayores crecidas; ya que en los ríos de este ámbito la variaciones en el caudal son tremendamente rápidas, por lo que al tratar datos medio diarios se pueden obviar crecidas con máximos instantáneos muy altos pero que luego al realizarse la media del caudal diario quedan desdibujadas. Para ello se han seleccionado todos aquellos meses con máximos instantáneos que superen 3, 5, 10 y 25 veces el módulo de cada estación de aforo (módulos de 9,37 m³/s en la Estación de Aforo de Graus, 15,93 m³/s en la Estación de Aforo de Campo y 7,62 m³/s en la Estación de Aforo de Eriste) en toda nuestra serie de datos. Estos quedan representados con los colores amarillos (3 veces el módulo), naranjas (5 veces el módulo), rojos (10 veces el módulo) y granate (25 veces el módulo).

Tabla 2: Meses de crecida río Ésera (Graus; 1962) Anexos
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1946-1947												
1947-1948												
1948-1949												
1949-1950		65						230	98		62	
1950-1951		110				110		180	160	82	60	98
1951-1952		120				186	200	150	131		120	64
1952-1953		70	70						135	60	189	
1953-1954	210		123			72,9		118	160			320
1954-1955	308	66	90	90	161	106	66,5	76,4	268	90	198	75
1955-1956	70,5	158	122	72		202	84	126	104	120	186	100
1956-1957						65,2		61,6	116,2		154	95
1957-1958						123,1		91	139,6	87		127,7
1958-1959	95		67			139,6	182	83	73	79	87	113,9
1959-1960	181	127	238	171	163	161	73	135	202	625	92	365
1960-1961	550	275					82	120	185	61	95	120
1961-1962	92,8	354	72,8	142		365,5	191,6	100,5	104,5	74,6		164,5
1962-1963	62,8	98,5		172			137	87,2	110,7	126,4	995	
1963-1964		720	228		200	65	136	230	464	68,2	108	193,5
1964-1965		118,5				68		79,5		207,5	145,5	
1965-1966	114	420		95,6	97,9	63,9	68,9	104,8	416,3	62,3	118,6	
1966-1967	123,2	245				323		60,6			70,5	
1967-1968		303					91	91	120,9	74,6	70,5	63,9
1968-1969		142,4	118,6			147,8	209	205,4	275	198,2		
1969-1970	97	80,6		158,6				109,5	122	82,7		
1970-1971	90	196,5					304,1	422,5	203,35	144		200
1971-1972				73,4	101	88,5	69,2	188,25	275	141,5	111	158
1972-1973	91	81,8	91					123,5	103,5	77,6		113,5
1973-1974			205,4	287		227		131	169	111	205,4	184,6
1974-1975								180,8	104,8		72,8	109,2
1975-1976	75,9							124,6		75,9	71,25	72,8
1976-1977	191	327	96	227	60		153,2	507,76	180,2	150,5	381,5	
1977-1978	286		260		126	185,6	68,8	128,75	169,4	64,4		
1978-1979							72,3				72,3	67,02
1979-1980	156						67,02		72,3			59,1
1980-1981		97,2						79,15	86		63,06	170
1981-1982			192,7	156				75,04	177	149	102,8	
1982-1983	64,38	510						60,87			69,06	
1983-1984									74,6			
1984-1985		249	94,39	116,71			68,6		83	66,2		
1985-1986		105,55					79,4	94,39	60,59		116,71	166,5
1986-1987	60,45	94,5					96			136,75		
1987-1988	249			79,8			143,75	82,6	93	156	94,5	123,2
1988-1989									58,26			
1989-1990		70,8	128,18					108,54	100,59			
1990-1991		76,08				157,75						66,2
1991-1992								319,5	94,5	96		157,75
1992-1993	96	72,8	59,2				64,6	84			227	136,75
1993-1994	152,5			62,75				78,72	82,68			
1994-1995	85,5	199,3		60,55								79,8
1995-1996		64,6	154,25	156			81,2	87	150,75	65,95	102,18	
1996-1997		65,95	91,5	106,95				77		77		
1997-1998		217,3	580,1				150,75	79	59,43			125,9
1998-1999												166,5
1999-2000	164,75						133,25	128,18	200,65			
2000-2001		126,52	75,95	165,95		165,95	173,03	82,55	67,1	155,33		
2001-2002	87,5								80,9			59,3
2002-2003	164,18	89,15			121,7	65,8	79,25	125,24	92,45			127,01
2003-2004	242,06	110,44	65,79				62,14	63,36	74,65			
2004-2005	60,93								59,71			
2005-2006	88,42	65,79							63,36	114,11		277,33
2006-2007	196,64	123,28			79,24		76,18	71,59				
2007-2008		64,57					106,77	189,3	73,12	77,71		
2008-2009		121,44					73,12	97,6		191,13		
2009-2010	97,62		183,75	71,14		58,5		63,35		148,95		
2010-2011	58,5		76,18					150,79				
2011-2012	75,63	193,58					59,31	64,33	70,61			
2012-2013	234,6			153,59		100,04	87,48	86,09	477,28	109,8	97,25	

x3	58,11
x5	96,85
x10	193,7
x25	484,25

Tabla 3: Meses de crecida río Ésera (Campo; 1997) Anexos
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1992-1993	109,1	60,8	59,4					120,88	80,4	55,64		195,2
1993-1994	252,05	70,6				55,64		83	96,2			
1994-1995	94	238		56,6				48	58,8			
1995-1996			233,5	245,7	68,75	132,85	96,25	190,8		96,25	184,7	
1996-1997			123,7	123,7	111,5	78,55	84,05	148,1	78,55	123,7	58,95	
1997-1998		772,52	416,15	48,74		51,12	125,7	99,15	105,75	56,25		231,5
1998-1999									51,12			
1999-2000	188,2						107,4	145,2	139,35			
2000-2001		147,15	95,85	201,6	49,63	147,1	167,76	215,5	98,95	233	50,99	59,12
2001-2002	121,42							50,99	82,88	57,76	67,25	57,76
2002-2003	208	117,14	50,99	53,7	79,31	93,59	112,86	165,46	90,02	57,76	55,05	165,46
2003-2004	267,5	123,56	73,96				65,89	86,45	123,56	84,67	134,26	
2004-2005	72,17							48,28	57,76		64,54	
2005-2006	183,82	72,17				52,34		57,76				223
2006-2007	262,6	132,05			114,75		63,2	108,6				
2007-2008		82,4					102,45	272,2	68	48,07		
2008-2009		102,45					49,38	114,75				
2009-2010	88,1			50,69		61,65	53,1	72,5	275,1	77,15		
2010-2011	47,9		75,6					146,15				
2011-2012		217,6						47,9				
2012-2013	272,2			97,25		72,5	54,4	80,25	460,7			

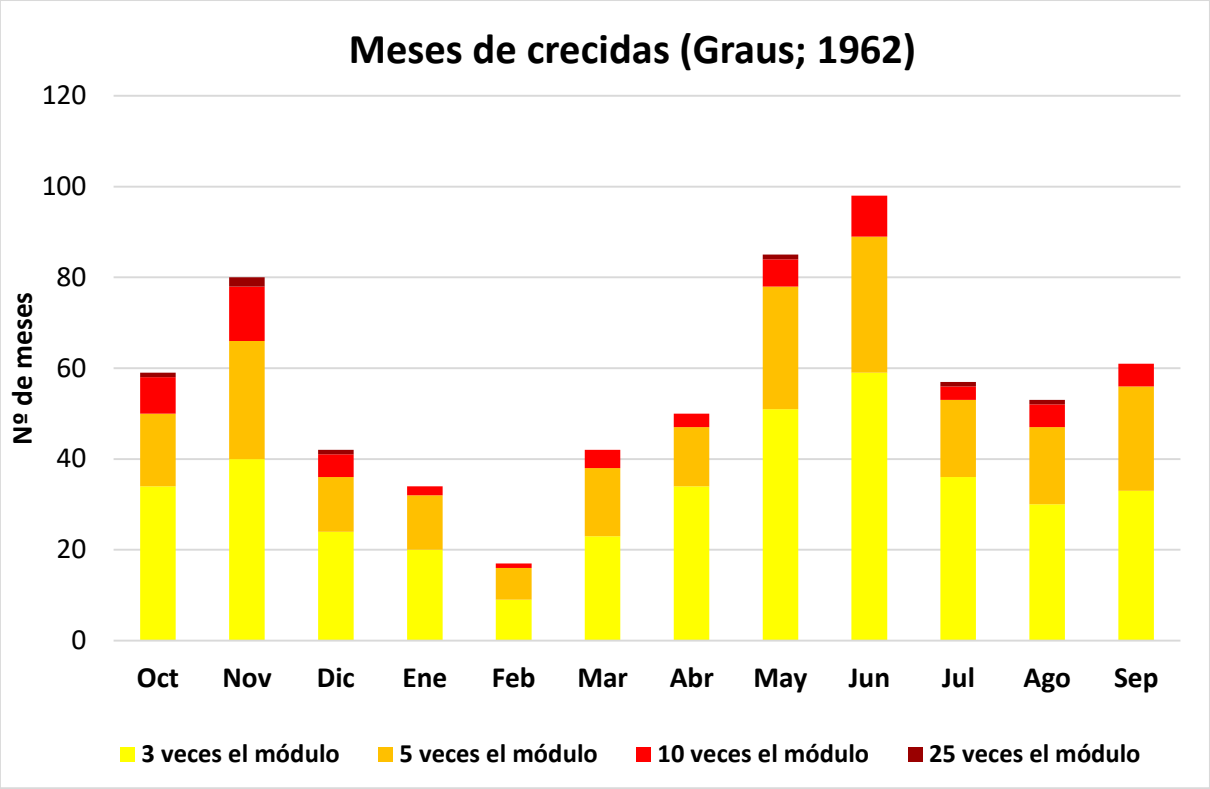
x3	47,79
x5	79,65
x10	159,3
x25	398,25

Tabla 4: Meses de crecida río Ésera (Eriste; 1962) Anexos
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1962-1963											600	
1990-1991												
1991-1992											52,68	49,62
1992-1993								51,44	29,05		89,3	32,2
1993-1994	39,67							29,05	38,5			
1994-1995		52,06										
1995-1996								53,3	43,77	28,53	82,3	
1996-1997								49,62				
1997-1998		172,6	90,78					25,7	25,24			94,65
1998-1999								42,6	43,77			61,98
1999-2000	58,88							49,03	43,77			
2000-2001				39,09				63,27	49,62	138		
2001-2002	61,98								24,78			
2002-2003	43,18						37,45	49,62	26,62			69,3
2003-2004									22,94			
2004-2005												
2005-2006	47,28											83
2006-2007	74,66						30,63	28,53				
2007-2008								44,94				23,86
2008-2009								40,84				
2009-2010								35,35	133,05	29,58		
2010-2011								62,6				
2011-2012		88,6							31,15			
2012-2013	182,75							25,7	310,4			

x3	22,86
x5	38,1
x10	76,2
x25	190,5

A continuación, para presentar los datos de manera más esquemática, se ha elaborado un gráfico en el cual podemos ver el número de meses en los cuales se ha superado 3, 5, 10 y 25 veces el módulo en el período comprendido entre 1962-1963 y 2012-2013.



Fígura 30: Meses de crecida río Ésera (Graus; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

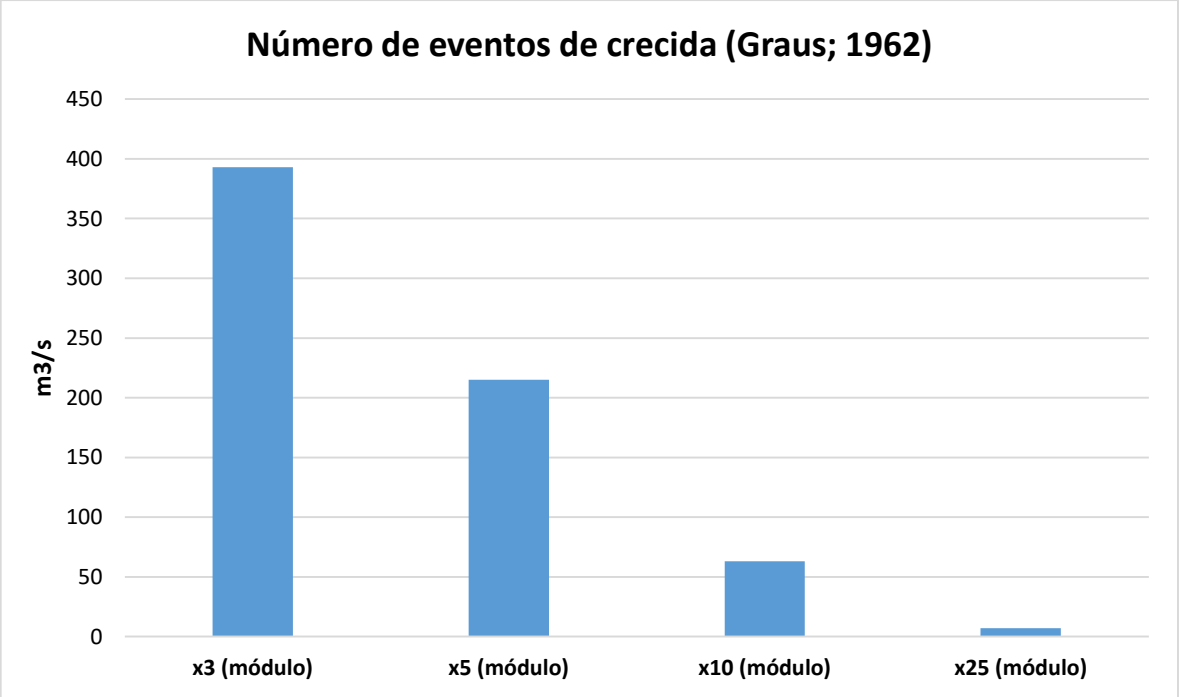


Figura 31: Número de eventos de crecida río Ésera (Graus; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

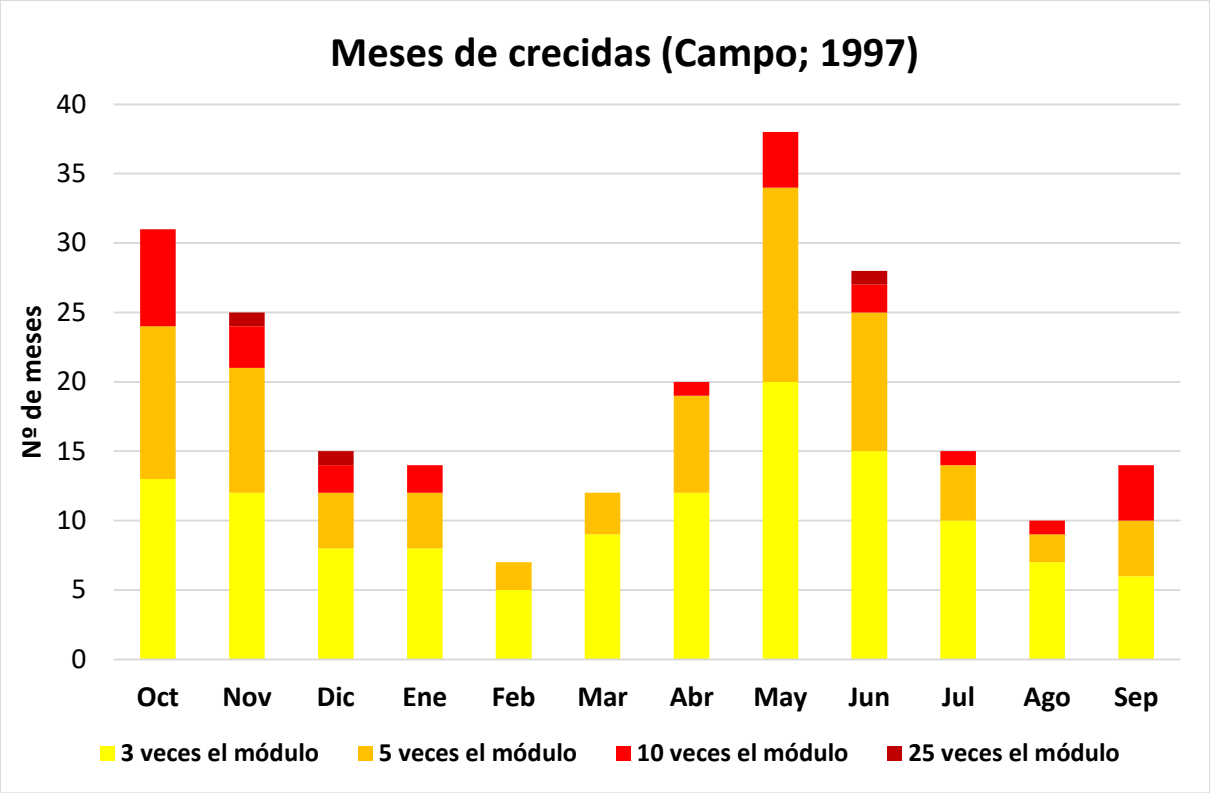


Figura 32: Meses de crecida río Ésera (Campo; 1997)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

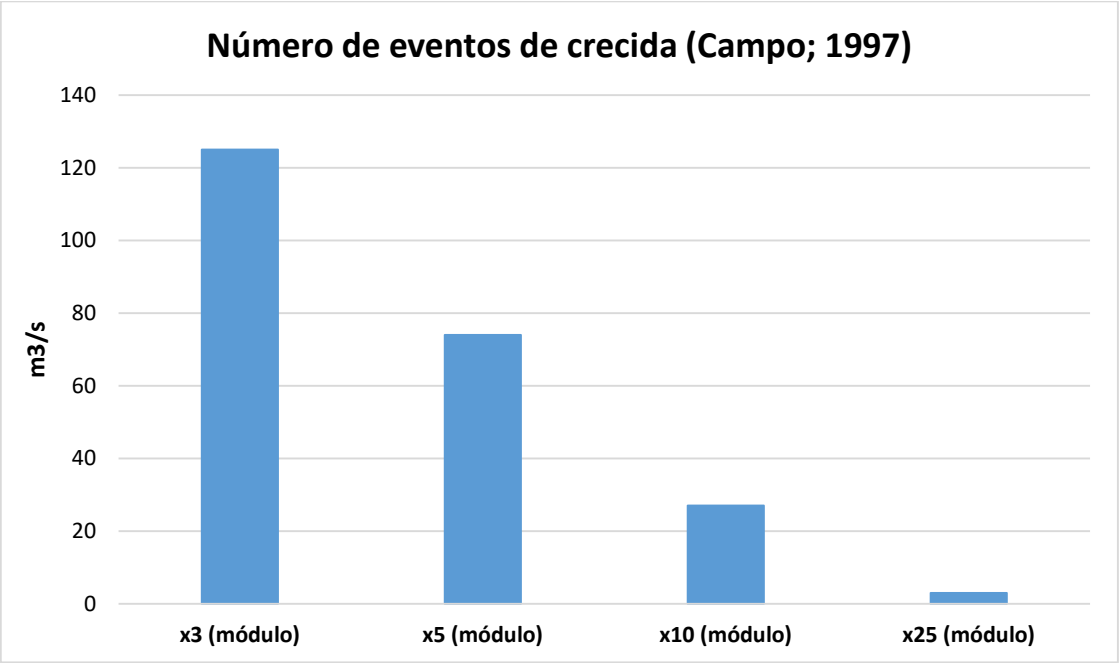


Figura 33: Número de eventos de crecida río Ésera (Campo; 1997)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

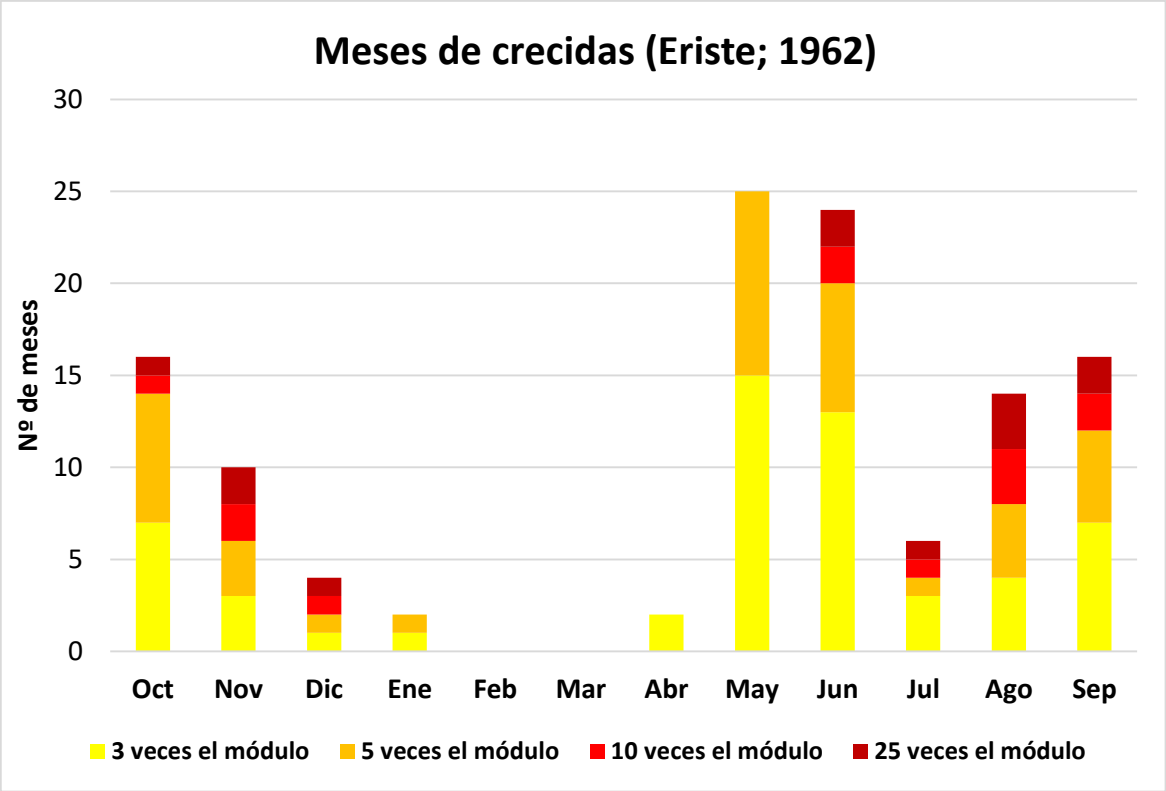


Figura 34: Meses de crecida río Ésera (Eriste; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

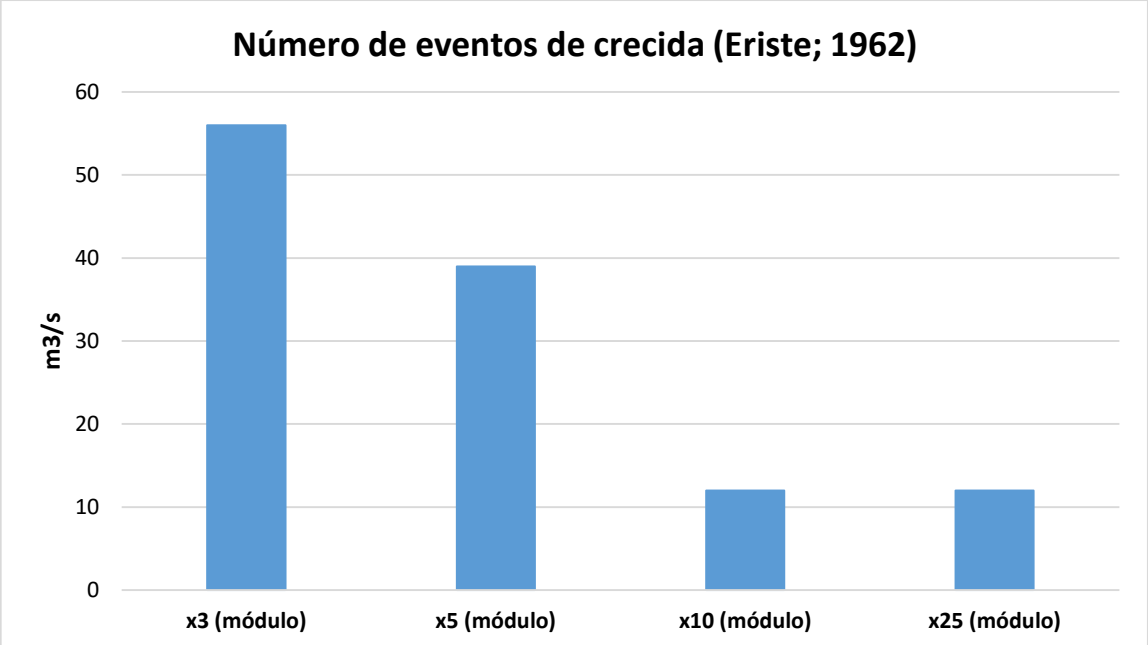


Figura 35: Número de eventos de crecida río Ésera (Eriste; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

Tal y como vemos en las gráficas (30, 31, 32, 33, 34, 35) y tablas (2, 3, y 4) la mayoría de las crecidas las encontramos, estableciendo una media entre las tres estaciones de aforo que disponían de datos, en los meses de Octubre (18 ocasiones en las que se supera 3 veces el módulo, 11 en las que se supera 5 veces el módulo, 4 en las que se supera 10 veces el módulo y menos de una vez (0,6) en la que se supera 25 veces el módulo), Noviembre (18 ocasiones en las que se supera 3 veces el módulo, 12 en las que se supera 5 veces el módulo, 5 en las que se supera 10 veces el módulo y 1,6 en la que se supera 25 veces el módulo), Mayo (28 ocasiones en las que se supera 3 veces el módulo, 17 en las que se supera 5 veces el módulo, 3 en las que se supera 10 veces el módulo y menos de una vez (0,3) en la que se supera 25 veces el módulo) y Junio (29 ocasiones en las que se supera 3 veces el módulo, 15 en las que se supera 5 veces el módulo, 4 en las que se supera 10 veces el módulo y una vez en la que se supera 25 veces el módulo). El periodo comprendido entre estos meses de verano e invierno coincide con el periodo ya mencionado anteriormente durante el cual se producen las fuertes tormentas torrenciales y el deshielo (normalmente por deshielos repentinos, dados por cambios bruscos de temperatura o precipitaciones en forma de lluvia que derriten rápidamente la nieve), de ahí que encontremos un mayor número de crecidas en estos meses.

De esta forma, se pueden establecer las siguientes conclusiones, las crecidas son de mayor caudal en las estaciones de aforo más cercanas a la desembocadura como ya se ha indicado antes, por el aumento de la capacidad de retención de agua, y además los mayores episodios de crecidas se producirán a finales de primavera y en verano, siendo especialmente importantes los meses de Mayo y Junio, que son los meses en los que se producen el mayor número de crecidas en el ámbito de estudio.

En cuanto al número de eventos de crecida, hay que señalar que el mayor número se da en las estaciones de aforo más cercanas a la desembocadura, quizás por la mayor cantidad de caudal, predominando como es lógico las crecidas que triplican el módulo, seguidas de las que lo multiplican por cinco, y dándose en situaciones ocasionales crecidas que multiplican por 10 el módulo, y prácticamente excepcional las que lo multiplican por 25, siendo ya crecidas muy considerables, dadas en las zonas más cercanas a la cabecera o nacimiento del río Ésera, por las mayores precipitaciones en estas zonas, y la menos longitud del cauce, dando lugar a una menos capacidad de disipación de la crecida.

Esto traducido en cifras significa que durante la segunda mitad del siglo XX y la primera década del XXI el río Ésera ha experimentado una gran cantidad de crecidas, por lo que las crecidas en esta zona de estudio son muy abundantes, dándose una media de más de 109 eventos de crecida, superándose en una media de 34 veces un caudal que multiplica por diez veces el módulo, y generándose en ciertos casos crecidas de carácter extraordinario, con una media de 7 veces en las que se multiplica por 25 veces el módulo.

5.3. Crecidas históricas y afecciones

Para representar la serie de crecidas históricas dadas en el río Ésera se han utilizado fundamentalmente los datos proporcionados por las fichas históricas de la base documental del Ebro, indicadas en el Capítulo IV en el tomo II de inundaciones históricas, eliminándose aquellos caudales menos significativos. Estas crecidas se han generado principalmente por precipitaciones de gran entidad, generando grandes afecciones en los municipios más cercanos a la cuenca del río Ésera, en todo tipo de infraestructuras, servicios, patrimonio natural y cultural o población residente, entre otros.

Tabla 4: Crecidas históricas registradas en la cuenca del río Ésera
Fuente: Elaboración propia (Plan Hidrológico del río Ésera de 2007 y Tomo II Ficha de inundaciones históricas)

Fecha	Río	Localidad afectada	Características	Daños	Caudal máximo registrado (m^3/s)
Octubre de 1907	Ésera		Avenida río Ésera e Isábena		
Julio de 1925	Ésera	Benasque y Anciles	Avenida río Ésera y río Remáscaro		
Octubre de 1937	Ésera	Capella	Avenida río Ésera e Isábena	Núcleos de población	
4 de Octubre de 1960	Ésera	Campo, Graus y Capella	Avenida	Núcleos de población	
2 y 3 de Agosto de 1963* 17 de Diciembre de 1962 (los datos varían)	Ésera	Benasque, Campo, Bisaurri, Perarrúa, Serraduy, y Capella	Crecida e inundación	Núcleos de población y grandes socavaciones, arruinando numerosos azudes acequias de riego y demás infraestructuras de riego	Caudales instantáneos máximos de 995 y 370 m^3/s
15 al 21 de Noviembre de 1965	Ésera		Crecida		Caudales instantáneos máximos de 400 y 150 m^3/s
17 de Noviembre de 1967	Ésera		Crecida de los ríos Ésera e Isábena		
23 de Abril de 1971	Ésera	Capella	Caudal máximo en el río Isábena		Caudal máximo instantáneo de 263,8 m^3/s en Capella
Octubre 1976	Ésera				Caudal máximo instantáneo de 450 m^3/s en Seira
Del 6 al 7 de Noviembre de 1982	Ésera	Cerler, Castejón de Sos, Anciles, Eriste, Seira, Campo, Foradada del Toscar y Morillo de Liena	Avenida río Ésera e Isábena	Núcleos de población e inundación del casco urbano de Benasque, Cerler, Castejón de Sos principalmente, dándose daños puntuales en todos municipios más cercanos al río Ésera	Caudal máximo instantáneo de hasta 106 l/m^2 en Cerler y 300 m^3/s en la presa de Paso Nuevo

5.4. Ajuste de Gumbel: probabilidad de crecidas

En 1941 Gumbel elabora la fórmula para establecer los periodos de retorno. El cálculo de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos mediante métodos paramétricos se basa en el ajuste de determinadas distribuciones de probabilidad a las series de datos. Estas distribuciones son funciones matemáticas que relacionan la magnitud de un evento con su probabilidad de ocurrencia, probabilidad que puede expresase también en forma de frecuencia por medio del periodo de retorno, que puede definirse como el promedio del lapso de tiempo que ha de transcurrir entre dos repeticiones del mismo (Beguería, 2002). De esta forma, la distribución o ajuste de Gumbel calcula la probabilidad (P) de que un valor extremo será inferior a un cierto valor (x), siendo el periodo de retorno el tiempo teórico que puede tardar en volver a producirse un suceso de determinado nivel al menos una vez con un 99% de probabilidad. Si el intervalo de recurrencia de un determinado tipo de evento es de 50 años no quiere decir que se producirá un evento así una vez cada cincuenta años, sino que existe un 2% de probabilidad de que un evento similar se produzca en cualquier año (1/50=0,02). El periodo de retorno es un concepto inverso a la probabilidad (Jesús Horacio et al., 2015).

En este estudio, se han elaborado tres gráficas para cada estación de aforo en Barasona, Graus, Campo y Eriste, calculándose los periodos de retorno relativos a 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, y 500 años. Para ello se ha explicado con detalle cada gráfica, las cuales muestran la curva de Gumbel para cada periodo de retorno de un modo, añadiendo además una barra de puntos que muestra una tendencia de caudal lineal.

Este ajuste de Gumbel se ha realizado a partir de los datos de caudal de las dos estaciones de aforo (Río Ésera en Graus y en Campo), los cuales se han descargado desde el Anuario de Aforos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, mediante este ajuste se han estudiado los periodos de retorno del río Ésera.

Hay que añadir que estamos tratando la probabilidad. Por lo que en cualquier caso, aunque para un determinado periodo de retorno, el cálculo nos de cómo resultado un determinado caudal, como por ejemplo es 1322,6 m^3/s para 500 años en Graus, esto no quiere decir que obligatoriamente cada 500 años tenga que haber una crecida con 1322,6 m^3/s. Lo que quiere decir es que la probabilidad dice que esto va a pasar durante esos 500 años. Esto no es lo normal pero es posible, y en ese caso la probabilidad se modificaría para otros eventos posteriores.

Tabla 5: Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Graus (1949-2013)

t (años)	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**75**	**100**	**500**
y	0,3665	1,4999	2,2504	3,1986	3,9019	4,3108	4,6002	6,2136
k	-0,1584	0,8027	1,4391	2,2431	2,8395	3,1862	3,4316	4,7997
Xt (Cantidad de caudal)	**107,3**	**342,9**	**498,9**	**695,9**	**842,1**	**927,1**	**987,2**	**1322,6**

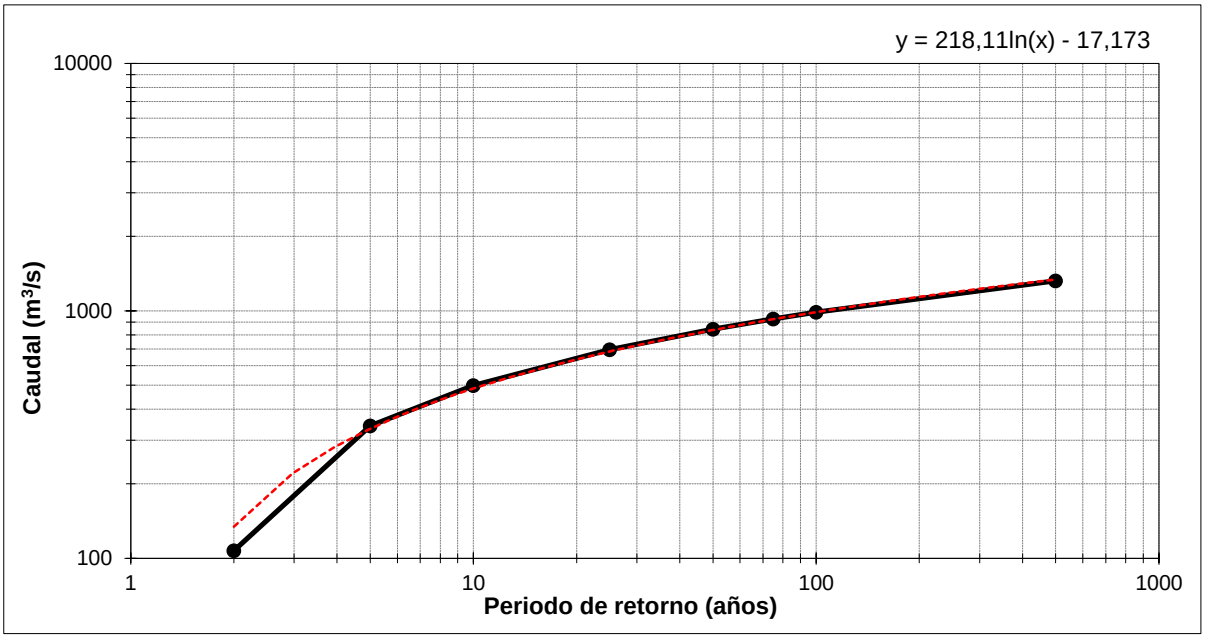


Figura 36: Gráfica ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Graus (1949-2013)

Este ajuste de Gumbel se ha calculado para los datos registrados en la estación de aforo de Graus (Huesca) entre los años 1949 y 2013. Debido a fallos de registro, en ocasiones producido por caudales fuertes, los datos de algunos años están en blanco, es decir no están disponibles, por lo que no han sido tenidos en cuenta. Esos años son los siguientes: 1978, 1988 y 2009.

Los resultados han sido, en primer lugar, que el mayor caudal registrado fue 995 m^3/s el día 1 de agosto del 1963 el cual tiene un periodo de retorno de 1969,44 años, es decir hay un 0,05 % de probabilidad de que un evento similar se produzca en cualquier año.

En cuanto a los demás periodos de retorno, a continuación se muestra cual sería a probabilidad de caudal máximo esperado con el paso de cada periodo de tiempo:

2 años = 107,3 m^3/s 5 años = 342,9 m^3/s 10 años = 498,9 m^3/s

25 años = 695,9 m^3/s 50 años = 842,1 m^3/s 75 años = 927,1 m^3/s

100 años = 987,2 m^3/s 500 años = 1322,6 $m^3/$

Tabla 6: Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Campo (1992-2013)

t (años)	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**75**	**100**	**500**
y	0,3665	1,4999	2,2504	3,1986	3,9019	4,3108	4,6002	6,2136
k	-0,1484	0,9113	1,6129	2,4994	3,1570	3,5393	3,8098	5,3182
Xt	**223,7**	**380,7**	**484,7**	**616,0**	**713,4**	**770,1**	**810,2**	**1033,7**

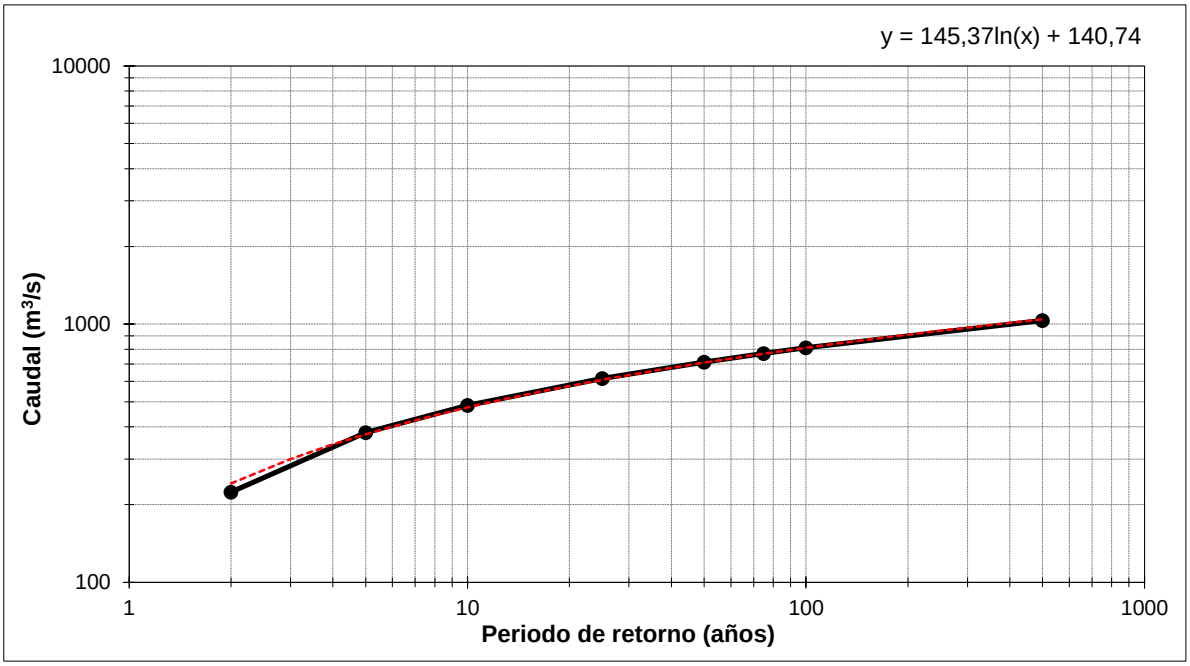


Figura 37: Grafica ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Campo (1992-2013)

Este ajuste de Gumbel se ha calculado para los datos registrados en la estación de aforo de Campo (Huesca) entre los años 1992 y 2013. Se trata de un periodo de años inferior a de la estación de aforo de Graus, debido a que esta estación de aforo tiene menor antigüedad. En este caso no aparecen datos en blanco por la falta de registro. Los resultados han sido, en primer lugar, que el mayor caudal registrado fue 772,52 m^3/s el día 6 de noviembre de 1997 el cual tiene un periodo de retorno de 77,17 años, es decir hay un 1,3 % de probabilidad de que un evento similar se produzca en cualquier año. Este valor sería con toda seguridad más alto si se tuviera un periodo mayor de registro, vistos los datos de la estación de aforo de Graus.

En definitiva, en cuanto a los periodos de retorno, a continuación se muestra cual sería a probabilidad de caudal máximo esperado con el paso de cada periodo de tiempo:

2 años = 223,7 m^3/s 5 años = 380,7 m^3/s 10 años = 484,7 m^3/s

25 años = 616 m^3/s 50 años = 713,4 m^3/s 75 años = 770,1 m^3/s

100 años = 810,2 m^3/s 500 años = 1033,7 m^3/s

Tabla 7: Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Eriste (1992-2013)

t (años)	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**75**	**100**	**500**
y	0,3665	1,4999	2,2504	3,1986	3,9019	4,3108	4,6002	6,2136
k	-0,1473	0,9192	1,6253	2,5175	3,1792	3,5640	3,8363	5,3543
Xt	**72,8**	**140,1**	**184,6**	**240,9**	**282,6**	**306,9**	**324,1**	**419,8**

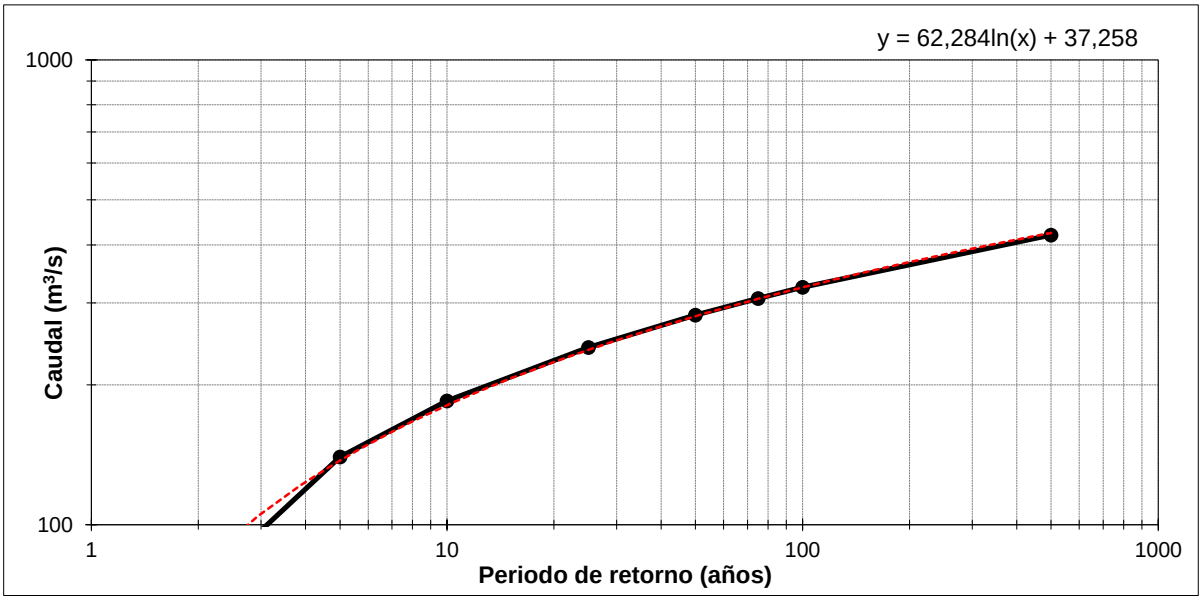


Figura 38: Gráfica ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Eriste (1992-2013)

Este ajuste de Gumbel se ha calculado para los datos registrados en la estación de aforo de Eriste (Huesca) entre los años 1992 y 2013. Se trata de un periodo de años inferior al de la estación de aforo de Graus e igual que el de la estación de aforo de Campo, ya que como se ha dicho en otros apartados de este trabajo, esta estación de aforo tiene menor antigüedad. En este caso, se han tomado los datos a partir de 1992, debido a la falta de datos disponibles desde 1951, a excepción del periodo 1962-1963, registrando un caudal de 600 m^3/s, pero el cual se ha obviado por la falta de continuidad en los datos registrados por la estación de aforo. En cuanto a los resultados obtenidos, en primer lugar, hay que indicar que el mayor caudal registrado fue 310,4 m^3/s el día 18 de Junio de 2013 el cual tiene un periodo de retorno de 80,27 años, es decir hay un 1,24 % de probabilidad de que un evento similar se produzca en cualquier año. Este valor sería con toda seguridad más alto si se tuviera un periodo mayor de registro, vistos los datos de la estación de aforo de Graus, y dada la crecida de 1962.

