

Trabajo Fin de Grado

Caracterización de la Cuenca Hidrográfica del
Río Ara. Estudio de las inundaciones y su
afección en núcleos de población.

Autor/es

Oiane Sánchez Esteban

Director/es

Miguel Sánchez Fabre

Facultad de Filosofía y Letras

2017

Resumen

El presente trabajo realiza una caracterización del medio natural de la cuenca del río Ara, así como del comportamiento hidrológico del río. Además, analiza sus crecidas y el riesgo que éstas producen en Torla, Borto, Fiscal y Boltaña. Por último, se estudia la percepción que la población de estas localidades tienen sobre el riesgo de inundación y se elaboran una serie de propuestas para la reducción del riesgo.

Palabras clave: crecida, inundación, río, riesgo, inundabilidad, período de retorno,

Abstract

The present work makes a characterization of the natural environment of the Ara river basin, as well as the hydrological behavior of the river. In addition, it analyzes its floods and the risk they produce in Torla, Borto, Fiscal and Boltaña. Finally, the population's perception of the flood risk is studied and a series of proposals for risk reduction are made.

Key words: spate, flood, river, risk, flooding, return period

Índice

1.	Introducción	5
2.	Objetivos	6
3.	Metodología	6
3.1.	Caracterización de la cuenca hidrográfica del Río Ara.	7
3.2.	Funcionamiento hidrológico del río Ara.....	7
3.3.	Riesgo de inundación en las principales poblaciones de la cuenca. Torla, Broto, Fiscal y Boltaña.	7
3.3.1.	Verificación de datos en Boltaña.....	8
4.	Antecedentes.....	8
5.	Localización del área de estudio	9
6.	Caracterización del medio natural	11
6.1.	Factores del comportamiento hidrológico	11
6.1.1.	Climatología	11
6.1.2.	Pendientes	18
6.1.3.	Litología	20
6.1.4.	Usos de suelo y vegetación	22
7.	Caracterización hidrológica del río Ara.....	24
7.1.	Caudalosidad	24
7.2.	Variación estacional y régimen hídrico	25
7.3.	Irregularidad interanual y coeficiente de irregularidad interanual.....	27
8.	Estudio de las crecidas	28
8.1.	Crecidas históricas	28
8.2.	Caracterización de las crecidas del río Ara	30
8.2.1.	Número de eventos de crecida	31
8.2.2.	Frecuencia, volumen y reparto temporal de las crecidas	32
8.2.3.	Tipología de las crecidas	36
9.	Estudio de probabilidad de inundación en los principales núcleos de población del valle del Ara...41	
9.1.	Boltaña	42
9.2.	Fiscal	54
9.3.	Broto	64
9.4.	Torla	75
10.	Percepción social	84
11.	Conclusiones.....	85
12.	Bibliografía	88
13.	Anexos.....	90
13.1.	Anexo 1: datos climáticos	90
13.2.	Anexo 2: Encuesta de percepción del riesgo de inundación	91
13.3.	Anexo 3: mapas de inundación de la Confederación Hidrográfica del Ebro	92

Índice de figuras

Figura 1. Metodología.....	6
Figura 2. Diagrama de temperaturas de Torla.	13
Figura 3. Climograma de Torla.	13
Figura 4. Diagrama de temperaturas de Broto.....	14
Figura 5. Climograma de Broto.....	14
Figura 6. Diagrama de temperaturas de Fiscal.	15
Figura 7. Climograma de Fiscal.	15
Figura 8. Diagrama de temperaturas de Boltaña.	16
Figura 9. Climograma de Boltaña.	16
Figura 10. Perfil longitudinal del río Ara.	19
Figura 11. Variación estacional del río Ara en Boltaña.	26
Figura 12. Irregularidad interanual en la estación de aforos de Boltaña.	27
Figura 13. Número de eventos de crecida según su intensidad en Boltaña.....	31
Figura 14. Reparto de las crecidas por meses e intensidad en Boltaña.....	32
Figura 15. Hidrograma de crecida corta por 3 en Boltaña.	37
Figura 16. Hidrograma de crecida corta por 5 en Boltaña.	36
Figura 17. Hidrograma de crecida corta por 10 en Boltaña.	36
Figura 18. Hidrograma de crecida corta por 25 en Boltaña.	37
Figura 19. Hidrograma de crecida media por 3 en Boltaña.....	37
Figura 20. Hidrograma de crecida media por 5 en Boltaña.....	38
Figura 21. Hidrograma de crecida media por 10 en Boltaña.....	38
Figura 22. Hidrograma de crecida larga por 3 en Boltaña.....	38
Figura 23. Hidrograma de crecida larga por 5 en Boltaña.....	39
Figura 24. Hidrograma de crecida larga por 10 en Boltaña.....	40

Índice de mapas

Mapa 1. Localización del área de estudio.	9
Mapa 2. Características climáticas de la cuenca hidrográfica del río Ara.	12
Mapa 3. Pendientes de la cuenca hidrográfica del río Ara.....	17
Mapa 4. Litología de la cuenca hidrográfica del río Ara.	21
Mapa 5. Usos de suelo de la cuenca hidrográfica del río Ara.....	23
Mapa 6. Períodos de retorno en Boltaña.....	46
Mapa 7. Máxima Crecida Ordinaria en Boltaña.....	47
Mapa 8. Zona de alta probabilidad de inundación en Boltaña.	48
Mapa 9. Zona de inundación frecuente en Boltaña.	49
Mapa 10. Zona de probabilidad media de inundación en Boltaña.....	50
Mapa 11. Zona de probabilidad baja de inundación en Boltaña.....	51
Mapa 12. Zona de Flujo Preferente en Boltaña.....	52
Mapa 13. Delimitación de Cauces Públicos en Boltaña.	53
Mapa 14. Períodos de retorno en Fiscal.	56
Mapa 15. Máxima Crecida Ordinaria en Fiscal.	57
Mapa 16. Zona de alta probabilidad de inundación en Fiscal.	58
Mapa 17. Zona de inundación frecuente en Fiscal.	59
Mapa 18. Zona de probabilidad media de inundación en Fiscal.	60
Mapa 19. Zona de probabilidad baja de inundación en Fiscal.	61

Mapa 20. Zona de Flujo Preferente en Fiscal.....	62
Mapa 21. Delimitación de Cauces Públicos en Fiscal.....	63
Mapa 22. Períodos de retorno en Broto.....	66
Mapa 23. Máxima Crecida Ordinaria en Broto.....	68
Mapa 24. Zona de alta probabilidad de inundación en Broto.....	69
Mapa 25. Zona de inundación frecuente en Broto.....	70
Mapa 26. Zona de probabilidad media de inundación en Broto.....	71
Mapa 27. Zona de probabilidad baja de inundación en Broto.....	72
Mapa 28. Zona de Flujo Preferente en Broto.....	73
Mapa 29. Delimitación de Cauces Públicos en Broto.....	74
Mapa 30. Períodos de retorno en Torla.....	76
Mapa 31. Máxima Crecida Ordinaria en Torla.....	77
Mapa 32. Zona de alta probabilidad de inundación en Torla.....	78
Mapa 33. Zona de inundación frecuente en Torla.....	79
Mapa 34. Zona de probabilidad media de inundación en Torla.....	80
Mapa 35. Zona de probabilidad baja de inundación en Torla.....	81
Mapa 36. Zona de Flujo Preferente en Torla.....	82
Mapa 37. Delimitación de Cauces Públicos en Torla.....	83

Índice de tablas

Tabla 1. Módulo mensual en la estación de aforos de Boltaña.....	25
Tabla 2. Coeficiente de caudal en la estación de aforos de Boltaña.....	27
Tabla 3. Crecidas históricas hasta la década de 1980.....	29
Tabla 4. Crecidas históricas a partir de la década de 1980.....	30
Tabla 5. Clasificación del módulo.....	32
Tabla 6. Clasificación de los eventos de crecida en a partir de la clasificación del módulo.....	34
Tabla 7. Clasificación de las crecidas por duración del histograma.....	36
Tabla 8. Leyenda mapas de inundación.....	41
Tabla 9. Comparación datos Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables y Anuario de Aforos.....	43
Tabla 10. Datos del Sistema Automático de Información Hidrológica.....	44

1. Introducción

Los ríos son las arterias naturales del territorio y uno de sus principales vertebradores, ya que la relación del hombre con el agua ha sido siempre muy estrecha, y no hace más que aumentar. Por un lado, por la dependencia que el hombre sufre respecto al agua y, por otro lado, por las catástrofes cada vez más frecuentes causadas por una mala gestión del territorio, por ejemplo, las inundaciones.