En definitiva, en cuanto a los periodos de retorno, a continuación se muestra cual sería a probabilidad de caudal máximo esperado con el paso de cada periodo de tiempo:

2 años = 72,8 m^3/s	5 años = 140,1 m^3/s	10 años = 184,6 m^3/s
25 años = 240,9 m^3/s	50 años = 282,6 m^3/s	75 años = 306,9 m^3/s
100 años = 324,1 m^3/s	500 años = 419,8 m^3/s	

Respecto a estos ajustes de Gumbel de las tres estaciones de aforo de Eriste, Campo y Graus, se puede establecer que, hay que tener en cuenta que los datos obtenidos pueden no corresponderse a la realidad totalmente, ya que a lo largo del río Ésera, se pueden apreciar una gran cantidad de presas y embalses, como el de Linsoles en el año 1964 y el de Paso Nuevo en el año 1969, localizados en Benasque el primero y Eriste el segundo, que han podido influir en la modificación del caudal medido por esta estación de aforo, mediante la acción de laminación de las avenidas. Teniendo en cuenta esto, hay que indicar que el periodo de retorno aumenta conforme nos acercamos a la desembocadura del río Ésera, dándose los mayores caudales de crecida, por la mayor capacidad de retención de agua al aumentar la longitud del río, es quizás por este mayor caudal, por lo que el periodo de retorno es mayor, ya que es más difícil que se dé una crecida de estas dimensiones de caudal.

6. Evaluación ambiental y Aplicación Índice Hidrogeomorfológico

Dividido en nueve masas de agua según la división establecida por la Confederación Hidrográfica del Ebro, se ha llevado a cabo una evaluación del río Ésera, en la cual se han excluido sus barrancos y afluentes, analizando las siguientes masas:

- **Nacimiento - Embalse de Paso Nuevo** (Tabla 9: Anexos)
- **Embalse de Paso Nuevo - Río Estós** (Tabla 10: Anexos)
- **Río Estós – Barranco de Barbaruéns** (Tabla 11: Anexos)
- **Barranco de Barbaruéns - Puente carretera N-260 a Aínsa** (Tabla 12: Anexos)
- **Puente carretera N-260 a Aínsa – Estación de Aforo nº13 en Graus** (Tabla 13: Anexos)
- **Estación de Aforo nº13 en Graus - Embalse de Barasona** (Tabla 14: Anexos)
- **Embalse de Barasona – Desembocadura** (Tabla 15: Anexos)

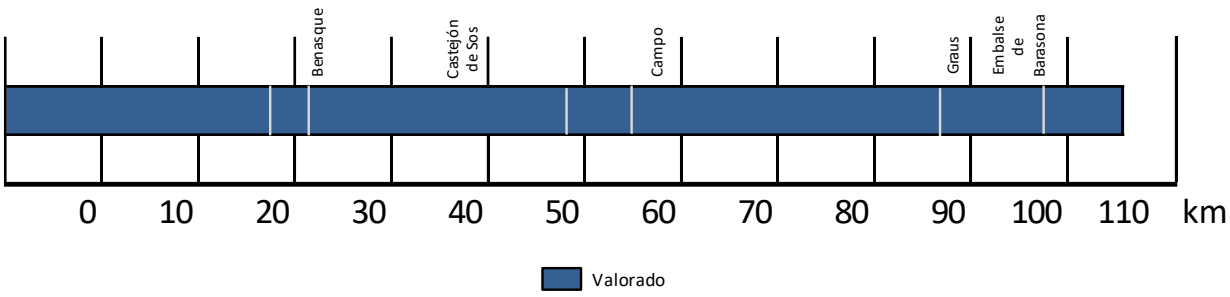


Figura 39: Esquema de masas valoradas del río Ésera
Fuente: Elaboración propia (Confederación Hidrográfica del Ebro)

Para llevar a cabo esta evaluación ambiental se ha utilizado el Índice Hidrogeomorfológico, una herramienta de valoración de los indicadores hidromorfológicos para determinar el estado ecológico de los sistemas fluviales, gestado a lo largo de varios años de trabajo por un equipo de geógrafos (iniciado en la Universidad del País Vasco hacia 1996 y consolidado en la Universidad de Zaragoza desde 2002) que ha desarrollado una línea de investigación científica sobre sistemas fluviales, a través de diferentes proyectos aplicados y publicaciones científicas (Ollero et al., 2009, pp.4-5).

Dicho esto, hay que indicar que la cuenca del río Ésera no presenta excesivos impactos en lo referente a usos del suelo (calidad del cauce escasamente modificada por fertilizantes u ocupación de cultivos en las orillas y desvíos del caudal del río Ésera), siendo las zonas de fondo de valle las que se utilizan como zonas de cultivos, generalmente sin regadíos. Además, el desarrollo industrial presenta también un escaso impacto, ya que la actividad económica fundamental en esta zona, es el sector terciario, y especialmente el turismo de nieve o ecológico, y el ocio, de ahí que se aprecien desarrollos urbanísticos importantes especialmente en el municipio de Benasque y su entorno (turismo de nieve) y en la cabecera comarcal de Graus, ligado a un turismo más ecológico, de deportes de agua o senderismo, entre otros (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2010, pp.4-6).

Por otro lado, hay que destacar que a lo largo del río Ésera y su cuenca, aparecen una serie de centrales hidroeléctricas que utilizan cursos de agua para generar electricidad, además de algunos embalses como el de Linsoles, Paso Nuevo y Barasona, los cuales tienen una gran influencia sobre los regímenes, ya que derivan y retienen caudales, repercutiendo sobre la dinámica del transporte de sedimentos, y suponen una importante alteración para la llanura de inundación, generando importantes detracciones de caudal conforme nos acercamos a la desembocadura.

Del mismo modo, hay que indicar el gran número de zonas del río Ésera, en las que se dan frecuentes defensas de margen, suponiendo una alteración en la dinámica lateral y longitudinal del cauce, además de ciertos azudes, puentes y escolleras, que provocan una pérdida de la naturalidad o estado ecológico de las masas de agua más afectadas (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2010, pp.4-6).

De este modo, se han elaborado una serie de mapas en los que se muestra el comportamientos de la calidad funcional del sistema, calidad del cauce, calidad de las riberas y el estado ecológico de cada una de las masas de agua analizadas, mediante trabajo de gabinete mediante las ortofotos más recientes, en este caso las de 2015 de la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE), y trabajo de campo en la zona de estudio del río Ésera (Cartografía 12: Mapa calidad funcional del sistema Anexos).

De esta forma, hay que indicar que en primer lugar respecto a la calidad funcional del sistema encontramos la peor calidad respecto a la masa de agua que va desde el embalse de Paso Nuevo hasta el río Estós con una calidad funcional del sistema mala**,** seguido del tramo desde el río Estós hasta el puente carretera N-260 a Aínsa, con una calidad funcional del sistema deficiente, modificando notablemente su funcionamiento natural. Esto se debe a que estos tramos son los que mayores afecciones o alteraciones tienen respecto al régimen de caudal, debido a la presencia de ciertos embalses, como el de Paso Nuevo con una capacidad de 3 hm^3 de capacidad (Ilustración 18: Anexos) y el de Linsoles con una capacidad de 2,17 hm^3 (Ilustración 19: Anexos), los cuales almacenan el caudal del río Ésera, generando una disminución importante en el volumen de agua circulante, y altera el transporte de sedimentos, generándose el armouring (fenómeno de pérdida de material sólido fino y compactación de los grandes materiales), además estos embalses disponen de ciertos pantanos como el de Paso Nuevo los cuales suponen un gran obstáculo para el transporte de los sedimentos del curso fluvial, y derivan aguas pasa el uso de las centrales hidroeléctricas de estos tramos (Central hidroeléctrica de Eriste (Ilustración 20: Anexos), Central hidroeléctrica en Seira (Ilustración 21: Anexos), Central hidroeléctrica de Sesué (Ilustración 22: Anexos) y central hidroeléctrica de Argoné-Campo (Ilustración 23: Anexos)) dando lugar a alteraciones en los caudales circulantes del cauce. Por otro lado, hay que destacar que se da un escaso desarrollo de la llanura de inundación, lo cual limita el dinamismo y generación de sedimentos del río, dificultando además su actuación frente a procesos de avenidas o crecidas, debido al encajonamiento del cauce y su morfología de valle, y las numerosas construcciones que modifican el caudal del sistema, tales como escolleras de rocas, defensas laterales (especialmente en Benasque (Ilustración 24: Anexos) y Castejón de Sos (Ilustración 25: Anexos)) dragados, vertederos, escombreras y canalizaciones, especialmente en las zonas más turísticas como Benasque (Ilustración 26: Anexos), que además se encuentran muy urbanizadas generando una gran impermeabilización en la llanura de inundación (usos residenciales, industriales, vías de comunicación y campings en zonas inundables (Ilustración 27: Anexos), entre otros usos).

Además de esta masas de agua, hay que destacar el tramo desde la Estación de Aforo nº13 en Graus hasta la desembocadura en el que se da una calidad funcional del sistema también deficiente pero en menor medida que la anterior, por las afecciones de actuaciones antrópicas ya mencionadas anteriormente pero en menor medida y no de un modo directo, debido a procesos de urbanización (puentes, campings (Ilustración 28: Anexos), zonas residenciales, industriales, recreativas y vías de comunicación), la central hidroeléctrica a las afueras del municipio de Graus y la canalización (Ilustración 2: Anexos) en el centro del mismo del núcleo de población con algún muro de contención y ciertos escombros (Ilustración 29: Anexos), el embalse de Barasona (92 hm^3 de capacidad) con su presa y el pantano, y el canal de Aragón y Cataluña.

Dicho esto, quedan como masas de agua con una mayor calidad funcional del sistema el tramo del nacimiento al embalse de Paso Nuevo con una calidad funcional del sistema muy buena, seguido del tramo del puente de la carretera N-260 a Aínsa a la Estación de Aforo nº13 en Graus con una calidad funcional del sistema moderada. Esto se debe, a que es en estas zonas en las que se dan menos impactos antrópicos, y por lo tanto presentan mayor naturalidad tanto en el caudal como en la llanura de inundación, solamente algún escombro en el tramo del Nacimiento al embalse de Paso Nuevo y ciertos campings, escombros o vías de comunicación, dándose una pérdida de la calidad en el tramo del puente de la carretera N-260 a Aínsa a la Estación de Aforo nº13 en Graus, por las diferentes afecciones de las centrales hidroeléctricas (Central hidroeléctrica de Eriste, Central hidroeléctrica de Sesué y Central hidroeléctrica de Argoné-Campo con su presa) y embalses (Paso Nuevo y Linsoles) aguas arriba y el encajamiento natural del cauce, además de alguna defensa lateral y escollera (Perarrúa).

En segundo lugar, respecto a la calidad del cauce (Cartografía 13: Mapa calidad del cauce Anexos) hay que destacar que la peor calidad queda representada respecto a la masa de agua que va desde la Estación de Aforo nº13 en Graus al embalse de Barasona con una calidad del cauce mala, y el tramo del embalse de Paso Nuevo hasta el barranco de Barbaruéns con una calidad del cauce moderada, modificando notablemente su funcionamiento natural del trazado, lecho, procesos longitudinales y márgenes. Esto se debe a que estos tramos son los que mayores afecciones o alteraciones tienen respecto al régimen de caudal del cauce, debido a la presencia de defensas de margen y ciertas canalizaciones que alteran el trazado (especialmente en Graus también con alguna mota y Castejón de Sos), fijando el cauce y suponiendo un retranqueo de márgenes, además de la existencia de presas, vados, pequeños dragados y puentes que modifican los procesos longitudinales (Ilustración 30: Anexos) y el lecho fundamentalmente por el embalse de Barasona en Graus, destacan también puntuales escolleras laterales, muros de contención y escombros que modifican las márgenes del cauce, dificultando la movilidad lateral y sinuosidad, y reduciendo los procesos de erosión (aguas abajo de Benasque los escombros (Ilustración 31: Anexos) y en Castejón de Sos las escolleras laterales (Ilustración 25: Anexos) principalmente).

Dicho esto, quedan como masas de agua con una mayor calidad del cauce el tramo del nacimiento al embalse de Paso Nuevo con una calidad funcional del sistema muy buena, seguido de la masa de agua desde el barranco de Barbaruéns hasta el puente de la carretera N-260 a Aínsa con una calidad del cauce buena, y el tramo del puente de la carretera N-260 a Aínsa a la Desembocadura con una calidad del cauce buena también, con la excepción de la masa de agua de la Estación de Aforo nº13 en Graus al Embalse de Barasona ya comentada. Esto se debe, a que es en estas zonas en las que se dan menos impactos antrópicos, y por lo tanto presentan mayor naturalidad y conservación, solamente algún puente o vado en el tramo del Nacimiento al embalse de Paso Nuevo (Ilustración 32 y 33: Anexos) y ciertos caminos escombros (Ilustración 31: Anexos), caída de bloques o vías de comunicación que alteran el cauce. En el segundo tramo con una valoración buena, la pérdida de calidad se debe a las diferentes afecciones retranqueos y fijaciones de margen puntuales dadas en puentes (Ilustración 34 y 35: Anexos) o municipios urbanos que modifican los procesos longitudinales, además de puntuales azudes (Ilustración 36: Anexos) que alteran el perfil longitudinal del cauce e impacto generados por márgenes laterales (Ilustración 37: Anexos), escombros o acumulación de material (Ilustración 38: Anexos) y la modificación en los sedimentos por el embalse de Barasona en Graus.

En tercer lugar, respecto a la calidad de las riberas (Cartografía 14: Mapa calidad de las riberas Anexos) hay que destacar que la peor calidad queda representada respecto a la masa de agua que va desde la Estación de Aforo nº13 en Graus al Embalse de Barasona con una calidad del cauce mala, modificando notablemente su funcionamiento natural los procesos longitudinales, anchura, estructura y conectividad transversal. Esto se debe a que esta masa de agua es el que mayores afecciones o alteraciones tienen respecto a las riberas del río Ésera, debido a la presencia de zonas urbanas y agrícolas que hacen que el corredor de ribera este más compactado y se generen discontinuidades longitudinales, la existencia del embalse de Barasona el cual supone una pérdida de espacio y naturalidad para las riberas, además de la existencia de especies no autóctonas (Ilustración 39: Anexos) como consecuencia de las huertas, espacios agrícolas y el municipio urbano, generando una vegetación de ribera claramente antropizada, en la que destaca como vegetación natural los sotos, teniendo en cuenta también la existencia de pistas forestales, paseos o caminos cercanos al río (Ilustración 40: Anexos) que impiden su desarrollo y conectividad transversal con el ambiente fluvial.

Dicho esto, quedan como masas de agua con una mayor calidad del cauce en las masas de agua del nacimiento al embalse de Paso Nuevo y del embalse de Barasona a la desembocadura con una calidad funcional del sistema muy buena, seguido de las masas del embalse de Paso Nuevo al río Estós, del río Estós hasta el barranco de Barbaruéns, del Barranco de Barbaruéns al puente de la carretera N-260 a Aínsa y del puente de la carretera N-260 a Aínsa a la Estación de Aforo nº13 en Graus, con una calidad de las riberas buena. Esto se debe, a que es en estas zonas en las que se dan menos impactos antrópicos (a pesar de que la masa de agua del nacimiento al embalse de Paso Nuevo no tiene las condiciones climáticas y de espacio por su encajonamiento apropiadas para su desarrollo, sin embargo son causas naturales de ahí que no tengan una valoración negativa), y por lo tanto presentan mayor naturalidad, continuidad y anchura, solamente queda alterado por alguna construcción de márgenes laterales, el encajonamiento ya mencionado (Ilustración 41: Anexos) y el pastoreo en zonas puntuales. Esta calidad se reduce en las masas de agua del Barranco de Barbaruéns al puente de la carretera N-260 a Aínsa y del embalse de Paso Nuevo al río Estós, debido a las escolleras laterales (Ilustración 25: Anexos) e instalaciones turísticas y lúdicas como los campings (Ilustración 32: Anexos) cercanos a las orillas del cauce, interrumpiendo su continuidad en cierto modo.

Destacar que el tramo del río Estós hasta el barranco de Barbaruéns presenta unas condiciones favorables para que se de esta vegetación ribera, sin embargo el encajonamiento que genera el Congosto de Ventamillo (Ilustración 42: Anexos), además de sus vías de comunicación, condiciona la continuidad longitudinal (esto no se da aguas arriba del núcleo de población de Benasque o en Castejón de Sos, donde las acciones antrópicas se localizan alejadas del cauce, dejando espacio a la vegetación de ribera (Ilustración 43: Anexos)). Y mencionar que en la masa de agua desde el puente de la carretera N-260 a Aínsa hasta la Estación de Aforo nº13 en Graus se localizan afecciones de actuaciones antrópicas ya mencionadas anteriormente pero en menor medida y no de un modo directo, el encajamiento del cauce, procesos de urbanización (puentes, campings, zonas residenciales, industriales, recreativas y vías de comunicación) y ciertos cultivos (especialmente en Santaliesta y San Quílez).

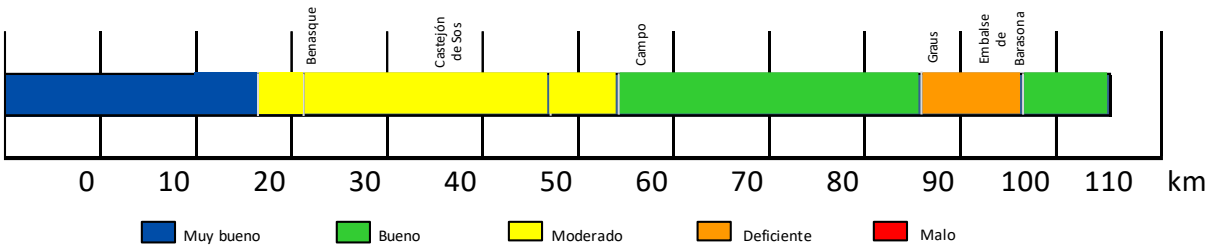


Figura 40: Esquema de valoración hidrogeomorfológica o estado ecológico de las masas de agua del río Ésera
Fuente: Elaboración propia (Confederación Hidrográfica del Ebro)

De este modo, una vez valorados los tres subapartados (calidad funcional del sistema, calidad del cauce y calidad de las riberas) del Índice Hidrogeomorfológico (IHG), se establecen unos resultados comunes que indican el estado ecológico del río Ésera (Cartografía 15: Mapa de estado ecológico). Dicho esto, se puede indicar que en general el estado del río Ésera es bueno, pero que sin embargo hay ciertas masas de agua que deberían mejorar su calidad hidrogeomorfológica como es el caso de las masas de agua del embalse de Paso Nuevo al Barranco de Barbaruéns con un estado ecológico moderado seguido de la masa de agua del Barranco de Barbaruéns al puente carretera N-260 a Aínsa con un estado ecológico moderado, y quedando como la masa de agua que peor calidad presenta, con un estado ecológico deficiente, queda representada la masa de agua de la Estación de Aforo nº13 en Graus al embalse de Barasona.

De esta forma hay que destacar que es en esta última masa de agua de la Estación de Aforo nº13 en Graus al embalse de Barasona con una puntuación de 30 sobre un máximo de 90, representado una longitud de en torno a 7 km, la que mayores afecciones presenta de estas tres masas de agua, respecto a la calidad del cauce y de las riberas, principalmente por las mayores afecciones o alteraciones respecto al régimen de caudal del cauce, debido a la presencia de retranqueos de márgenes que modifican la naturalidad del trazado y morfología en planta del cauce, la existencia de vados, puentes u obstáculos que alteran la continuidad longitudinal del cauce y el lecho fundamentalmente por el embalse de Barasona en Graus, además de escolleras laterales, muros de contención y escombros que modifican las márgenes del cauce, además de puntuales canalizaciones que alteran la naturalidad de las márgenes y la movilidad lateral (especialmente en Graus también con alguna mota y Castejón de Sos), por otro lado en cuanto a la calidad de las riberas se observan importantes discontinuidades en la continuidad longitudinal de las riberas debido a usos de suelo tales como urbanizaciones, naves, puentes, carreteras o acequias y caminos entre otros, generando una ocupación antrópica que supone una reducción de la anchura y estructura del corredor ribereño, además aparecen algunas especies invasoras (mejillón cebra en el embalse de Barasona) como consecuencia de las huertas, espacios agrícolas y el municipio urbano, generando una vegetación de ribera claramente antropizada, en la que destaca como vegetación natural los sotos, teniendo en cuenta también la existencia de pistas forestales, paseos o caminos cercanos al río que impiden su desarrollo y conectividad transversal con el ambiente fluvial. Por otro lado, señalar que esta masa de agua es la que menores afecciones presenta en la calidad funcional del sistema, destacando puntuales variaciones del caudal circulante y la disponibilidad de sedimentos por el embalse de Barasona y su presa, además de ciertos vertidos fundamentalmente, destacando también las modificaciones en la funcionalidad de la llanura de inundación por defensas adosadas directamente al cauce menor, vías de comunicación, edificios, acequias, dragados y usos de suelo.

En cuanto a las masas de agua del embalse de Paso Nuevo al Barranco de Barbaruéns y del Barranco de Barbaruéns al puente carretera N-260 a Aínsa, presentan una puntuación la primera de 45 sobre un máximo de 90 la masa comprendida entre el embalse de Paso Nuevo y el río Estós, y de 46 sobre 90 del río Estós al Barranco de Barbaruéns, respecto a la segunda presenta una puntuación de 52 sobre 90, representado una longitud entre ambas de casi 38 km. Esto se debe a que en la primera masa de agua presenta mayores afecciones tanto en la calidad funcional del sistema como en la calidad del cauce, pero las alteraciones son similares, respecto a la naturalidad del régimen de caudal, debido a la presencia de ciertos embalses, como el de Paso Nuevo y Linsoles, que modifica la cantidad de caudal circulante y distribución temporal del río Ésera, y altera con sus presas el transporte de sedimentos, generándose el armouring, además se observan puntuales dragados y alteraciones antrópicas, y un escaso desarrollo de la llanura de inundación, lo cual limita el dinamismo y generación de sedimentos del río, dificultando además su actuación frente a procesos de avenidas o crecidas, debido al encajonamiento del cauce y su morfología de valle, y las numerosas construcciones que modifican el caudal del sistema, tales como escolleras de rocas, defensas laterales (especialmente en Benasque y Castejón de Sos) dragados, vertederos, escombreras y canalizaciones, especialmente en las zonas más turísticas como Benasque, que además se encuentran muy urbanizadas generando una gran impermeabilización en la llanura de inundación (usos residenciales, industriales, vías de comunicación y campings en zonas inundables, entre otros usos).

Respecto a la calidad del cauce, es mininamente mejor en el segundo tramo que en el primero, por las mayores modificaciones en su funcionamiento natural del trazado, lecho, procesos longitudinales y márgenes, pero con afecciones similares dándose de un modo más directo en el primer tramo del embalse de Paso Nuevo al Barranco de Barbaruéns, respecto a la naturalidad del trazado se aprecia que han podido darse cambios antiguos en el sistema fluvial, el cual ha podido ser renaturalizado en el primer tramo, generándose algún retranqueo o rectificación en la segunda masa de agua, además la continuidad y naturalidad del lecho y procesos longitudinales han sido afectados por puentes, vados u otros obstáculos menores en el primer tramo, y por ciertas presas (Campo o Sesué, entre otros) en el segundo tramo, indicando una pérdida de la naturalidad de las márgenes del cauce por la presencia de defensas de margen y canalizaciones que alteran el trazado (especialmente en Castejón de Sos) en ambos tramos de las masas de agua.

Por último, mencionar que la calidad de las riberas de todas las masas de agua es buena, pero presenta algunas afecciones debido a las escolleras laterales e instalaciones turísticas y lúdicas como los campings (Camping Aneto y Camping Ixeia) cercanos a las orillas del cauce, interrumpiendo su continuidad longitudinal en cierto modo, y el encajonamiento que genera el Congosto de Ventamillo, además de sus vías de comunicación (esto no se da aguas arriba del núcleo de población de Benasque o en Castejón de Sos, donde las acciones antrópicas se localizan alejadas del cauce, dejando espacio a la vegetación de ribera), impidiendo el desarrollo de la anchura del corredor ribereño, además de puntuales especies invasoras y carreteras, acequias, pistas o caminos que modifican la estructura, naturalidad y conectividad transversal entre el las riberas y el sistema fluvial.

Respecto a las masas mejor valoradas, se establece que la masa de agua que obtiene una mejor valoración es la localizada entre nacimiento al embalse de Paso Nuevo, representado una longitud de unos 17,5 km, con un estado ecológico muy bueno (puntuación de 79 sobre un máximo de 90), ya que presenta una calidad funcional del sistema prácticamente total, solamente algún obstáculo puntual (vías de comunicación y ciertos escombros), una calidad del cauce también elevada, en la que se puede destacar algún impacto en la continuidad longitudinal del cauce por algún puente o vado en la zona, además de en la naturalidad de las márgenes del cauce por ciertas vías de comunicación, acequias, edificios o escombros adosadas a las márgenes.

En cuanto a la calidad de las riberas, indicar que esta es elevada como en el anterior caso, por los escasos impactos antrópicos, a pesar de que la masa de agua del nacimiento al embalse de Paso Nuevo no tiene las condiciones climáticas y de espacio por su encajonamiento apropiadas para su desarrollo, sin embargo son causas naturales de ahí que no tengan una valoración negativa, como ya se ha indicado anteriormente.

Por otro lado, como segundas masas de agua con un mayor estado ecológico, quedan definidas las masas del puente de la carretera N-260 a Aínsa hasta la Estación de Aforo nº13 en Graus y del embalse de Barasona a la desembocadura, representado una longitud de casi 45 km, con un estado ecológico bueno (puntuación de 61 ambas masas de agua sobre un máximo de 90), ya que presentan una calidad funcional del sistema media, la cual indica que es el apartado que peor calidad tiene de los tres, por las diferentes afecciones en la cantidad de caudal circulante, debido a las centrales hidroeléctricas (Central hidroeléctrica de Eriste, Central hidroeléctrica de Sesué y Central hidroeléctrica de Argoné-Campo con su presa que genera una retención de sedimentos) y embalses (Paso Nuevo y Linsoles) aguas arriba y el encajamiento natural del cauce, además de alguna defensa lateral y escollera (Perarrúa) que modifican la funcionalidad de la llanura de inundación. Estas afecciones en la calidad funcional del sistema aumentan en la masa de agua desde el embalse de Barasona a la desembocadura, por las afecciones del embalse de Barasona (92 hm3 de capacidad) con su presa que genera una gran retención de sedimentos dificultando su movilidad, y el canal de Aragón y Cataluña.

Siguiendo con la calidad del cauce hay que mencionar que es elevada en ambas masas de agua, esto se debe, a que es en estas zonas en las que se dan menos impactos antrópicos, y por lo tanto presentan mayor naturalidad y conservación, solamente aparecen algunas afecciones como retranqueos y fijaciones de margen puntuales dadas en puentes (Perarrúa) o municipios urbanos, además de ciertos azudes (Las Ventas de Santa Lucía) que alteran el perfil longitudinal del cauce e impacto puntuales de márgenes laterales (Perarrúa), escombros o acumulación de material (Santaliestra), ciertas canalizaciones o infraestructuras adosadas a las márgenes y algunos puentes u obstáculos, además hay que destacar la modificación en los sedimentos por el embalse de Barasona en Graus. Por último, respecto a la calidad de las riberas, indicar que esta es prácticamente total, por los escasos impactos antrópicos que dan lugar a una mayor naturalidad, continuidad y anchura, solamente alterada por el encajonamiento del valle impidiendo su desarrollo y construcciones puntuales tales como puentes o carreteras o caminos, sin embargo es la masa de agua desde el puente de la carretera N-260 a Aínsa hasta la Estación de Aforo nº13 en Graus en la que se da una mayor afección de la calidad de las riberas debido a actuaciones antrópicas ya mencionadas anteriormente pero en menor medida y no de un modo directo, por el encajamiento del cauce, procesos de urbanización (puentes, campings, zonas residenciales, industriales, recreativas y vías de comunicación) y ciertos cultivos (especialmente en Santaliesta y San Quílez).

De este modo, el río Ésera tiene un estado bueno o muy bueno en casi el 60% de su longitud, una cifra más que considerable, que indica la importancia ecológica e hidrológica del río Ésera para la población de estas zonas, la cual cuenta con una gran cantidad de actuaciones, estudios y procesos de gestión con el objetivo conseguir la mejor calidad ecológica posible. Por otro lado, un 34% de su longitud presenta un estado moderado, y tan solo un 7% tiene un estado deficiente, normalmente ocasionadas por actuaciones antrópicas indebidas o que no favorecen el estado ecológico del río.

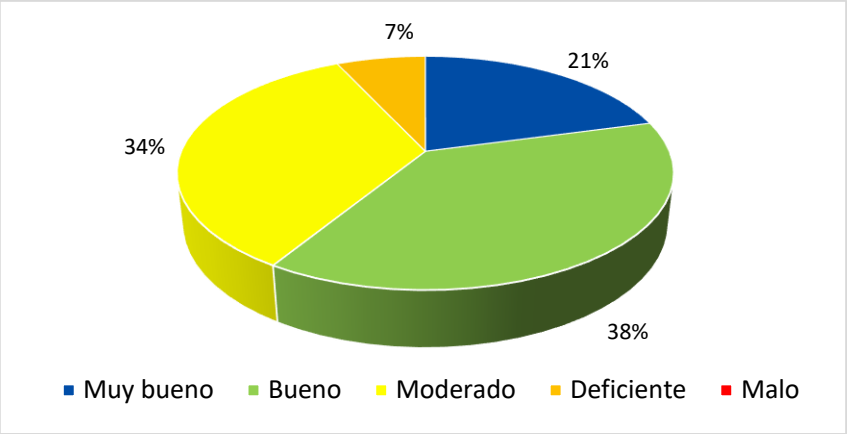


Figura 41: Gráfica de valoración del río Ésera
Fuente: Elaboración propia (Confederación Hidrográfica del Ebro)

7. Análisis de resultados y comparación con las mediciones llevadas a cabo por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE)

En este apartado se va a llevar a cabo una comparación entre los resultados obtenidos en la cuenca del río Ésera, por la aplicación del Índice Hidrogeomorfológico en el anterior apartado en el año 2016, con los resultados establecidos por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el año 2010.

Dicho esto, en primer lugar que indicar que el área de estudio analizada por la Confederación Hidrográfica del Ebro no abarca toda la cuenca del río Ésera, a diferencia del análisis establecido en el presente trabajo, analizando una mayor parte de la cuenca del río Ésera, incluyendo los tramos del río no analizados por la Confederación Hidrográfica del Ebro y excluyendo los barrancos y afluentes como también realizó en el estudio de 2006 de la confederación. De este modo, este índice además de suponer una actualización de la zona de estudio analizada por la Confederación Hidrográfica del Ebro, supone un aumento de la información disponible.

De esta forma, en cuanto a los resultados nos encontramos con escasas diferencias con respecto al análisis de 2010, las cuales no se aprecian en el mapa final de la calidad hidrogeomorfológica del río Ésera, es por esto por lo que se han elaborado un conjunto de gráficas que representan las variaciones dadas en este periodo de 6 años en la zona de estudio.

En primer lugar, respecto a la primera masa de agua del Nacimiento al Embalse de Paso Nuevo, hay que indicar que los valores obtenidos en ambos años han sido iguales, ya que no se aprecian cambios relevantes en este periodo de 6 años en esta zona de estudio, por lo tanto las afecciones dadas en esta masa de agua son las mencionadas en el análisis presente en el anterior apartado (ver figura 42).

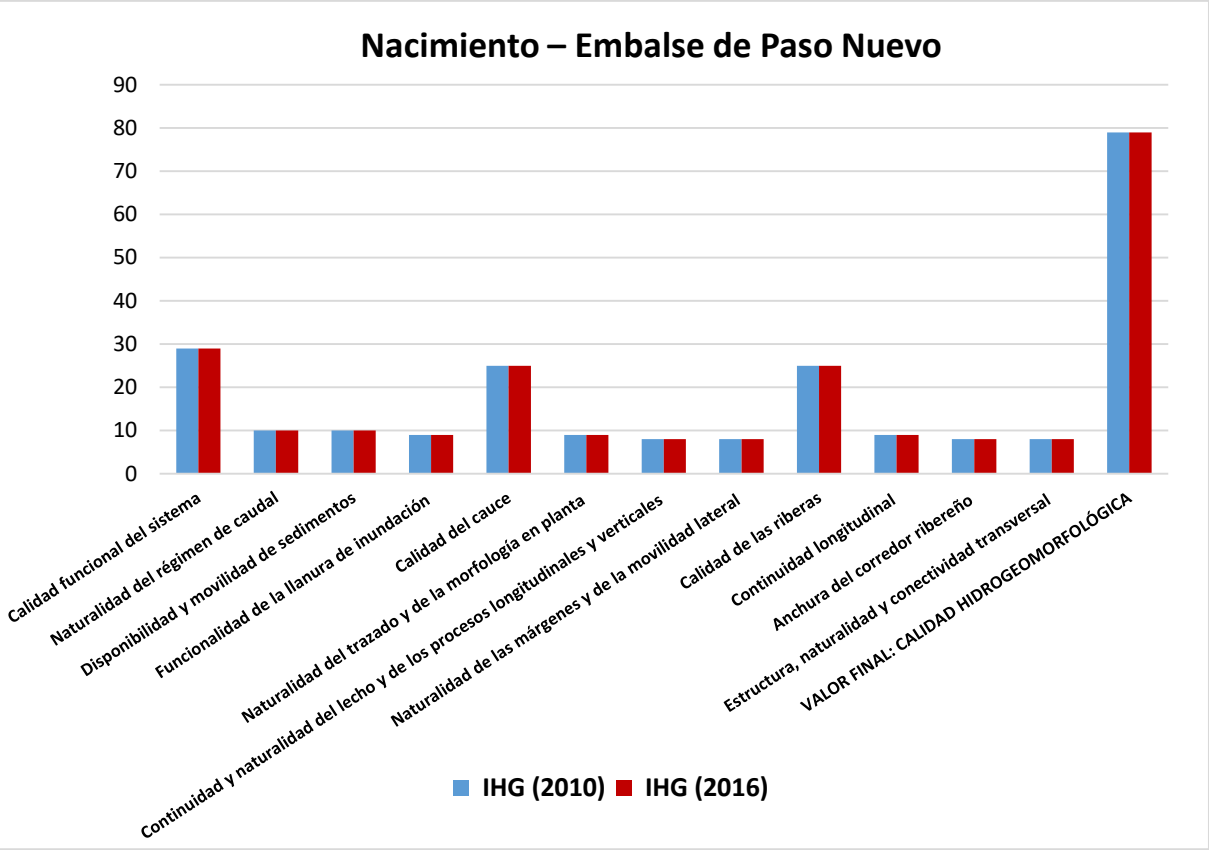


Figura 42: Gráfica variaciones en la masa de agua del Nacimiento al Embalse de Paso Nuevo en el río Ésera
Fuente: Elaboración propia y Confederación Hidrográfica del Ebro

En segundo lugar, respecto a la masa de agua del Embalse de Paso Nuevo al Río Estós, hay que indicar que los valores obtenidos en ambos años han sido prácticamente similares, pero se aprecian cambios relevantes en este periodo de 6 años en esta zona de estudio, en la estructura naturalidad y conectividad transversal de las riberas, influyendo en su calidad ecológica e indicando que en este periodo se ha producido un descenso de la calidad en este apartado, debido a alteraciones no tan leves como en 2010, por importantes presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo…) que alteran su estructura, en menos del 25% de la superficie de la ribera actual. Esto supone un descenso del valor hidrogeomorfológico final pasando de un 47 sobre un máximo de 90 en el año 2010, a un 45 sobre un máximo de 90 en el año 2016 (ver figura 43).

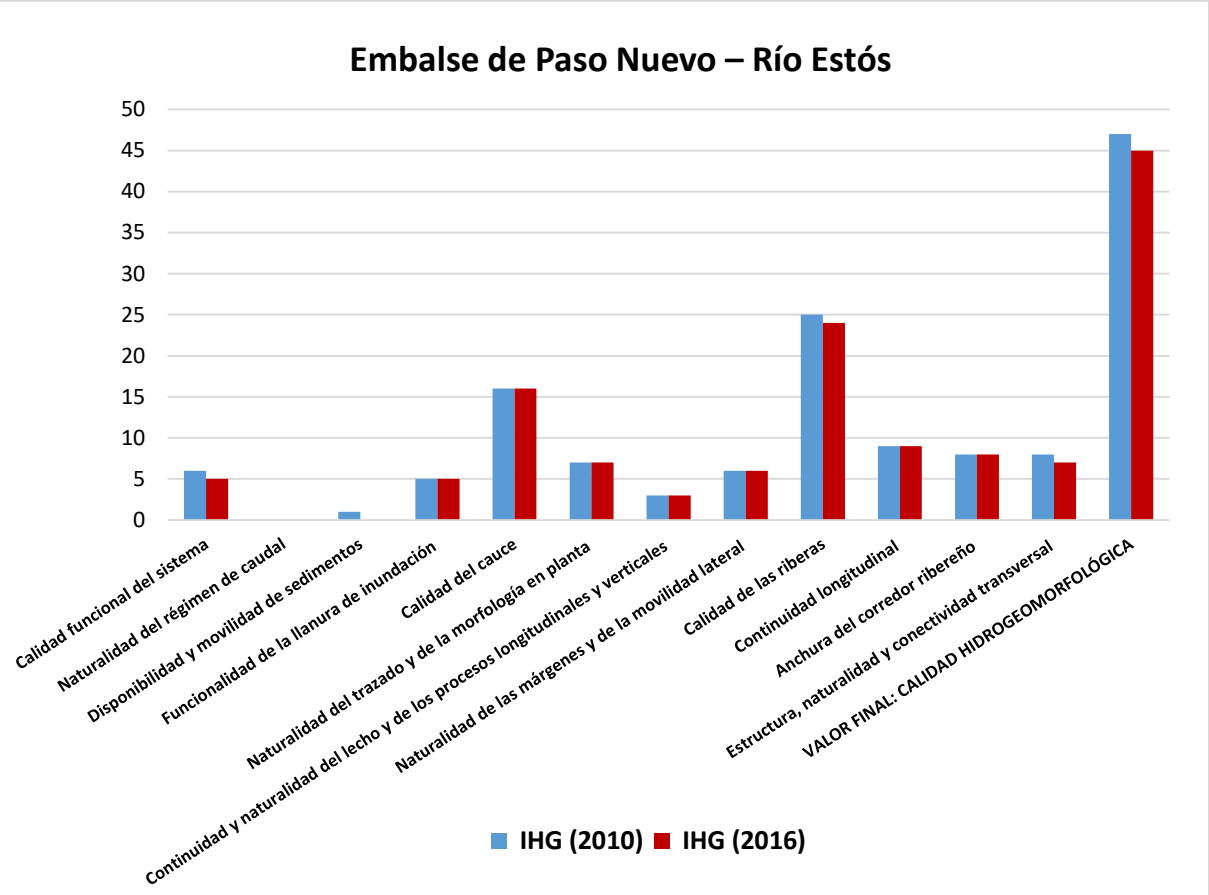


Figura 43: Gráfica variaciones en la masa de agua del Embalse de Paso Nuevo al Río Estós en el río Ésera
Fuente: Elaboración propia y Confederación Hidrográfica del Ebro

Por otro lado, respecto a esta masa de agua del Río Estós al Barranco de Barbaruéns, hay que indicar que los valores obtenidos en ambos años han sido prácticamente similares, pero se aprecian cambios más relevantes que en las masas de agua anteriores, en este periodo de 6 años en esta zona de estudio, en la naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral de la calidad del cauce, y en la continuidad longitudinal de la calidad de las riberas, influyendo en su calidad ecológica e indicando que en este periodo se ha producido un descenso de la calidad en estos apartados, debido a alteraciones en el cauce, el cual ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias…) adosadas a las márgenes, en torno en un 25% y un 50% de la longitud del sector, y a alteraciones en las riberas naturales interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias…) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos…), en un 25% y el 35% de la longitud total de las riberas en 2016 frente a un 5% y el 25% de la longitud total de las riberas. Esto supone un descenso del valor hidrogeomorfológico final pasando de un 48 sobre un máximo de 90 en el año 2010, a un 46 sobre un máximo de 90 en el año 2016 (ver figura 44).

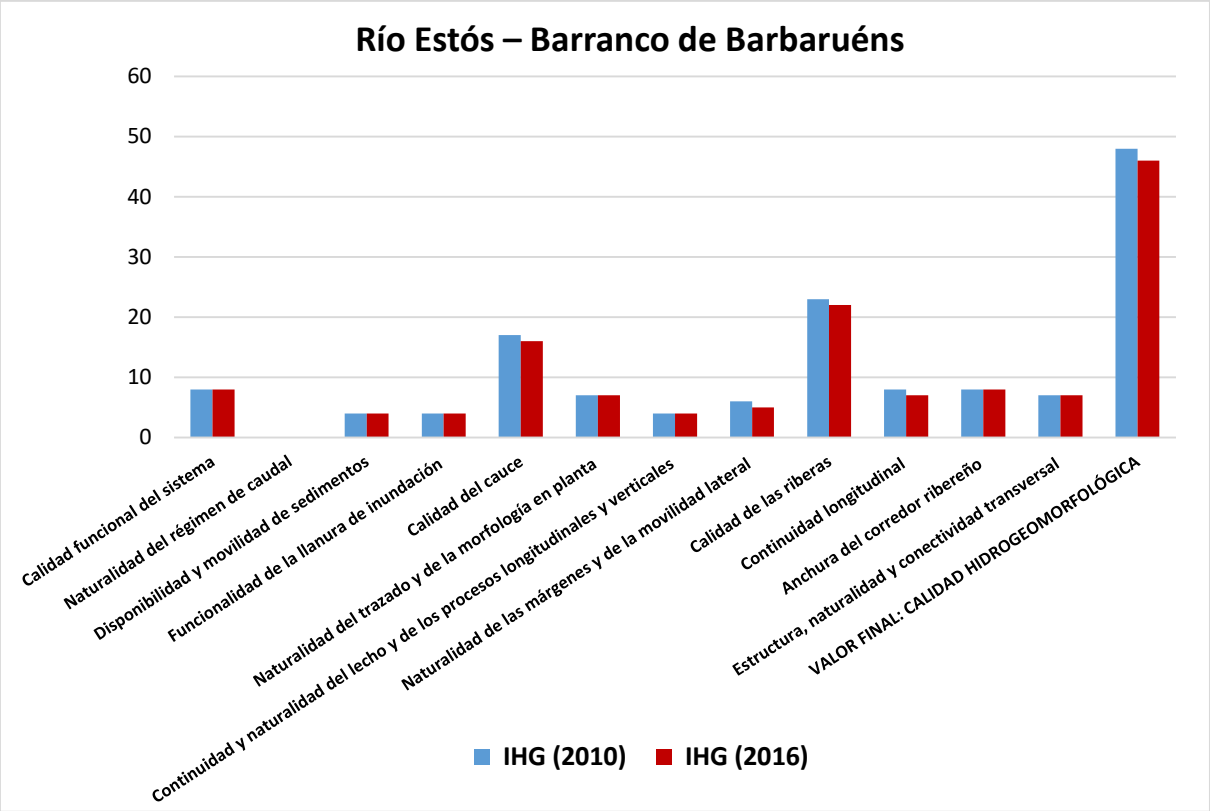


Figura 44: Gráfica variaciones en la masa de agua del Río Estós al Barranco de Barbaruéns en el río Ésera
Fuente: Elaboración propia y Confederación Hidrográfica del Ebro

Por otro lado, respecto a esta masa de agua del puente de la carretera n-260 a Aínsa a la Estación de Aforo nº13 en Graus (ver figura 45), hay que indicar que los valores obtenidos en ambos años han tenido cambios más relevantes que en las masas de agua anteriores, en este periodo de 6 años en esta zona de estudio, en la naturalidad del régimen de caudal, la disponibilidad y movilidad de sedimentos y en la funcionalidad de las llanuras de inundación de la calidad funcional del sistema, y en la naturalidad del trazado y de la morfología en planta, además de la continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales en la calidad del cauce, influyendo en su calidad ecológica e indicando que en este periodo se ha producido un aumento en la calidad funcional del sistema y un descenso en la calidad del cauce, debido a que en la calidad funcional del sistema, se ha dado una mejora del espacio de las presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial, en torno a un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector en 2016 frente al más del 75% en 2010, y a alteraciones en la calidad del cauce debido a cambios leves en sector retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras en 2016, además de no observarse en 2016 las afecciones puntuales de 2010 en la topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas. Esto supone un aumento del valor hidrogeomorfológico final pasando de un 60 sobre un máximo de 90 en el año 2010, a un 61 sobre un máximo de 90 en el año 2016.

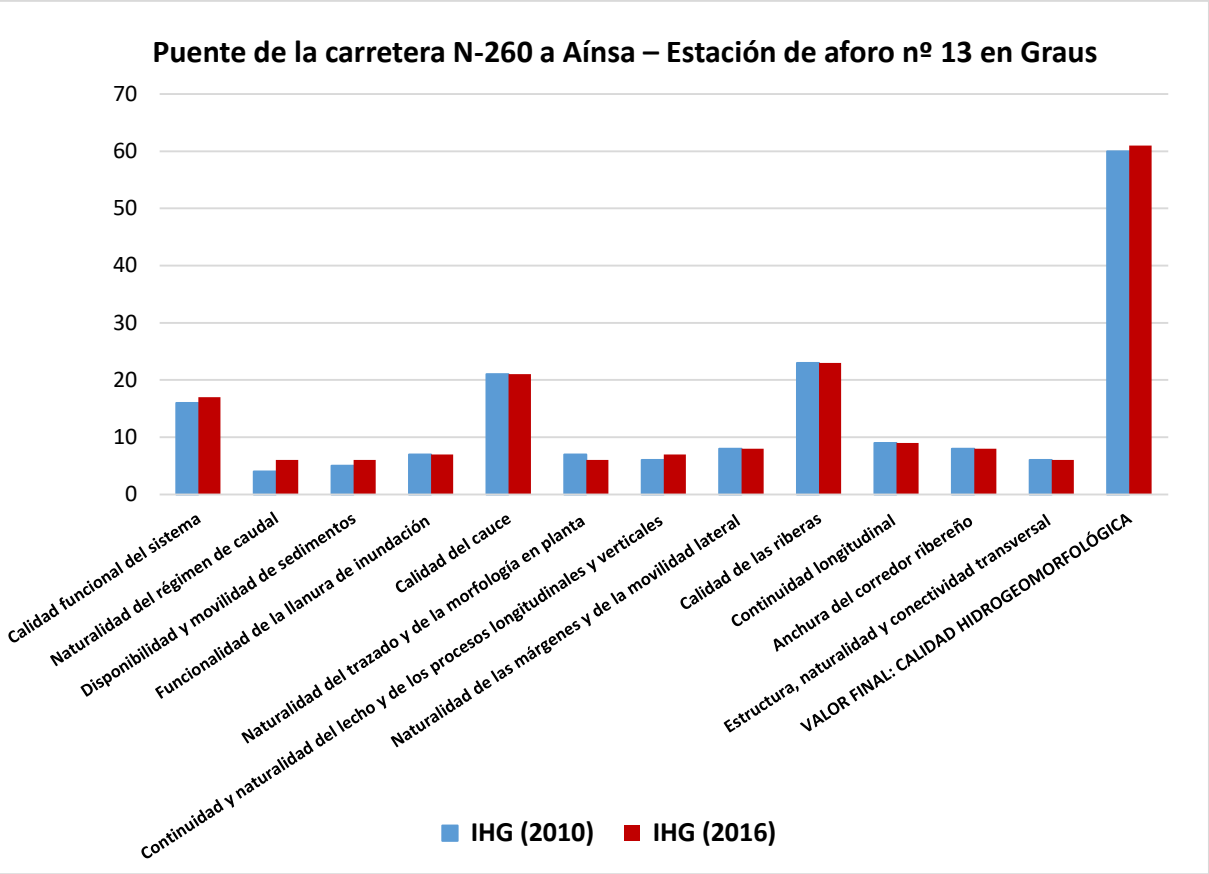


Figura 45: Gráfica variaciones en la masa de agua del puente de la carretera n-260 a Aínsa a la E.A. nº13 en Graus en el río Ésera
Fuente: Elaboración propia y Confederación Hidrográfica del Ebro

En cuanto a la masa de agua de la Estación de Aforo nº13 en Graus al Embalse de Barasona, hay que indicar que los valores obtenidos en ambos años han tenido cambios más relevantes que en las masas de agua anteriores, en este periodo de 6 años en esta zona de estudio, en la disponibilidad y movilidad de sedimentos y en la funcionalidad de las llanuras de inundación de la calidad funcional del sistema, además en la continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales, y la naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral en la calidad del cauce, y también en la continuidad longitudinal, anchura, estructura, naturalidad y conectividad transversal de las riberas, influyendo en su calidad ecológica e indicando que en este periodo se ha producido un descenso en la calidad del cauce, debido a se han realizado construcciones de más de un puente, vado u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce por cada kilómetro de este en 2016, frente a los menos de una afección de este tipo por cada kilómetro en 2010, además de afecciones en más un 75% en 2016 de la longitud del sector en el cauce por una canalización total o defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias…) adosadas a las márgenes frente a entre un 50 y 75 % de 2010, además de una mayor afección notable en 2016 frente a la leve de 2010 en las márgenes del cauce, presentando elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural (ver figura 46).

Respecto a las riberas es el segundo apartado donde mayores variaciones se han dado en este periodo, por afecciones en la continuidad longitudinal de las riberas naturales debido a interrupciones bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias…) y por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, caminos…) entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas en 2016 respecto al 45 y 55% de 2010, además de una reducción de la anchura media de corredor ribereño por las actividades antrópicas siendo inferior al 40% en 2016 frente al 40 y 60% de 2010. Por último mencionar que se han generado cambios en la calidad funcional del sistema en la disponibilidad y movilidad de sedimentos y la funcionalidad de la llanura de inundación, pero no han supuesto un aumento ni reducción de la calidad del estado ecológico en la zona de estudio. Esto supone un descenso del valor hidrogeomorfológico final pasando de un 36 sobre un máximo de 90 en el año 2010, a un 30 sobre un máximo de 90 en el año 2016.

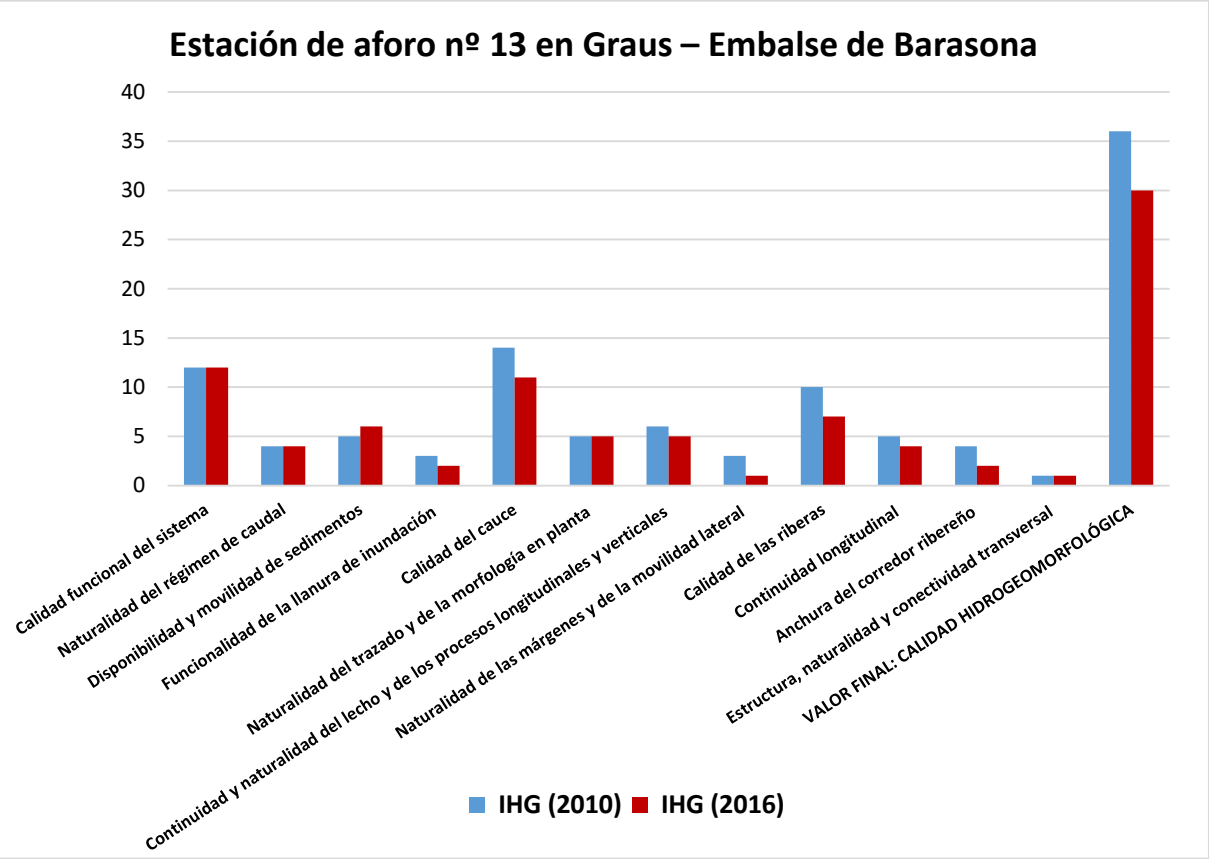


Figura 46: Gráfica variaciones en la masa de agua del E.A. nº13 en Graus al Embalse de Barasona en el río Ésera
Fuente: Elaboración propia y Confederación Hidrográfica del Ebro

Por último, respecto a la masa de agua del embalse de Barasona a la desembocadura (ver figura 47), hay que indicar que los valores obtenidos en ambos años han indican ciertos cambios puntuales, aunque menores que en las tres últimas masas de agua, en este periodo de 6 años en esta zona de estudio, en la naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral en la calidad del cauce, y también en la continuidad longitudinal de las riberas, influyendo en su calidad ecológica e indicando que en este periodo se ha producido un descenso en la calidad del cauce, debido a que se han llevado a cabo afecciones en más un 5 y 10% en 2016 de la longitud del sector en el cauce por una canalización total o defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias…) adosadas a las márgenes frente a entre un menos de un 5% en 2010.

Respecto a las riberas es el segundo apartado donde mayores variaciones se han dado en este periodo, por afecciones en la continuidad longitudinal de las riberas naturales debido a interrupciones bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias…) y por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, caminos…) en menos de un 15% de la longitud total de las riberas en 2016 respecto a ninguna discontinuidad en 2010. Esto supone un descenso del valor hidrogeomorfológico final pasando de un 36 sobre un máximo de 63 en el año 2010, a un 61 sobre un máximo de 90 en el año 2016.

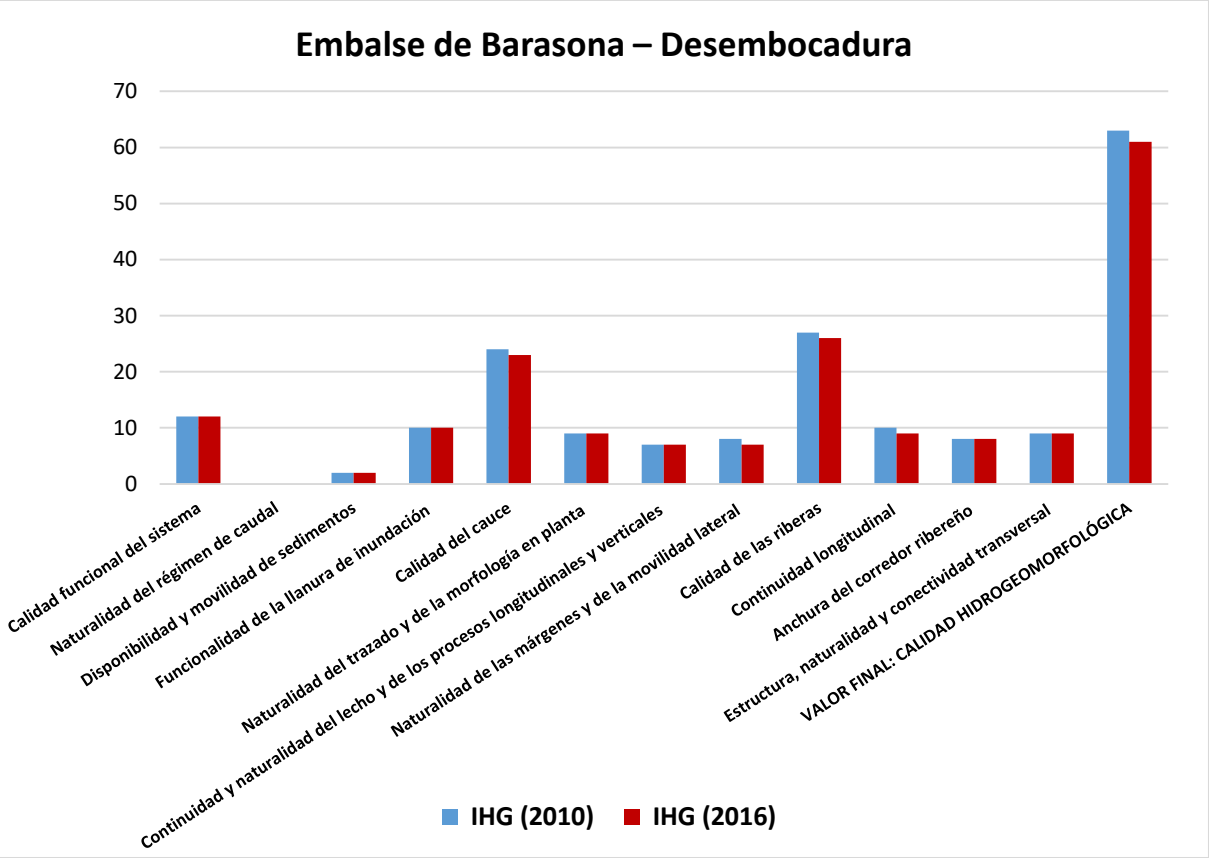


Figura 47: Gráfica variaciones en la masa de agua del Embalse de Barasona a la Desembocadura en el río Ésera
Fuente: Elaboración propia y Confederación Hidrográfica del Ebro

De esta forma, se puede decir que se han producido ciertas variaciones, principalmente negativas, en el periodo comprendido entre 2010 a 2016, las cuales han supuesto una pérdida del valor hidrogeomorfológico o estado ecológico en las masas de agua analizadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro en la cuenca del río Ésera, fundamentalmente en la zona comprendida entre el Río Estós y el embalse de Barasona, por las afecciones ya indicadas en cada subapartado del análisis del índice hidrogeomorfológico de cada una de las masas de agua.

Por último, mencionar que no se realizado una comparación del resto de masas elaboradas en el estudio de este trabajo, debido a la ausencia de datos en el análisis realizado por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

8. Análisis de riesgos y mejora ambiental

8.1. Cartografía de afecciones al estado ecológico e hidrológico de la cuenca de estudio

Esta cartografía se ha realizado tomando como base las crecidas generadas en los días 19 y 20 de Octubre del año 2012 en gran parte de red fluvial de la cuenca del río Ésera, principalmente en el municipio de Benasque, generada por una vaguada en altura el 19 de Octubre, la cual dio lugar a un baja presión al Noroeste de la península, con la presencia de un frente frío, lo cual generó un embolsamiento de aire frío en altura localizado al sur peninsular, origen del segundo evento de precipitación a partir del mediodía del 20 de octubre, que generó un cambio de las direcciones de flujo dominante, que pasaron a ser Este-Sureste, siendo un ejemplo del llamado frente ocluido (Vanesa Acín Naverac et al., 2012, pp.104). Hay que indicar que, los observatorios de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) mostraron que la precipitación de mayor intensidad se registró el sábado 20, con una media de 44,7 l/m^2 para las 136 estaciones comprendidas en el Pirineo y toda la mitad Norte de la comunidad aragonesa. El dato medio de precipitación acumulada para los días 19 a 21 es de 88,9 l/m^2, valor especialmente significativo teniendo en cuenta que la precipitación media del mes de octubre en Aragón (periodo 1971-2000) es de 54,3 l/m^2 (Vanesa Acín Naverac et al., 2012, pp.105) (Figura 48: Anexos).

Tras esta gran crecida el 18 de Junio de 2013 se produjo una crecida aún mayor que la de 2012 (Figura 49: Anexos), generada el día 17 de junio de 2013 por el descenso desde latitudes superiores de una bolsa de aire frío en altura. Esta bolsa fría con reflejo de una baja presión de unos 1010mb, se desplaza desde el Suroeste de Irlanda hasta la vertical de Portugal, con una trayectoria muy marcada de Norte a Sur (Nornoroeste-Sursuroeste). Durante el día 17 y 18 de junio ese embolsamiento frío permanece al Oeste de la Península avanzando lentamente hacia el Este. El mapa del día 18 muestra la situación a nivel sinóptico reflejando la presencia de una bolsa fría a nivel de 500 hpa, es decir, se produce la formación de una Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA) en la zona Centro-Oeste de la Península. Durante el transcurso del día 18 la situación se muestra prácticamente estacionaria, con una activa estructura nubosa incidiendo de Sur a Norte sobre el Pirineo oriental aragonés y zonas vecinas como el valle de Arán. Al ya de por si importante dinamismo de la situación, hay que unir el efecto orográfico que los Pirineos ejercieron sobre las precipitaciones. Este evento de tormentas se da dentro de los límites espaciales y temporales habituales de la convección, siendo en el mes de junio más frecuentes en la orla oriental del Pirineo Aragonés, y entre las 12 y las 21 horas (Álvarez et al., 2011) (Serrano, R., Mora, D., Ollero, A., Sánchez, M., y Saz, M., 2014).

Tras esto, durante el día 18 se produjeron las mayores precipitaciones, aunque la descarga que continuó el día 19 contribuyó a saturar todavía más el suelo con sus consecuencias hidrológicas y geomorfológicas, dando lugar a una gran cantidad de precipitaciones, y enormes consecuencias en el municipio de Benasque (Ilustración 44: Anexos), inundando varias calles las cuales tuvieron que ser evacuadas de decenas de personas (entre 200 y 300 personas), y generándose el desbordamiento del río Ésera de su cauce, lo cual generó el desalojo de las zonas más cercanas al río Ésera (Calle Mayor, Calle de Borbones y Avenida de los Tilos) y afecciones en zonas recreativas, instalaciones eléctricas, infraestructuras (principalmente puentes y carreteras) y viviendas de Benasque con caudales de hasta 284 m^3/s. Pero es en la localidad de Eriste donde se generaron inundaciones en el municipio urbano, generando afecciones a 70 personas de la zona, dándose caudales de 185,09 m^3/s, y en el embalse de Paso Nuevo donde se superó la capacidad de agua embalsada, tanto Benasque como Eriste quedaron aislados durante la crecida (Heraldo, 2013), se dejan varios videos de estas crecidas en el municipio de Benasque en la bibliografía.

Esto dio lugar a una serie de actuaciones de más que dudoso rendimiento y beneficio para hacer frente a estas crecidas e inundaciones, como veremos se indicará a continuación en el punto "8.4. Aplicación de medidas de mitigación" del presente trabajo.

De este modo, son estas dos crecidas las que se han tomado como base en el presente estudio para realizar un análisis en este caso del municipio de Benasque y la localidad de Eriste, por la información disponible en estos municipios, acerca de los riesgos del río Ésera proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro. De esta forma, en este apartado se muestra una cartografía de los riesgos de inundación del municipio de Benasque y la localidad de Eriste, según periodos de retorno de 10 a 500 años, que permiten realizar una aproximación de las zonas con mayor exposición a estas crecidas e inundaciones, mostrando las zonas inundables, los máximos de crecidas registrados en la zona de estudio, las afecciones a las actividades económicas y población localizada en zonas inundables, además de la peligrosidad.

En primer lugar, hay que empezar mencionando lo analizado anteriormente en el ajuste de Gumbel de la estación de aforo del localidad de Eriste, la cual es la más cercana al núcleo de población de Benasque, y por lo tanto será fundamental para realizar una aproximación de los efectos de esta crecida de 2012 en la zona tanto en el núcleo de población de Benasque como en Eriste (Tabla 16: Anexos). De este modo, hay que indicar que el mayor caudal registrado fue 310,4 m^3/s el día 18 de Junio de 2013 el cual tiene un periodo de retorno de 80,27 años, es decir hay un 1,24 % de probabilidad de que un evento similar se produzca en cualquier año. En definitiva, en cuanto a los periodos de retorno, a continuación se muestra cual sería a probabilidad de caudal máximo esperado con el paso de cada periodo de tiempo (Figura: 38):

2 años = 72,8 m^3/s	5 años = 140,1 m^3/s	10 años = 184,6 m^3/s
25 años = 240,9 m^3/s	50 años = 282,6 m^3/s	75 años = 306,9 m^3/s
100 años = 324,1 m^3/s	500 años = 419,8 m^3/s	

Por otro lado, en cuanto al máximo instantáneo de 2012-2013 (ver figura 49) hay que mencionar que los caudales medios diarios reflejan un máximo de caudal de 185, 09 m^3/ s, misma fecha en la que los caudales máximos instantáneos anuales indicaban un caudal de 310,4 m^3/s, hecho que puede indicar que estos datos estén sujetos a revisión, pese a esto y tras numerosas fuentes utilizadas, todo parece indicar que el caudal del 18 de Junio de 2013 alcanzó los 310,4 m^3/s.

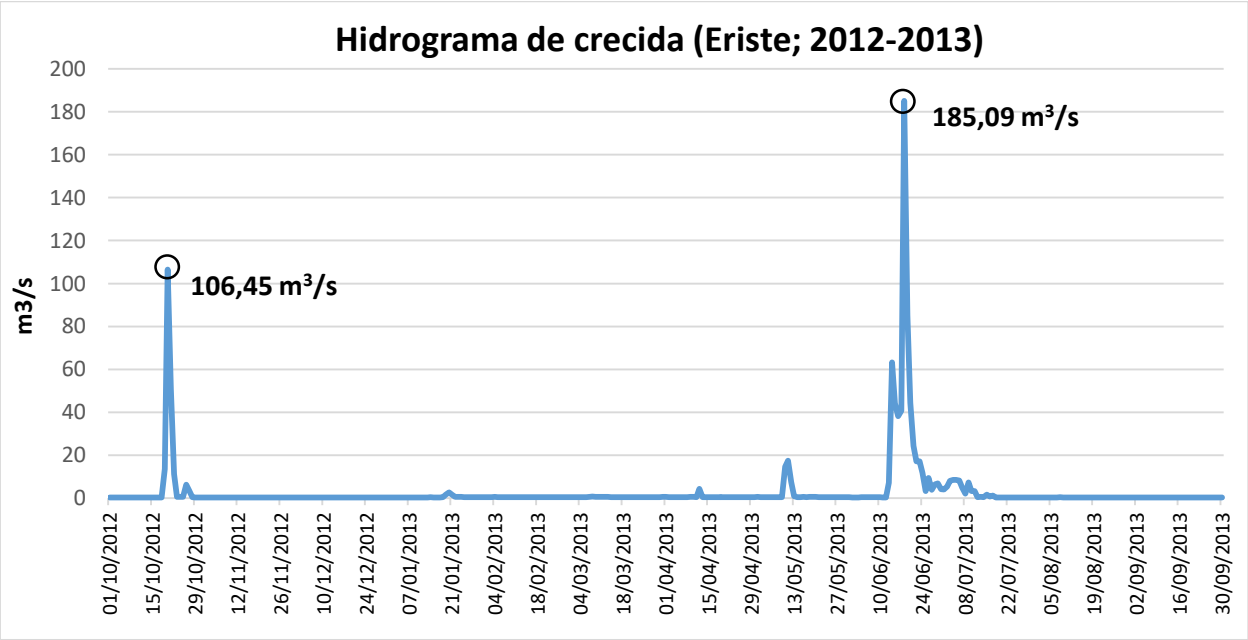


Figura 49: Hidrograma de crecida (Eriste; 2012-2013) Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

De esta forma, se ha realizado un análisis del municipio de Benasque y la localidad de Eriste respecto a su exposición a las crecidas, para mostrar las diferentes afecciones y peligros de esta zona a crecidas como la de junio de 2013. Para ello, en primer lugar se ha elaborado una cartografía de peligrosidad de la zona de estudio (Cartografía 16: Anexos Mapa de peligrosidad), este mapa muestra las zonas inundables en los núcleos de población de Benasque, Linsoles, Eriste o Sahún, tanto para un periodo de retorno de 10 años como de 500 años, esta cartografía fue elaborada por la Confederación Hidrográfica del Ebro el 1 de Junio de 2013. De esta forma, se puede observar como sería el municipio de Benasque el que mayores afecciones tendria en su municipio urbano, con una gran probabilidad (10 años) de ser ocupado en una gran parte de sus municipio urbano, estimando un caudal de 318 m^3/s en Benasque, y de 444 m^3/s en Sahún, y con baja o excepcional probailidad (500 años) de ser inundado practicamente en su totalidad, con un caudal estimado de 1048 m^3/s en Benasque, y de 1498 m^3/s en Sahún.

De esta forma, una vez realizado el análisis de los periodos de retorno entre municipios, se han elaborado dos cartografías acerca de los periodos de retorno en el municipio de Benasque (Cartografía 17: Anexos Mapa de zonas más vulnerables en Benasque) y el localidad de Eriste (Cartografía 18: Anexos Mapa de zonas más vulnerables en Eriste). En estos mapas se puede apreciar como el municipio de Benasque quedaría prácticamente inundado en un periodo de retorno de 500 años y con afecciones puntuales con un periodo de retorno de 10 años dándose solamente puntuales afecciones en las actividades económicas agrícolas de regadío y terciarias, terreno forestal y parte del municipio de edificaciones asociadas a urbano concentrado. Por otro lado, en este periodo de retorno de 500 años aumentan las afecciones quedando como zonas inundables una gran extensión de terrenos forestales y la mayor parte de viviendas, zonas urbanas e industriales concentradas, infraestructuras sociales y carreteras puntuales, además de más que significativas afecciones en las actividades económicas agrícolas de regadío y dedicadas al sector terciario relacionadas principalmente con el turismo de nieve (Cartografía 19: Anexos Mapa riesgo de actividades económicas en Benasque con un periodo de retorno de 10 años) (Cartografía 20: Anexos Mapa de riesgo de actividades económicas en Benasque con un periodo de retorno de 500 años).

En cuanto al localidad de Eriste, las afecciones con un periodo de retorno de 10 años serían prácticamente nulas (Cartografía 21: Anexos Mapa de riesgo de actividades económicas en Eriste con un periodo de retorno de 10 años), solamente destacar las afecciones en la infraestructura de energía de Eriste (Central Hidroeléctrica de Eriste) y en ciertas zonas forestales y agrícolas de regadío localizadas en las márgenes del río Ésera. De este modo, es en el periodo de retorno de 500 años (Cartografía 22: Anexos Mapa riesgo de actividades económicas en Eriste con un periodo de retorno de 500 años) en el cual se observarían las mayores afecciones dándose importantes zonas inundables en las zonas anteriormente mencionadas en el periodo de retorno de 10 años, pero aumentando su extensión y además, dándose afecciones a las afueras de este municipio ya adentrándonos en el municipio de Linsoles con afecciones en actividades económicas terciarias y asociadas a zonas urbanas y concentradas, además de zonas industriales concentradas y ciertas infraestructuras sociales y carreteras.

A continuación de muestran una serie de mapas de la zona de estudio correspondiente al tramo entre los municipios de Benasque a Sahún, que aportan un complemento de información a lo mencionado anteriormente a pesar de no ser el objetivo principal del estudio (Cartografía 23: Anexos Mapa riesgo de actividades económicas desde Benasque hasta Eriste con periodo de retorno de 10 años) (Cartografía 24: Anexos Mapa riesgo de actividades económicas desde Benasque hasta Eriste con periodo de retorno de 500 años).

Por otro lado, una vez analizadas las zonas inundables y sus afecciones a las actividades económicas según periodos de retorno de 10 y 500 años, se ha elaborado una cartografía de afecciones a la población, elaborando un mapa de número de habitantes en zonas inundables, según la densidad de habitantes por hectárea en cada municipio. De este modo, en cuanto al periodo de retorno de 10 años (Cartografía 25: Anexos Mapa de riesgo de población en zona inundable con un periodo de retorno de 10 años) cabe destacar que el mayor número de habitantes en zona inundable quedaría representado entre el tramo del núcleo de población de Benasque a la localidad de Linsoles con más de 40 habitantes en zonas inundables (92 habitantes) con una densidad de entre 6 y 25 habitantes por hectárea (25 habitantes/hectárea), mientras que en el tramo de la localidad de Eriste es tan solo de entre 1 y 5 habitantes en zonas inundables (4 habitantes) con una densidad de entre 25 y 40 habitantes por hectárea (27 habitantes/hectárea). De otro modo, respecto al periodo de retorno de 500 años (Cartografía 26: Anexos Mapa de riesgo de población en zona inundable con un periodo de retorno de 500 años) cabe destacar que el mayor número de habitantes en zona inundable quedaría representado también entre el tramo del núcleo de población de Benasque a la localidad de Linsoles con más de 40 habitantes en zonas inundables (311 habitantes) con una densidad de entre 6 y 25 habitantes por hectárea (16 habitantes/hectárea), mientras que en el tramo de la localidad de Eriste es tan solo de entre 6 y 20 habitantes en zonas inundables (7 habitantes) con una densidad de más de 40 habitantes por hectárea (46 habitantes/hectárea).

Por otro lado, respecto a la máxima crecida ordinaria registrada hasta el 1 de Junio de 2013, se elabora esta cartografía de máxima crecida ordinaria (Cartografía 27: Anexos Máxima crecida ordinaria) que indica mediante un estudio de las series de caudales máximos instantáneos anuales la frecuencia de aparición del caudal máximo (dándose ente 2 y 7 años en regímenes no alterados) determinando el umbral a partir del cual los cauces del río Ésera se desbordan y ocupan los márgenes de la llanura de inundación. De este modo, hay que indicar que en el tramo comprendido entre el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste, esta máxima crecida ordinaria se daría en un régimen alterado, que favorecería el desbordamiento del cauce a partir de caudales máximos que van desde 210 m^3/s en Benasque hasta 276 m^3/s en Linsoles, sin embargo en el municipio de Sahún se da un régimen natural el cual favorece que las afecciones por desbordamientos sean menores, a pesar de que los caudales punta no se reduzcan como en el caso de los regímenes alterados frecuentemente en el tramo anterior por derivaciones de crecidas o los embalses de la zona, fijándose la máxima crecida ordinaria en 288 m^3/s. Por último, se ha elaborado una cartografía de afecciones en áreas de importancia ambiental según periodos de retorno de 10 y 500 años (Cartografía 28: Anexos Mapa riesgo en áreas de importancia ambiental), el cual indica como las mayores riesgos de inundación y por lo tanto afecciones de Lugares de importancia Comunitaria (LIC) se generarían en el tramo entre el municipio de Benasque y la localidad de Eriste, aumentando su extensión en proporción al periodo de retorno. Sin embargo, por otro lado las mayores afecciones respecto a Lugares de importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección de Aves (ZEPA), se darían en el municipio de Sahún.

Así, podemos observar como conforme el periodo de retorno es mayor, aumentan tanto las afecciones a las actividades económicas, como los caudales máximos y el número de habitantes en zona inundables, reduciéndose cada vez más la densidad de población, quizás por el creciente éxodo rural en las últimas décadas, dando lugar a una reducción de la cantidad de personas expuestas a estos riesgos de crecidas e inundaciones. Además, estas crecidas supondrían grandes afecciones a áreas de importancia ambiental esencialmente en los Lugares de importancia Comunitaria (LIC) del municipio de Benasque. De este modo, es este municipio de Benasque uno de los municipios que mayores afecciones tendría en todos sus ámbitos en la cuenca del río Ésera, y por lo tanto uno de los que mayores precauciones y medidas de mitigación y precaución debería tener frente a estas crecidas, sin embargo estas medidas no siempre nos las más adecuadas y eficientes, como veremos a continuación.

8.2. Análisis en función de la evaluación de riesgos hidrológicos y ambientales, teniendo en cuenta sus características y funcionamiento hidrológico en los tramos y zona de estudio indicada

Una vez estudiado el río Ésera, a continuación se van a poner en común los resultados obtenidos en relación a la posibilidad de crecidas en la zona de estudio.

De este modo, en primer lugar hay que indicar que nos encontramos en una cuenca en la que las precipitaciones son elevadas prácticamente en toda la cuenca, pero con mayores precipitaciones en la cabecera del río Ésera, las cuales van disminuyendo conforme nos acercamos a la cabecera (entre 1.200 mm/año en la zona de la cabecera y 600 mm/año en la zona sur de la cuenca) por el descenso de la altura dando lugar a climas más mediterráneos y no de alta montaña, a pesar de que el caudal circulante sea mayor, esto hace que las posibilidad de que haya una crecida e inundación sea mayor en aquellas zonas en las que las precipitaciones son mayores, las cuales corresponden con la zona norte y media de la cuenca del río Ésera. Por otro lado, hay una gran diversidad respecto al balance hídrico dándose los mayores valores en la zona de norte de la cuenca, con valores que oscilan entre 0 y 900 mm, favoreciendo los procesos de escorrentía, y por lo tanto aumentando la probabilidad de crecidas.

En cuanto a las alturas y pendientes como se ya ha mencionado, esta cuenca tiene una gran altitud, localizándose en la cabecera y el tramo medio de la cuenca las zonas de mayor altura, al ser un río el cual nace en los Pirineos y donde el río presenta una gran pendiente, es en estas zonas de la cabecera y puntos con mayores pendientes donde el río Ésera facilita el proceso de escorrentía y erosión, con valores los cuales superan los 42° en la mayor parte de la zona norte de la cuenca de estudio, generando por lo tanto ciertos fenómenos extremos como las crecidas o los aludes, pudiendo provocar grandes costes económicos en las zonas más próximas, y suponiendo un riesgo natural para la población. Por lo tanto nos encontramos ante un río con una gran longitud (106 km), la cual da lugar a una gran variedad de alturas, generando un enorme desnivel entre la zona de su nacimiento y su desembocadura (2.520 msnm) y diversidad de pendientes, facilitando el proceso de escorrentía y dificultando la infiltración, lo cual facilita la generación de crecidas en el ámbito de estudio.

Por otro lado, otro factor que influye en las crecidas es la litología, ya que en esta cuenca las rocas predominantes son de naturaleza carbonatada, calizas y dolomías, lo que nos indica que la cuenca tendrá una alta permeabilidad y los procesos de infiltración y percolación funcionaran correctamente. Este predominio de materiales carbonatados se traducirá en una alta permeabilidad, lo que reducirá notablemente la cantidad de agua que se movilice por escorrentía y la probabilidad de posibles episodios de crecidas. Sin embargo, esto no se da por las altas pendientes antes mencionadas, las cuales intensifican estos procesos de escorrentía y por lo tanto la posibilidad de crecidas. Además de esto, hay que indicar que se trata de una cuenca la cual presenta un claro dominio de rocas sedimentarias, siendo estas en su mayoría de naturaleza carbonata (principalmente calizas) y terrígenas (principalmente arcillas y arenas). Este tipo de litologías de naturaleza carbonatada favorecerán los procesos hidrológicos de infiltración y percolación lo que a su vez supondrá un reducción de la escorrentía superficial y un predominio de la escorrentía de tipo subsuperfical y subterránea, sin embargo la existencia además de rocas arcillo-arenosas reduce la capacidad de infiltración (debido a que tienen capacidad de absorber agua, incrementando el tamaño y disminuyendo los poros, dificultando la infiltración), y genera zonas ligeramente impermeables, facilitando la escorrentía superficial y subsuperficial, y por lo tanto facilitando la generación de crecidas.

Respecto a la vegetación y usos de suelo, la gran cantidad de vegetación disponible en la cuenca del río Ésera, facilita que haya una cubierta vegetal, en la que la vegetación hace de filtro, generando la interceptación del agua precipitada, e impidiendo la compactación del suelo, lo cual facilita la infiltración. Además, la vegetación ralentiza la llegada de agua al suelo, dando lugar a que no se sobreexplote el proceso de infiltración, y actúa de freno del agua que circula por la superficie terrestre dificultando la escorrentía superficial, además de generar huecos por los cuales el agua se cuela con mayor facilidad por su sistema de raíces facilitando la infiltración. De esta forma, como se ha indicado la cuenca del río Ésera está ocupada principalmente por bosques de coníferas, bosque de frondosas y landas y matorrales mesófilos. Este tipo de vegetación sirve a modo de filtro en episodios de crecida, por su capacidad de retención, absorción y de sujeción del suelo, además de su capacidad de interceptación de las precipitaciones por ser un tipo de vegetación de gran porte, reduciendo considerablemente la cantidad de agua que se moviliza por escorrentía en comparación a otras zonas con suelos desnudos. Esta gran extensión de estos bosques, da lugar a un tipo de vegetación, sobre todo la de ribera tiene un alto valor ambiental, ya que forma parte del río y juega un importante papel dentro de la dinámica fluvial del río Ésera, además esta evita en buena medida la erosión, sirve de filtro en episodios de fuertes lluvias y es el sustento de la fauna de la zona de estudio. El único inconveniente está en la mayor cantidad de material arrastrado que supondrían las crecidas en esta cuenca de gran cantidad de vegetación y usos de suelo.

De otra forma, respecto al comportamiento hidrológico del río hay que indicar en primer lugar que las aportaciones anuales son elevadas en las cuatro estaciones de aforo analizadas (Estación de Aforo de Barasona, Estación de Aforo de Graus, Estación de Aforo de Campo y Estación de Aforo de Eriste), siendo ascendentes conforme nos acercamos a la desembocadura del río Ésera, debido a las aportaciones de sus barrancos y el aumento de su longitud, aumentando la capacidad de retención de agua, y por lo tanto favoreciendo las crecidas en la zona más cercana a la desembocadura, por su mayor caudal circulante.

En segundo lugar, en lo que se refiere a la variación estacional podemos ver que el caudal presenta importantes variaciones a lo largo del año, presentando un máximo y dos mínimos en las estaciones más cercanas a la desembocadura y de menor altitud (Campo y Eriste), o dos máximos y un mínimo de caudal en las estaciones de aforo más cercanas al nacimiento de mayor altitud (Barasona y Graus), esto indica que en definitiva, nos encontramos ante un río con una gran disponibilidad de caudal, la cual facilita que se originen estas crecidas e inundaciones. De este modo, se trata de un régimen hídrico complejo cambiante en el que hay una destacada influencia nival, registrándose el periodo principal de aguas altas en primavera debido a la fusión de la retención nival invernal y las precipitaciones (fundamentalmente líquidas) entre finales de la primavera y principios de verano (Abril, Mayo y Junio), observándose en la cabecera un contraste muy marcado entre el periodo de aguas altas y el de aguas bajas, el cual disminuye aguas abajo, hacia la desembocadura, de ahí la mayor probabilidad de crecidas en la cabecera. En cuanto al máximo secundario es otoñal en los meses de Octubre o Noviembre, aunque este con un caudal menos marcado, ligado a precipitaciones fundamentalmente líquidas.

En tercer lugar, en cuanto a la irregularidad interanual el Río Ésera presenta una baja irregularidad interanual, presentando de esta forma valores de caudal prácticamente homogéneos entre años y que se sitúan de habitual en torno al módulo o muy cercano a este, lo cual facilita que se originen estas crecidas e inundaciones en toda la cuenca, especialmente en la zona norte de la cuenca donde menores actuaciones antrópicas se han realizado, facilitando esta baja irregularidad interanual.

Una vez dicho esto, respecto a los fenómenos extremos hay que mencionar que por un lado los estiajes de la cuenca del río Ésera tienen una duración bastante corta los cuales favorecen que los episodios de crecidas tengan por consiguiente una mayor facilidad de generarse, y están directamente relacionados con las características climáticas de nuestra cuenca, ya que estos son un reflejo de baja irregularidad interanual, lo cual indica que nos encontramos ante un río claramente de montaña, bastante regular en cuanto a sus aportaciones de caudal, debido a su gran cantidad de precipitaciones anualmente, especialmente en forma de nieve en la cabecera, y en forma líquida conforme nos vamos acercando a la desembocadura, como ya se ha indicado antes.