Aragón está recorrido por una amplia red hidrográfica, integrada en su mayor parte en la Cuenca Hidrográfica del Ebro (88%) y, en menor medida, en la del Júcar (10%) y el Tajo (2%).

El principal río de Aragón, el Ebro, atraviesa la comunidad abasteciéndose del agua de numerosos afluentes que descienden desde el Pirineo y el Sistema Ibérico, siendo los ríos pirenaicos los que mayor porcentaje de agua vierten al Ebro.

Uno de los ríos que conforman esta red de afluentes es el río Ara, cuyo nombre tiene origen preindoeuropeo, el cual significa “corriente de agua”. Una de las principales características de este río es la ausencia durante sus 70 kilómetros de longitud de presas que regulen o modifiquen su curso, convirtiéndose, por parte de los científicos y naturalistas, en el mayor ejemplo de río natural del Pirineo, ya que lo consideran como el mejor ejemplo para explicar el funcionamiento hidrológico, geomorfológico y ecológico de un río pirenaico, debido a su localización en el centro de la cordillera, a su estado natural, a sus diversos tramos, representativos de todos los tipos de cauce, ribera y valle posibles (Ollero, A., *et al.* 2011).

El hecho de que sea todavía un río natural, hace que sus crecidas no sean controladas, lo que permite al propio río tener su propia personalidad. Estas crecidas tienen unos aspectos positivos que no se deben negar: regulan el caudal, limpian el cauce, aportan nutrientes a la vegetación transportando sedimentos...

Tal y como veremos, un 69,2% de las crecidas del Ara tienen lugar en otoño,

un 21% en primavera y un 14,2% en invierno, por lo que responden fundamentalmente a episodios pluviales (García Ruiz *et al.*, 1985).



Foto 1: Río Ara a su paso por Broto. Fotografía: Oiane Sánchez

Sin embargo, cuando alguna de estas crecidas desborda el cauce, se producen inundaciones, las cuales afectan a los núcleos de población que el río Ara atraviesa. Aquí es donde se basa la justificación de este proyecto, ya que, dada la naturalidad de su comportamiento, las crecidas

no son controladas, aumentando el interés científico sobre este río. Cabe citar, además, la ausencia de consciencia por parte de la población que habita las zonas colindantes al río, ya que la percepción de riesgo de inundaciones, como un peligro real, es nulo, en parte, gracias a las obras de canalización del río en los núcleos de población.

La peor crecida registrada del río Ara se produjo el 18 de diciembre de 1997. No fue la mayor en cuanto a caudal registrado, pero sí lo fue en cuanto a consecuencias, ya que los 700 m³/s de caudal punta tropezaron con la presa-ataguía de Jánovas. La presión del agua rompió la ataguía, hecha de materiales sueltos, formándose un gran boquete. La crecida resultante marcó un caudal de 1.551 m³/s en Boltaña (aguas abajo), el tercero más alto del siglo, produciendo la ruptura de defensas y la inutilización de la cabañera real, y obligando a desalojar el núcleo de Margudged (Ollero, A., et al. 2011).

2. Objetivos

Los objetivos que se plantean para la realización de este estudio son:

- Conocer los elementos naturales de la cuenca hidrográfica del río Ara: clima, geología, litología y usos de suelo
- Conocer el comportamiento hidrológico del río Ara
- Conocer el riesgo de inundación de las principales localidades atravesadas por el río Ara, así como la percepción de la población de estas localidades.

3. Metodología

Para la elaboración de este trabajo, se han seguido tres fases (Figura 1):

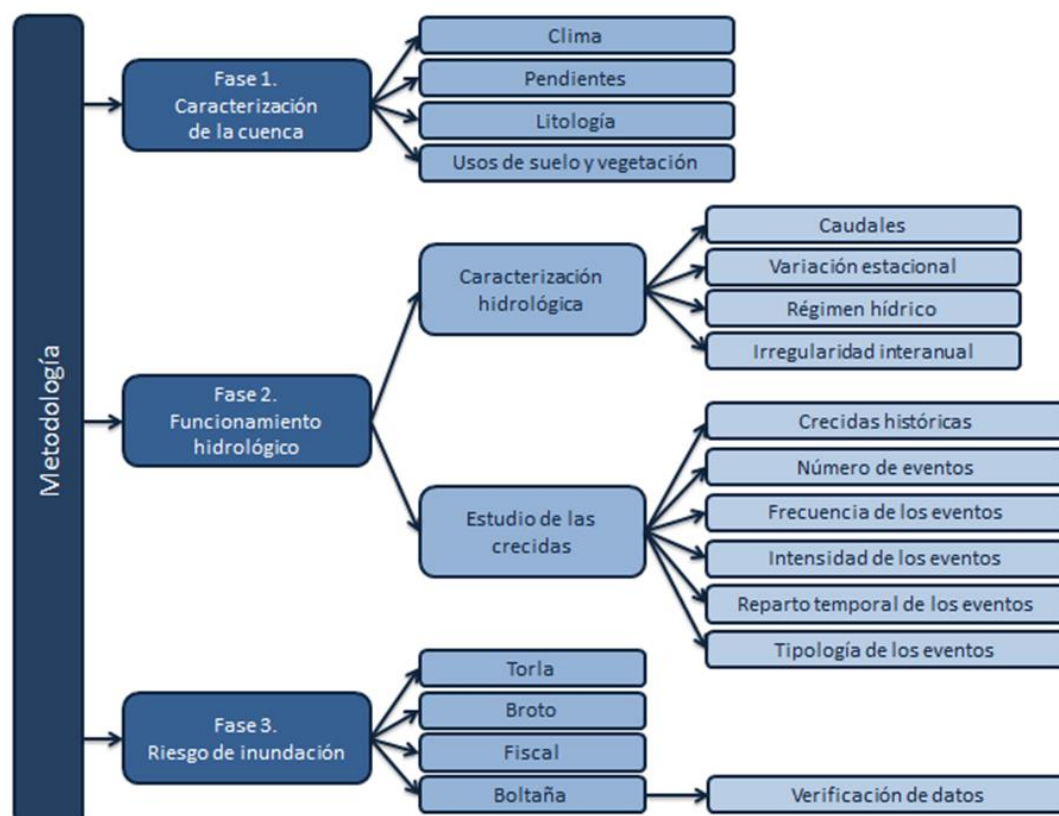


Figura 1. Metodología. Elaboración: Oiane Sánchez

3.1. Caracterización de la cuenca hidrográfica del Río Ara.

Para elaborar la caracterización de la cuenca hidrográfica del río Ara se ha llevado a cabo el estudio de los diferentes factores naturales que afectan al funcionamiento de la propia cuenca, tales como el clima, las pendientes, la litología, usos del suelo y la vegetación.

Para ello se han elaborado una serie de cartografías a partir de la delimitación de la cuenca sobre las curvas de nivel. Las capas y los datos utilizados en este apartado han sido obtenidos de diversas fuentes de información: el Anuario de Aforos, el Mapa Geológico de España, la Serie Magna, el Atlas Climático de Aragón o la Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón. Estas fuentes están gestionadas por organismos oficiales como son el Instituto Geográfico Nacional, el Instituto Geológico y Minero de España o la Confederación Hidrográfica del Ebro.

3.2. Funcionamiento hidrológico del río Ara.

El estudio del funcionamiento hidrológico se ha realizado a partir de los datos de caudal de la estación de aforo de Boltaña (A9040), obtenidos del Anuario de Aforos del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

A partir de estos datos, se ha analizado:

- Por un lado, la caracterización hidrológica. En ella se ha estudiado los caudales, la variación estacional y su régimen hídrico y la irregularidad interanual.
- Por otro lado, las crecidas. En él se han estudiado las crecidas históricas, el número de eventos de crecida, su frecuencia, su intensidad, su reparto temporal y su tipología.

3.3. Riesgo de inundación en las principales poblaciones de la cuenca. Torla, Broto, Fiscal y Boltaña.

En tercer lugar, se ha estudiado el riesgo de inundación en las cuatro poblaciones más importantes de la cuenca: Torla, Broto, Fiscal y Boltaña.

Para ello, primero se han recopilado los mapas de inundación realizados por la Confederación Hidrográfica del Ebro, organizándolos de la siguiente manera:

- Mapa 1: Cartografía de los diferentes periodos de retorno en cada una de las localidades: 10 años, 50 años, 100 años y 500 años.
- Mapa 2: Cartografías sobre la Máxima Crecida Ordinaria de cada una de las localidades.
- Mapa 3: Cartografías de la probabilidad de inundación en cada una de las localidades visualizando los diversos calados, clasificados por periodos de retorno:
 - o 10 años: alta probabilidad de inundación
 - o 50 años: inundación frecuente
 - o 100 años: media probabilidad de inundación
 - o 500 años: baja probabilidad de inundación
- Mapa 4: Cartografías que muestran la Zona de Flujo Preferente en cada una de las localidades.
- Mapa 5: Delimitación de Cauces Públicos en cada localidad, observándose el Dominio Público Hidráulico, Zona de Policía y Zona de Servidumbre.

3.3.1. Verificación de datos en Boltaña

Se han descargado datos hidrológicos de la Confederación Hidrográfica del Ebro, así como datos del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, con el fin de poder elaborar una comparación entre los datos de caudal aportados por la Confederación Hidrográfica del Ebro y los aportados por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

Esta verificación sólo se ha podido llevar a cabo en la localidad de Boltaña, ya que es el único municipio en el que existe estación de aforo.

4. Antecedentes

El agua ha sido desde hace miles de años objeto de estudio por las poblaciones asentadas en el territorio, pues la necesidad de convivir con ella hacía que su estudio y conocimiento fuera ineludible para evitar desastres que afectaran a los propios asentamientos.

Esta idea de conocimiento y estudio ha llegado hasta la actualidad, brotando numerosas publicaciones acerca del agua y sus características, además de estudios sobre el territorio por el que discurren.

En este aspecto, publicaciones como las de *Gaume et al., 2009; Kundzewicz, Pinskiwar y Brakenridge, 2012* o *Camarasa y Mateu, 2000* son de vital importancia para el conocimiento de la Hidrología como ciencia.

Dentro de la hidrología, una de las mayores preocupaciones y en la mayoría de los casos, objeto de estudio, son las avenidas. El interés sobre cómo prevenirlas o cómo evitarlas se ha intensificado en las últimas décadas.

En el caso de Aragón, son numerosos los estudios realizados en esta temática, donde destacan los trabajos de *García Ruiz et al., 1996; Barrera, 1999; García Ruiz, Beguería, López-Moreno, Lorente y Seeger, 2001; Ollero, 2006; Del Valle, Ollero y Sánchez Fabre, 2007; Acín et al., 2012;* o los de *Ollero y Pellicer, 1991; Ollero, Pellicer y Sánchez Fabre, 2004; Espejo, Domenech, Ollero y Sánchez Fabre, 2007, Sánchez Fabre et al., 2015;* en los que además de estudiar las características de los cursos fluviales muestran interés sobre las pendientes, litología, características climáticas, caudales o procesos hidrológicos de algunos ríos pirenaicos, es decir, las características del territorio sobre el que discurren.

Otro aspecto a tener en cuenta en estas investigaciones, son las poblaciones que se pueden ver afectadas por las avenidas, siendo de vital importancia, la evaluación del riesgo de inundación que pudiera haber en ellas, tal y como muestran *Doménech, Ollero y Sánchez-Fabre, 2008*.

El estudio continuado sobre las cuencas y sobre el comportamiento de los cursos fluviales es necesario y es labor del geógrafo conocer sus características para poder realizar una correcta ordenación territorial.

El río Ara ha demostrado ser un río peligroso por sus avenidas históricas. Sin embargo, las obras efectuadas recientemente, crean una sensación de falsa seguridad o una percepción de que el río es menos peligroso. Estas obras no son más que canalizaciones que intentan

proteger a las poblaciones sin ser conscientes del cambio en el comportamiento fluvial que esto provoca, convirtiéndolo en más peligroso aun si cabe, bien en la zona de actuación o bien en otras zonas aguas abajo.