Respecto a las crecidas podemos decir, que el Río Ésera tiene una tipología de crecidas dadas fundamentalmente en los periodos estivales, es decir en invierno y verano, que coincide con los periodos en los que se da una mayor afluencia de precipitaciones tanto en forma líquida como en forma de nieve en la zona de estudio, esto se debe fundamentalmente a que este río se localiza en tres dominios climáticos como ya se ha mencionado anteriormente lo cual da lugar a elevadas precipitaciones, las cuales se distribuyen de manera irregular a lo largo del año. Estas crecidas alcanzan su máximo con 1.100 m^3/s en la zona más cercana a la desembocadura (Barasona) y 116 m^3/s en la zona más próxima a la cabecera o nacimiento, aunque debido a su irregularidad a menudo pueden ser presentar valores más bajos o más altos (89 m^3/s en Graus), siendo más abundantes en otoño, primavera y verano y menores en invierno por la retención nival.

Destacar, que aunque la primavera suele ser la estación más lluviosa, a menudo podemos encontrar los máximos pluviométricos en verano debido a las fuertes tormentas de carácter torrencial que se dan en la zona, como reflejo de ese rasgo más continentalizado. Y además nos encontramos con una tipología de crecidas de tipo complejo, por la gran cantidad de picos de crecida, generando un gran número de altibajos, aunque es cierto que se da una cresta o pico de crecida más marcado, es decir con un mayor caudal, que indica cual es el verdadero pico de crecida, como ya se ha mencionado anteriormente. Mencionar que la mayor parte de las crecidas del Río Ésera se dieron en el año 1962, año en el cual se dieron intensas precipitaciones en un periodo corto de tiempo, generando unos caudales instantáneos máximos de 995 y 370 m^3/s, dando lugar a grandes afecciones especialmente en Benasque como se ha mencionado anteriormente.

Por último, respecto a estas crecidas hay que señalar que el mayor número se da en las estaciones de aforo más cercanas a la desembocadura, quizás por la mayor cantidad de caudal debido a que es en esta desembocadura donde se observan las crecidas de mayor caudal, por el aumento de la capacidad de retención de agua, y además los mayores episodios de crecidas se producirán a finales de primavera y en verano, siendo especialmente importantes los meses de Mayo y Junio, que son los meses en los que se producen el mayor número de crecidas en nuestro ámbito de estudio.

Esto traducido en cifras significa que durante la segunda mitad del siglo XX y la primera década del XXI el río Ésera ha experimentado una gran cantidad de crecidas, por lo que las crecidas en esta zona de estudio son muy abundantes, dándose una media de más de 109 eventos de crecida, superándose en una media de 34 veces un caudal que multiplique por diez veces el módulo, y generándose en ciertos casos crecidas de carácter extraordinario, con una media de 7 veces en las que se multiplica por 25 veces el módulo. De este modo, estas crecidas tienen un periodo de retorno el cual aumenta conforme nos acercamos a la desembocadura del río Ésera, dándose los mayores caudales de crecida, por la mayor capacidad de retención de agua al aumentar la longitud del río, es quizás por este mayor caudal, por lo que el periodo de retorno es mayor, ya que es más difícil que se dé una crecida de estas dimensiones de caudal.

Una vez analizado esto, hay que mencionar el Índice Hidrogeomorfológico (IHG), a partir del cual se establecen unos resultados que indican el estado ecológico del río Ésera. Dicho esto, se puede indicar que en general el estado del río Ésera es bueno, pero que sin embargo hay ciertas masas de agua que deberían mejorar su calidad hidrogeomorfológica como es el caso de las masas de agua del embalse de Paso Nuevo al Barranco de Barbaruéns con un estado ecológico moderado seguido de la masa de agua del Barranco de Barbaruéns al puente carretera N-260 a Aínsa con un estado ecológico moderado, y quedando como la masa de agua que pero calidad presenta, con un estado ecológico deficiente, queda representada la masa de agua de la Estación de Aforo nº13 en Graus al embalse de Barasona.

De este modo, el río Ésera tiene un estado bueno o muy bueno en casi el 60% de su longitud, una cifra más que considerable, que indica la importancia ecológica e hidrológica del río Ésera para la población de estas zonas, la cual cuenta con una gran cantidad de actuaciones, estudios y procesos de gestión con el objetivo conseguir la mejor calidad ecológica posible. Por otro lado, un 34% de su longitud presenta un estado moderado, y tan solo un 7% tiene un estado deficiente, normalmente ocasionadas por actuaciones antrópicas inadecuadas o que no favorecen el estado ecológico del río. Todas estas actuaciones son reflejo de las diferentes crecidas e inundaciones dadas a lo largo de la historia en la cuenca del río Ésera generando una gran cantidad de zonas afectadas y otras muy vulnerables, sin embargo estas actuaciones no siempre son las más adecuadas, como se indicará a continuación en el presente documento.

8.3. Efectos socio-económicos de las crecidas: análisis en zonas afectadas

Este estudio se ha llevado a cabo partiendo de la base de que las principales zonas con mayores afecciones por avenidas se sitúan en el tramo del río Ésera comprendido entre la desembocadura del río Estós hasta el municipio de Graus sin incluir el embalse de Barasona, con un riesgo de inundación importante según indica la Confederación Hidrográfica del Ebro en 2015 (Cartografía 29: Mapa riesgo de inundaciones en el río Ésera en 2015).

De este modo principalmente podemos decir que los municipios y localidades más expuestos a estos riesgos de inundaciones serian Benasque, Eriste, Sahún, Sesué, Castejón de Sos, Perarrúa y Graus. Para ello se han indicado a continuación las zonas más afectadas de estos municipios y localidades utilizando las ortofotos de 2012 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Ilustración 45: Camping (izquierda) e instalaciones deportivas (derecha) de Graus
Fuente: Plan Nacional de Ortofotrafía Aérea (PNOA)

Ilustración 46: Perarrúa (izquierda) y Besians (derecha)
Fuente: Plan Nacional de Ortofotrafía Aérea (PNOA)

Ilustración 47: Camping de El Run (izquierda) y Castejón de Sos (derecha)
Fuente: Plan Nacional de Ortofotrafía Aérea (PNOA)

Ilustración 48: Viviendas (izquierda) y Camping de Sesué (derecha)
Fuente: Plan Nacional de Ortofotrafía Aérea (PNOA)

Ilustración 49: Viviendas de Eriste (izquierda) e instalaciones deportivas de Sahún (derecha)
Fuente: Plan Nacional de Ortofotrafía Aérea (PNOA)

Ilustración 50: Instalaciones deportivas (izquierda) y núcleo de población (derecha) de Benasque
Fuente: Plan Nacional de Ortofotrafía Aérea (PNOA)

Como se puede apreciar en estos municipios las mayores afecciones suelen localizarse en aquellas zonas más próximas al cauce del río Ésera, suponiendo una gran peligrosidad y vulnerabilidad fundamentalmente de las infraestructuras, viviendas, campings e instalaciones deportivas y de ocio, construidas en estas zonas de riesgo de inundación importante, las cuales en caso de avenida o inundación pueden dan lugar a afecciones no solo físicas o materiales sino también económicas y humanas, al desbordarse el cauce del río Ésera e inundar en ciertas ocasiones el lecho mayor o una parte de la llanura de inundación. Por otro lado, hay que mencionar que en estas zonas existen ciertas actividades agrícolas y construcciones cercanas a la vegetación de ribera del cauce del río Ésera que no solo modifican la vegetación existente de la zona como ya se ha indicado antes, sino que se encuentra localizada en un espacio de gran peligrosidad de inundación. Esto genera una gran cantidad de daños económicos, por las afecciones a estos bienes materiales, tales como viviendas, carreteras, infraestructuras y demás instalaciones localizadas en estos ámbitos vulnerables, además de su desalojo y en ciertas ocasiones abandono por daños irreparables, pérdida de vida humanas, deterioro de la salud, epidemias, y efectos psicológicos y sociales, entre otros.

Pese a estos efectos socioeconómicos de las crecidas hay que mencionar que las crecidas suponen una magnífica inyección de naturalidad y auto recuperación para nuestros ríos. Después de años sin crecidas, ni siquiera pequeñas (eliminadas por los embalses), estas avenidas han podido movilizar sedimentos y probablemente han renovado poblaciones de seres vivos, han frenado a especies invasoras, han creado nuevos hábitats y han permitido rejuvenecer y mantener a raya el desarrollo vegetal en los cauces provocado por los embalses reguladores de aguas arriba. Dicho esto, hay que indicar que a pesar de ser el organismo competente en la gestión ambiental y de riesgos en la cuenca del Ebro y el encargado de aplicar los principios y las normas de la Directiva 2007/60/CE, la Confederación Hidrográfica del Ebro ha optado por realizar trabajos de emergencia de ejecución inmediata, sin estudio previo y sin planificar (texto procedente de las notas de prensa de la C.H.E.). Para ello, ha obtenido la correspondiente aprobación presupuestaria desde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y ha logrado el apoyo del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA) del Gobierno de Aragón, competente en el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, que se ha comprometido a declarar “compatibles” las actuaciones que se realicen en los distintos cauces afectados (Vanesa Acín Naverac et al., 2012, pp.122).

8.4. Aplicación de medidas de mitigación: preventivas, estructurales y funcionales

En primer lugar hay que indicar que la Directiva Europea de Inundaciones de 2007 declara que hay que respetar las zonas inundables de los ríos, no introduciendo en ellas edificaciones ni actuaciones. También señala que la solución frente a las inundaciones no consiste en aumentar la regulación ni en construir defensas, sino en una ordenación del territorio adecuada y restrictiva que trate de reducir progresivamente los bienes expuestos (Vanesa Acín Naverac et al., 2012, pp.120). Esta es la línea que debería seguirse tanto en la cuenca del río Ésera como en aquellas zonas afectadas por crecidas e inundaciones.

Estas crecidas e inundaciones no son desastres naturales sino de sus consecuencias, las cuales dependen de la ordenación del territorial de las ciudades, municipios y localidades, los cuales en multitud de ocasiones están distribuidos en zonas vulnerables o de riesgo de crecidas e inundaciones, es por esto por lo que para que esto no ocurra se deben aplicar una serie medidas que ayuden a hacer frente a esta deficiente gestión territorial, fundamentalmente basada en cuestiones económicas, sin tener en cuenta las afecciones sociales, ambientales o económica, sin basarse en una gestión coherente, responsable y respetuosa con el sistema fluvial del río Ésera.

Una vez dicho esto hay que mencionar algunas de las medidas de mitigación más deficientes aplicadas en la cuenca del río Ésera, que van desde escolleras, defensas laterales o canalizaciones hasta la construcción de motas, limpiezas o dragados. Generando una falsa sensación de seguridad frente a la exposición, un deterioro muy grave en la zona afectada, aumentando en ciertas ocasiones las afecciones de la propia crecida y la cantidad de material transportado en la crecida, e incrementando la erosión, dando lugar a mayores afecciones en los conos de deyección de los ríos y barrancos a fluentes que por su gran pendiente acumulan gran cantidad de acarreos: Remáscaro, Ramastué, Liri, y Gabás (Plan Hidrológico del río Ésera, 2007).

De este modo empezando por el municipio de Benasque, se pueden apreciar ciertas actuaciones, tales como muros o defensas laterales a las afueras del núcleo de población, y aguas abajo del barranco Remáscaro, vados en las cercanías de la localidad de Benasque y los Llanos del Hospital de Benasque, puntuales puentes, la canalización en el centro del núcleo de población, ciertos dragados, además de construcciones en zonas vulnerables de inundación (Camping Aneto y Camping Ixeia) que modifican la calidad ecológica del río Ésera. En segundo lugar, respecto a la localidad de Eriste hay que indicar la escollera de aproximadamente 900 metros y canalización entre la localidad de Eriste y el municipio de Sahún. Por otro lado en el municipio de Sesué se aprecian ciertos puentes, y una canalización y un camping (La Borda d´Arnaldet) en las cercanías del río Ésera, localizado en zona inundable. En tercer lugar hay que indicar la escollera de 700 metros en municipio de Villanova y de 2 kilómetros de Castejón de Sos, dándose en este último municipio defensas laterales y un camping (Camping Alto Ésera) localizado en zona inundable en las proximidades del río Ésera. Ya en el municipio de Seira es donde se aprecian ciertos puentes y una canalización en el núcleo de población, seguido del Congosto de Ventamillo hasta el municipio de Campo, en el cual se observa una canalización en la localidad.

En cuanto al tramo desde el Puente carretera N-260 a Aínsa hasta la Estación de Aforo nº13 en Graus, podemos apreciar ciertos puentes en el núcleo de población de Santaliestra y San Quílez, además de en la localidad de Perarrúa, el cual presenta también una serie de escolleras con defensas laterales. Por otro lado, en el municipio de Las Ventas de Santa Lucía encontramos un parque en zona vulnerable de inundación muy cercano al cauce del río Ésera.

Por último, ya en el tramo desde la Estación de aforo nº13 en Graus hasta la desembocadura del río Ésera, aparecen puntuales puentes a las afueras del núcleo de población de Graus e instalaciones deportivas y recreativas, además de un camping (Camping Fuente de Regrustán) localizadas en zona inundable, por su cercanía al río Ésera. Por otro lado, se observa una canalización en el centro urbano de Graus, muros de contención, escolleras y puntuales puentes y dragados tanto en el centro como a las afueras del núcleo de población. Por último, mencionar el canal de Aragón y Cataluña en las cercanías a la desembocadura del río Ésera.

Todas estas medidas de mitigación suponen una alteración del estado ecológico del río Ésera como ya se ha mencionado anteriormente en la aplicación del índice hidrogeomorfológico de la zona de estudio, que van desde vados y dragados que modifican notablemente su funcionamiento de los procesos longitudinales del cauce y la calidad funcional del río Ésera, hasta puentes que modifican en cierta medida la calidad funcional del sistema, procesos longitudinales en la calidad del cauce y la calidad de las riberas. Por otro lado, se observan ciertas escolleras, muros de contención, motas y defensas laterales que modifican la calidad funcional del sistema, modificando las márgenes del cauce fijando el cauce y suponiendo un retranqueo de márgenes, dificultando la movilidad lateral y sinuosidad, y reduciendo los procesos de erosión, además de interrumpir la continuidad de las riberas. En cuanto a las canalizaciones estas generan afecciones en la calidad funcional del sistema, y el trazado fijando el cauce y suponiendo un retranqueo de márgenes afectando a la calidad del cauce. Por último, mencionar las diferentes viviendas, instalaciones deportivas o recreativas, infraestructuras o campings, localizados en zonas vulnerables de inundación, los cuales generan efectos además en la calidad funcional del sistema dando lugar a zonas muy urbanizadas generando una gran impermeabilización en la llanura de inundación y favoreciendo por lo tanto las crecidas e inundaciones, e interrumpiendo la continuidad de las riberas.

De este modo, en el presente documento se han elaborado una serie de medidas mitigación basándose en la idea de no alterar la calidad hidrogeomorfológica del río Ésera. Para llevar a cabo estas medidas se han tenido en cuenta todo el estudio realizado en el presente documento. Estas medidas de mitigación se clasificaran en preventivas, estructurales y funcionales, llevando a cabo una georreferenciación de cada una de estas sobre el terreno (Cartografía 30: Anexos Mapa medidas de mitigación en el río Ésera), aunque en algunos casos debido a su carácter genérico (como es el caso de las medidas preventivas) no se georreferenciaron.

De esta forma, en primer lugar, respecto a medidas de mitigación preventivas, se han elaborado un total de 5 medidas:

P1. Estudios cartográficos de las zonas potencialmente inundables para los diferentes periodos de retorno en toda la cuenca del río Ésera, no solo en el tramo desde el núcleo de población de Benasque hasta la localidad de El Run. Y realización de cálculos de los periodos de retorno de las avenidas registradas con un claro objetivo preventivo, para conocer la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos en el territorio, haciendo hincapié en que son estimaciones.

P2. Generar planes de evacuación, teniendo en cuenta no solo el ámbito global sino haciendo especial importancia en lo local, y aplicar índices de control ecológico (Índice Hidrogeomorfológico).

P3. Realizar las medidas de mitigación o políticas de actuación frente a fenómenos extremos como son las crecidas, basándose en la ordenación del territorio, y no desde el punto de vista económico.

P4. Fomentar campañas de concienciación y educación tanto para los organismos competentes en la ordenación territorial y gestión ambiental del río Ésera, como en aquellos municipios de población con mayor vulnerabilidad frente al riesgo de crecida e inundación, con el fin de no realizar construcciones en estas zonas de mayor afección.

P5. Conservación y mantenimiento del cauce del río Ésera en su estado natural para evitar problemas de avenidas y mejorar su estado ambiental.

En segundo lugar, respecto a las medidas estructurales, se han elaborado un total 5 medidas:

E1. Eliminar o realizar un retranqueo de los elementos defensivos, tales como escolleras, motas, muros de contención y defensas laterales en aquellas zonas más vulnerables, ya que estas suponen una pérdida de la calidad ecológica del río Ésera, y en su mayoría resultan ineficientes frente a crecidas más significativas. Con el objetivo, de devolver espacio al río y reducir tanto la orilla opuesta como aguas abajo, en aquellas zonas no vulnerables, es decir incrementando su llanura de inundación, localizándose los bienes materiales y exposición humana lejos de esta, y por lo tanto reduciendo la capacidad de que se den crecidas e inundaciones.

E2. Eliminar aquellos puentes que supongan una excesiva pérdida de la calidad hidrogeomorfológica del río Ésera, o intentar modificarlos influyendo en la menor medida en esta calidad.

E3. Eliminar o no aplicar medidas de canalización que generen afecciones en la calidad funcional del sistema, y el trazado fijando el cauce y suponiendo un retranqueo de márgenes afectando a la calidad del cauce

E4. Creación de viviendas y construcciones a través de materiales tradicionales, para adaptarse a las características paisajísticas del entorno del río Ésera.

E5. Desurbanización, que consistirá en la devolución de espacio al río, la liberación de áreas urbanas degradadas en ribera y la eliminación de obstáculos nocivos (edificios, escombros) (Ollero, 2015, pp.96).

Por último, respecto a las medidas funcionales, se han elaborado un total 9 medidas:

F1. Evitar las acumulaciones de material en aquellas zonas más próximas al cauce del río Ésera, las cuales pueden incrementar la erosión en caso de crecida.

F2. No realizar dragados que modifican notablemente su funcionamiento de los procesos longitudinales del cauce y la calidad funcional del río Ésera.

F3. No realizar limpiezas de la vegetación de las riberas, la cual resulta fundamental como filtro en episodios de crecida, por su capacidad de retención, absorción y de sujeción del suelo, además de su capacidad de interceptación de las precipitaciones por ser un tipo de vegetación de gran porte, reduciendo considerablemente la cantidad de agua que se moviliza por escorrentía en comparación a otras zonas con suelos desnudos. Un ejemplo son los sotos y los espacios de ribera, los cuales además se encuentras en degradación, pese a su importancia paisajística y singularidad.

F4. Creación de cauces de alivio, devolviendo al río su espacio natural incrementando su llanura de inundación, tiene función de desagüe.

F5. Creación de zonas de inundabilidad controlada en zonas alejadas de los cascos rurales o urbanos.

F6. Reforestación y revegetación mediante especies autóctonas en las zonas del entorno del río Ésera donde la vegetación haya podido verse degradada.

F7. Eliminar las especies invasoras (mejillón cebra en el Embalse de Barasona) que supongan efectos negativos en la calidad del río Ésera, las cuales dificultan la circulación natural del cauce.

F8. Restauración fluvial de la zona, devolviendo al río su espacio natural e intentando modificar lo menos posible la dinámica fluvial del río Ebro (procesos de decrecimiento y sostenibilidad), haciendo frente a las falsas restauraciones fluviales (ni estabilizar, ni ajardinar, ni urbanizar, ni maquillar, ni camuflar, ni simplemente depurar o revegetar), dejando un territorio ancho, continuo y sin obstáculos antrópicos o con los menos posibles, especialmente sin defensas ni estructuras que rompan la conectividad dentro del espacio fluvial (Ollero, 2015, pp.18).

F9. No actuación post-crecida, que dé lugar a que tras una crecida los ríos no reciban una respuesta traumática a modo de actuaciones de corrección, sino que, al contrario, mantengan o recuperen la libertad y se les permita seguir los nuevos caminos y superficies que con la crecida han demostrado que deben tomar (Ollero, 2015, pp.63).

En este estudio se han planteado una serie de medidas de mitigación que pueden tener consecuencias tanto a corto como a largo plazo en el futuro, desde el punto de vista paisajístico, ambiental y socioeconómico. Aunque bien es cierto que estas medidas tienen que hacer frente a la falta de concienciación, en muchos casos de financiación y a la existencia de intereses personales, ya que en multitud de ocasiones estas defensas laterales y escolleras van contrarias a los principios de las directivas europeas del Agua (2000) y de Gestión de los Riesgos de Inundación (2007), incumpliendo también el Real Decreto 903/2010 de Evaluación y Gestión de Riesgos de Inundación (Acín et al., 2012, pp.124).

Por otro lado, como se ha indicado respecto a aquellas construcciones localizadas en zonas más vulnerables de inundación, el Real Decreto 203/2010 recomienda retirar construcciones o instalaciones que supongan grave riesgo, para lo cual su expropiación tendrá la consideración de utilidad pública. El texto refundido de la Ley del Suelo (RDL 2/2008) señala en su artículo 12 que los terrenos con riesgo de inundación deben ser preservados de su transformación urbana y declarados como suelo rural (Acín et al., 2012, pp.124). Y es que muchas actividades humanas consumen agua (caudales), áridos (sedimentos) y espacio (invadiendo el territorio fluvial). Su expansión es creciente en una sociedad cada vez más urbana, que además exige estabilidad (regulaciones, canalizaciones, etc.) tratando de controlar un medio natural tan dinámico como el fluvial. El deterioro de los ecosistemas fluviales es imparable, por lo que la restauración es una tarea necesaria y urgente (Ollero, 2015, pp.19).

De forma, es fundamental intentar cumplir en la medida de lo posible estas medidas, basándose en el desarrollo sostenible y en la capacidad de resiliencia, y para ello no solo se deben llevar a cabo por las administraciones públicas, sino que es fundamental la concienciación de la población para crear buenos hábitos, los cuales no solo favorecerán a la zona de estudio desde el punto de vista paisajístico y ambiental, sino que además generaran un aumento del valor y desarrollo de la zona.

Es por esto por lo que está en nuestras manos que estas propuestas y objetivos adoptados puedan conseguirse tanto en el presente como en el futuro, ya que dependerá en buena medida del compromiso de la población. Se debería aprender a coexistir con los cambios que se dan en la naturaleza, por lo que es fundamental adaptarnos a ella y llevar a cabo estas medidas que favorezcan su desarrollo de forma natural.

Estas medidas van a generar una mayor conservación de la biodiversidad, ecosistemas y zonas de interés, además de una mejora de los espacios degradados y de la calidad de los recursos naturales, evitando también efectos negativos producidos por los impactos negativos de las crecidas e inundaciones presentes en la zona. A su vez pueden suponer un aumento de la puesta en valor y difusión de toda una serie de actividades de ocio y ambientales, las cuales generaran una mayor riqueza en la zona y por lo tanto un mayor desarrollo, mejorando la restauración fluvial, e integrando además las infraestructuras y viviendas del municipio rural en el paisaje de la zona de estudio (Cartografía 1: Anexos Mapa de localización de la zona de estudio).

De este modo, en general a pesar de que ciertas de las medidas planteadas pueden generar cierto debate entre aquellos agentes con intereses personales, estas supondrán un gran beneficio tanto ambiental como ya se ha mencionado anteriormente, como socioeconómico por las menores afecciones de las crecidas e inundaciones.

9. Conclusiones

El río Ésera como se ha podido ver a lo largo de este trabajo, es un río que ocupa una gran extensión (1.093,87 km^2) y longitud (106 km), el cual presenta unos grandes caudales, ello implica que nos encontramos ante un río de gran importancia. De hecho, es claramente el río más importante de la cuenca del río Ésera, el cual juega un papel fundamental en la dinámica fluvial de sus afluentes, compuestos por ríos y barrancos, tanto por su aporte de caudal como de sedimentos. Pero este río no solo tiene una gran importancia por el papel que juega dentro de la cuenca del río Ésera, a la que se debe su nombre, sino que también se ha convertido en una zona de especial interés para la población de la zona por su valor ambiental y por su gran belleza debido a sus litologías predominantemente carbonatadas, gran variedad e intensidad de procesos geomorfológicos, disposición de las sierras pirenaicas en dirección Este-Oeste y elevadas alturas (desde 2.520 a 339 msnm) e importantes y diversas pendientes (2,06% de media desde 0-14° a >42°) que favorecen los procesos de infiltración y escorrentía, adquiriendo de esta forma un gran valor desde el punto de vista ambiental y social, y resultando fundamental para el desarrollo socioeconómico y turístico de la gran cantidad de municipios y localidades de la zona de estudio, la mayor parte de ellos de escasa entidad, pero con ciertos municipios de mayor importancia.

Dicho esto hay que señalar, que en lo que respecta al comportamiento hidrológico del Rio Ésera al igual que en cualquier otro río, este es un reflejo de los factores del medio en el que se localiza (clima, litología, pendientes, usos del suelo y la antropización) y la influencia de estos queda claramente representada en los datos hidrológicos, especialmente el aspecto climático que determina en buena medida los demás factores. Debido a que se trata de una cuenca localizada en tres dominios climáticos (clima de montaña, clima submediterráneo húmedo, clima mediterráneo continentalizado y clima submediterráneo continental frío), los cuales dan lugar a temperaturas extremas con fuertes contrates entre el invierno y el verano (entre 4-5 °C y 13-14 °C) y elevadas precipitaciones (entre 1.200 mm/año y 600 mm/año), distribuidas de modo irregular en toda la cuenca, generándose los máximos de precipitación en primavera o en verano, siendo fundamentalmente en forma de nieve y lluvia, y principalmente en aquellas zonas más deficitarias en el balance hídrico, dándose una gran diversidad (-700 mm a 900 mm).

De este modo, en el caso de la cuenca del río Ésera nos encontramos ante una cuenca que de forma general podríamos decir que presenta un predominio claro de las rocas sedimentarias y en especial de las litologías carbonatas, que favorecen los procesos de infiltración y percolación, con la existencia además de ciertas rocas arcillo-arenosas las cuales atenúan esta capacidad de infiltración. En cuanto a los usos del suelo y vegetación nos encontramos ante un claro predominio bosques de coníferas, bosque de frondosas y landas y matorrales mesófilos, el predominio de estos usos de suelo y vegetación es sin duda un reflejo de las condiciones climáticas de la zona, que determinan enormemente el desarrollo de la vegetación de la cuenca del río Ésera.

Una vez analizado las características más principales en el trabajo, se realizó un análisis del régimen hídrico del río Ésera utilizado los datos de aforo que mayor información disponible tenían del río Ésera, el hecho de que no se hayan analizado todas las estaciones de aforo disponibles supone que estas conclusiones tengan cierto margen de error o incertidumbre, aunque siempre se han intentado hacer con el mayor rigor posible e intentado complementarlas con el trabajo de campo que permitiera caracterizar de la forma más adecuada el comportamiento de nuestro río.

De esta forma los datos analizados en el río Ésera (Estación de Aforo de Barasona, Estación de Aforo de Graus, Estación de Aforo de Campo y Estación de Aforo de Eriste) indican una serie de características en su comportamiento hidrológico, en función del ámbito climático, y altitudinal, que influye en los elementos principales del régimen hídrico del río Ésera (caudalosidad, variación estacional de caudal, irregularidad interanual y los fenómenos extremos (crecidas y estiajes)).

Estas condiciones climáticas y altitudinales explican que nos encontremos con un río con unos caudales elevados por las elevadas precipitaciones (gran disponibilidad de caudal medio anual, que sin embargo se ha visto reducido desde la década de los 80, debido a la construcción de los embalses y presas en los diferentes puntos de estudio de la cuenca del río Ésera, los cuales retienen y gestionan el uso de agua de la zona de estudio, ya sea para el uso privado o público), con una importante variabilidad estacional por la irregularidad de las precipitaciones, con un régimen complejo cambiante al atravesar zonas climáticas diferentes y modificaciones antrópicas que influyen en su régimen nivo-pluvial que va modificándose a pluvio-nival conforme descendemos en altura y nos acercamos a la desembocadura, con unas máximas de caudal coincidiendo con los máximos pluviométricos, con una marcada influencia nival, registrándose el periodo principal de aguas altas en primavera debido a la fusión de la retención nival invernal y las precipitaciones (fundamentalmente líquidas) entre finales de la primavera y principios de verano, y un secundario es otoñal en los meses de Octubre o Noviembre ligado a precipitaciones fundamentalmente líquidas. Por otro lado, se aprecian dos mínimos principales muy acentuados, uno durante finales del verano, y un mínimo secundario en invierno, ambos influidos por la fusión nival y una irregularidad interanual generalmente baja con valores de caudal prácticamente homogéneos entre años y que se sitúan de forma puntual en torno al módulo, indicando que nos encontramos ante un río claramente de alta montaña.

En cuanto a los estiajes hay que indicar que normalmente son de duración tan corta dándose en los meses de verano e invierno por su influencia mediterránea y continental, ya que están directamente relacionados con las características climáticas de nuestra cuenca, reflejo además sus composiciones litológicas detríticas, y de la baja irregularidad interanual, lo cual indica que nos encontramos ante un río claramente de montaña, bastante regular en cuanto a sus aportaciones de caudal, debido a su gran cantidad de precipitaciones anualmente.

De esta forma, se trata de un río el cual por sus características de elevada disponibilidad de caudal por las elevadas precipitaciones y gran variación estacional de caudal, además de sus grandes altitudes, marcadas pendientes y condiciones litológicas, que favorece los episodios de crecidas (generalmente de escasa duración pero de gran intensidad), por su facilidad de escorrentía superficial a pesar de las litologías carbonatadas y la gran cantidad de vegetación existente favoreciendo la interceptación y escorrentía superficial, generando un predominio de las crecidas en los meses de primavera y verano siendo especialmente importantes los meses de Mayo y Junio por el deshielo y las características lluvias torrenciales en estos meses.

Siendo predominantes estas crecidas en las zonas del río Ésera más cercanas a la desembocadura, quizás por la mayor cantidad de caudal debido a que es en esta desembocadura donde se observan las crecidas de mayor caudal, por el aumento de la capacidad de retención de agua, la cual hace que no lleguen a desbordarse ocupando a llanura de inundación, hecho que sí ocurre con mayor frecuencia en las zonas más cercanas al nacimiento del río Ésera, por su menor capacidad de retención. Y con una tipología de crecidas de tipo complejo, por la gran cantidad de picos de crecida, generando un gran número de altibajos, predominando como es lógico las crecidas que triplican el módulo, seguidas de las que lo multiplican por cinco, y dándose en situaciones ocasionales crecidas que multiplican por 10 el módulo, y prácticamente excepcional las que lo multiplican por 25.

Además, hay que indicar que la mayor parte de las crecidas del río Ésera se dieron en el año 1962 o 1963 (los datos varían quizás por su antigüedad) generando unos caudales instantáneos máximos de 995 y 370 m^3/s, año en el cual se dieron intensas precipitaciones en un periodo corto de tiempo, dando lugar a grandes afecciones especialmente en el municipio de Benasque. Pero son las crecidas de 2012 (media de 44,7 l/m2 para las 136 estaciones comprendidas en el Pirineo) y 2013 (Benasque con caudales de hasta 284 m^3/ y Eriste con caudales de 185,09 m^3/s), las crecidas más actuales y significativas en el municipio de Benasque y la localidad de Eriste, es por esto que se han analizado sus afecciones en el presente documento.

Para ello se han elaborado ajustes de Gumbel en las estaciones de aforo analizadas, estableciendo un periodo de retorno de 1969,44 años, es decir un 0,05 % de probabilidad de que un evento similar se produzca en cualquier año para el evento de crecida de 1962-1963 en el municipio de Graus, y de 80,27 años, es decir un 1,24 % de probabilidad de que un evento similar se produzca en cualquier año para la crecida del día 18 de Junio de 2013.

De este modo, para hacer frente a estas crecidas y posteriores posibles situaciones de inundación, este río ha sido hasta el momento un río con grandes modificaciones, las cuales difieren en función del tramo o masa de agua. Estas modificaciones se deben principalmente a la construcción de embalses, lo cual ha supuesto una importante antropización del río Ésera, y en la dinámica fluvial, reduciendo en ciertas zonas la aportación de sedimentos. Y también, la gran cantidad de medidas inadecuadas para hacer frente a las crecidas dadas en el río Ésera, mediante la construcción de escolleras, motas, defensas laterales, canalizaciones o modificaciones de la dinámica fluvial mediante acciones de dragados, entre otras, que no favorecen el estado ecológico del río.

Es por esto, que en el presente documento se ha aplicado el Índice Hidrogeomorfológico en las nueve masas de agua del río Ésera establecidas por la Confederación Hidrográfica del Ebro, comparando y analizando los resultados con su aplicación en 2010 por la Confederación Hidrográfica del Ebro. De esta forma, el río Ésera presenta en general un estado ecológico o calidad hidrogeomorfológica buena (bueno o muy bueno en casi el 60% de su longitud), pero que sin embargo hay ciertas masas de agua que deberían mejorar su calidad hidrogeomorfológica como es el caso de las masas de agua del embalse de Paso Nuevo al Barranco de Barbaruéns con un estado ecológico

moderado seguido de la masa de agua del Barranco de Barbaruéns al puente carretera N-260 a Aínsa con un estado ecológico moderado, y quedando como la masa de agua que pero calidad presenta, con un estado ecológico deficiente, queda representada la masa de agua de la Estación de Aforo nº13 en Graus al embalse de Barasona.

Una vez dicho esto, se ha realizado un análisis del municipio de Benasque y la localidad de Eriste respecto a su exposición a las crecidas, para mostrar las diferentes afecciones y peligros de esta zona a crecidas como la de junio de 2013. De este modo, se extraen las siguientes conclusiones, en primer lugar conforme el periodo de retorno es mayor, aumentan tanto las afecciones a las actividades económicas, como los caudales máximos y el número de habitantes en zona inundables, reduciéndose cada vez más la densidad de población, quizás por el creciente éxodo rural en las últimas décadas, dando lugar a una reducción de la cantidad de personas expuestas a estos riesgos de crecidas e inundaciones. Además, estas crecidas supondrían grandes afecciones a áreas de importancia ambiental esencialmente en los Lugares de importancia Comunitaria (LIC) del municipio de Benasque. De este modo, es este municipio de Benasque uno de los municipios que mayores afecciones tendría en todos sus ámbitos en la cuenca del río Ésera, y por lo tanto uno de los que mayores precauciones y medidas de mitigación y precaución debería tener frente a estas crecidas, sin embargo estas medidas no siempre nos las más adecuadas y eficientes.

Pero no solo el municipio de Benasque y la localidad de Eriste presentan importantes zonas vulnerables a las crecidas, sino que las principales zonas con mayores afecciones por avenidas se sitúan en el tramo del río Ésera comprendido entre la desembocadura del río Estós hasta el municipio de Graus sin incluir el embalse de Barasona, con un riesgo de inundación importante, dejando como municipios y localidades más expuestos: Benasque, Eriste, Sahún, Sesué, Castejón de Sos, Perarrúa y Graus. En los que las mayores afecciones socioeconómicas suelen localizarse en aquellas zonas más próximas al cauce del río Ésera, suponiendo una gran peligrosidad y vulnerabilidad, fundamentalmente de las infraestructuras, viviendas, campings e instalaciones deportivas y de ocio, construidas en estas zonas de riesgo de inundación importante, las cuales modifican además el estado ecológico del río Ésera.

Pese a estos efectos socioeconómicos de las crecidas, hay que mencionar que las crecidas suponen una magnífica inyección de naturalidad y autorecuperación el río Ésera, movilizando sedimentos y renovando poblaciones de seres vivos, frenando a especies invasoras y creando nuevos hábitats que han permitido rejuvenecer y mantener el desarrollo vegetal en el cauce del río Ésera, dificultado por los embalses reguladores de la cuenca. Sin embargo, la Confederación Hidrográfica del Ebro ha optado por realizar trabajos de emergencia de ejecución inmediata, sin estudio previo y sin planificar.

Es por esto que se han aplicado una serie de medidas de mitigación con el objetivo de mejorar el estado ecológico del río Ésera, frente a las actuaciones realizadas como consecuencia de las crecidas e inundaciones en la zona de estudio. Respetando las zonas inundables de los ríos, no introduciendo en ellas edificaciones ni actuaciones reduciendo progresivamente los bienes expuestos, y además eliminando las escolleras, defensas laterales, canalizaciones, motas, limpiezas o dragados, es decir, aplicando la ordenación del territorio coherente y respetuosa desde el punto de vista del desarrollo sostenible y la capacidad de resiliencia (capacidad de los seres vivos para sobreponerse a los problemas o situaciones adversas), dejando a un lado los intereses particulares o económicos, concienciando tanto a administraciones públicas como a la población para crear buenos hábitos, los cuales no solo favorecerán a la zona de estudio desde el punto de vista paisajístico y ambiental, sino que además generaran un aumento del valor y desarrollo de la zona, ya que en multitud de ocasiones estas medidas ineficientes terminan aumentando las afecciones de la propia crecida e inundación.

*Agradecimientos

Ante todo, a mi director del trabajo de fin de grado, Daniel Ballarín Ferrer, por aceptar dirigirme, por apoyarme, animarme y re-conducirme. Y a los familiares, amigos y profesores que me han ayudado, apoyado y escuchado, además de acompañarme en las observaciones de campo.

10. Bibliografía

Artículos y monografías

Acín, V., Ballarín, D., Brufao, P., Domenech, S., Espejo, F., González, J.C., Granado, D., Ibisate, A., Marcén, C., Mora, D., Nadal, M.E., Ollero, A., Sánchez, M., Saz, y M.A., Serrano, R. (2012). "Sobre las precipitaciones de octubre de 2012 en el Pirineo Aragonés, su respuesta hidrológica y la gestión de riesgos". *Geographicalia*, (61), pp. 101 - 128.

Alcázar, J., y Ferrán, I. 1998, "La vegetación de ribera de los ríos Ésera y Cinca en el tramo afectado por el vaciado del embalse de Joaquín Costa". *LiinnEtica,* (14), pp. 73 - 82.

Cadiñanos, J.A., González, M.J., Meaza, G., Ollero, A., y Ormaetxea, O. (2001). "Medios dinámicos en la cabecera del río Ésera (Pirineo Central)". *Geographicalia*, (52), pp. 137-163.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2010). *Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro*. Zaragoza.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2002). *Estudio de la calidad ecológica integral de los tramos fluviales más importantes del río Cinca*. Atlas del Río Ésera. Volumen II.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2007). *Plan Hidrológico del Río Ésera*. Volumen 1. Zaragoza.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2010). "Subcuenca del Río Ésera". Capítulo 48. Zaragoza.

Doménech, S., Ollero, A., y Sánchez, M. (2008). "Municipios de población en riesgo de inundación fluvial en Aragón: diagnóstico y evaluación para la ordenación del territorio" *Geographicalia*, (54), pp. 17 - 44.

El Río Ésera. [En línea]. Confederación Hidrográfica del Ebro. [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2016]. Disponible en http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=3625&idMenu=2769

Fichas de inundaciones históricas. Base documental de la cuenca del Ebro. Capítulo IV, Anejo II.

Galán, F. (2012). Centrales Hidroeléctricas y Presas del Alto Aragón. Fundación ESTEYCO, pp. 1 - 90.

Gobierno de Aragón (2005). "Redacción y desarrollo del plan medioambiental del Ebro y el tramo bajo del Cinca". Capítulo II. pp. 1-482

Horacio, J., Ballarín, B., y Ollero, A. (2015-2016): "Análisis de Riesgos Naturales". Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio: Universidad de Zaragoza.

Ollero, A., Ballarín, D., y Mora, D. (2006). "Análisis de la calidad hidromorfológica en los ríos de Aragón". Confederación Hidrográfica del Ebro. Barcelona: pp. 1 – 52

Ollero, A., y Ballarín, D., y Mora, D. (Coords.) (2009). *Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro Guía Metodológica*, Zaragoza.

Ollero, A. (2014). Guía metodológica sobre buenas prácticas en gestión de inundaciones: manual para gestores. Fundación Ecología y Desarrollo, Contrato del río Matarraña (Eds.): Proyecto Sud'eau2 del Programa de Cooperación Territorial del Espacio Sudoeste Europeo (SUDOE), pp. 1 - 143.

Ollero, A. (2015). Guía Metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial Manual para gestores. Contrato del río Matarraña (Eds.), pp. 1 - 110.

Serrano, R., Mora, D., Ollero, A., Sánchez, M., y Saz, M.A. (2014). "Respuesta hidrológica al evento de precipitación de junio de 2013 en el Pirineo Central". *Investigaciones Geográficas*, (62), pp. 05 - 21.

Verdú, J.M. (2003): "Análisis y modelización de la respuesta hidrológica y fluvial de una extensa cuenca de montaña mediterránea (río Isábena, Pre-Pirineo)". Departamento de Medio ambiente y Ciencias del Sol: Universidad de Llerida, pp. 1-298

Sitios Web

Anuario de Aforos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2016). Disponible [en línea] http://sig.magrama.es/aforos/ [Consultado: 2016]

Capas temáticas del SITebro. (2016). Disponible [en línea] http://iber.chebro.es/sitebro/sitebro.aspx [Consultado: 2016]

Cartografía y SIG del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2016). Disponible [en línea] http://www.magrama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ [Consultado: 2016]

Descargas del Instituto Geográfico Nacional. (2016). Disponible [en línea] http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/buscadorCatalogo.do [Consultado: 2016]

(2013). "Decenas de desalojos en Huesca por el desbordamiento del río Ésera". *El País*, 18 de junio. Disponible en http://politica.elpais.com/politica/2013/06/18/actualidad/1371552380_857699.html [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2016].

(2013). "El Centro Ibérico de Restauración Fluvial critica las actuaciones de la CHE en el Ésera". *Heraldo* 6 de noviembre, Disponible en http://www.heraldo.es/noticias/aragon/huesca_provincia/2013/11/06/el_centro_iberico_restauracion_fluvial_critica_las_actuaciones_che_esera_255869_1101026.html [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2016].

(2013). "El día que se esquivó la tragedia". *El Periódico de Aragón*, 19 de junio. Disponible en http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/temadia/el-dia-que-se-esquivo-tragedia_862918.html [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2016].

(2013). "El río Ésera se desborda en Benasque y obliga a desalojar a los vecinos". *Heraldo*, 19 de junio. Disponible en http://www.heraldo.es/noticias/aragon/huesca_provincia/2013/06/18/una_decena_personas_aisladas_tras_crecida_del_rio_esera_cerca_llanos_del_del_hospital_238587_1101026.html [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2016].