Foto 2: Río Ara a su paso por Bujaruelo. Fotografía: Carlos Baraza

5. Localización del área de estudio

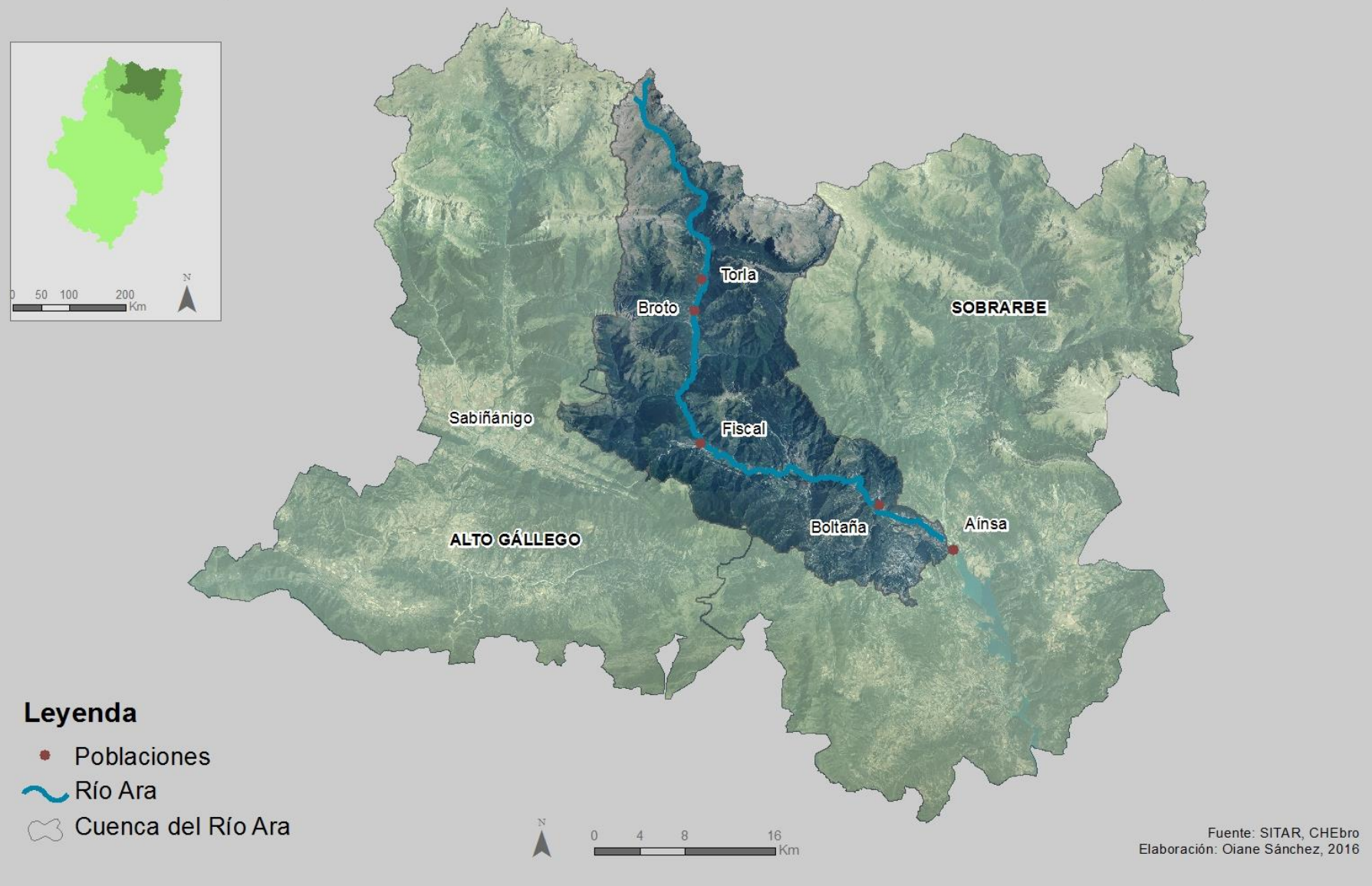
El río Ara se localiza al norte de la Comunidad Autónoma de Aragón, entre las comarcas de Alto Gállego y Sobrarbe, siendo uno de los principales afluentes del río Cinca (mapa 1).

El río Ara nace en la cara sur del pico Meillón, al noroeste del Vignemale dentro de la Reserva de la Biosfera de Ordesa-Viñamala, siguiendo un recorrido Noroeste-Sureste a través de Bujaruelo, tras lo cual atraviesa la garganta de los Navarros recibiendo a su salida al río Arazas en su margen izquierda. Después el río pasa por Torla (293 habitantes) y Broto (523 habitantes) en dirección Norte-Sur. Finalmente, retoma el sentido Noroeste-Sureste para atravesar Fiscal (369 habitantes¹) y Boltaña (1.041 habitantes) desembocando en la localidad de Aínsa en el río Cinca, con una aportación natural media anual de 542 hm³ (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2016). Los datos de población han sido extraídos del Instituto Nacional de Estadística (2014)

Los principales afluentes del río Ara son el Otal, el Arazas, el Sorrosal, el Chate, el Forcos, el Guargas y el Ena.

Se puede considerar que el río Ara disfruta de un magnífico estado de naturalidad, sin regulaciones que alteren su régimen, con vertidos de escaso volumen en relación a su caudal y con pocas transformaciones de su cauce o riberas.

Localización de la cuenca hidrográfica del río Ara



Mapa 1. Localización del área de estudio. Fuente: SITAR, CHEbro. Elaboración: Oiane Sánchez

6. Caracterización del medio natural

6.1. Factores del comportamiento hidrológico

Tal y como se ha comentado al principio del presente proyecto, uno de los objetivos a conseguir a través de este trabajo, es el estudio de los diferentes factores que inciden en el comportamiento hidrológico del río,

6.1.1. Climatología

La cuenca hidrográfica del río Ara se encuentra dentro del dominio climático de montaña, aunque conforme avanzamos hacia el sur, el clima va adquiriendo algunos rasgos del clima mediterráneo continentalizado.

En el Pirineo, el clima de montaña se localiza a partir de los 800 metros de altitud aproximadamente, donde destaca la intensidad del frío y la importante pluviometría, parte de la cual cae en forma de nieve, aunque es evidente que el propio relieve y la diversidad de exposiciones crean diferencias entre localidades, creando climas locales (Cuadrat, J.M., 2004).

Estas características generales vienen dadas principalmente por el efecto del relieve, que hace que las precipitaciones anuales sean abundantes, aunque se puede apreciar una diferencia importante entre el máximo equinoccial y el mínimo invernal. Esto está causado, en primavera, por el incremento en la frecuencia en el paso de borrascas atlánticas gracias al debilitamiento de las altas presiones en centroeuropa y, en otoño, por la llegada de perturbaciones procedentes del Mediterráneo (Atlas Climático de Aragón, 2006).

También el relieve influye notablemente en las temperaturas. En primer lugar, por el descenso del gradiente térmico, lo que también afecta a las precipitaciones o a la radiación solar. En segundo lugar, la existencia de obstáculos montañosos dificulta la influencia marina, por lo que en el valle del río Ara, las temperaturas sufrirán fuertes contrastes. Además, estos obstáculos montañosos favorecen la condensación y la formación de precipitaciones.

Estas características climáticas de la zona de estudio, son un factor importante en cuanto a los procesos hidrológicos (mapa 2).

El volumen de precipitaciones que se puedan registrar, y sobre todo su intensidad, influyen directamente tanto en la escorrentía como en la infiltración. A mayor número de precipitaciones registradas mayor probabilidad de escorrentía habrá. Además, la temperatura también juega un papel importante, ya que si es elevada, provoca un aumento de la evapotranspiración, disminuyendo la cantidad de agua que pueda haber en el suelo y disminuyendo la cantidad de agua necesaria para que el proceso de escorrentía se produzca.

En cuanto a la infiltración, al principio de los eventos de precipitación, la infiltración es mayor, puesto que el suelo no está saturado y el proceso de infiltración está al 100%. En cuanto el evento avanza temporalmente, el suelo se va saturando de agua, disminuyendo la infiltración.

Algo parecido pasa con la intensidad con la que se produzca el evento de lluvia. A una mayor intensidad el suelo se saturará con más rapidez que si el evento fuese de menor intensidad.

Características climáticas de la cuenca hidrográfica del río Ara

Precipitaciones



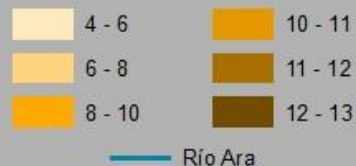
Precipitaciones (mm)



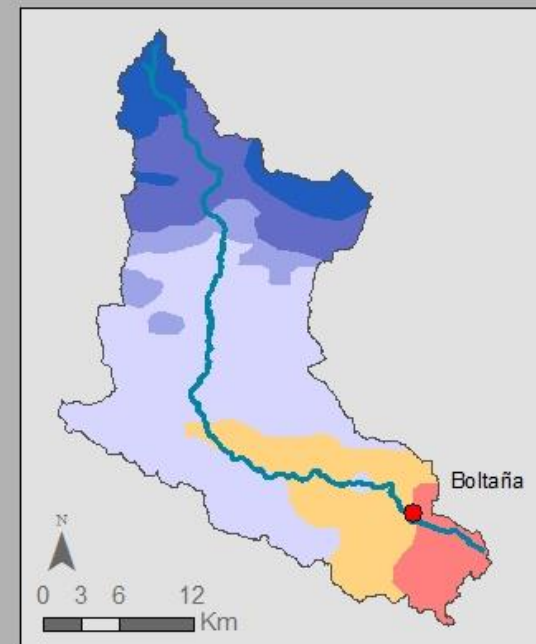
Temperaturas



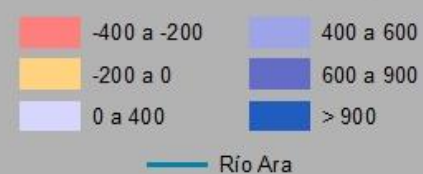
Temperatura (°C)



Balance Hídrico



Balance Hídrico (mm)



Fuente: Atlas Climático de Aragón

Elaboración: Oiane Sánchez, 2016

Mapa 2. Características climáticas de la cuenca hidrográfica del río Ara. Fuente: Atlas Climático de Aragón. Elaboración: Oiane Sánchez.