Geoportal Confederación Hidrológica del Ebro. (2016). Disponible [en línea] http://iber.chebro.es/geoportal/ [Consultado: 2016]

Geoportal de la Infraestructura de Datos Espaciales de España. (2016). Disponible [en línea] http://www.idee.es/web/guest/directorio-de-servicios [Consultado: 2016]

Instituto Geológico y Minero de España. (2016). Disponible [en línea] http://www.igme.es/ [Consultado: 2016]

Instituto Nacional de Estadística. (2016). Disponible [en línea] http://www.ine.es/inebmenu/mnu_padron.htm [Consultado: 2016]

Vázquez, J. (2013). "La recuperación del valle de Benasque tras la crecida del Ésera". *Aragón Radio*, 6 junio. Disponible en http://www.aragonradio.es/podcast/emision/la-recuperacion-del-valle-de-benasque-tras-la-crecida-del-esera?sort=6 [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2016].

(2013). "Las riadas que ha sufrido el Pirineo han sido las mayores en 30 años". *ABC*, 19 de junio. Disponible en http://www.abc.es/local-aragon/20130619/abci-abren-emergencia-carretera-benasque-201306191035.html [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2016].

Ortofotos Plan Nacional de Ortofotrafía Aérea del SITAR. (2016). Disponible [en línea] http://sitar.aragon.es/descargas/hoja324.htm [Consultado: 2016]

(2013). "Río Ésera: Evolución de la riada en Eriste, Valle de Benasque (Huesca)". *Ayuntamiento de Zaragoza*, 19 de junio. Disponible en http://zaragozaciudad.net/jovenesyrios/temas/noticias-caudales-crecidas-y-gestion.php [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2016].

Brufao, P. (2013). "Sorprendentemente las zonas inundables...se inundan". *El Mundo*, 31 de julio. Disponible en http://www.elmundo.es/elmundo/2013/07/25/natura/1374753983.html [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2016].

(2009). "Uno de cada cinco pueblos de Aragón presenta riesgo de inundación". *SINC La ciencia es noticia*, 5 de junio. Disponible en http://www.agenciasinc.es/Noticias/Uno-de-cada-cinco-pueblos-de-Aragon-presenta-riesgo-de-inundacion [Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2016].

11. ANEXOS

Ilustración 1. Municipio de Graus Fuente: Elaboración propia

Ilustración 2. Canalización en el núcleo de población de Graus Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3. Afecciones en la vegetación de ribera en el municipio de Graus Fuente: Elaboración propia

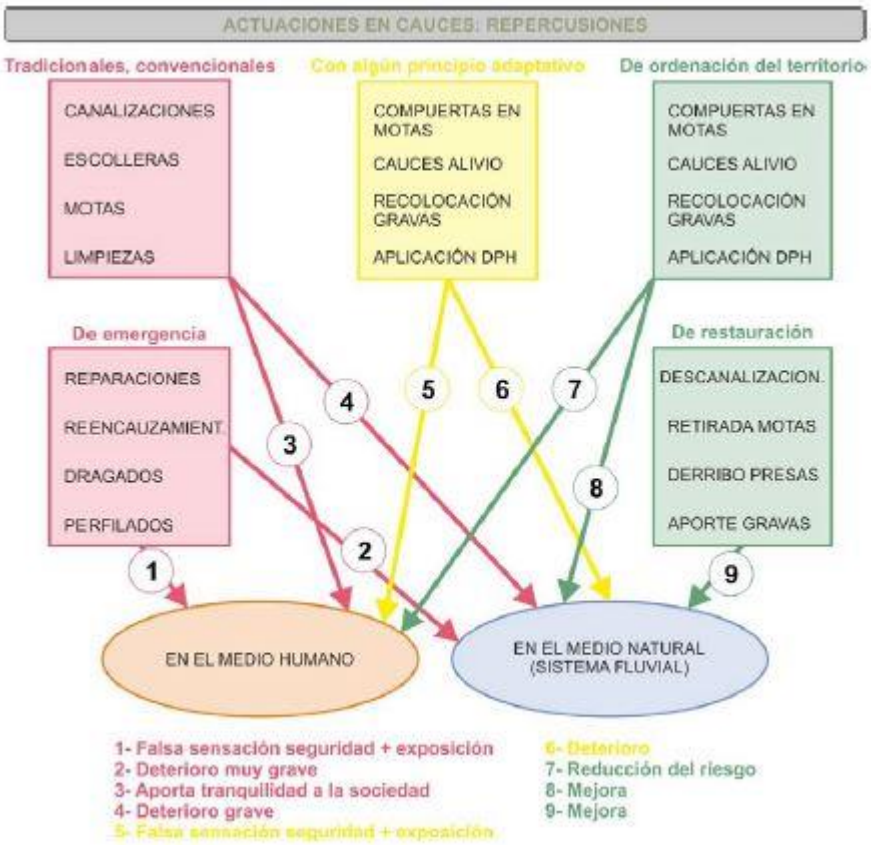


Ilustración 4. Esquema de actuaciones en cauces Fuente: Análisis de riesgos naturales 2015-2016

Ilustración 5. Nacimiento del río Ésera: Macizo de los Montes Malditos
Fuente: Plan Hidrológico del Rio Ésera 2007

Ilustración 6. Desembocadura del río Ésera: confluencia del río Ésera con el río Cinca
Fuente: Plan Hidrológico del Rio Ésera 2007

Ilustración 7. Cascada del río Ésera en el municipio de Benasque Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11. Estación de Aforo 9128 de Barasona Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12. Estación de Aforo 9013 en el municipio de Graus Fuente: Elaboración propia

Ilustración 13. Estación de Aforo 9258 en el municipio de Campo
Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro

Ilustración 14. Estación de Aforo 9145 en la localidad de Eriste
Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro

Ilustración 15. Embalse de Barasona a finales de primavera Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16. Embalse de Barasona en verano Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17. Crecida de 2013 en el municipio de Benasque en el río Ésera
Fuente: http://www.rtve.es/

Ilustración 18. Embalse de Paso Nuevo en el municipio de Benasque
Fuente: http://www.verpueblos.com/

Ilustración 19. Embalse de Linsoles en la localidad de Eriste Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20. Central hidroeléctrica de la localidad de Eriste
Fuente: Centrales Hidroeléctricas y presas del Alto Aragón

Ilustración 21. Central hidroeléctrica en el municipio de Seira Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22. Central hidroeléctrica en el municipio de Sesué
Fuente: Fuente: Centrales Hidroeléctricas y presas del Alto Aragón

Ilustración 23. Central hidroeléctrica en el municipio de Argoné-Campo Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24. Defensas laterales en el municipio de Benasque Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25. Escolleras en el municipio de Castejón de Sos Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26. Canalización en el núcleo de población de Benasque Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27. Camping en zona inundable del municipio de Benasque Fuente: Elaboración propia

Ilustración 28. Camping en zona inundable del municipio de Graus Fuente: Elaboración propia

Ilustración 29. Escombros en el río Ésera a su paso por el municipio de Graus
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 30. Puentes en el municipio de Sesué Fuente: http://www.europapress.es

Ilustración 31. Escombros aguas abajo del municipio de Benasque Fuente: Elaboración propia

Ilustración 32. Puente de los Llanos del Hospital en el municipio de Benasque Fuente: Elaboración propia

Ilustración 33. Vado de los Llanos del Hospital en el municipio de Benasque
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 34. Puente en el municipio de Campo Fuente: Elaboración propia

Ilustración 35. Puente en el municipio de Perarrúa Fuente: Elaboración propia

Ilustración 36. Azud en las Ventas de Santa Lucía en el municipio de Graus Fuente: Elaboración propia

Ilustración 37. Defensas laterales en el municipio de Perarrúa Fuente: Elaboración propia

Ilustración 38. Acumulación de material en el municipio de Santaliestra y San Quílez
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 39. Mejillón cebra en el Embalse de Barasona en el municipio de Graus
Fuente: Elaboración propia

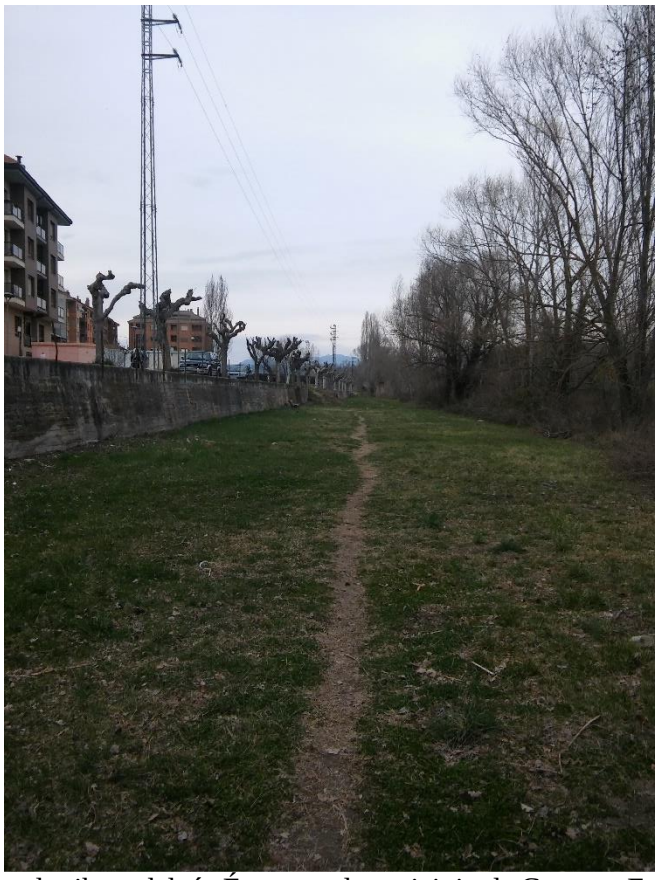


Ilustración 40. Caminos en la ribera del río Ésera en el municipio de Graus Fuente: Elaboración propia

Ilustración 41. Río Ésera en la desembocadura Fuente: Elaboración propia

Ilustración 42. Congosto de Ventamillo Fuente: http://still23.blogspot.com.es/

Ilustración 43. Actuaciones antrópicas en la ribera en el municipio de Castejón de Sos
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 44. Crecida 2013 en el municipio de Benasque
Fuente: Elaboración propia

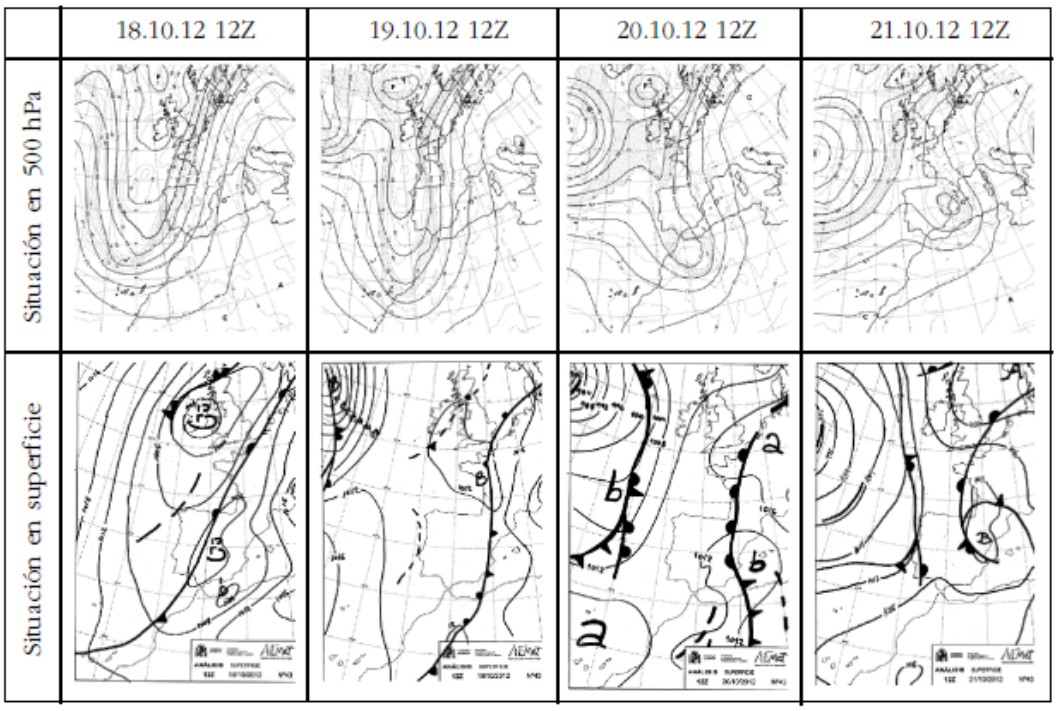


Figura 48: Situación sinóptica en altura (500 hPa) y superficie a lo largo del episodio de crecida de 2012
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

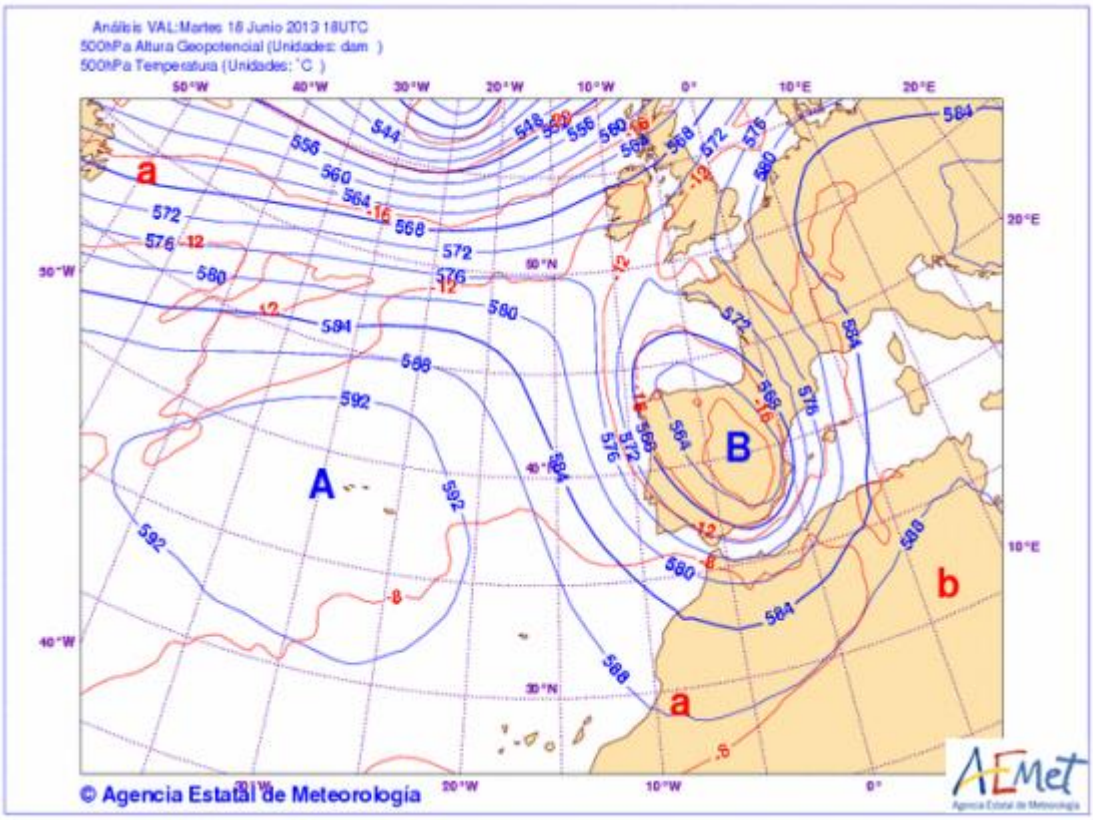
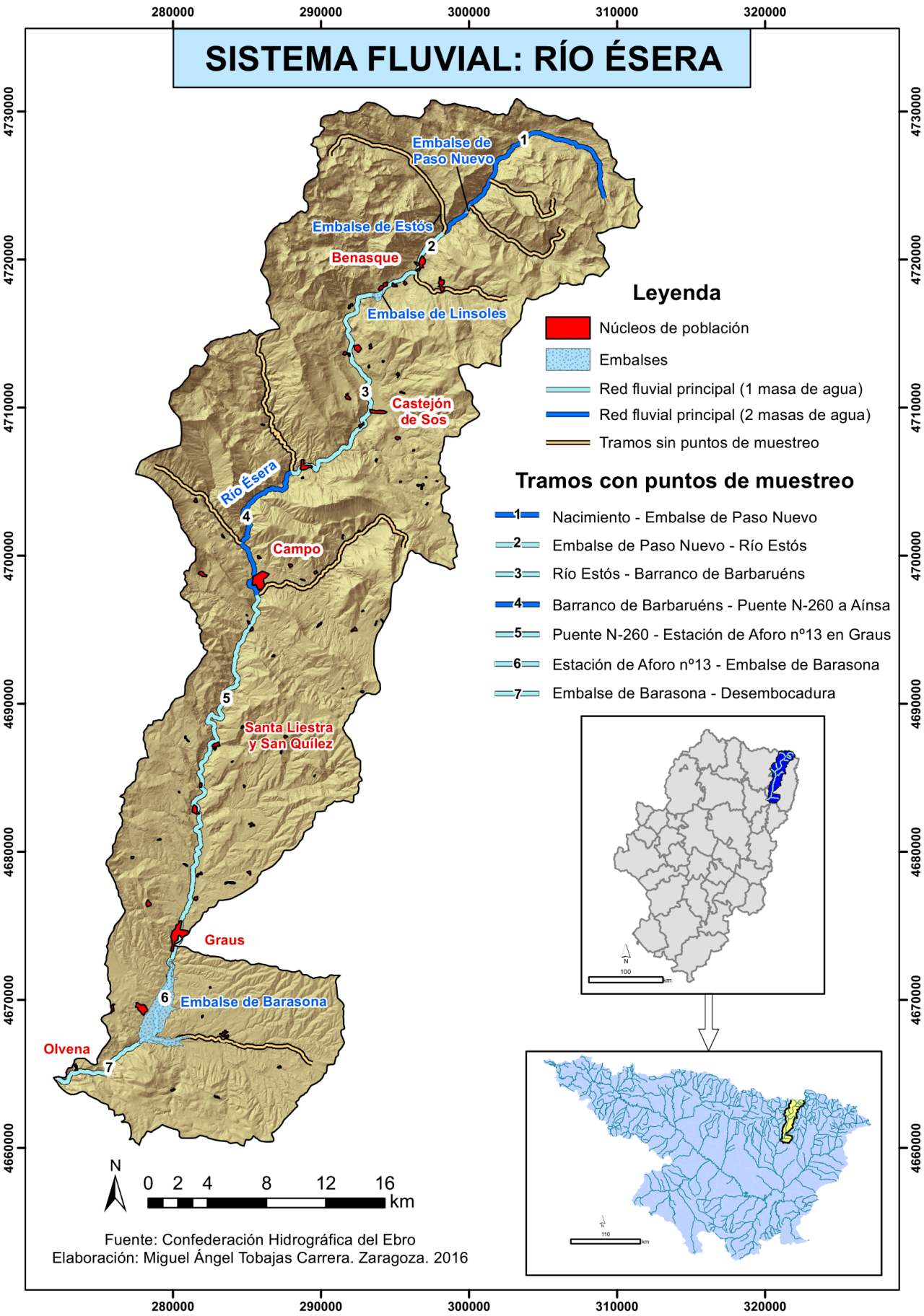
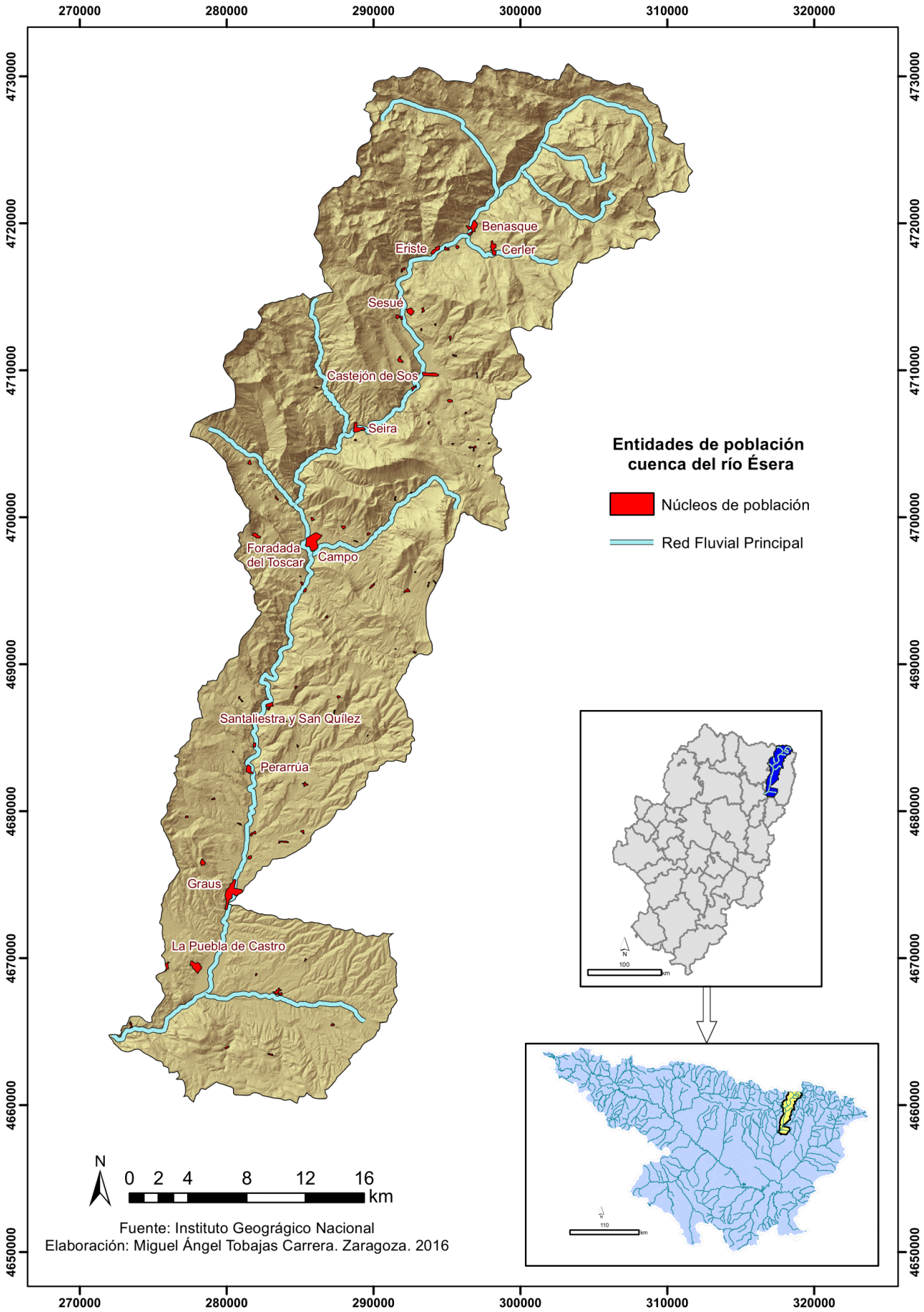


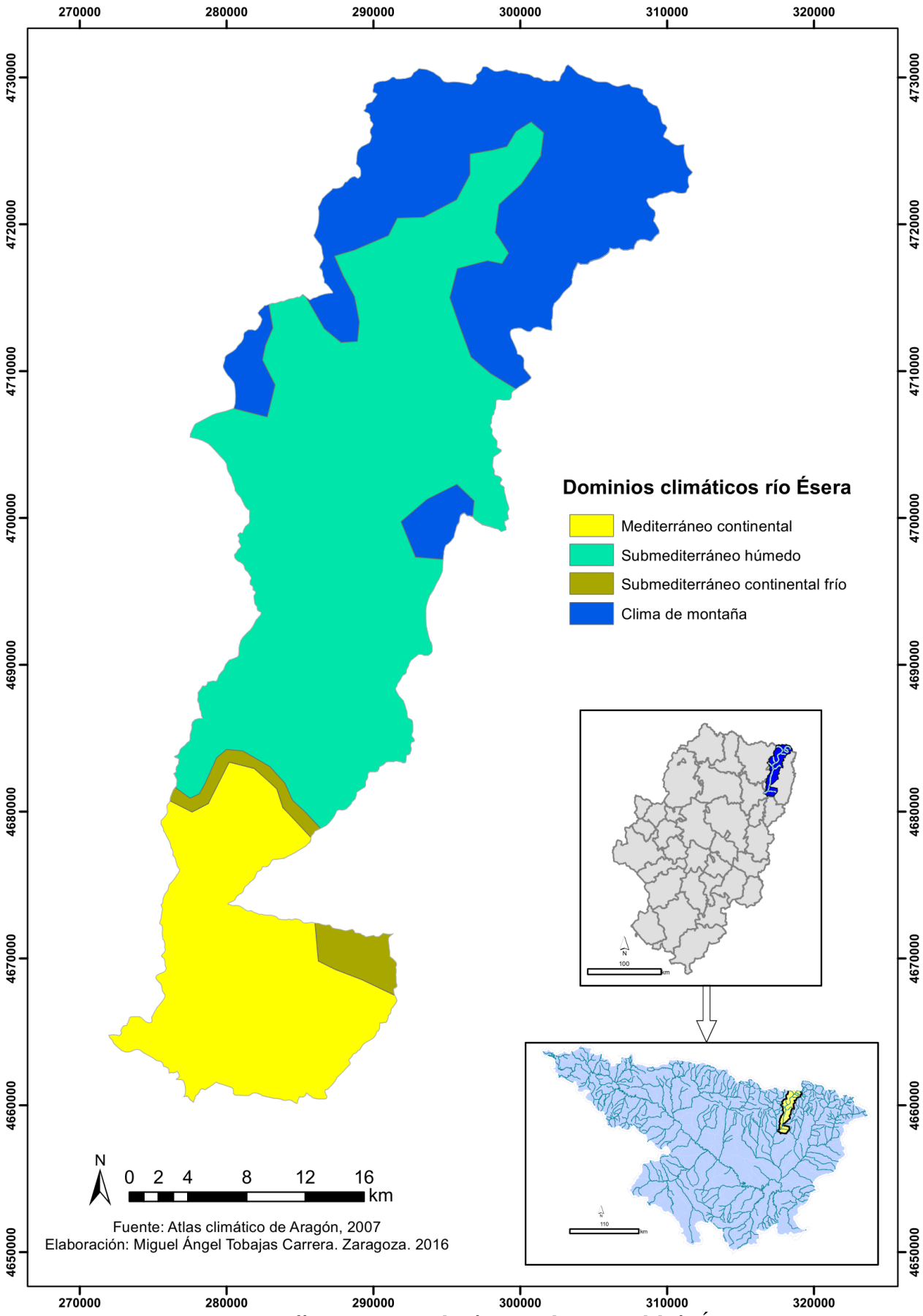
Figura 49: Mapa sinóptico en altura (500hPa) de presión y temperatura del 18 de junio de 2013
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



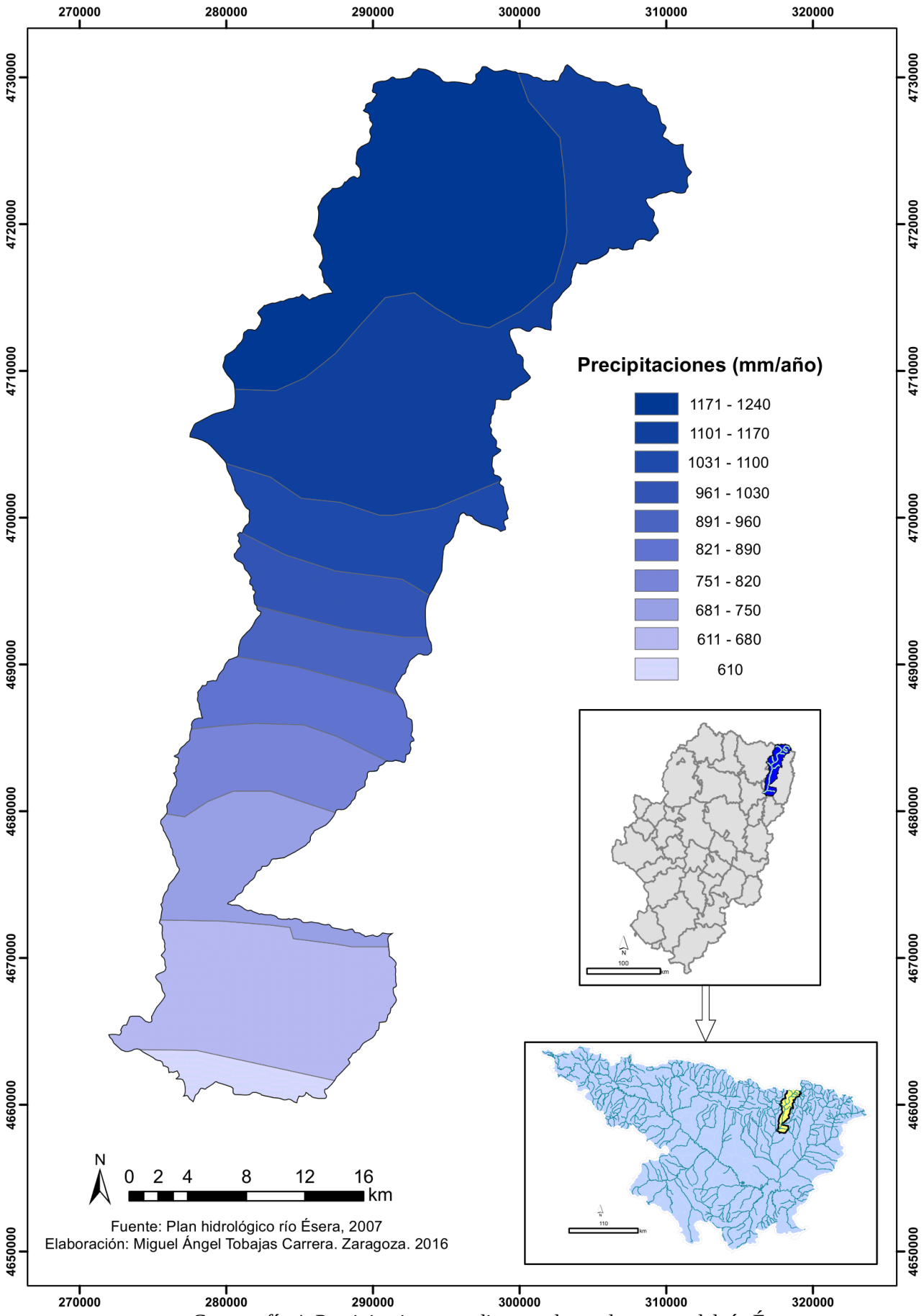
Cartografía 1: Localización de la zona de estudio (cuenca del río Ésera)



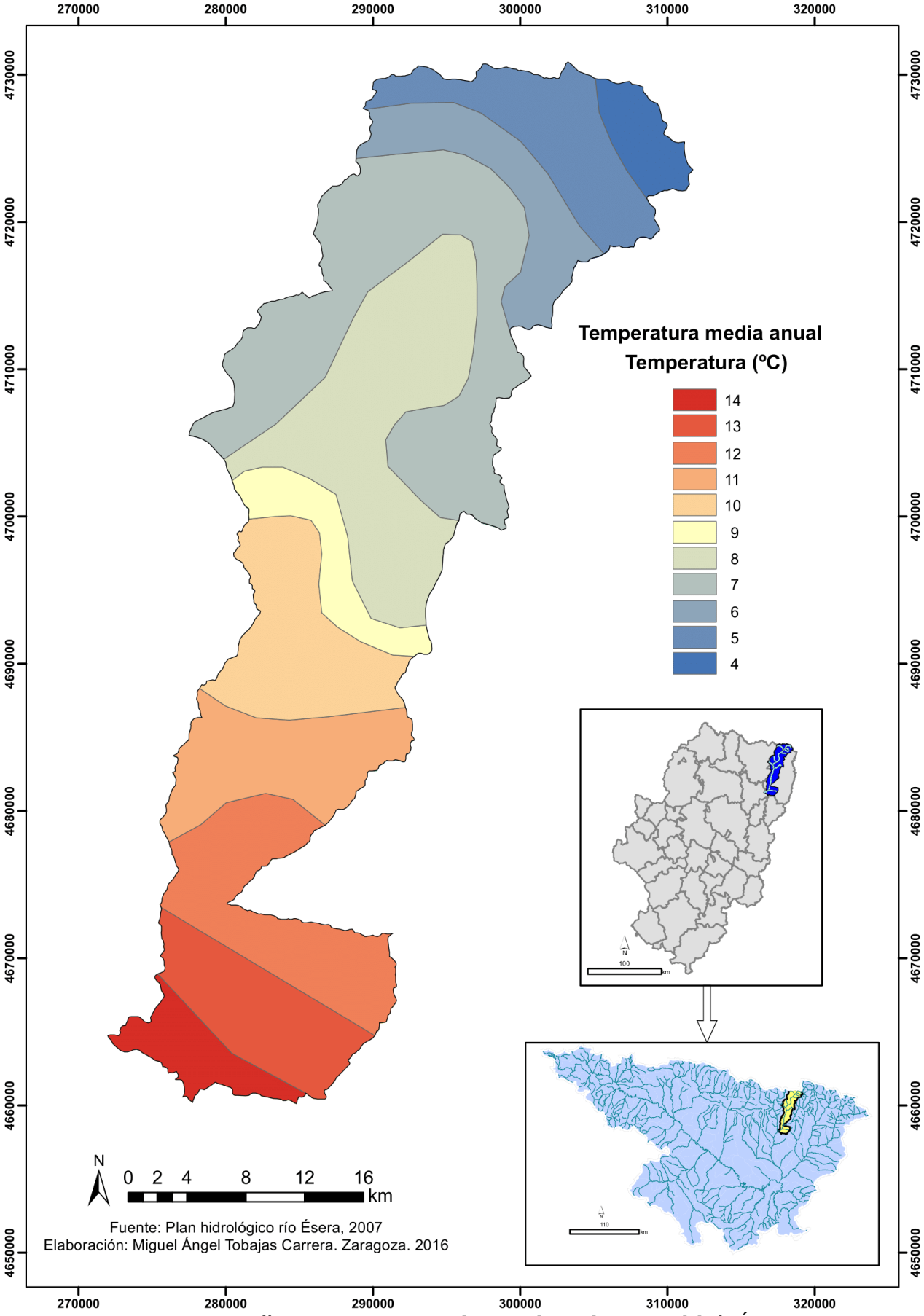
Cartografía 2: Núcleos de población de la cuenca del río Ésera



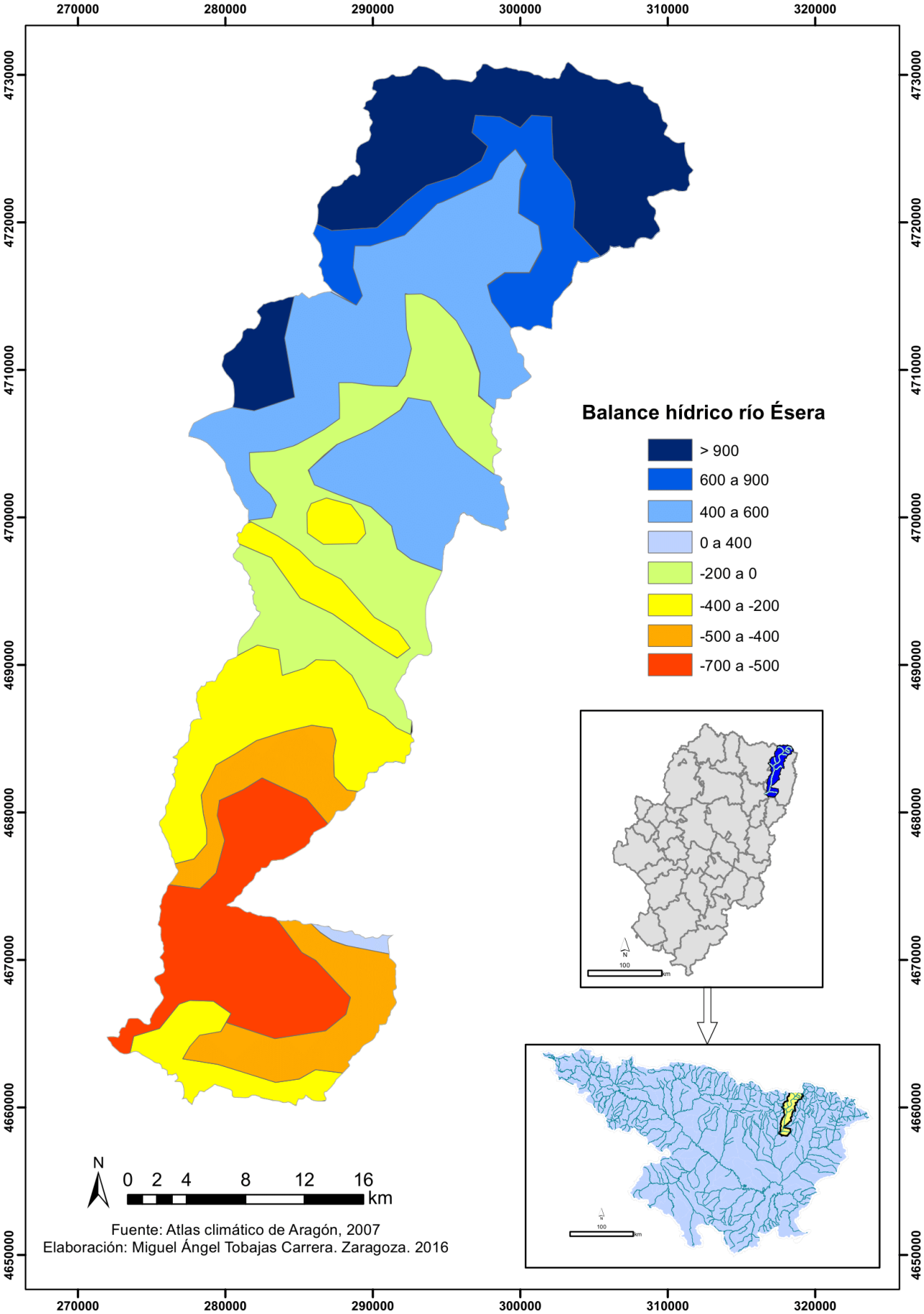
Cartografía 3: Dominios climáticos en la cuenca del río Ésera



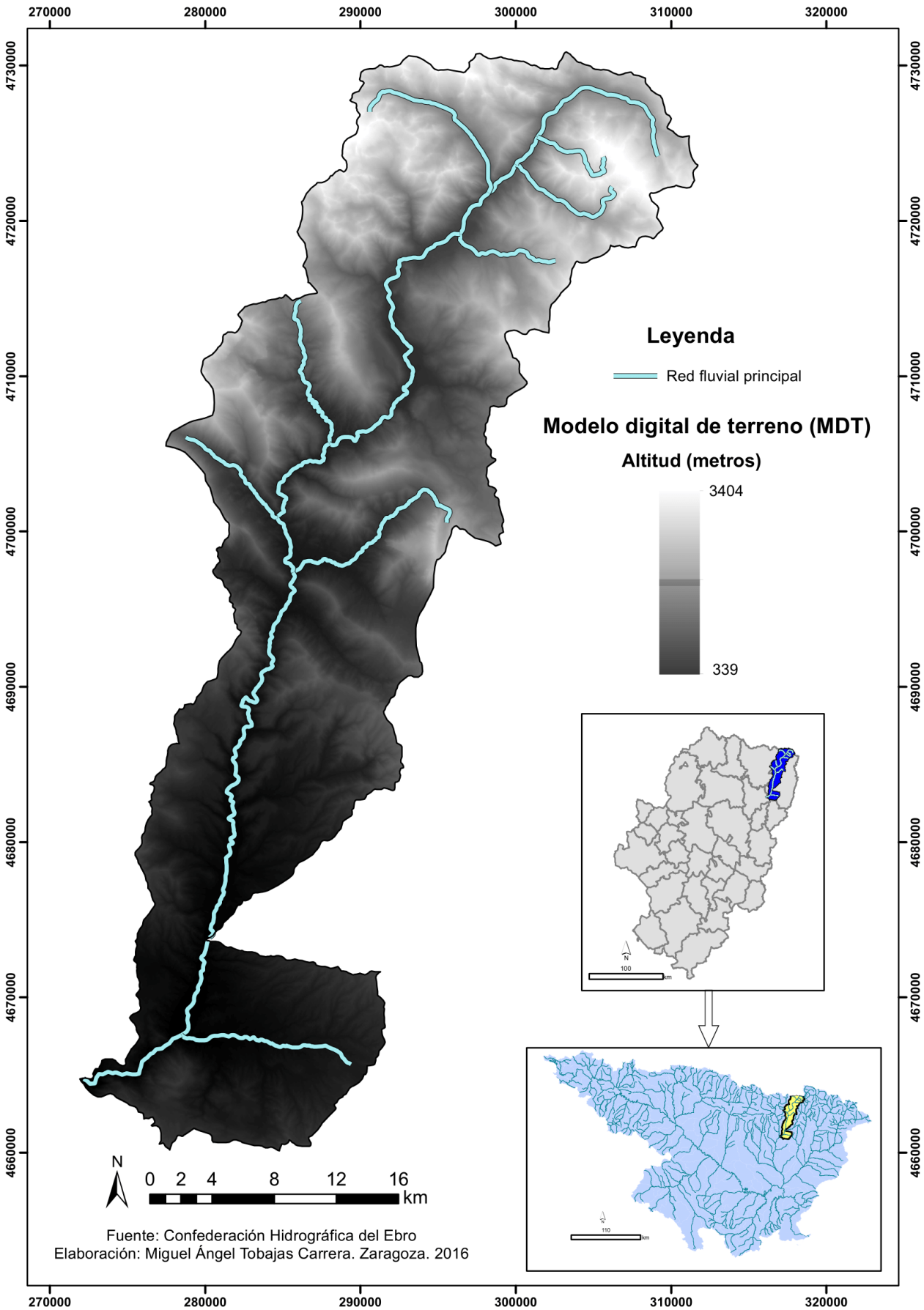
Cartografía 4: Precipitaciones medias anuales en la cuenca del río Ésera



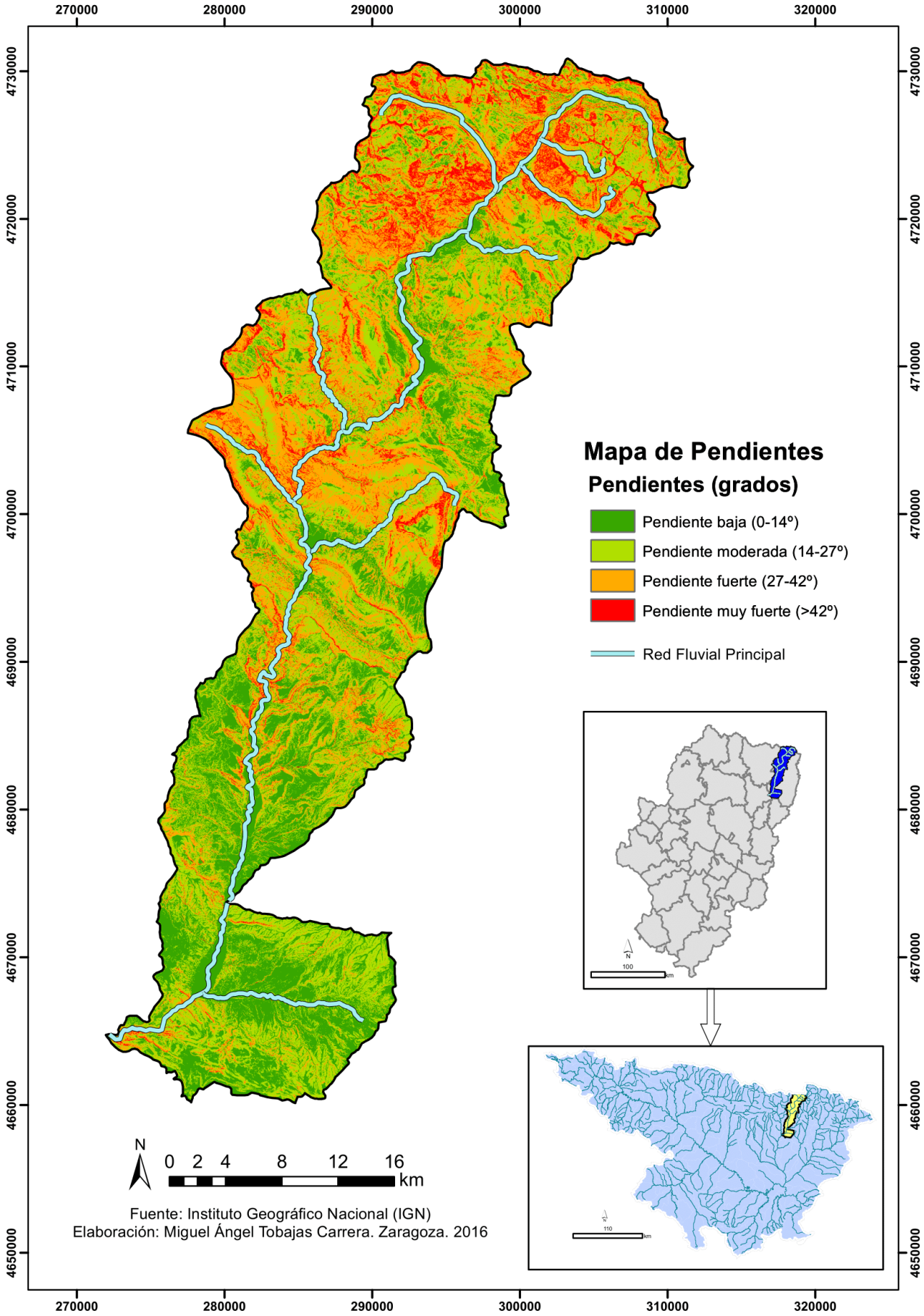
Cartografía 5: Temperaturas medias anuales en la cuenca del río Ésera



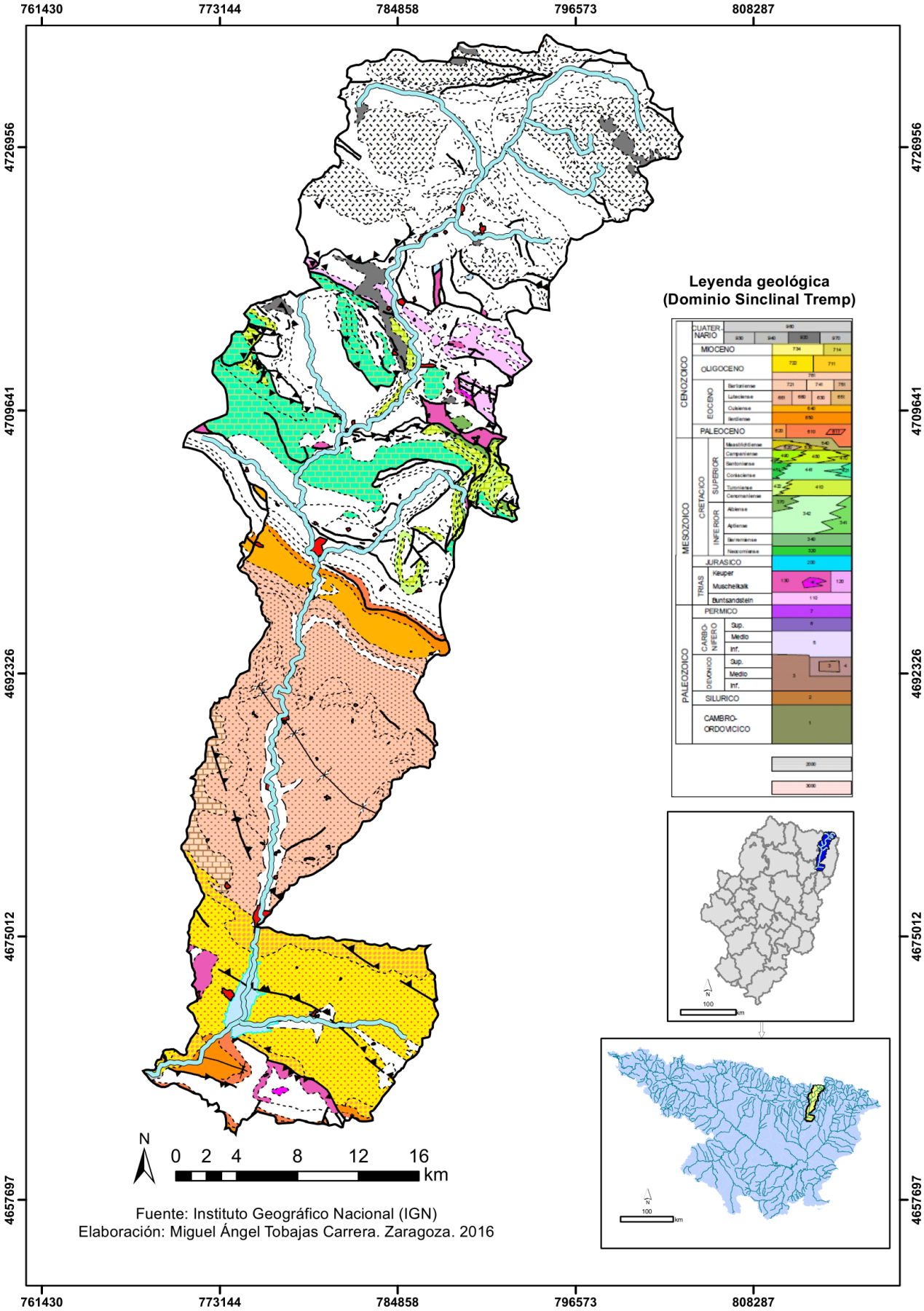
Cartografía 6: Balance hídrico medio anual en la cuenca del río Ésera



Cartografía 7: Topografía en la cuenca del río Ésera



Cartografía 8: % de pendientes en la cuenca del río Ésera

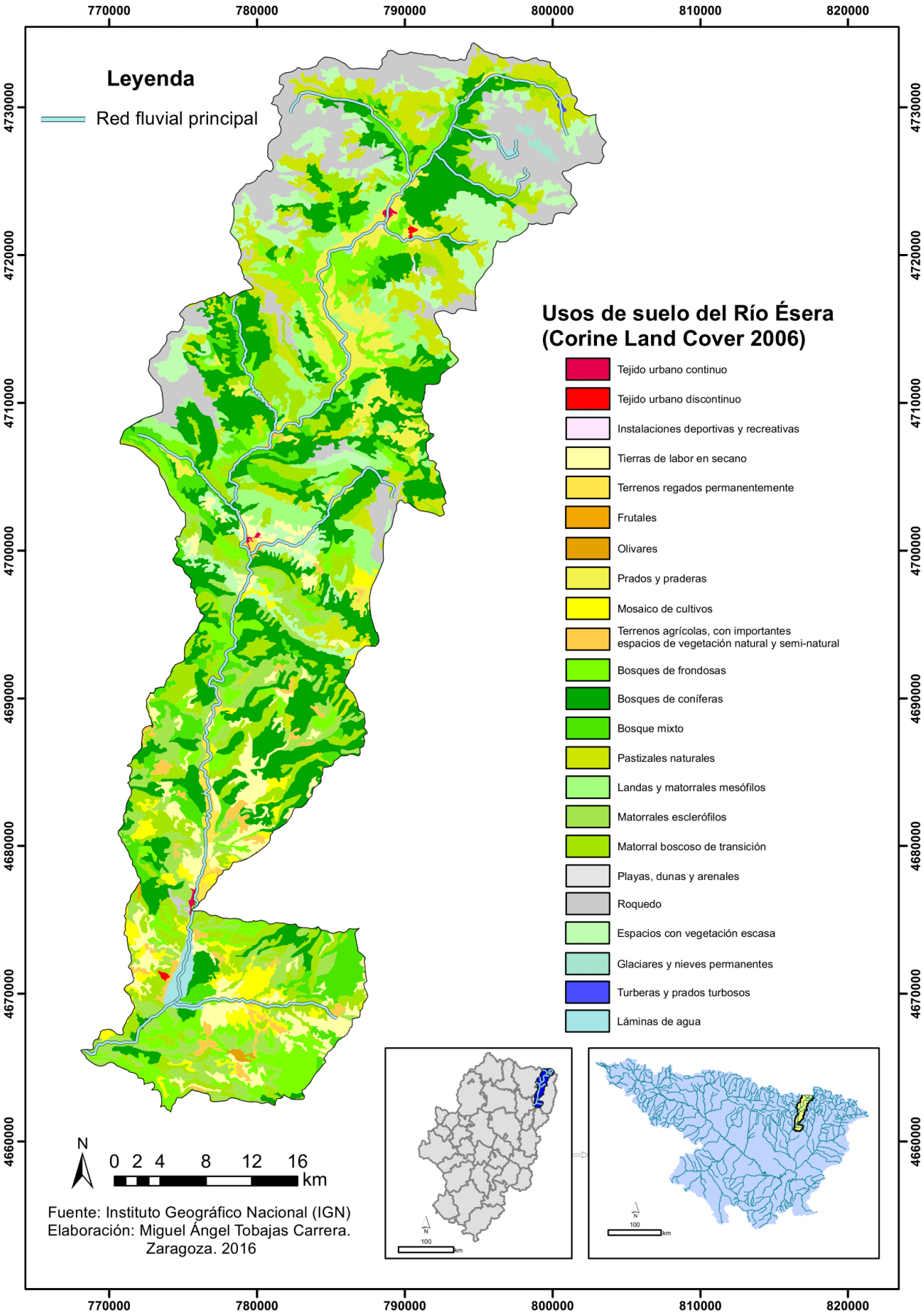


Cartografía 9: Componentes litológicos de la cuenca del río Ésera

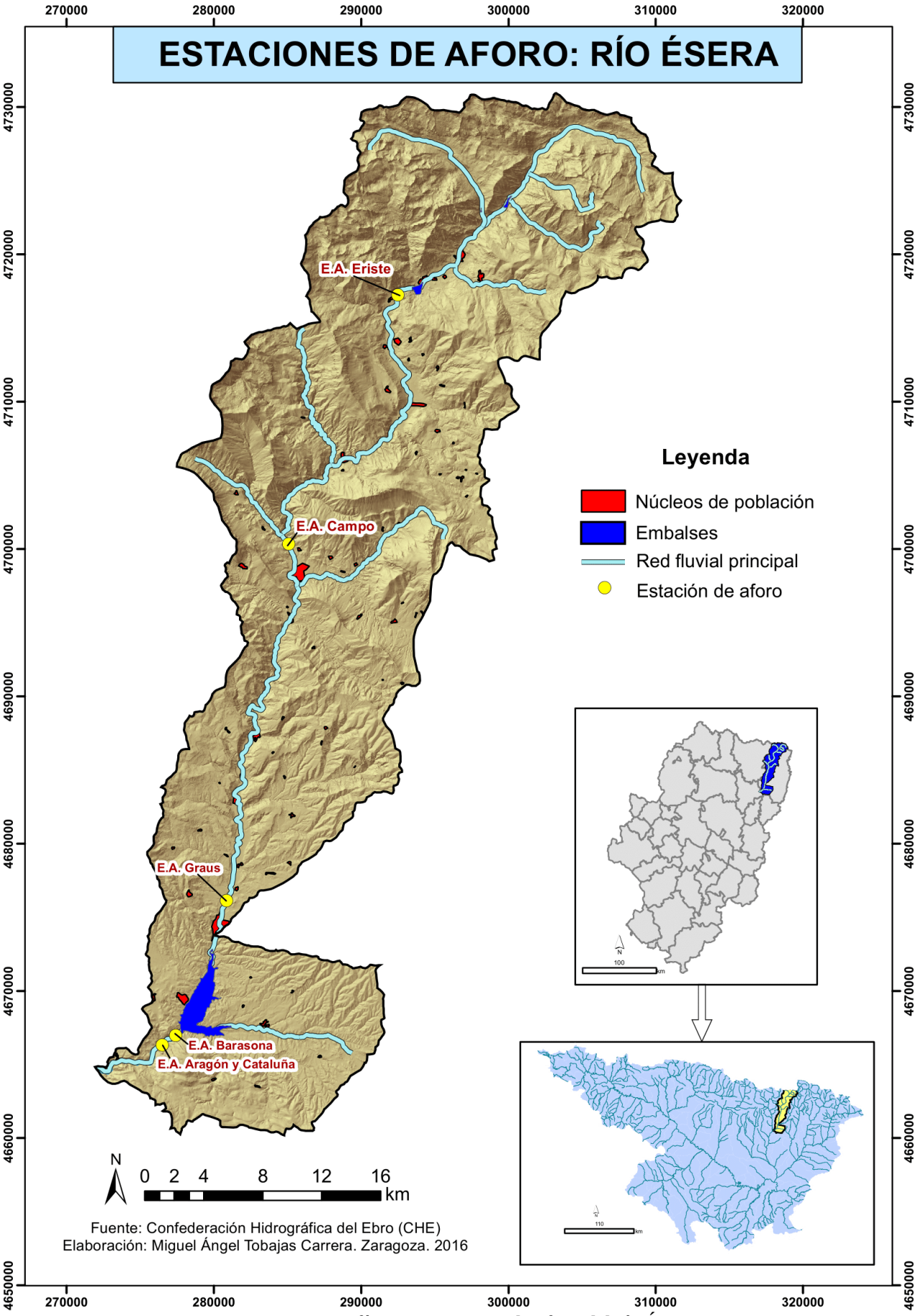
1, Paleozoico (Cambro-Ordovícico), Lutitas; areniscas; grauvacas; conglomerados y calizas marmóreas
2, Paleozoico (Silúrico), Pizarras ampelíticas
3, Paleozoico (Devónico calcáreo), Calizas; dolomías y pizarras
4, Paleozoico (Devónico cuarcítico), Pizarras
5, Paleozoico (Carbonífero) Facies Culm, Liditas. Turbiditas; arenitas; pelitas y conglomerados poligénicos
6, Paleozoico (Carbonífero), Calizas; pelitas; arenitas y conglomerados en la base. Intercalaciones de tobas y lavas
7, Paleozoico (Pérmico), Areniscas; lutitas y conglomerados
110, Facies Bundsandstein, Conglomerados; areniscas y lutitas
120, Facies Muschelkalk, Dolomías
130, Facies Keuper, Arcillas versicolores y yesos
140, Ofitas, Ofitas
200, Jurásico indiferenciado, Dolomías; calizas; margas y calcarenitas
320, Cretácico inferior, Calizas; calcarenitas; lignitos; calizas litográficas y margas. Brecha carbonatada ("Brecha límite" a muro
340, Facies Urgon, Calizas bioclásticas y calizas micríticas con lignitos
341, Cretácico inferior. Aptiense-Albiense, Calizas bioclásticas con Rudistas y Orbitolinas; calizas margosas
342, Cretácico inferior. Aptiense-Albiense, Margas y margocalizas con Ammonites; a techo con lutitas y lignitos
370, Facies Utrillas, Areniscas
410, Cenomaniense-Turoniense, Calizas con Prealveolina y calizas con rudistas
421, Senoniense, Calizas con Lacazina
422, Senoniense, Margas con Glauconita; arcillas y margocalizas. Puntualmente brechas
441, Cretácico superior, Margas y margocalizas
451, Cretácico superior, Arenas
470, Cretácico superior, Calizas bioclásticas
480, Cretácico superior, Margas y areniscas
490, Cretácico superior. Turbiditas, Turbiditas
491, Cretácico superior. Brecha de Campo, Brechas
520, Cretácico superior (Masas olistostrómicas), Masas olistostrómicas
530, Cretácico superior, Margas con intercalaciones de areniscas
540, Cretácico superior, Areniscas
610, Facies Garum (Fm. de Tremp), Conglomerados; areniscas y arcillas
611, Facies Garum, Intercalaciones de calizas lacustres y lignitos
620, Paleoceno marino calcáreo, Calizas y dolomías
630, Flysch, Margas y localmente brechas
640, Eoceno marino, Margas; arcillas y yesos con intercalaciones de calizas
650, Eoceno marino, Calizas con alveolinas
651, Eoceno marino, Calizas con Nummulites; Assilinas y Alveolinas
660, Eoceno marino terminal, Areniscas
661, Eoceno marino terminal, Areniscas con intercalaciones de conglomerados
711, Oligoceno, Conglomerados; areniscas y lutitas
714, Mioceno, Conglomerados; areniscas
721, Oligoceno, Areniscas conglomerados y margas
722, Oligoceno, Areniscas y lutitas
734, Mioceno, Lutitas y areniscas
741, Brechas, Margas con niveles de areniscas. Brechas
751, Oligoceno, Calizas
761, Oligoceno, Yesos
920, Morrenas, Cantos y bloques
930, Terrazas y glacis, Gravas y arenas
940, Conos de deyección; coluviales y depósitos fluvioglaciares, Gravas; arenas; limos y arcillas
960, Aluviales, Gravas; arenas; limos y arcillas
970, Travertinos, Calizas Travertínicas
2000, Rocas intrusivas, Rocas intrusivas
3000, Rocas metamórficas, Rocas metamórficas

Líneas

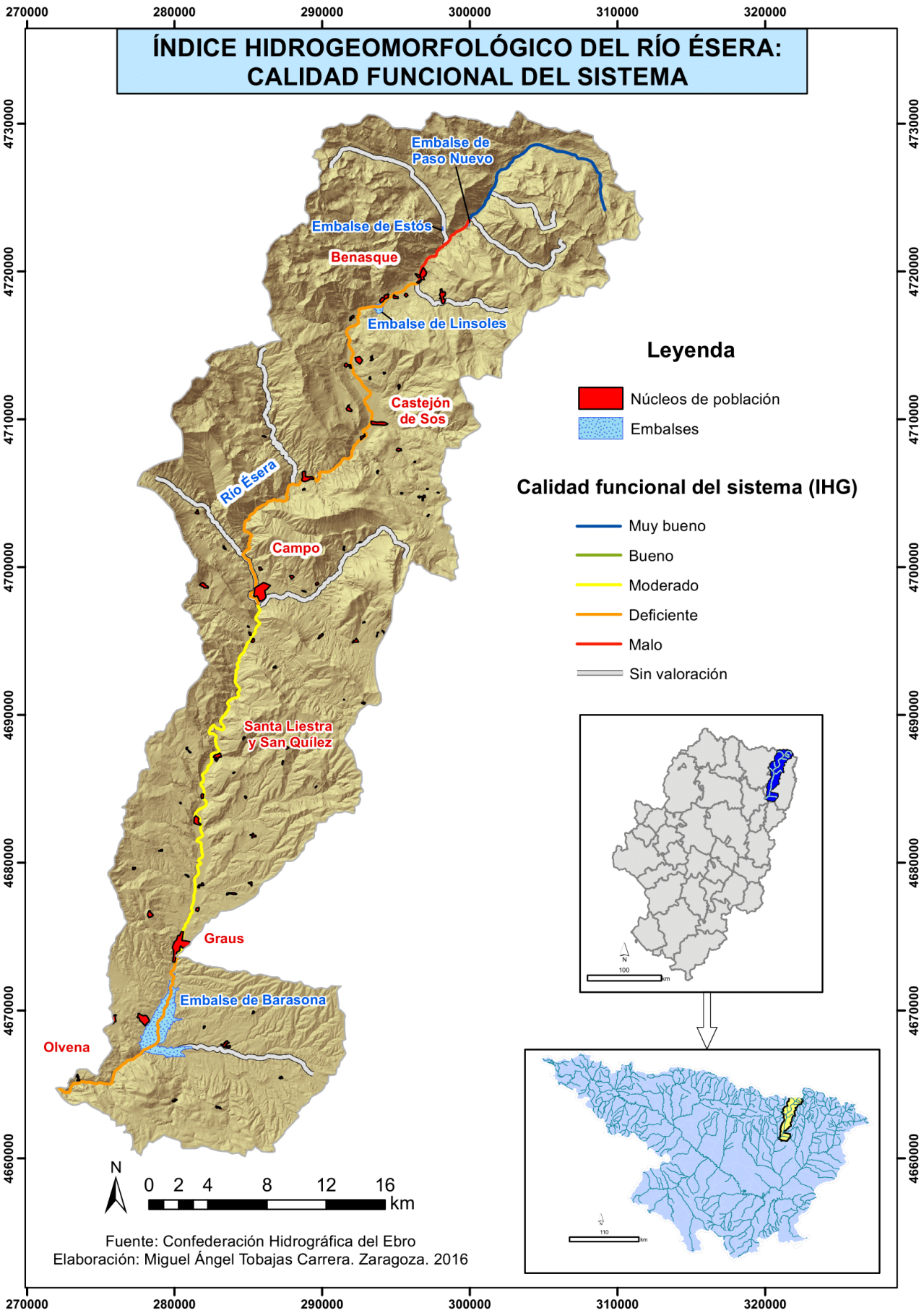
- Contacto normal
- Contacto discordante
- Contacto paraconforme
- Contacto mecánico
- Lineas de capa
- Cambio lateral
- Masas de agua
- Anticlinal
- Sinclinal
- Anticlinal supuesto
- Sinclinal supuesto
- Anticlinal tumbado
- Sinclinal tumbado
- Falla
- Falla supuesta
- Falla con indicación de hundimiento
- Cabalgamiento
- Cabalgamiento supuesto
- Cabalgamiento oculto



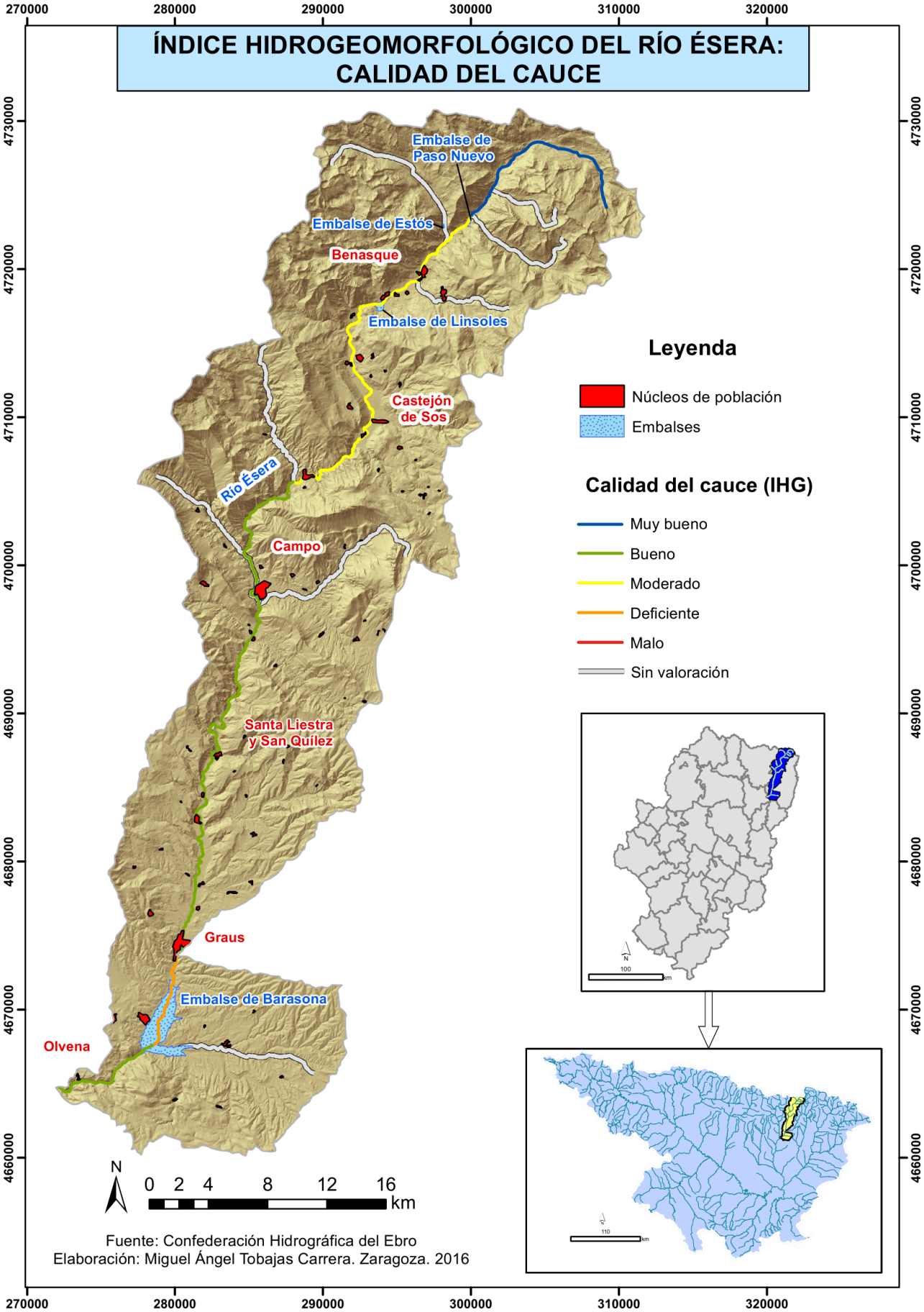
Cartografía 10: Usos del suelo y vegetación en la cuenca del río Ésera



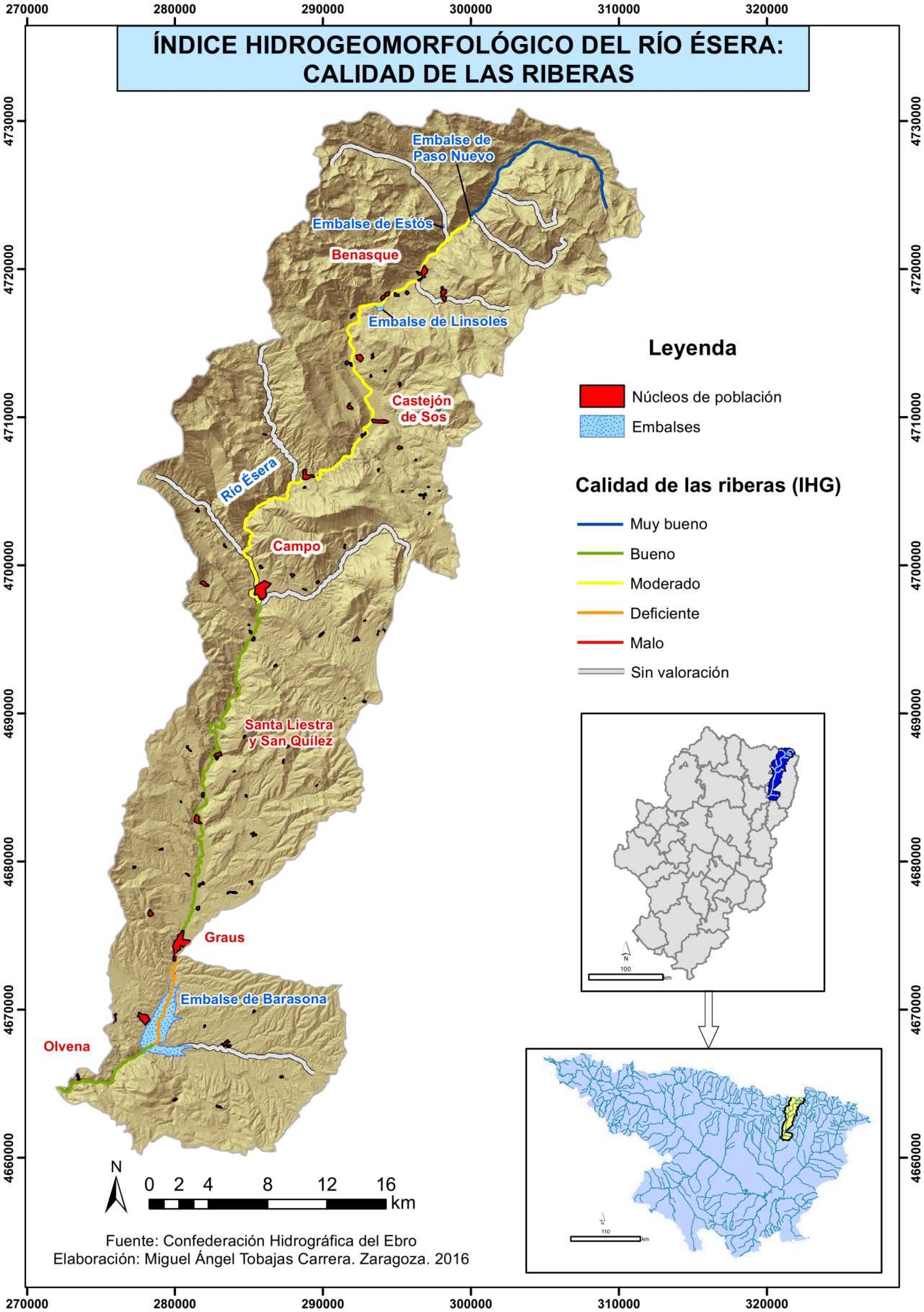
Cartografía 11: Estaciones de aforo del río Ésera



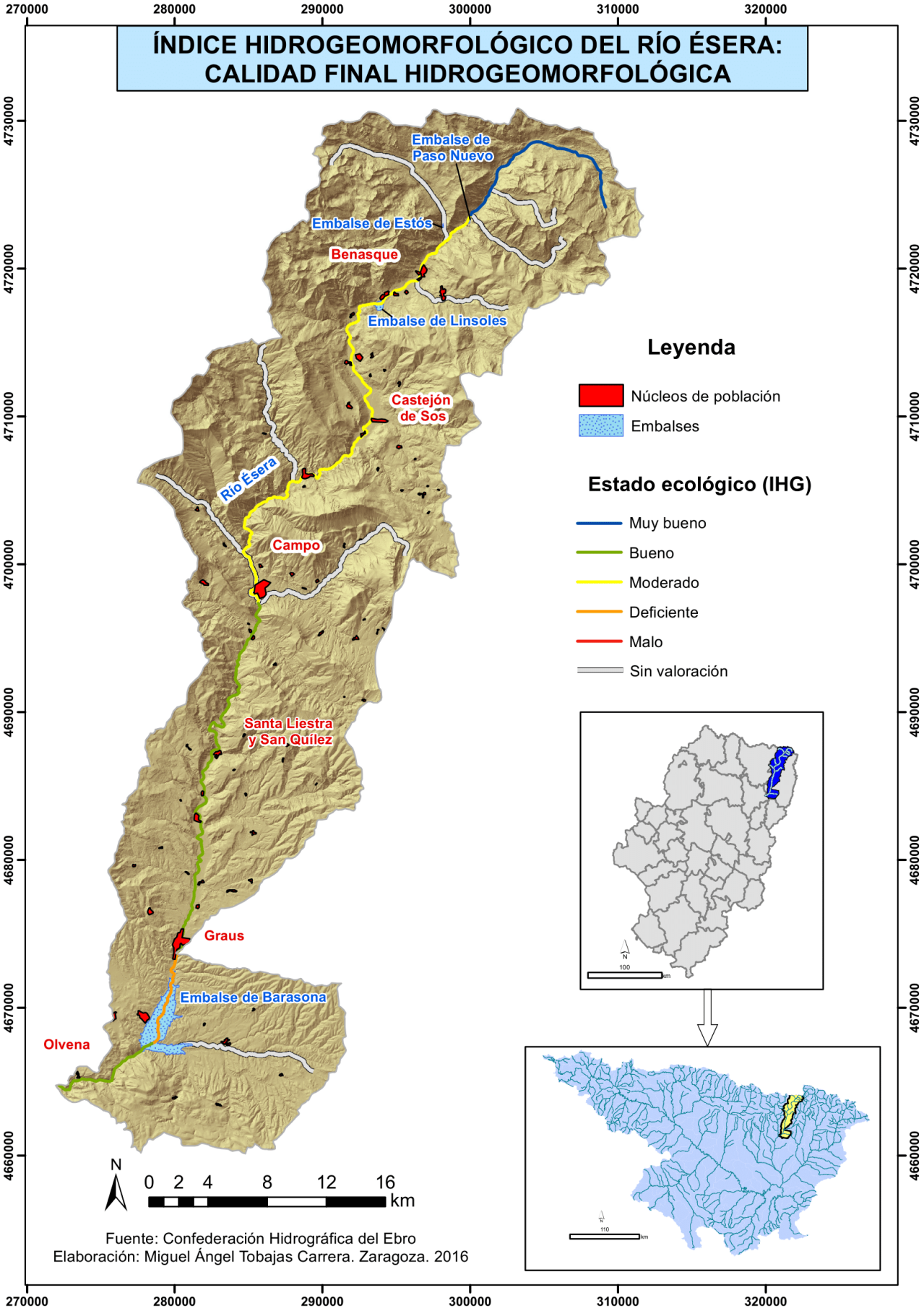
Cartografía 12: Calidad funcional del sistema en el río Ésera



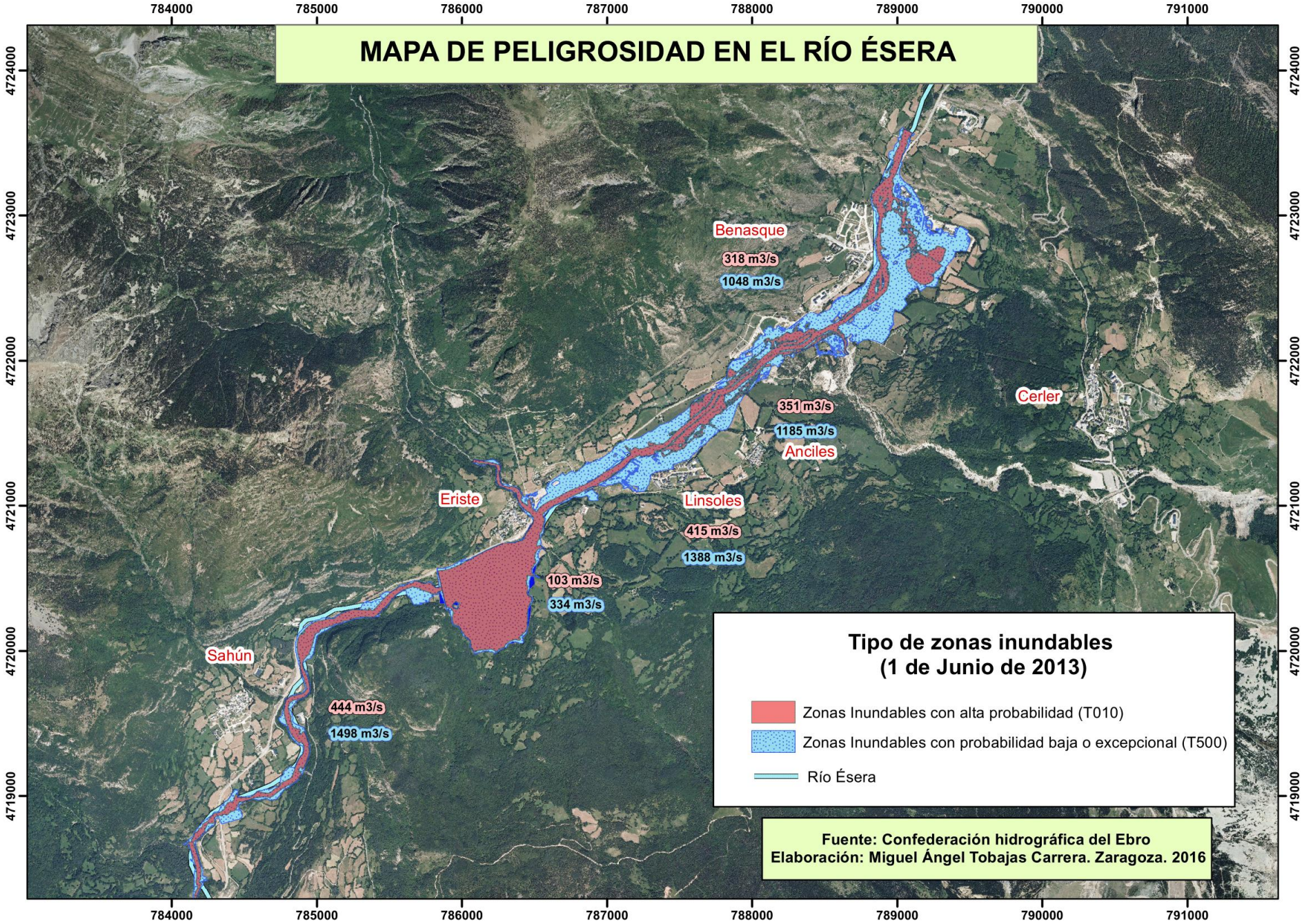
Cartografía 13: Calidad del cauce en el río Ésera



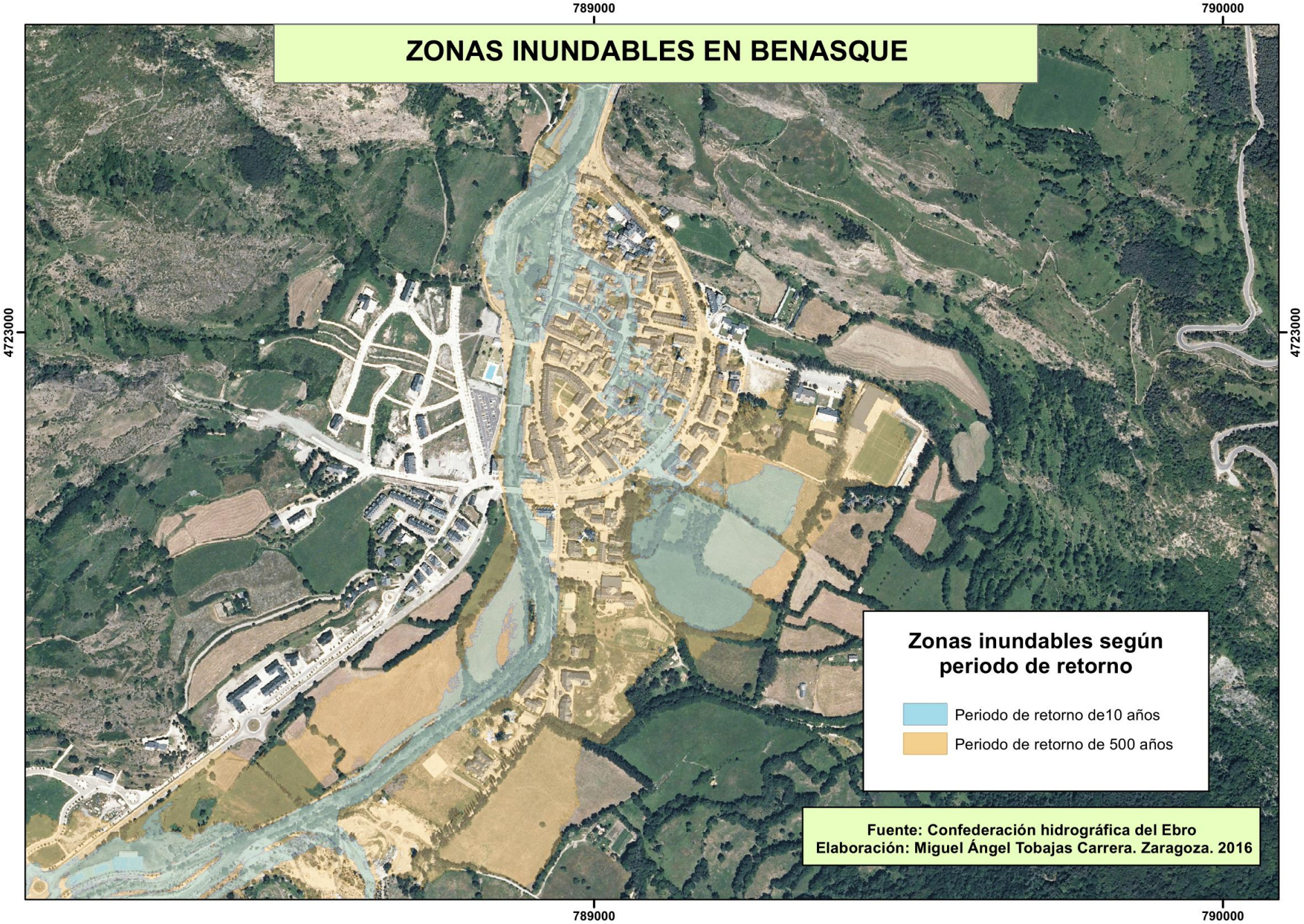
Cartografía 14: Calidad de las riberas en el río Ésera



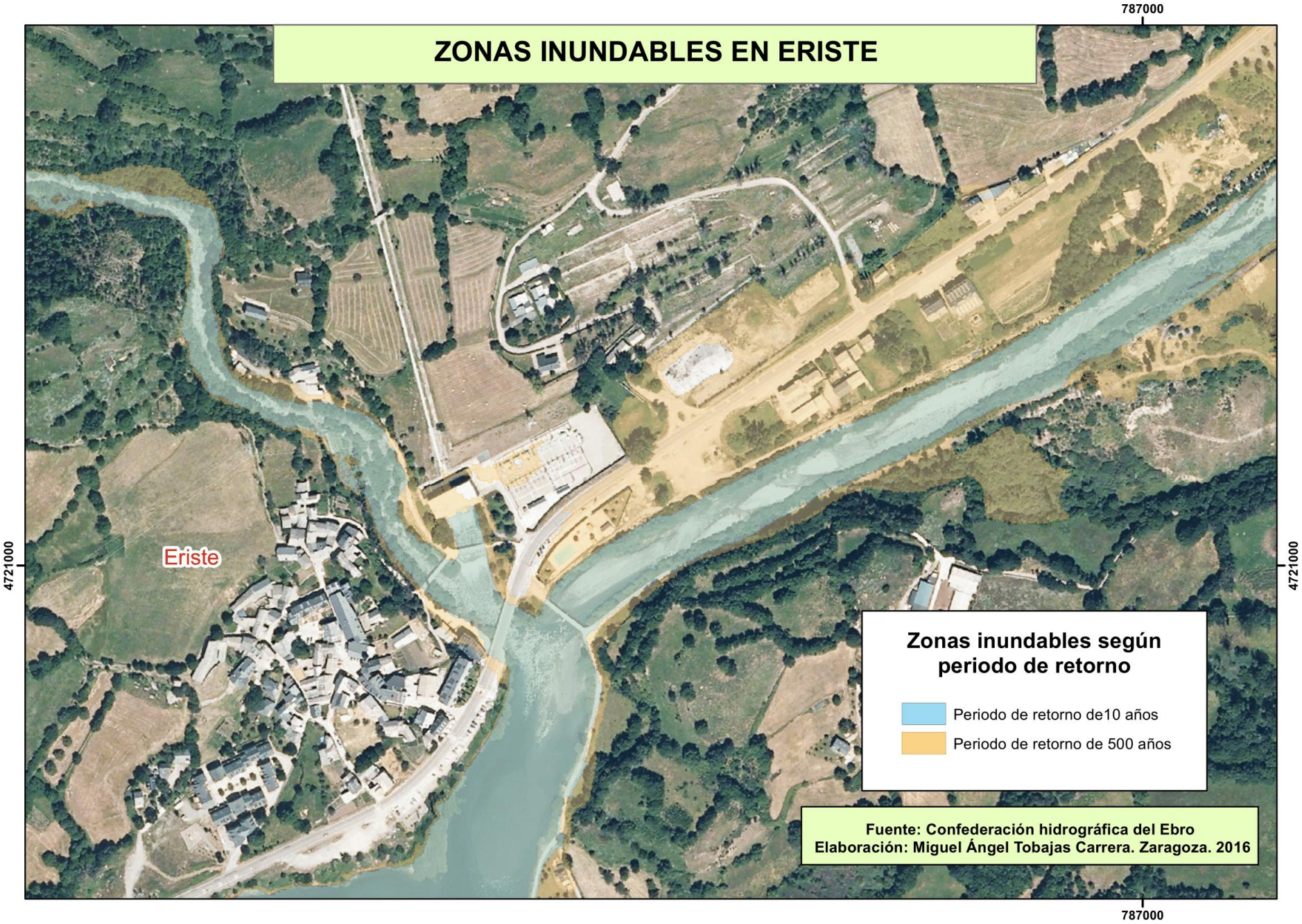
Cartografía 15: Calidad final hidrogeomorfológica en el río Ésera