A pesar de que como conjunto, se puedan establecer una serie de características ya mencionadas, en la cuenca del río del Ara se pueden diferenciar dos sectores.

Por un lado, la cabecera del Ara, con Torla y Broto como ejemplos.

En Torla las temperaturas medias se encuentran en torno a los 8.4 ° C y las precipitaciones medias se sitúan en los 884 mm.

Si se observa el diagrama de temperaturas (Figura 2) se puede observar como en esta zona, el mes más caluroso del año es julio con una media de 16.3° C y por el contrario el mes más frío es enero con una media de 1.2° C.

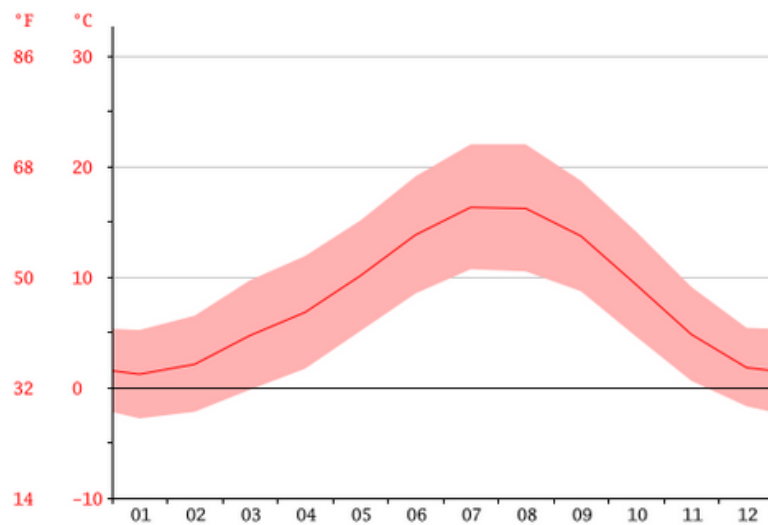


Figura 2. Diagrama de temperaturas de Torla. Fuente: <http://es.climate-data.org/>

En cuanto a las precipitaciones, tal y como se observa en su climograma (Figura 3), se extienden a lo largo de todo el año (884 mm al año), siendo julio el mes más seco con 53 mm, mientras que por el contrario, el mes donde se registran mayores precipitaciones es en Mayo, con 95 mm.

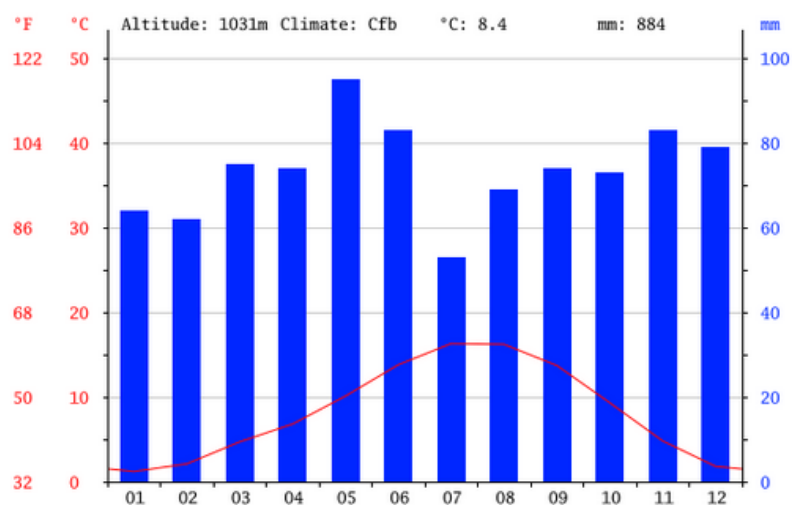


Figura 3. Climograma de Torla. Fuente: <http://es.climate-data.org/>

Otro ejemplo de este clima sería la localidad de Broto, donde sus medias anuales de temperatura se localizan sobre los 9º C y las precipitaciones en 835 mm.

En Broto, la temperatura máxima se produce en julio, con 16,9 º C y el más frío, enero con 1,7º C (Figura 4).

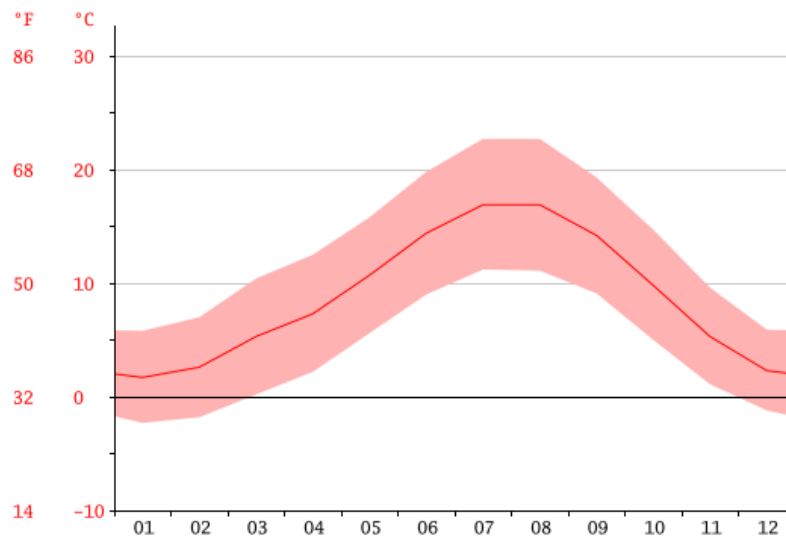


Figura 4. Diagrama de temperaturas de Broto. Fuente: <http://es.climate-data.org/>

En cuanto a las precipitaciones, el máximo anual se sitúa también en mayo, como en el caso de Torla, con 90 mm. El mínimo también lo hace en julio, con 49 mm (Figura 5).

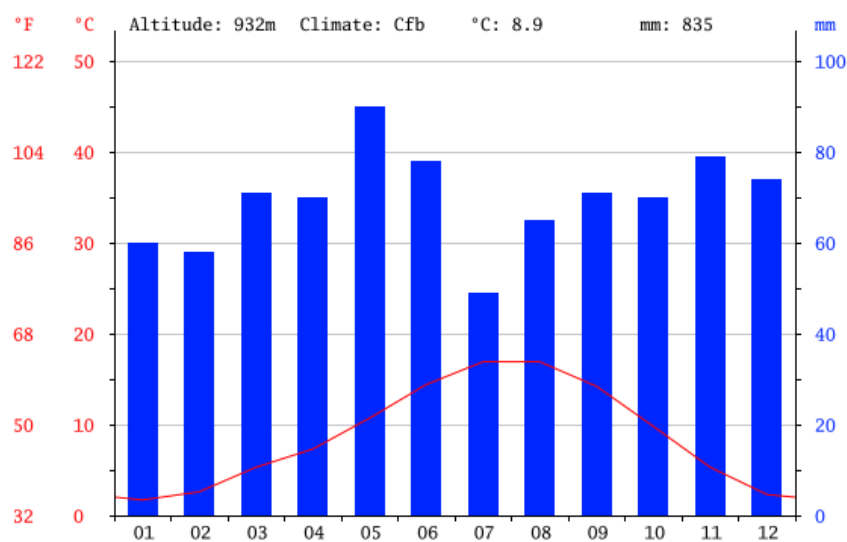


Figura 5. Climograma de Broto. Fuente: <http://es.climate-data.org/>

Por otro lado, hacia la desembocadura del río, se encuentran Fiscal y Boltaña, donde el clima se modifica levemente con respecto a la cabecera, ya que la diferencia de altitud y latitud de estos núcleos de población con respecto a los anteriores condicionan las características climáticas de éstos, que adquieren algunas pinceladas del clima mediterráneo.

En Fiscal, tal como se observa en su diagrama de temperaturas (Figura 6) la media anual se encuentra en 9,9 °C, siendo julio el mes más caluroso con 17,9 °C y enero el mes más frío con 2,6 °C.

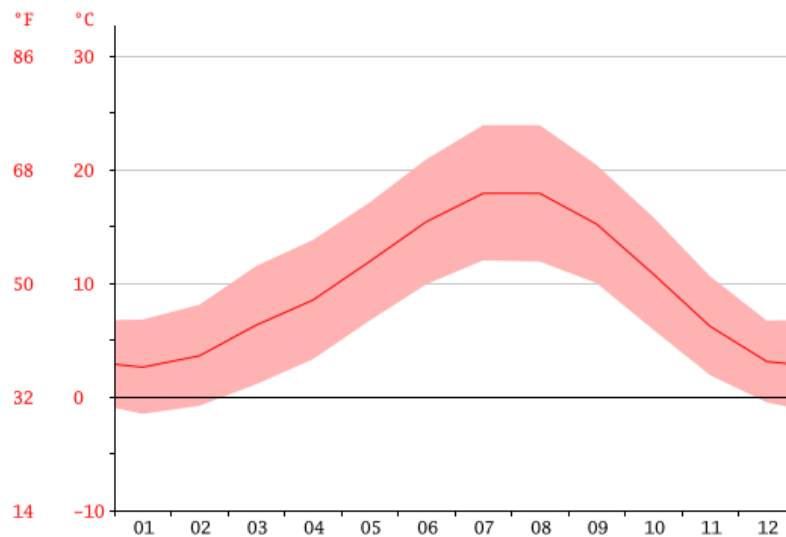


Figura 6. Diagrama de temperaturas de Fiscal. Fuente: <http://es.climate-data.org/>

En cuanto a las precipitaciones, la media anual se sitúa en 730 mm, siendo julio el mes más seco con 42 mm y mayo el más lluvioso con 81 mm (Figura 7).

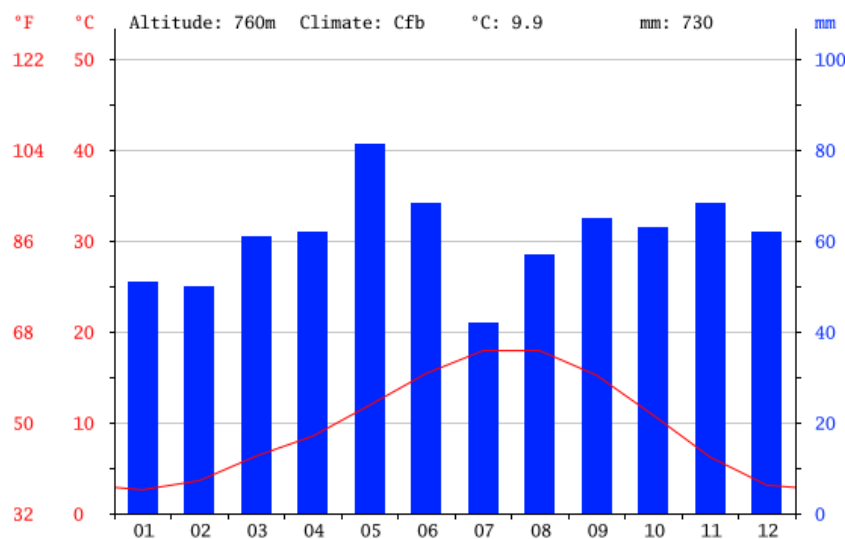


Figura 7. Climograma de Fiscal. Fuente: <http://es.climate-data.org/>

Por último, en Boltaña, la temperatura media anual se encuentra en torno a 10,7 °C, siendo julio el mes más cálido con un promedio de 18,9 °C y enero el mes más frío con 3,1 °C (Figura 8).

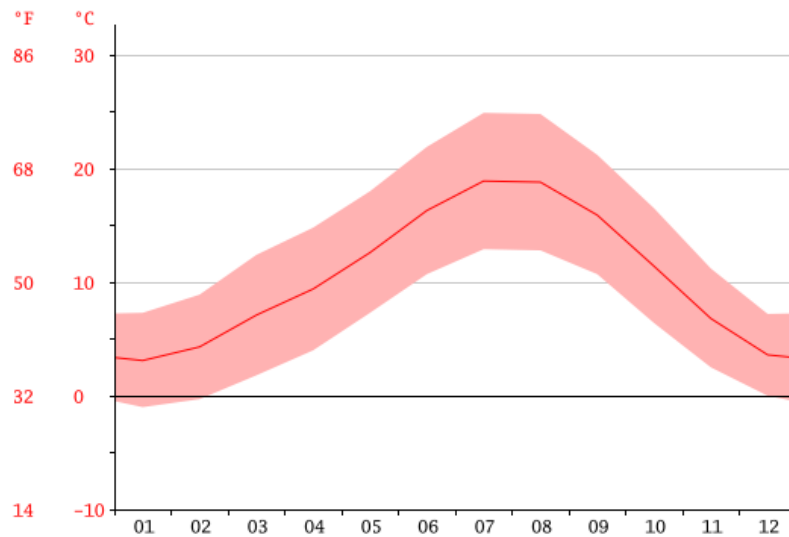


Figura 8. Diagrama de temperaturas de Boltaña. Fuente: <http://es.climate-data.org/>

En cuanto a las precipitaciones, la media anual es de 701 mm al año, siendo julio el mes más seco, con 41 mm y mayo el mes más húmedo, con 78 mm (Figura 9).

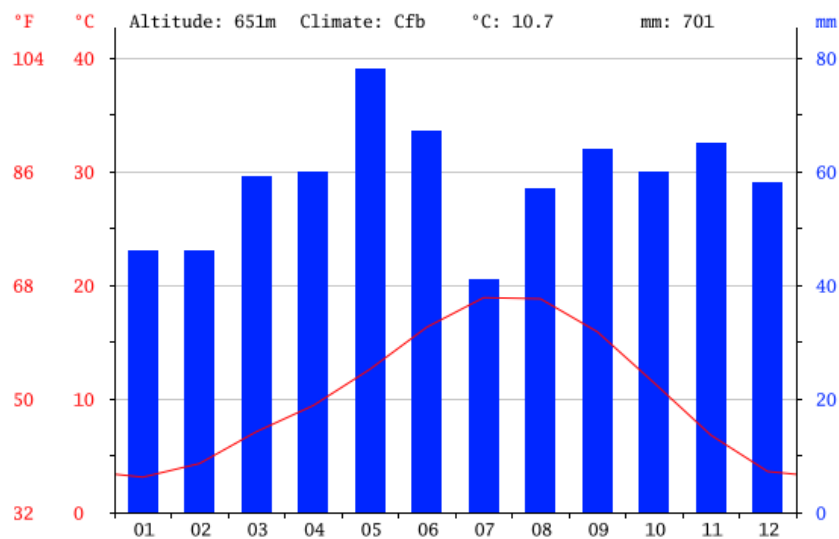


Figura 9. Climograma de Boltaña. Fuente: <http://es.climate-data.org/>

Pendientes en la Cuenca Hidrográfica del río Ara



Mapa 3. Pendientes de la cuenca hidrográfica del río Ara. Fuente: IGN. Elaboración: Oiane Sánchez.