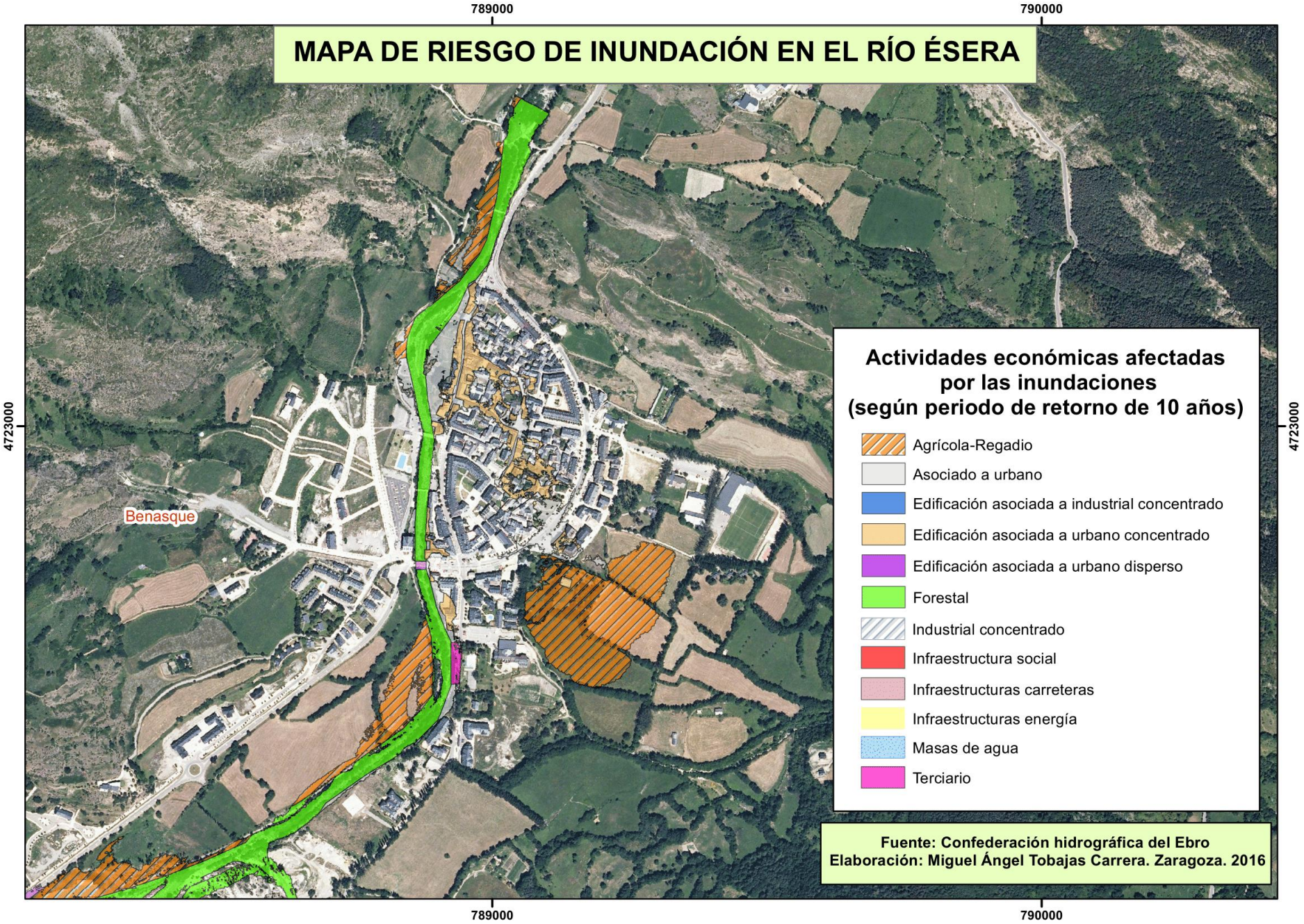
Cartografía 16: Peligrosidad en el río Ésera



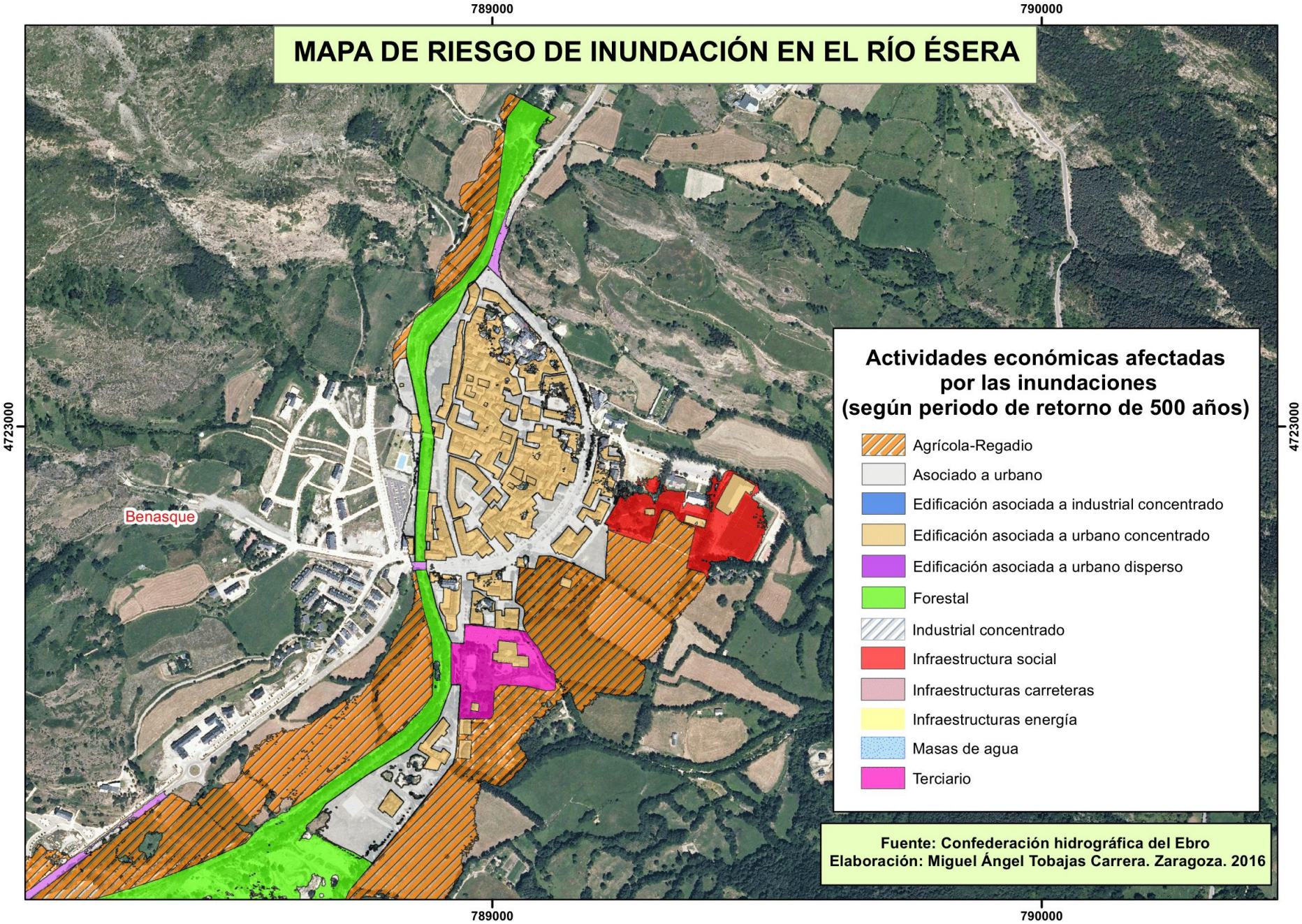
Cartografía 17: Zonas más vulnerables en el municipio de Benasque



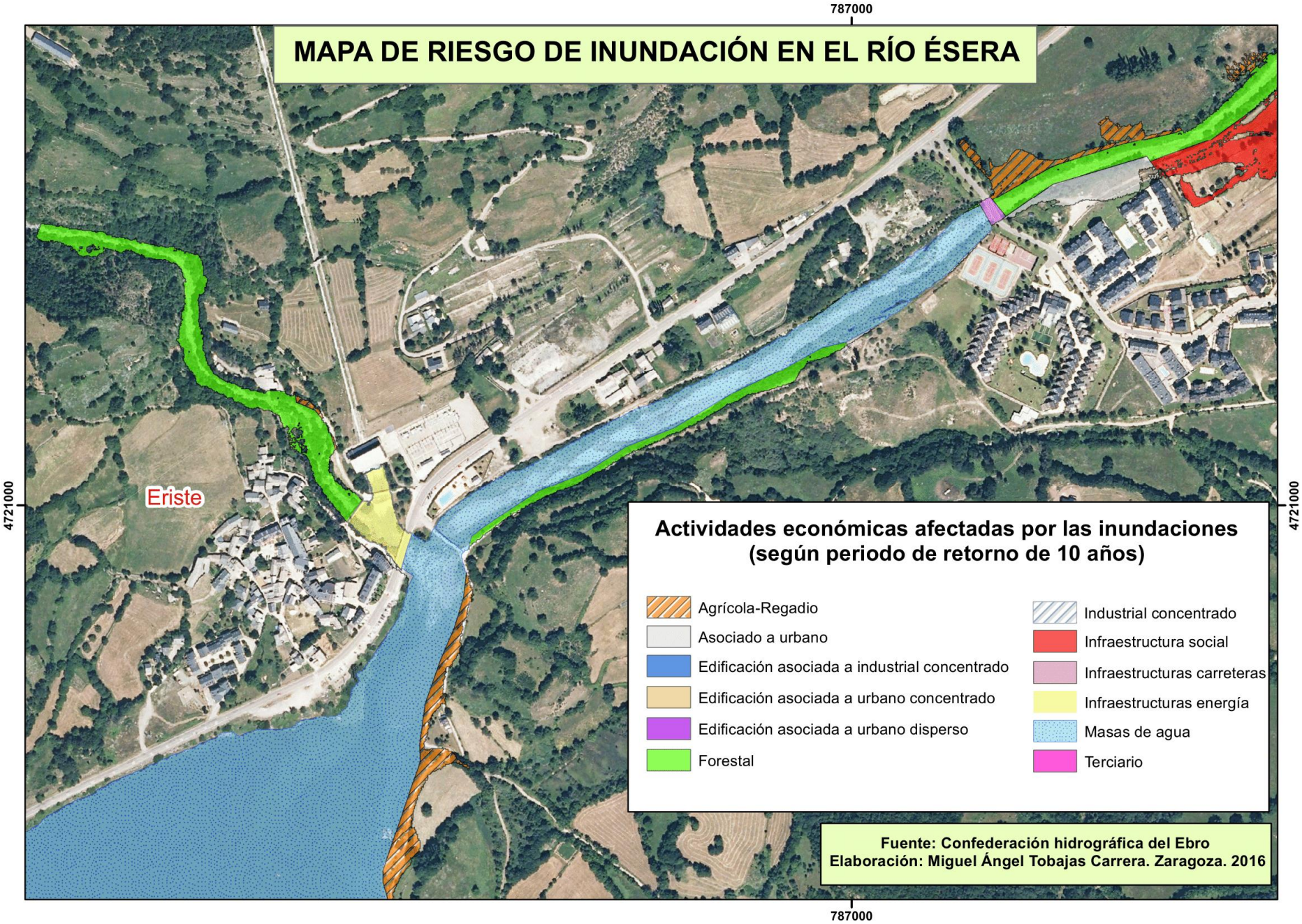
Cartografía 18: Zonas más vulnerables en la localidad de Eriste



Cartografía 19: Riesgo de inundación en actividades económicas del municipio de Benasque con un periodo de retorno de 10 años

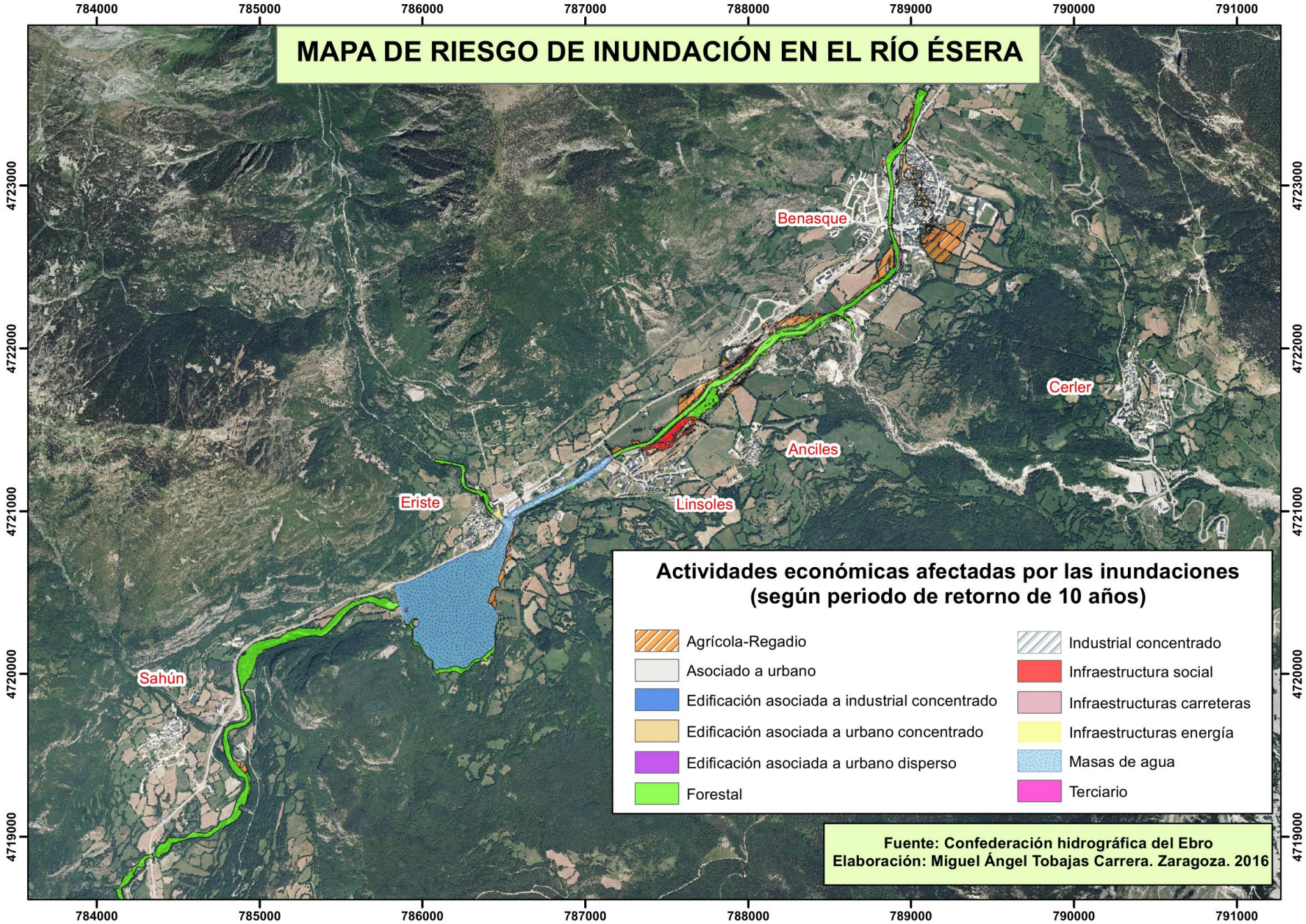


Cartografía 20: Riesgo de inundación en actividades económicas del municipio de Benasque con un periodo de retorno de 500 años

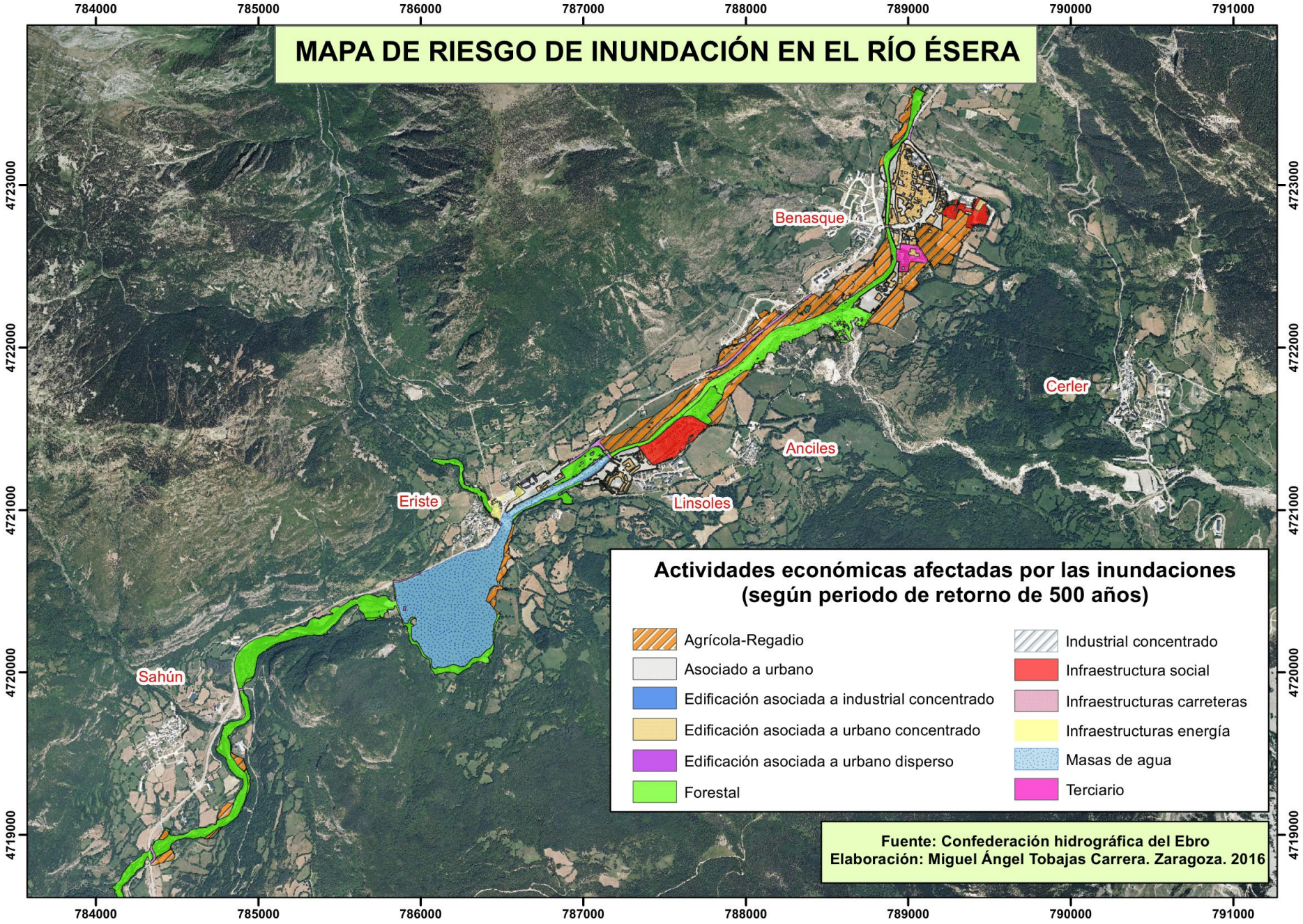


Cartografía 21: Riesgo de inundación en actividades económicas en la localidad de Eriste con un periodo de retorno de 10 años

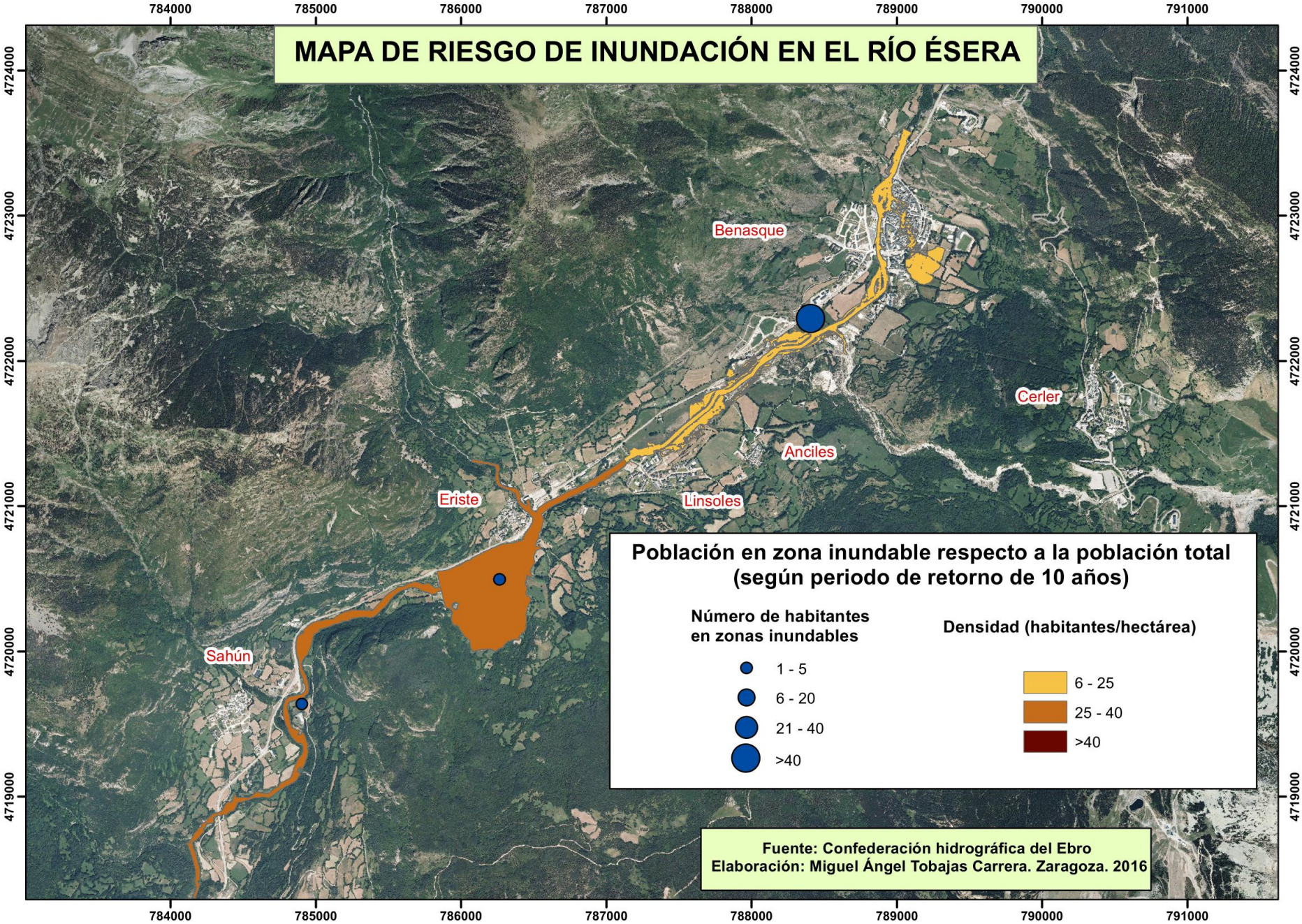
Cartografía 22: Riesgo de inundación en actividades económicas en la localidad de Eriste con un periodo de retorno de 500 años



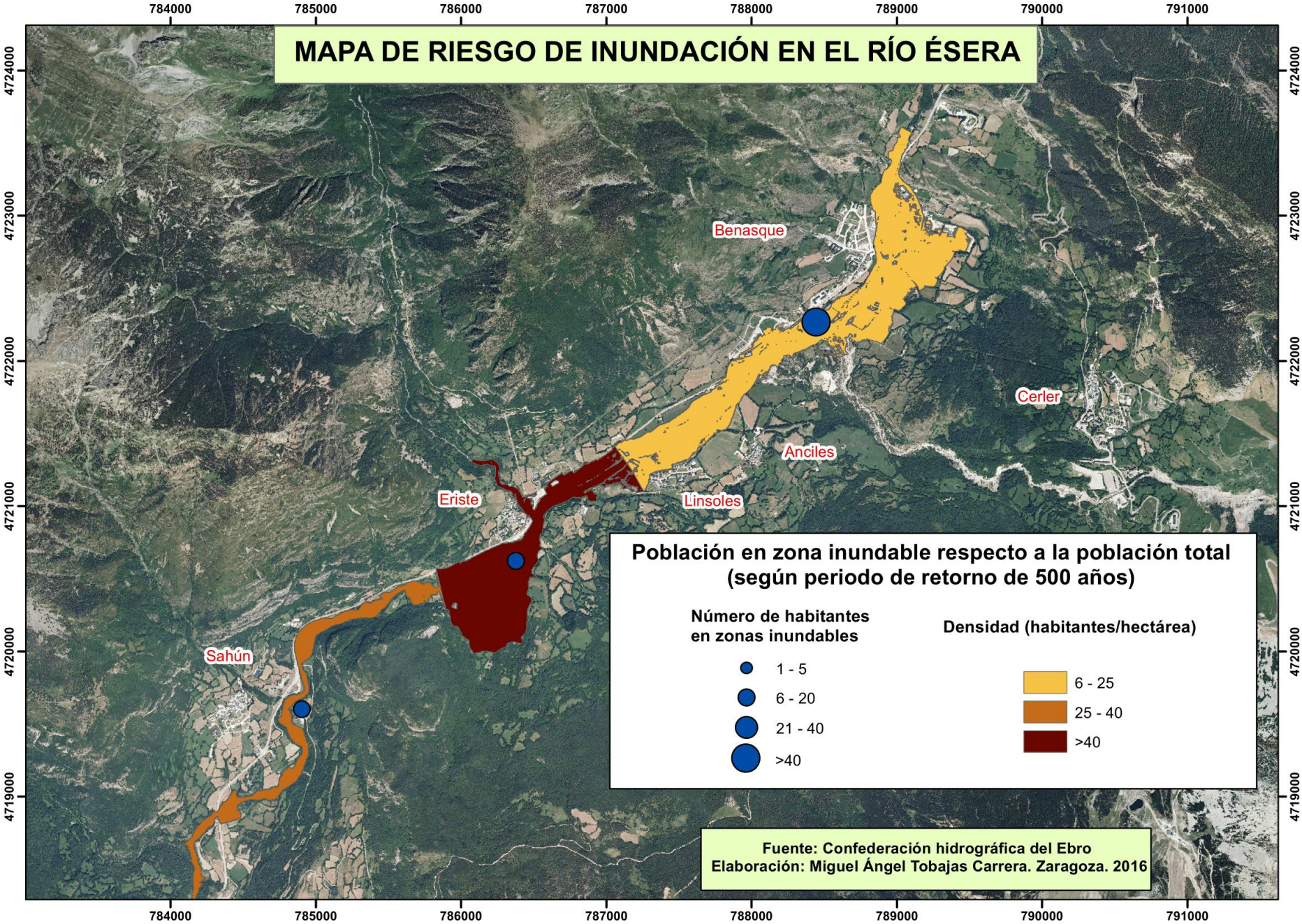
Cartografía 23: Riesgo de inundación en actividades económicas desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste con un periodo de retorno de 10 años



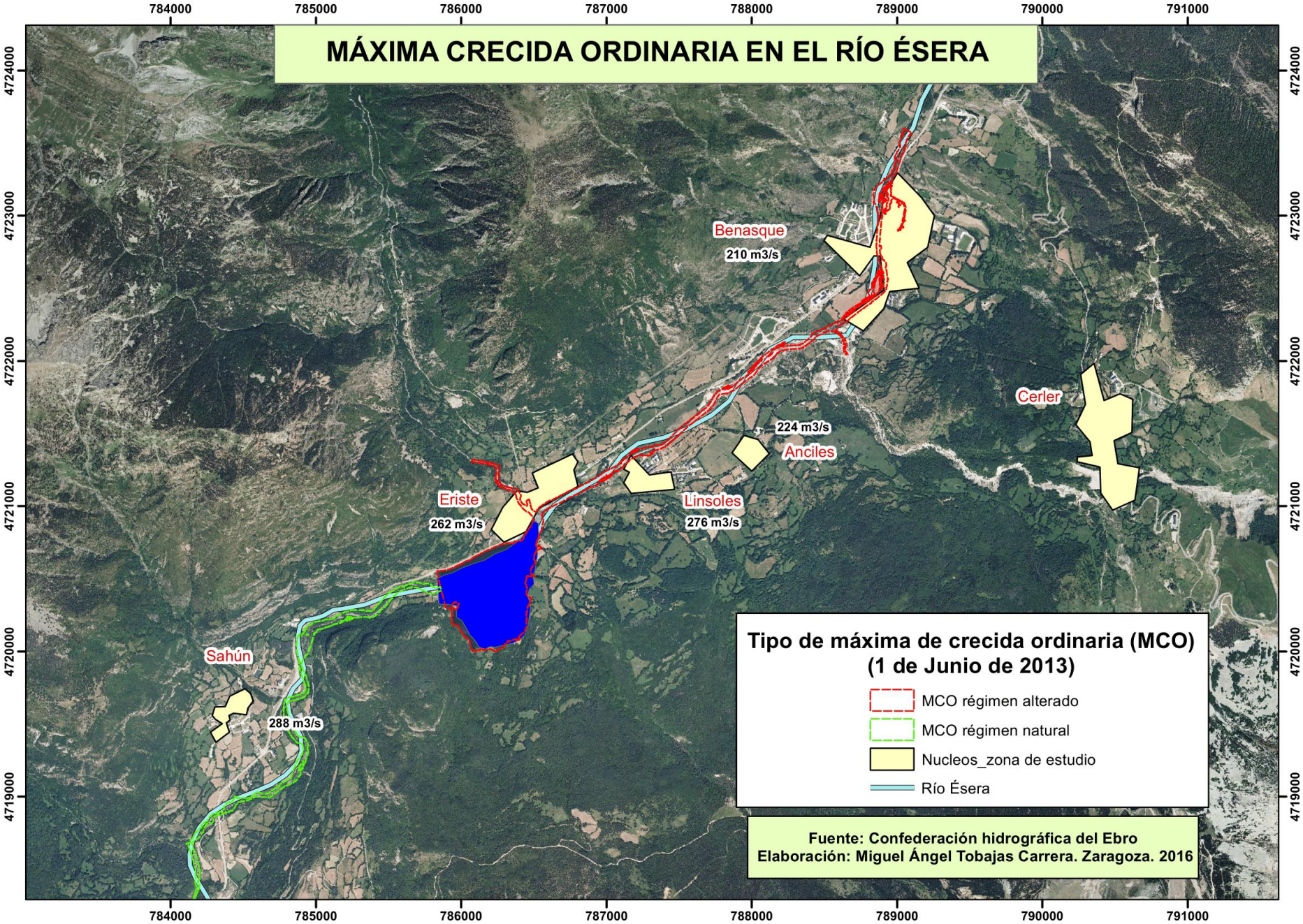
Cartografía 24: Riesgo de inundación en actividades económicas desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste con un periodo de retorno de 500 años



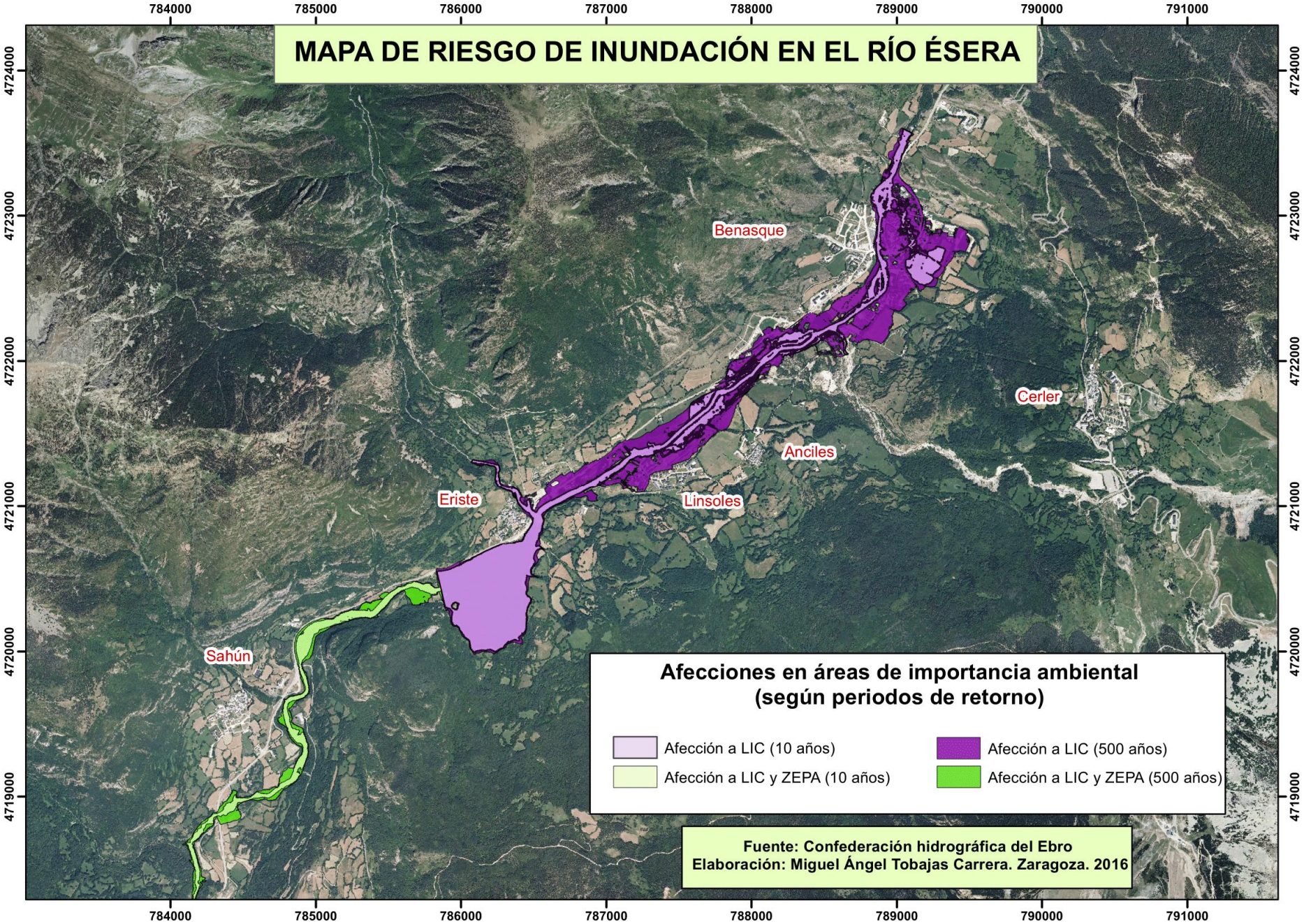
Cartografía 25: Riesgo de inundación de la población con un periodo de retorno de 10 años desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste



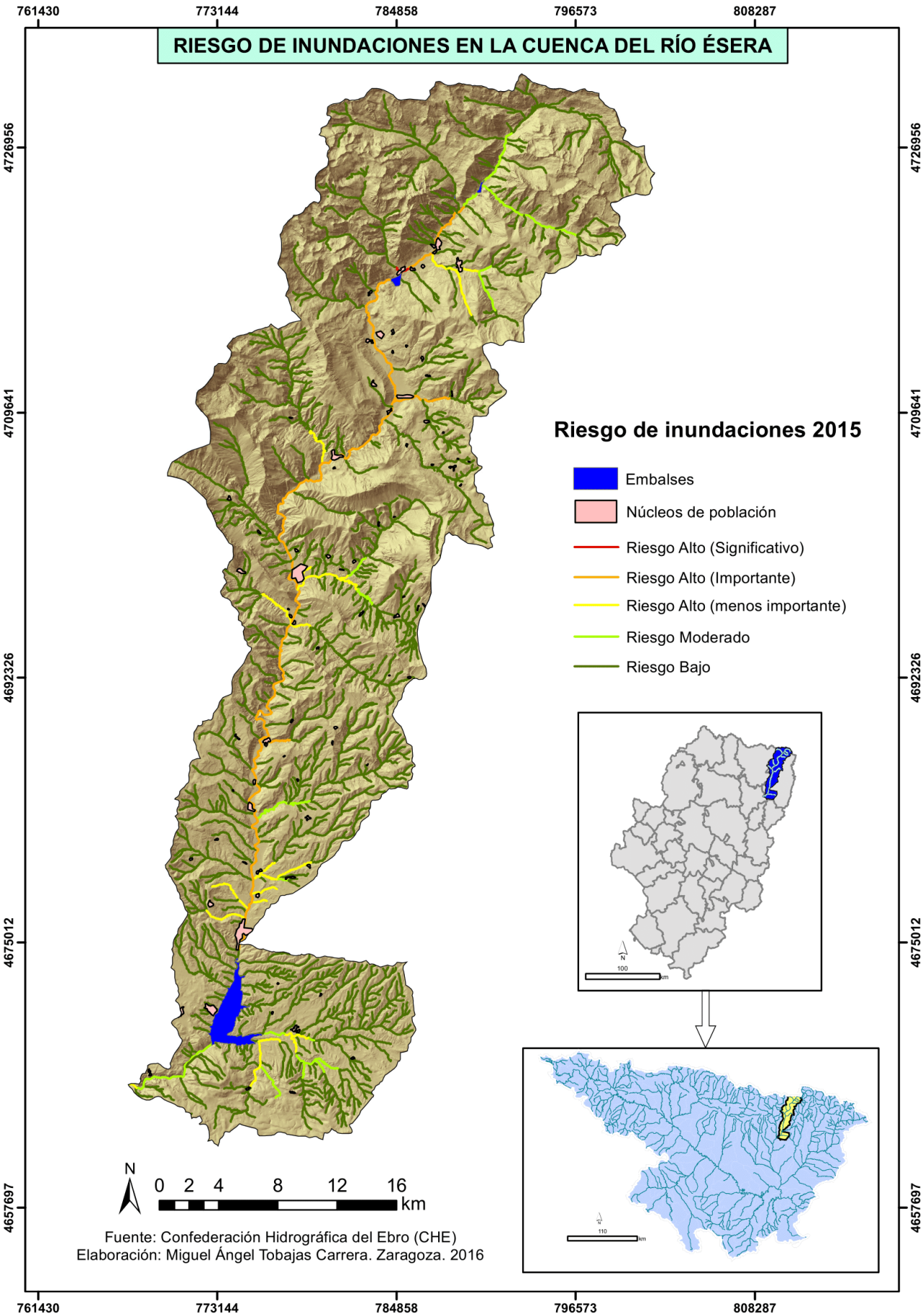
Cartografía 26: Riesgo de inundación de la población con un periodo de retorno de 500 años desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste



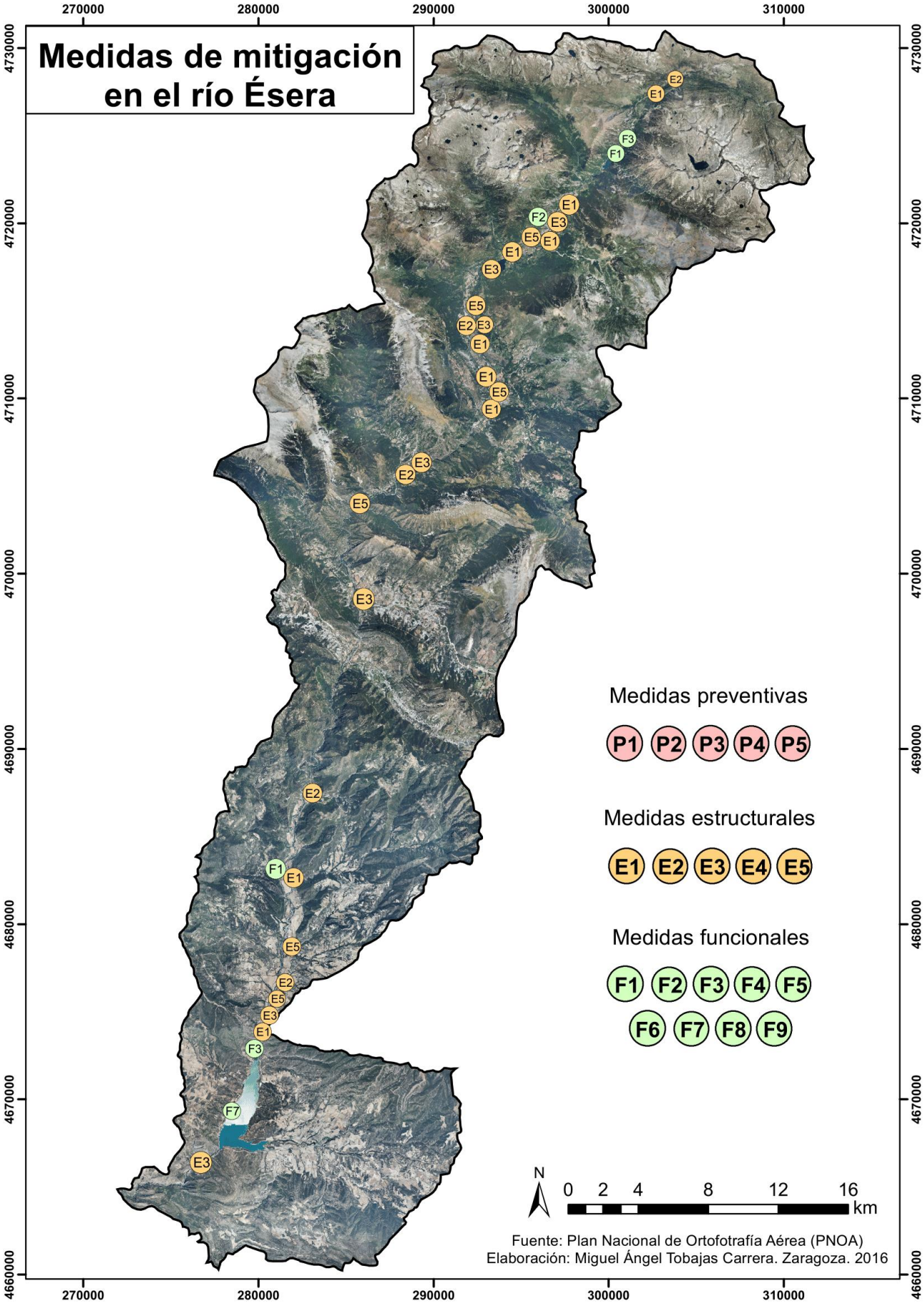
Cartografía 27: Máxima crecida ordinaria desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste



Cartografía 28: Riesgo de inundación en lugares de importancia ambiental desde el municipio de Benasque hasta la localidad de Eriste



Cartografía 29: Riesgo de inundación en el río Ésera en 2015



Cartografía 30: Medidas de mitigación en el río Ésera

Tabla 1. Usos de suelo y vegetación en kilómetros y porcentajes

Usos de Suelo (Corine Land Cover 2006)	Superficie (km^2)	Porcentaje
Tejido urbano continuo	14,6	0,2
Tejido urbano discontinuo	5,9	0,1
Instalaciones deportivas y recreativas	4,2	0,1
Tierras de labor en secano	584,6	7,2
Terrenos regados permanentemente	58,1	0,7
Frutales	3,3	0,0
Olivares	6,7	0,1
Prados y praderas	298,0	3,7
Mosaico de cultivos	262,5	3,2
Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	176,7	2,2
Bosques de frondosas	661,3	8,1
Bosques de coníferas	1471,2	18,1
Bosque mixto	446,7	5,5
Pastizales naturales	704,6	8,7
Landas y matorrales mesófilos	362,3	4,5
Matorrales esclerófilos	650,5	8,0
Matorral boscoso de transición	1066,6	13,1
Playas, dunas y arenales	28,1	0,3
Roquedo	715,9	8,8
Espacios con vegetación escasa	537,7	6,6
Glaciares y nieves permanentes	26,6	0,3
Turberas y prados turbosos	3,5	0,0
Láminas de agua	25,4	0,3
Total	8114,89	100

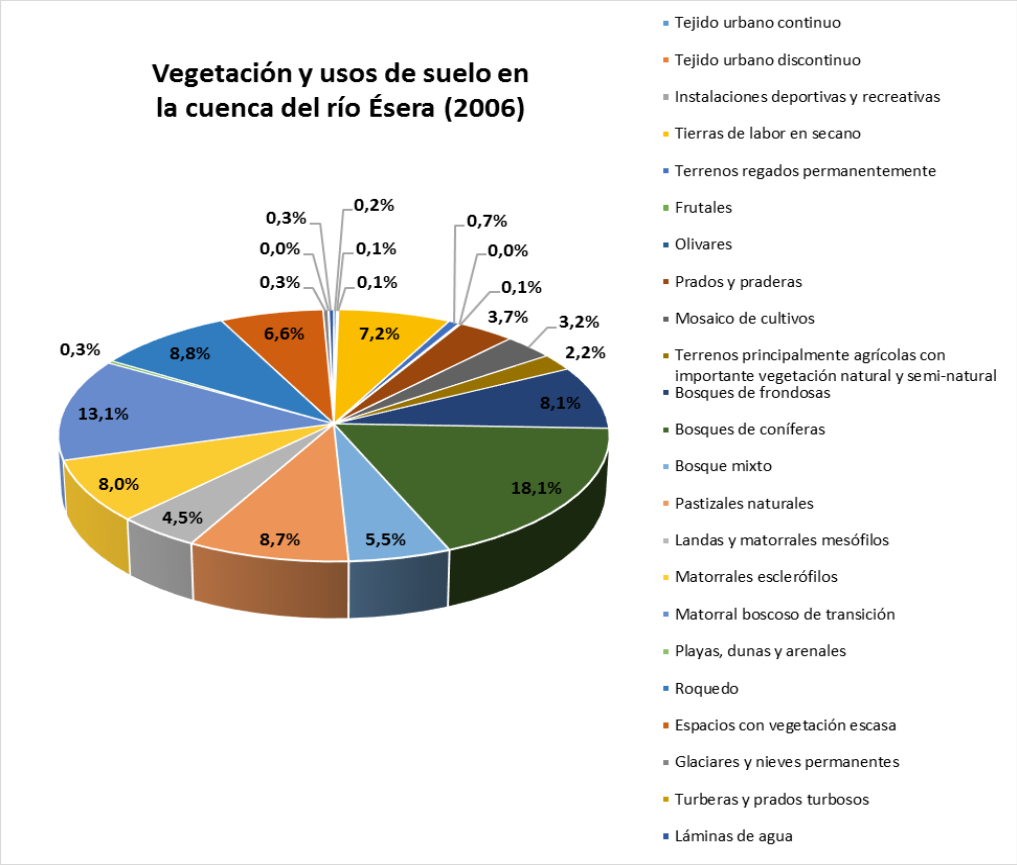


Tabla 2. Meses de crecida río Ésera (Graus; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1946-1947												
1947-1948												
1948-1949												
1949-1950		65						230	98		62	
1950-1951		110				110		180	160	82	60	98
1951-1952		120				186	200	150	131		120	64
1952-1953		70	70						135	60	189	
1953-1954	219		123			72,9		118	160			320
1954-1955	300	66	90	90	161	106	66,5	76,4	265	90	198	75
1955-1956	70,5	158	122	72		202	84	126	104	120	186	100
1956-1957						65,2		61,6	116,2		154	95
1957-1958						123,1		91	139,6	87		127,7
1958-1959	95		67			139,6	182	83	73	79	87	113,9
1959-1960	181	127	236	171	163	161	73	135	202	625	92	365
1960-1961	550	275					82	120	185	61	95	120
1961-1962	92,8	354	72,8	142		365,5	191,6	100,5	104,5	74,6		164,5
1962-1963	62,8	98,5		172			137	87,2	110,7	126,4	995	
1963-1964		720	228		200	65	136	230	464	68,2	108	193,5
1964-1965		118,5				68		79,5		207,5	145,5	
1965-1966	114	420		95,6	97,9	63,9	68,9	104,8	416,2	62,3	118,6	
1966-1967	123,2	245				323		60,6			70,5	
1967-1968		303					91	91	120,9	74,6	70,5	63,9
1968-1969		142,4	118,6			147,8	209	205,4	275	198,2		
1969-1970	97	80,6		158,6				109,5	122	82,7		
1970-1971	90	196,5					304,1	422,5	203,35	144		200
1971-1972				73,4	101	88,5	69,2	188,25	275	141,5	111	158
1972-1973	91	81,8	91					123,5	103,5	77,6		113,5
1973-1974			205,4	287		227		131	169	111	205,4	194,6
1974-1975								180,8	104,8		72,8	109,2
1975-1976	75,9							124,6		75,9	71,25	72,8
1976-1977	191	327	96	227	60		153,2	507,76	180,2	150,5	381,5	
1977-1978	287		263		126	185,6	68,8	128,75	169,4	64,4		
1978-1979							72,3				72,3	67,02
1979-1980	156						67,02		72,3			59,1
1980-1981		97,2						79,15	86		63,06	170
1981-1982			192,7	156				75,04	177	149	102,8	
1982-1983	64,38	510						60,87			69,06	
1983-1984									74,6			
1984-1985		249	94,39	116,71			68,6		83	66,2		
1985-1986		105,55					79,4	94,39	60,59		116,71	166,5
1986-1987	60,45	94,5					96			136,75		
1987-1988	245			79,8			143,75	82,6	93	156	94,5	123,2
1988-1989									58,26			
1989-1990		70,8	128,18					108,54	100,59			
1990-1991		76,08				157,75						66,2
1991-1992								319,5	94,5	96		157,75
1992-1993	96	72,8	59,2				64,6	84			227	136,75
1993-1994	152,5			62,75				78,72	82,68			
1994-1995	85,5	198,8		60,55								79,8
1995-1996		64,6	154,25	156			81,2	87	150,75	65,95	102,18	
1996-1997		65,95	91,5	106,95				77		77		
1997-1998		217,3	580,1				150,75	79	59,43			125,9
1998-1999												166,5
1999-2000	164,75						133,25	128,18	200,65			
2000-2001		126,52	75,95	165,95		165,95	173,03	82,55	67,1	155,33		
2001-2002	87,5								80,9			59,3
2002-2003	164,18	89,15			121,7	65,8	79,25	125,24	92,45			127,01
2003-2004	242,06	110,44	65,79				62,14	63,36	74,65			
2004-2005	60,93								59,71			
2005-2006	88,42	65,79							63,36	114,11		277,33
2006-2007	196,64	123,28			79,24		76,18	71,59				
2007-2008		64,57					106,77	189,3	73,12	77,71		
2008-2009		121,44					73,12	97,6		191,13		
2009-2010	97,62		183,75	71,14		58,5		63,35		148,95		
2010-2011	58,5		76,18					150,79				
2011-2012	75,63	193,58					59,31	64,33	70,61			
2012-2013	234,5			153,59		100,04	87,48	86,09	477,23	109,8	97,25	

x3	58,11
x5	96,85
x10	193,7
x25	484,25

Tabla 3. Meses de crecida río Ésera (Campo; 1997)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1992-1993	109,1	60,8	59,4					120,88	80,4	55,64		195,2
1993-1994	252,05	70,6				55,64		83	96,2			
1994-1995	94	238		56,6				48	58,8			
1995-1996			233,5	245,7	68,75	132,85	96,25	190,8		96,25	184,7	
1996-1997			123,7	123,7	111,5	78,55	84,05	148,1	78,55	123,7	58,95	
1997-1998		772,52	416,15	48,74		51,12	125,7	99,15	105,75	56,25		231,5
1998-1999									51,12			
1999-2000	188,2						107,4	145,2	139,35			
2000-2001		147,15	95,85	201,6	49,63	147,1	167,76	215,5	98,95	233	50,99	59,12
2001-2002	121,42							50,99	82,88	57,76	67,25	57,76
2002-2003	208	117,14	50,99	53,7	79,31	93,59	112,86	165,46	90,02	57,76	55,05	165,46
2003-2004	267,5	123,56	73,96				65,89	86,45	123,56	84,67	134,26	
2004-2005	72,17							48,28	57,76		64,54	
2005-2006	183,82	72,17				52,34		57,76				223
2006-2007	262,6	132,05			114,75		63,2	108,6				
2007-2008		82,4					102,45	272,2	68	48,07		
2008-2009		102,45					49,38	114,75				
2009-2010	88,1			50,69		61,65	53,1	72,5	275,1	77,15		
2010-2011	47,9		75,6					146,15				
2011-2012		217,6						47,9				
2012-2013	272,2			97,25		72,5	54,4	80,25	460,7			

x3	47,79
x5	79,65
x10	159,3
x25	398,25

Tabla 4. Meses de crecida río Ésera (Eriste; 1962)
Fuente: Elaboración propia (Anuario de Aforos de MAGRAMA)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1962-1963											600	
1990-1991												
1991-1992											52,68	49,62
1992-1993								51,44	29,05		89,3	32,2
1993-1994	39,67							29,05	38,5			
1994-1995		52,06										
1995-1996								53,3	43,77	28,53	82,3	
1996-1997								49,62				
1997-1998		172,6	90,78					25,7	25,24			94,65
1998-1999								42,6	43,77			61,98
1999-2000	58,88							49,03	43,77			
2000-2001				39,09				63,27	49,62	138		
2001-2002	61,98								24,78			
2002-2003	43,18						37,45	49,62	26,62			69,3
2003-2004									22,94			
2004-2005												
2005-2006	47,28											83
2006-2007	74,66						30,63	28,53				
2007-2008								44,94				23,86
2008-2009								40,84				
2009-2010								35,35	133,05	29,58		
2010-2011								62,6				
2011-2012		88,6							31,15			
2012-2013	182,75							25,7	310,4			

x3	22,86
x5	38,1
x10	76,2
x25	190,5

Tabla 9. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Nacimiento al Embalse de Paso Nuevo

ÍNDICE PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA DE SISTEMAS FLUVIALES (IHG)

Sistema fluvial: ÉSERA	Masa de agua: Nacimiento – Embalse de Paso Nuevo	Fecha: 26/ 03/ 2016

CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

Naturalidad del régimen de caudal 10

Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico		10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
	si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
	si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
	si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
	si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2

Disponibilidad y movilidad de sedimentos 10

El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.		10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	si más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-5
	si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
	si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
	si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-2
En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos *(armouring, embeddedness,* alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales…) y pueden atribuirse a factores antrópicos	notables	-2
	leves	-1
Las vertientes del valle y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua	alteraciones y/o desconexiones muy importantes	-3
	alteraciones y/o desconexiones significativas	-2
	alteraciones y/o desconexiones leves	-1

Funcionalidad de la llanura de inundación 9

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos			10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	si son defensas continuas	si son discontinuas pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	si alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación
si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-4	-3	-2
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3	-2	-1
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias…), generalmente transversales, que alteran los procesos hidro-geomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida	si hay abundantes obstáculos		-2
	si hay obstáculos puntuales		-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cuce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie		-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie		-2
	si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie		-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA 29

CALIDAD DEL CAUCE

Naturalidad del trazado y de la morfología en planta 9

El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema				10
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	si afectan a más del 50% de la longitud del sector	si afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	si afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	si afectan a menos del 10% de la longitud del sector
si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos…)	-8	-7	-6	-5
si, no habiendo cambios drásticos, si se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones…)	-6	-5	-4	-3
si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, si hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente	-4	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras	notables			-2
	leves			-1

Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales 8

El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico			10
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	si embalsan más del 50% de la longitud del sector	si embalsan del 25 al 50% de la longitud del sector	si embalsan menos del 25% de la longitud del sector
si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin bypass para sedimentos	-5	-4	-3
si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con bypass para sedimentos	-4	-3	-2
si hay un solo azud	-3	-2	-1
Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce	más de 1 por cada km de cauce		-2
	menos de 1 por cada km de cauce		-1
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector		-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector		-2
	de forma puntual		-1

Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral 8

El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación		10
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias…) adosadas a las márgenes	en más del 75% de la longitud del sector	-6
	entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5
	entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4
	entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3
	entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2
	en menos de un 5% de la longitud del sector	-1
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	notables	-2
	leves	-1
En el sector se observan síntomas de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba	notables	-2
	leves	-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAUCE 25

CALIDAD DE LAS RIBERAS

Continuidad longitudinal 9

El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita			10
La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias…) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos…).	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1

Anchura del corredor ribereño 8

Las riberas naturales supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico.			10
La anchura de la ribera supervivente ha sido reducida por ocupación antrópica	si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial		-8
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial		-6
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 60% y el 80% de la anchura potencial		-4
	si la anchura media del corredor ribereño actual es superior al 80% de la potencial		-2
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2		
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1		

Estructura, naturalidad y conectividad transversal 8

En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.			10
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo…) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha matorralizado por desconexión con el freático (cauces con incisión)	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual
si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2
si las alteraciones son leves	-3	-2	-1
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	si las alteraciones son significativas		-2
	si las alteraciones son leves		-1
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos…) que alteran la conectividad transversal del corredor	si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas		-4
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas		-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas		-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas		-1
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2		
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1		

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS 25

VALOR FINAL: CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA 79

© Alfredo Ollero Ojeda, Daniel Ballarín Ferrer, Elena Díaz Bea, Daniel Mora Mur, Miguel Sánchez Fabre, Vanesa Acín Naverac, María Teresa Echeverría Arnedo, David Granado García, Askoa Ibisate González de Matauco, Lorena Sánchez Gil, Noelia Sánchez Gil. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Área de Geografía Física.

Tabla 10. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Embalse de Paso Nuevo al Río Estós

ÍNDICE PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA DE SISTEMAS FLUVIALES (IHG)

Sistema fluvial: ÉSERA	Masa de agua: Embalse de Paso Nuevo – Río Estós	Fecha: 26/ 03/ 2016

CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

Naturalidad del régimen de caudal 0

Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico		10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
	si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
	si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
	si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
	si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2

Disponibilidad y movilidad de sedimentos 0

El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.		10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	si más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-5
	si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
	si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
	si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-2
En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos *(armouring, embeddedness*, alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales…) y pueden atribuirse a factores antrópicos	notables	-2
	leves	-1
En el sector se registran extracciones de áridos o dragados que reducen la disponibilidad de sedimentos y alteran su movilidad.	Importantes y frecuentes	-4
	Puntuales	-2
Las vertientes del valle y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua	alteraciones y/o desconexiones muy importantes	-3
	alteraciones y/o desconexiones significativas	-2
	alteraciones y/o desconexiones leves	-1

Funcionalidad de la llanura de inundación 5

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos			10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	si son defensas continuas	si son discontinuas pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	si alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación
si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-4	-3	-2
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3	-2	-1
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias…), generalmente transversales, que alteran los procesos hidro-geomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida	si hay abundantes obstáculos		-2
	si hay obstáculos puntuales		-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cauce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie		-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie		-2
	si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie		-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA 5

CALIDAD DEL CAUCE

Naturalidad del trazado y de la morfología en planta 7

El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema				10
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	si afectan a más del 50% de la longitud del sector	si afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	si afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	si afectan a menos del 10% de la longitud del sector
si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos…)	-8	-7	-6	-5
si, no habiendo cambios drásticos, si se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones…)	-6	-5	-4	-3
si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, si hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente	-4	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras	notables			-2
	leves			-1

Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales 3

El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico			10
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	si embalsan más del 50% de la longitud del sector	si embalsan del 25 al 50% de la longitud del sector	si embalsan menos del 25% de la longitud del sector
si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin bypass para sedimentos	-5	-4	-3
si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con bypass para sedimentos	-4	-3	-2
si hay un solo azud	-3	-2	-1
Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce	más de 1 por cada km de cauce		-2
	menos de 1 por cada km de cauce		-1
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector		-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector		-2
	de forma puntual		-1

Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral 6

El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación		10
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias…) adosadas a las márgenes	en más del 75% de la longitud del sector	-6
	entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5
	entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4
	entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3
	entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2
	en menos de un 5% de la longitud del sector	-1
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	notables	-2
	leves	-1
En el sector se observan síntomas de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba	notables	-2
	leves	-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAUCE 16

CALIDAD DE LAS RIBERAS

Continuidad longitudinal 9

El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita			10
La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias…) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos…).	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1

Anchura del corredor ribereño 8

Las riberas naturales supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico.		10
La anchura de la ribera supervviente ha sido reducida por ocupación antrópica	si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial	-8
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial	-6
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 60% y el 80% de la anchura potencial	-4
	si la anchura media del corredor ribereño actual es superior al 80% de la potencial	-2
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1	

Estructura, naturalidad y conectividad transversal 7

En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.				10
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo…) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha matorralizado por desconexión con el freático (cauces con incisión)	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual	
si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2	
si las alteraciones son leves	-3	-2	-1	
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	si las alteraciones son significativas			-2
	si las alteraciones son leves			-1
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos…) que alteran la conectividad transversal del corredor	si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas			-4
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas			-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas			-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas			-1
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0		
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2			
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1			

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS 24

VALOR FINAL: CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA 45

© Alfredo Ollero Ojeda, Daniel Ballarín Ferrer, Elena Díaz Bea, Daniel Mora Mur, Miguel Sánchez Fabre, Vanesa Acín Naverac, María Teresa Echeverría Arnedo, David Granado García, Askoa Ibisate González de Matauco, Lorena Sánchez Gil, Noelia Sánchez Gil. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Área de Geografía Física.

Tabla 11. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Río Estós al Barranco de Barbaruéns

ÍNDICE PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA DE SISTEMAS FLUVIALES (IHG)

Sistema fluvial: ÉSERA	Masa de agua: Río Estós – Barranco de Barbaruéns	Fecha: 26/ 03/ 2016

CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

Naturalidad del régimen de caudal 0

Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico		10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
	si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
	si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
	si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
	si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2

Disponibilidad y movilidad de sedimentos 4

El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.		10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	si más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-5
	si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
	si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
	si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-2
En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos (*armouring*, *embeddedness*, alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales…) y pueden atribuirse a factores antrópicos	notables	-2
	leves	-1
En el sector se registran extracciones de áridos o dragados que reducen la disponibilidad de sedimentos y alteran su movilidad.	Importantes y frecuentes	-4
	Puntuales	-2
Las vertientes del valle y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua	alteraciones y/o desconexiones muy importantes	-3
	alteraciones y/o desconexiones significativas	-2
	alteraciones y/o desconexiones leves	-1

Funcionalidad de la llanura de inundación 4

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos				10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía		si son defensas continuas	si son discontinuas pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	si alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación
	si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3
	si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-4	-3	-2
	si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3	-2	-1
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias…), generalmente transversales, que alteran los procesos hidro-geomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida		si hay abundantes obstáculos		-2
		si hay obstáculos puntuales		-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cauce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie			-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie			-2
	si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie			-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA 8

CALIDAD DEL CAUCE

Naturalidad del trazado y de la morfología en planta 7

El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema				10
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	si afectan a más del 50% de la longitud del sector	si afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	si afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	si afectan a menos del 10% de la longitud del sector
si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos…)	-8	-7	-6	-5
si, no habiendo cambios drásticos, sí se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones…)	-6	-5	-4	-3
si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, si hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente	-4	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras	notables			-2
	leves			-1

Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales 4

El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico			10
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	si embalsan más del 50% de la longitud del sector	si embalsan del 25 al 50% de la longitud del sector	si embalsan menos del 25% de la longitud del sector
si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin bypass para sedimentos	-5	-4	-3
si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con bypass para sedimentos	-4	-3	-2
si hay un solo azud	-3	-2	-1
Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce	más de 1 por cada km de cauce		-2
	menos de 1 por cada km de cauce		-1
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector		-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector		-2
	de forma puntual		-1

Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral 5

El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación		10
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias…) adosadas a las márgenes	en más del 75% de la longitud del sector	-6
	entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5
	entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4
	entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3
	entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2
	en menos de un 5% de la longitud del sector	-1
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	notables	-2
	leves	-1
En el sector se observan síntomas de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba	notables	-2
	leves	-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAUCE 16

CALIDAD DE LAS RIBERAS

Continuidad longitudinal 7

El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita			10
La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias…) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos…).	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1

Anchura del corredor ribereño 8

Las riberas naturales supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico.			10
La anchura de la ribera supervivente ha sido reducida por ocupación antrópica	si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial		-8
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial		-6
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 60% y el 80% de la anchura potencial		-4
	si la anchura media del corredor ribereño actual es superior al 80% de la potencial		-2
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2		
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1		

Estructura, naturalidad y conectividad transversal 7

En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.				10
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo…) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha matorralizado por desconexión con el freático (cauces con incisión)	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual	
si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2	
si las alteraciones son leves	-3	-2	-1	
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	si las alteraciones son significativas			-2
	si las alteraciones son leves			-1
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos…) que alteran la conectividad transversal del corredor	si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas			-4
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas			-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas			-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas			-1
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0		
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2			
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1			

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS 22

VALOR FINAL: CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA 46

© Alfredo Ollero Ojeda, Daniel Ballarín Ferrer, Elena Díaz Bea, Daniel Mora Mur, Miguel Sánchez Fabre, Vanesa Acín Naverac, María Teresa Echeverría Arnedo, David Granado García, Askoa Ibisate González de Matauco, Lorena Sánchez Gil, Noelia Sánchez Gil. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Área de Geografía Física.

Tabla 12. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Barranco de Barbaruéns al Puente carretera N-260 a Aínsa

ÍNDICE PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA DE SISTEMAS FLUVIALES (IHG)

Sistema fluvial: ÉSERA	Masa de agua: Barranco de Barbaruens - Puente carretera N-260 a Aínsa	Fecha: 26/ 03/ 2016

CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

Naturalidad del régimen de caudal 0

Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico		10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
	si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
	si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
	si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
	si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2

Disponibilidad y movilidad de sedimentos 1

El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.		10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	si más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-5
	si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
	si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
	si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-2
En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos *(armouring, embeddedness*, alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales…) y pueden atribuirse a factores antrópicos	notables	-2
	leves	-1
En el sector se registran extracciones de áridos o dragados que reducen la disponibilidad de sedimentos y alteran su movilidad.	Importantes y frecuentes	-4
	Puntuales	-2
Las vertientes del valle y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua	alteraciones y/o desconexiones muy importantes	-3
	alteraciones y/o desconexiones significativas	-2
	alteraciones y/o desconexiones leves	-1

Funcionalidad de la llanura de inundación 8

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos			10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	si son defensas continuas	si son discontinuas pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	si alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación
si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-4	-3	-2
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3	-2	-1
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias…), generalmente transversales, que alteran los procesos hidro-geomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida	si hay abundantes obstáculos		-2
	si hay obstáculos puntuales		-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cauce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie		-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie		-2
	si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie		-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA 9

CALIDAD DEL CAUCE

Naturalidad del trazado y de la morfología en planta 7

El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema				10
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	si afectan a más del 50% de la longitud del sector	si afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	si afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	si afectan a menos del 10% de la longitud del sector
si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos…)	-8	-7	-6	-5
si, no habiendo cambios drásticos, sí se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones…)	-6	-5	-4	-3
si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, sí hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente	-4	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras	notables			-2
	leves			-1

Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales 4

El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico			10
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	si embalsan más del 50% de la longitud del sector	si embalsan del 25 al 50% de la longitud del sector	si embalsan menos del 25% de la longitud del sector
si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin bypass para sedimentos	-5	-4	-3
si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con bypass para sedimentos	-4	-3	-2
si hay un solo azud	-3	-2	-1
Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce	más de 1 por cada km de cauce		-2
	menos de 1 por cada km de cauce		-1
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector		-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector		-2
	de forma puntual		-1

Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral 8

El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación		10
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias…) adosadas a las márgenes	en más del 75% de la longitud del sector	-6
	entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5
	entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4
	entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3
	entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2
	en menos de un 5% de la longitud del sector	-1
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	notables	-2
	leves	-1
En el sector se observan síntomas de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba	notables	-2
	leves	-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAUCE 19

CALIDAD DE LAS RIBERAS

Continuidad longitudinal 9

El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita			10
La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias…) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos…).	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1

Anchura del corredor ribereño 8

Las riberas naturales supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico.			10
La anchura de la ribera supervi-viente ha sido reducida por ocupación antrópica	si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial		-8
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial		-6
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 60% y el 80% de la anchura potencial		-4
	si la anchura media del corredor ribereño actual es superior al 80% de la potencial		-2
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2		
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1		

Estructura, naturalidad y conectividad transversal 7

En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.			10
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo…) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha matorralizado por desconexión con el freático (cauces con incisión)	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual
si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2
si las alteraciones son leves	-3	-2	-1
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	si las alteraciones son significativas		-2
	si las alteraciones son leves		-1
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos…) que alteran la conectividad transversal del corredor	si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas		-4
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas		-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas		-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas		-1
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2		
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1		

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS 24

VALOR FINAL: CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA 52

© Alfredo Ollero Ojeda, Daniel Ballarín Ferrer, Elena Díaz Bea, Daniel Mora Mur, Miguel Sánchez Fabre, Vanesa Acín Naverac, María Teresa Echeverría Arnedo, David Granado García, Askoa Ibisate González de Matauco, Lorena Sánchez Gil, Noelia Sánchez Gil. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Área de Geografía Física.

Tabla 13. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Puente carretera N-260 a Aínsa a la Estación de Aforo nº13 en Graus

ÍNDICE PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA DE SISTEMAS FLUVIALES (IHG)

Sistema fluvial: ÉSERA	Masa de agua: Puente carretera N-260 a Aínsa – Estación de Aforo nº13 en Graus	Fecha: 26/ 03/ 2016

CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

Naturalidad del régimen de caudal 4

Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico		10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
	si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
	si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
	si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
	si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2

Disponibilidad y movilidad de sedimentos 6

El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.		10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	si más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-5
	si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
	si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
	si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-2
En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos *(armouring, embeddedness,* alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales…) y pueden atribuirse a factores antrópicos	notables	-2
	leves	-1
En el sector se registran extracciones de áridos o dragados que reducen la disponibilidad de sedimentos y alteran su movilidad.	Importantes y frecuentes	-4
	Puntuales	-2
Las vertientes del valle y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua	alteraciones y/o desconexiones muy importantes	-3
	alteraciones y/o desconexiones significativas	-2
	alteraciones y/o desconexiones leves	-1

Funcionalidad de la llanura de inundación 7

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos				10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	si son defensas continuas	si son discontinuas pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	si alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación	
si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3	
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-4	-3	-2	
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3	-2	-1	
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias…), generalmente transversales, que alteran los procesos hidro-geomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida	si hay abundantes obstáculos			-2
	si hay obstáculos puntuales			-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cauce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie			-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie			-2
	si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie			-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA 17

CALIDAD DEL CAUCE

Naturalidad del trazado y de la morfología en planta 6

El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema				10
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	si afectan a más del 50% de la longitud del sector	si afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	si afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	si afectan a menos del 10% de la longitud del sector
si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos…)	-8	-7	-6	-5
si, no habiendo cambios drásticos, sí se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones…)	-6	-5	-4	-3
si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, sí hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente	-4	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras	notables			-2
	leves			-1

Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales 7

El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico				10
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	si embalsan más del 50% de la longitud del sector	si embalsan del 25 al 50% de la longitud del sector	si embalsan menos del 25% de la longitud del sector	
si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin bypass para sedimentos	-5	-4	-3	
si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con bypass para sedimentos	-4	-3	-2	
si hay un solo azud	-3	-2	-1	
Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce	más de 1 por cada km de cauce			-2
	menos de 1 por cada km de cauce			-1
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector			-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector			-2
	de forma puntual			-1

Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral 8

El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación		10
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias…) adosadas a las márgenes	en más del 75% de la longitud del sector	-6
	entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5
	entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4
	entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3
	entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2
	en menos de un 5% de la longitud del sector	-1
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	notables	-2
	leves	-1
En el sector se observan síntomas de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba	notables	-2
	leves	-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAUCE 21

CALIDAD DE LAS RIBERAS

Continuidad longitudinal 9

El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita				10
La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias…) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos…).	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes	
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10	
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8	
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7	
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6	
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5	
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4	
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3	
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2	
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1	
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1	

Anchura del corredor ribereño 8

Las riberas naturales supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico.		10
La anchura de la ribera supervi-viente ha sido reducida por ocupación antrópica	si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial	-8
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial	-6
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 60% y el 80% de la anchura potencial	-4
	si la anchura media del corredor ribereño actual es superior al 80% de la potencial	-2

si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1	

Estructura, naturalidad y conectividad transversal 6

En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.				10
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo…) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha matorralizado por desconexión con el freático (cauces con incisión)	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual	
si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2	
si las alteraciones son leves	-3	-2	-1	
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	si las alteraciones son significativas			-2
	si las alteraciones son leves			-1
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos…) que alteran la conectividad transversal del corredor	si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas			-4
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas			-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas			-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas			-1

si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1	

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS 23

VALOR FINAL: CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA 61

© Alfredo Ollero Ojeda, Daniel Ballarín Ferrer, Elena Díaz Bea, Daniel Mora Mur, Miguel Sánchez Fabre, Vanesa Acín Naverac, María Teresa Echeverría Arnedo, David Granado García, Askoa Ibisate González de Matauco, Lorena Sánchez Gil, Noelia Sánchez Gil. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Área de Geografía Física.

Tabla 14. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Estación de aforo nº13 en Graus al Embalse de Barasona

ÍNDICE PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA DE SISTEMAS FLUVIALES (IHG)

Sistema fluvial: ÉSERA	Masa de agua: Estación de aforo nº13 en Graus - Embalse de Barasona	Fecha: 26/ 03/ 2016

CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

Naturalidad del régimen de caudal 4

Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico		10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
	si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
	si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
	si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
	si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2

Disponibilidad y movilidad de sedimentos 6

El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.		10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	si más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-5
	si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
	si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
	si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-2
En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos *(armouring, embeddedness,* alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales…) y pueden atribuirse a factores antrópicos	notables	-2
	leves	-1
En el sector se registran extracciones de áridos o dragados que reducen la disponibilidad de sedimentos y alteran su movilidad.	Importantes y frecuentes	-4
	Puntuales	-2
Las vertientes del valle y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua	alteraciones y/o desconexiones muy importantes	-3
	alteraciones y/o desconexiones significativas	-2
	alteraciones y/o desconexiones leves	-1

Funcionalidad de la llanura de inundación 2

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos			10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	si son defensas continuas	si son discontinuas pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	si alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación
si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-4	-3	-2
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3	-2	-1
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias…), generalmente transversales, que alteran los procesos hidro-geomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida	si hay abundantes obstáculos		-2
	si hay obstáculos puntuales		-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cauce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie		-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie		-2
	si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie		-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA 12

CALIDAD DEL CAUCE

Naturalidad del trazado y de la morfología en planta 5

El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema				10
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	si afectan a más del 50% de la longitud del sector	si afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	si afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	si afectan a menos del 10% de la longitud del sector
si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos…)	-8	-7	-6	-5
si, no habiendo cambios drásticos, sí se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones…)	-6	-5	-4	-3
si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, sí hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente	-4	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras	notables			-2
	leves			-1

Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales 5

El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico			10
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	si embalsan más del 50% de la longitud del sector	si embalsan del 25 al 50% de la longitud del sector	si embalsan menos del 25% de la longitud del sector
si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin bypass para sedimentos	-5	-4	-3
si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con bypass para sedimentos	-4	-3	-2
si hay un solo azud	-3	-2	-1
Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce	más de 1 por cada km de cauce		-2
	menos de 1 por cada km de cauce		-1
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector		-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector		-2
	de forma puntual		-1

Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral 1

El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación		10
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias…) adosadas a las márgenes	en más del 75% de la longitud del sector	-6
	entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5
	entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4
	entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3
	entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2
	en menos de un 5% de la longitud del sector	-1
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	notables	-2
	leves	-1
En el sector se observan síntomas de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba	notables	-2
	leves	-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAUCE 11

CALIDAD DE LAS RIBERAS

Continuidad longitudinal 4

El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita			10
La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias…) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos…).	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1

Anchura del corredor ribereño 2

Las riberas naturales supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico.		10
La anchura de la ribera supervivente ha sido reducida por ocupación antrópica	si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial	-8
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial	-6
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 60% y el 80% de la anchura potencial	-4
	si la anchura media del corredor ribereño actual es superior al 80% de la potencial	-2

si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1	

Estructura, naturalidad y conectividad transversal 1

En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.			10
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo…) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha matorralizado por desconexión con el freático (cauces con incisión)	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual
si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2
si las alteraciones son leves	-3	-2	-1
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	si las alteraciones son significativas		-2
	si las alteraciones son leves		-1
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos…) que alteran la conectividad transversal del corredor	si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas		-4
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas		-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas		-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas		-1

si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1	

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS 7

VALOR FINAL: CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA 30

© Alfredo Ollero Ojeda, Daniel Ballarín Ferrer, Elena Díaz Bea, Daniel Mora Mur, Miguel Sánchez Fabre, Vanesa Acín Naverac, María Teresa Echeverría Arnedo, David Granado García, Askoa Ibisate González de Matauco, Lorena Sánchez Gil, Noelia Sánchez Gil. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Área de Geografía Física.

Tabla 15. Ficha Índice Hidrogeomorfológico (IHG) Embalse de Barasona a Desembocadura

ÍNDICE PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA DE SISTEMAS FLUVIALES (IHG)

Sistema fluvial: ÉSERA	Masa de agua: Embalse de Barasona - Desembocadura	Fecha: 26/ 03/ 2016

CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

Naturalidad del régimen de caudal 0

Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico		10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
	si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
	si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
	si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
	si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2

Disponibilidad y movilidad de sedimentos 2

El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.		10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	si más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-5
	si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
	si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
	si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-2
En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos (*armouring, embeddedness,* alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales…) y pueden atribuirse a factores antrópicos	notables	-2
	leves	-1
En el sector se registran extracciones de áridos o dragados que reducen la disponibilidad de sedimentos y alteran su movilidad.	Importantes y frecuentes	-4
	Puntuales	-2
Las vertientes del valle y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua	alteraciones y/o desconexiones muy importantes	-3
	alteraciones y/o desconexiones significativas	-2
	alteraciones y/o desconexiones leves	-1

Funcionalidad de la llanura de inundación 10

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos			10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	si son defensas continuas	si son discontinuas pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	si alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación
si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-4	-3	-2
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3	-2	-1
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias…), generalmente transversales, que alteran los procesos hidro-geomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida	si hay abundantes obstáculos		-2
	si hay obstáculos puntuales		-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cauce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie		-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie		-2
	si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie		-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA 12

CALIDAD DEL CAUCE

Naturalidad del trazado y de la morfología en planta 9

El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema				10
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	si afectan a más del 50% de la longitud del sector	si afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	si afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	si afectan a menos del 10% de la longitud del sector
si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos…)	-8	-7	-6	-5
si, no habiendo cambios drásticos, si se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones…)	-6	-5	-4	-3
si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, si hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente	-4	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras	notables			-2
	leves			-1

Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales 7

El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico			10
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	si embalsan más del 50% de la longitud del sector	si embalsan del 25 al 50% de la longitud del sector	si embalsan menos del 25% de la longitud del sector
si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin bypass para sedimentos	-5	-4	-3
si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con bypass para sedimentos	-4	-3	-2
si hay un solo azud	-3	-2	-1
Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce	más de 1 por cada km de cauce		-2
	menos de 1 por cada km de cauce		-1
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector		-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector		-2
	de forma puntual		-1

Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral 7

El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación		10
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias…) adosadas a las márgenes	en más del 75% de la longitud del sector	-6
	entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5
	entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4
	entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3
	entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2
	en menos de un 5% de la longitud del sector	-1
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	notables	-2
	leves	-1
En el sector se observan síntomas de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba	notables	-2
	leves	-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAUCE 23

CALIDAD DE LAS RIBERAS

Continuidad longitudinal 9

El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita			10
La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias…) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos…).	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1

Anchura del corredor ribereño 8

Las riberas naturales supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico.		10
La anchura de la ribera superviviente ha sido reducida por ocupación antrópica	si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial	-8
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial	-6
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 60% y el 80% de la anchura potencial	-4
	si la anchura media del corredor ribereño actual es superior al 80% de la potencial	-2
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1	

Estructura, naturalidad y conectividad transversal 9

En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.			10
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo…) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha matorralizado por desconexión con el freático (cauces con incisión)	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual
si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2
si las alteraciones son leves	-3	-2	-1
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	si las alteraciones son significativas		-2
	si las alteraciones son leves		-1
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos…) que alteran la conectividad transversal del corredor	si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas		-4
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas		-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas		-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas		-1
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0	
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 1	-2		
si la ***Continuidad longitudinal*** ha resultado 2 ó 3	-1		

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS 26

VALOR FINAL: CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA 61

© Alfredo Ollero Ojeda, Daniel Ballarín Ferrer, Elena Díaz Bea, Daniel Mora Mur, Miguel Sánchez Fabre, Vanesa Acín Naverac, María Teresa Echeverría Arnedo, David Granado García, Askoa Ibisate González de Matauco, Lorena Sánchez Gil, Noelia Sánchez Gil. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Área de Geografía Física.

Tabla 16. Afecciones crecida 2013 en el valle de Benasque
Fuente: Guía metodológica sobre buenas prácticas de inundaciones

Tabla de efectos de la crecida en el Valle de Benasque (publicada por Serrano et al., 2014)

Consecuencias en el medio natural	
Llanos del Hospital	erosión en márgenes
	sedimentación en amplias zonas del llano y zona del vado
	incisión
Llano de Turpí	erosión en márgenes
	sedimentación en amplias zonas del llano y zona del vado
	incisión
Tramo Turpí-Senarta	erosión en márgenes
	movimiento del cauce menor
Llano de Senarta	desbordamiento con aportes de material
	sedimentación en la cola del embalse de Paso Nuevo
Paso Nuevo-Central Ruda	erosión de márgenes
	incisión
Central de Ruda-Benasque	erosión de márgenes
	zonas de sedimentación
	movilidad del lecho menor
	trazado de nuevos cauces menores
Benasque	erosión en márgenes y ampliación de curvas
	incisión
Benasque-Linsoles	cambios en trazado del cauce
	erosión de márgenes
	deposición de sedimentos en zona baja
Zona baja	movilidad del cauce menor
	erosión de márgenes, ampliación de curvas
	puntuales sedimentaciones

Afecciones urbanísticas	
Llano de Senarta	afecciones a caseta de recepción
Paso Nuevo-CentralRuda	potabilizadora inutilizada
Central de Ruda-Benasque	afecciones al acceso al polígono industrial
Benasque	algunos edificios expuestos directamente al agua
	caseta de Cazadores destrozada
	afecciones a instalaciones de depuración de aguas residuales
	inundaciones en calle Mayor
Benasque-Linsoles	edificios expuestos directamente al flujo en La Granja y Linsoles
	pistas polideportivas de Peguera anegadas y dañadas
	urbanización Linsoles inundada
	edificios de Eriste inundados
Zona baja	zonas deportivas anegadas en Villanova y Castejón
	camping de Castejón de Sos destrozado
	afecciones en depuradora de Castejón de Sos

Afecciones a infraestructuras	
Llanos del Hospital	afecciones a puente del vado, puente del llano y senderos
Llano de Turpí	afecciones puntuales en puentes
Tramo Turpí-Senarta	afecciones en pista forestal, tramos desaparecidos
Llano de Senarta	puente de acceso sepultado
	pista dañada
Paso Nuevo-Central Ruda	puente camping Aneto dañado
	puente Ruda sepultado
	escolleras arrastradas
Central de Ruda-Benasque	escolleras y gaviones arrastrados
	traída de aguas de Benasque destruida
	carretera A-136 destruida en varios puntos
	zona de picnic destruida
	senderos destruidos
Benasque	camino de huertos destrozado
	escolleras arrastradas
	partes del muro arrastradas
	socavamiento de puentes y defensas
	toma de agua alcantarillado destrozada
	puente 'la palanca' destrozado
Benasque-Linsoles	camino ribereño destruido
	muros parcialmente destruidos
	escolleras destrozadas
	puente de Linsoles Alto inutilizado
	puente de Linsoles muy dañado
	puente Eriste casi cegado
	carretera inundada
Zona baja	afecciones puntuales en carretera (Arnaldet, Castejón, El Run, Ventamillo, Seira...)
	destrucción de escolleras y motas
	afecciones a gaviones en Villanova
	afecciones a pistas forestales cercanas al cauce