6.1.2. Pendientes

En el mapa de pendientes de la cuenca hidrográfica del río Ara (mapa 3), se han diferenciado cinco intervalos en función de los grados de pendiente, y se pueden distinguir muy claramente dos zonas.

La primera zona, al norte de la localidad de Torla, destaca por sus enormes pendientes. Esto hace que la escorrentía y la erosión sean los principales procesos que se pueden observar en este sector.

La segunda zona, al sur de Torla, las pendientes no son tan pronunciadas como en el primer sector, siendo además pendientes más suaves conforme la cuenca se acerca a la desembocadura.

A lo largo de toda la cuenca se puede destacar el encajonamiento al que el río está sometido, perdiéndose conforme se acerca a la desembocadura, puesto que hay una leve disminución en las pendientes y el valle se amplía levemente, quedando con un menor encajonamiento.

Despunta una apertura en el valle al sur de Broto y al sur de Fiscal, lo que tiene como consecuencia que el río amplíe su llanura de inundación tras atravesar dichas localidades y, por lo tanto, su riesgo de inundación de ambas poblaciones disminuya.

La elevada pendiente que tiene que salvar el Río Ara provoca que los procesos hidrológicos se vean influenciados por esta característica. Uno de los procesos afectados directamente por la pendiente es la escorrentía.

La pendiente aumenta el coeficiente de escorrentía, puesto que una misma microtopografía embalsa más agua en terrenos llanos que en terrenos empinados. Así mismo, este aumento de la escorrentía provocada por la pendiente aumenta la erosión hídrica, incidiendo en el terreno y creando un gran número de pequeños torrentes en las laderas.

La infiltración es otro proceso influenciado por la pendiente por la que discurre el río, ya que cuando el relieve es abrupto y con una pendiente elevada, el agua tiende a descender superficialmente hacia las zonas más bajas, mientras que en los relieves suaves, las aguas permanecen más tiempo en contacto con los poros y fisuras de los materiales superficiales, lo que favorece la infiltración.

En cuanto al cauce principal, el perfil longitudinal del río (figura 10) muestra la enorme pendiente que el río salva desde su nacimiento hasta su desembocadura. El río Ara recorre 71 km con una pendiente media del 3%, salvando un desnivel de 2.092 m desde su nacimiento hasta su desembocadura sin ninguna presa, convirtiéndolo en el río pirenaico más largo sin embalses y otorgándole un gran valor como corredor fluvial y ecológico.

En su curso alto, desde su nacimiento hasta Bujaruelo, el Ara tiene una longitud de 14,8 km y una pendiente media del 8,72% presentando las morfologías típicas de un río de la alta montaña pirenaica.

Dentro del curso alto del río Ara se pueden definir 5 subsectores bien marcados:

- Un tramo inicial, de fuerte pendiente, encajado en el sustrato rocoso, con material coluvial carente de llano de inundación.
- El segundo y el cuarto tramo son cortos y meandriformes debido a la escasa pendiente que presenta el fondo de la artesa glaciar.
- El tercer y último subsector (hasta alcanzar Bujaruelo) presentan una pendiente más elevada, que salva con numerosos rápidos. El cauce presenta escalonamientos pero también sinuosidades, lo que ocasiona tanto erosión lineal como lateral, además de procesos de vertiente.

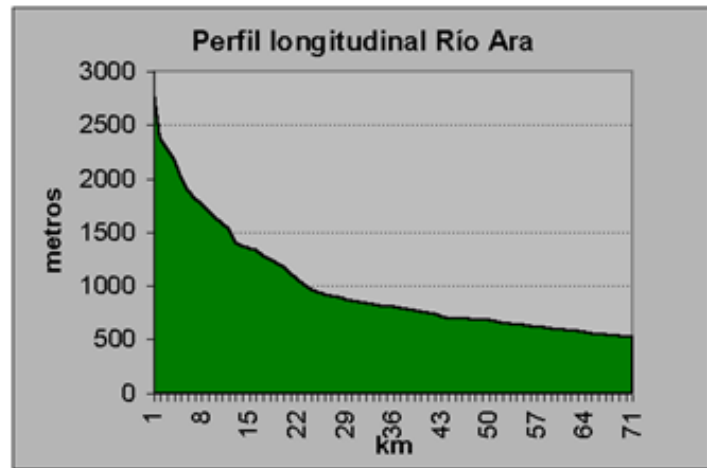


Figura 10. Perfil longitudinal del río Ara. Fuente de información: http://www.guaso.com/ollero_fig_y_tablas_der_rio_ara.htm

Tras este primer sector y hasta la confluencia con el Arazas, el río Ara recorre la garganta de los Navarros, la cual tiene una pendiente media del 4,6% y dibuja sinuosidades que provocan gran erosión lineal y encajamiento, con sucesión de rápidos y escalones con remansos.

Hasta el límite municipal Torla - Broto, el río, con una pendiente del 2,34%, atraviesa un valle de 6,2 km de longitud con una anchura intermedia que permite el desarrollo del corredor fluvial. Sin embargo, las curvas presentan una baja amplitud de onda y chocan frecuentemente con las laderas, provocando que sólo sean inundables las orillas convexas y no siempre en toda su extensión. Debido a la pendiente media de este tramo se suceden pools y rifles.

Hasta el barranco de San Pedro (8,5 km, pendiente media del 1,29%), se sitúa un valle glaciar donde el cauce es trenzado, de notable anchura y muy baja profundidad, con gran carga de material sólido y subdivisión de la corriente en brazos. En cuanto a los afluentes, se incorporan el Yosa y el Chate con notable carga sedimentaria y cuyos conos aluviales parcialmente activos se expanden e integran en la propia llanura aluvial del Ara. Esto proporciona una anchura de 800 metros en el río Ara, con buena colonización vegetal en las zonas más estables, pero nula en amplios sectores debido a la frecuencia de caudales altos y crecidas.

A continuación, hasta Fiscal y a lo largo de 5,2km, el Ara discurre con una pendiente media del 1,29% por un valle más estrecho que meandriz suavemente con un desarrollo de terrazas más completo y el llano de inundación más amplio que en el tramo Torla - Broto.

En la ribera de Fiscal, el cauce (12,8km y 0,82% de pendiente) se encaja entre niveles de terraza describiendo curvaturas del amplio radio y notable regularidad, mientras que el valle se abre en depresión margosa.

Aguas abajo, en el tramo del congosto de Jánovas, con una pendiente del 0,83% y una longitud de 6km, el cauce, el corredor ribereño y la llanura de inundación quedan constreñidos por el encajamiento del valle.

Al alcanzar los últimos 10 km de su curso bajo, hasta su confluencia con el Cinca, el río Ara dibuja un valle se hace progresivamente más abierto, mientras que el cauce presenta primero un modelo meandriforme con amplias curvaturas para, más abajo, recuperar el estilo trenzado favorecido por la llegada de afluentes como el Sieste o el Ena. La llanura de inundación es extensa y está bien desarrollada. Este tramo final ha sufrido continuos cambios de trazado.

6.1.3. Litología

En la cuenca del Ara se puede encontrar una gran variedad de formaciones geológicas y formas de relieve típicas de la cadena pirenaica de la que forma parte (mapa 4)

En la cabecera, aguas arriba de Bujaruelo, se asienta el Pirineo axial, aflorando en el extremo noroccidental el borde del batolito granítico paleozoico de Panticosa, rodeado de materiales paleozoicos metamórficos, todos ellos afectados por la orogenia herciniana y más adelante por la alpina y por el modelo glaciario cuaternario.

Las Sierras Interiores, formadas por calizas del Cretácico y del Eoceno, están plegadas por la orogenia alpina (Pliegue tumbado de Torla) y son cortadas transversalmente por el Ara en el congosto de Bujaruelo.

El flysch ocupa una gran superficie en el sector central de la cuenca, formado por litologías con estrechos estratos muy replegados de calizas, areniscas y margas. Estas formaciones han provocado la presencia de relieves en cuesta.

Por otro lado, otra de las formaciones importantes que se pueden observar en la cuenca del Ara son los depósitos fluviales en Broto y Sarvisé, formados por dos niveles de terraza y enormes conos de deyección como el del Chate.

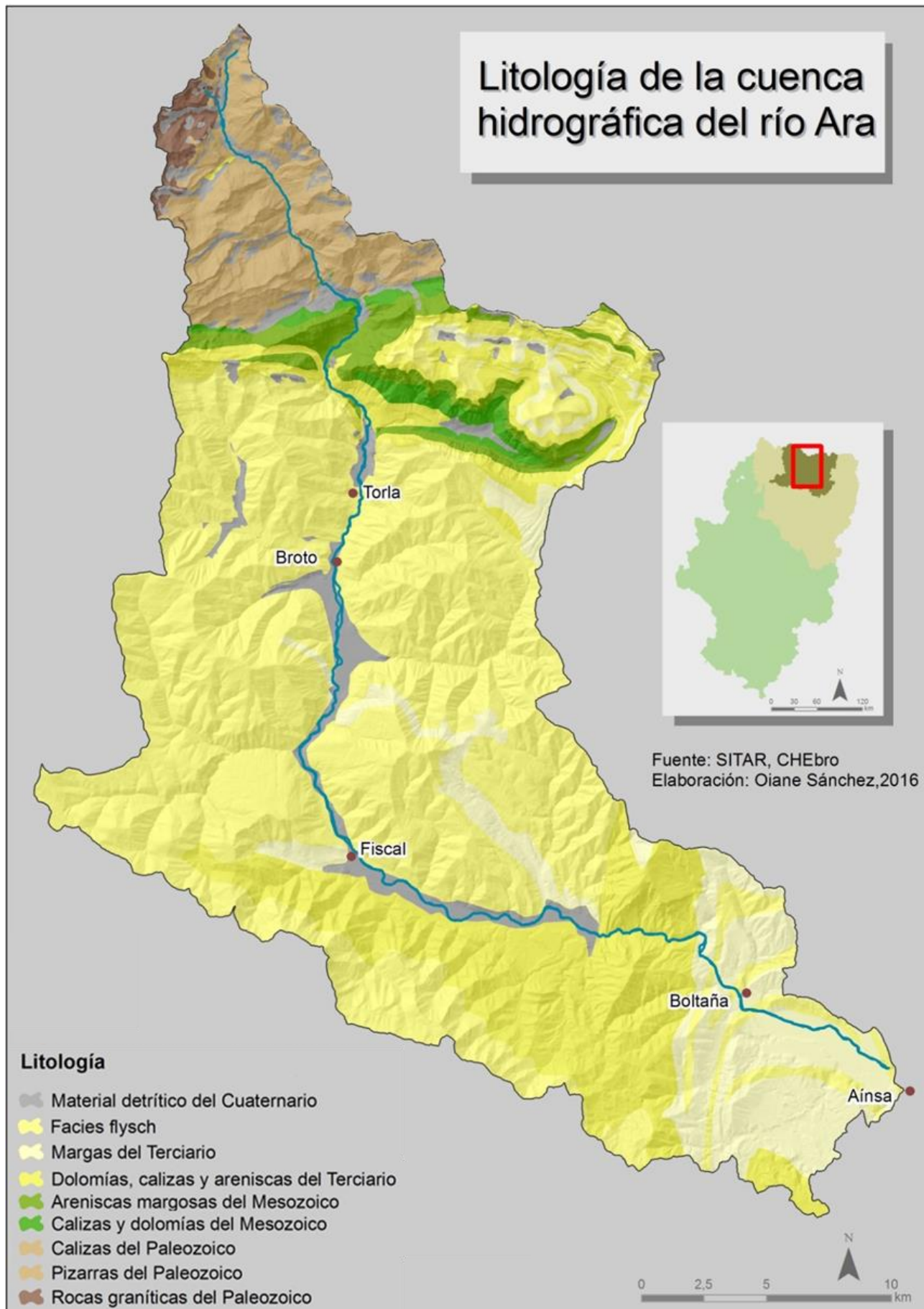
La Depresión Media Intrapirenaica se encuentra el anticlinal de Boltaña, formado por gruesos paquetes de calizas lutecienses. Este relieve anticlinal divide la Depresión en dos sectores: Fiscal – Jánovas y Boltaña – L'Ainsa.

En la primera zona, afloran las margas azules del Eoceno, con procesos de acaravamiento en algunos sectores (A. Ollero, 2011). Los depósitos fluviales cuaternarios son de grandes dimensiones, diferenciándose dos niveles de terrazas entre Fiscal y Jánovas.

Al sur, las sierras de Canciás y Gabardón forman relieves conglomeráticos oligocénicos sobre terrenos areniscos del Eoceno.

La presencia de huellas glaciares desde Vignemale y Monte Perdido hace pensar que hace unos 60.000 años, la lengua del hielo descendía por el valle procedente de los circos de la cabecera, alcanzando casi 30km de longitud.

Litología de la cuenca hidrográfica del río Ara



Mapa 4. Litología de la cuenca hidrográfica del río Ara. Fuente: SITAR, CHEbro. Elaboración: Oiane Sánchez

Al igual que sucede con la pendiente, la litología es otro de los factores que condiciona a los procesos hidrológicos. La infiltración está condicionada por el grado de fracturación de las rocas, donde la existencia de huecos provoca la penetración del agua, siendo mayor la infiltración cuanto mayor sea el grado de fracturación. Las rocas que mayor grado de fracturación presentan son las rocas calizas, las cuales quedaron sometidas a presión tectónica fracturándose.

En cuanto a la esorrentía el factor condicionante para este proceso será la permeabilidad de las rocas. Aquellas rocas cuya permeabilidad sea elevada, provocarán que la esorrentía superficial será escasa, mientras que la subterránea será la que mayor protagonismo tenga.

En cambio, si la permeabilidad es nula, dominará la esorrentía superficial, ya que el agua no tendrá la capacidad de poder penetrar.

6.1.4. Usos de suelo y vegetación

La cuenca del río Ara se sitúa entre las regiones biogeográficas Alpina y Mediterránea, quedando marcada por los subsectores antes mencionados.

En cuanto a los usos del suelo (mapa 5), la cuenca del río Ara está caracterizada por la gran cubierta arbórea que cubre buena parte de ella. Estos bosques ocupan la mayor parte de la cuenca, siendo la distribución de los diferentes usos de suelo la siguiente: 15,6% de matorral, 38,9% de coníferas, 3,9% de frondosas, 23,8% de pastizal, 14,6% improductivo y el 3,2% está dedicado a cultivos (*Ollero, A., et al. 2011*).

En la cabecera del río, cercana a las altas cumbres pirenaicas, aparecen sectores de roca desnuda o dónde la escasa cubierta vegetal es patente, intercalados con aisladas manchas de vegetación arbórea.

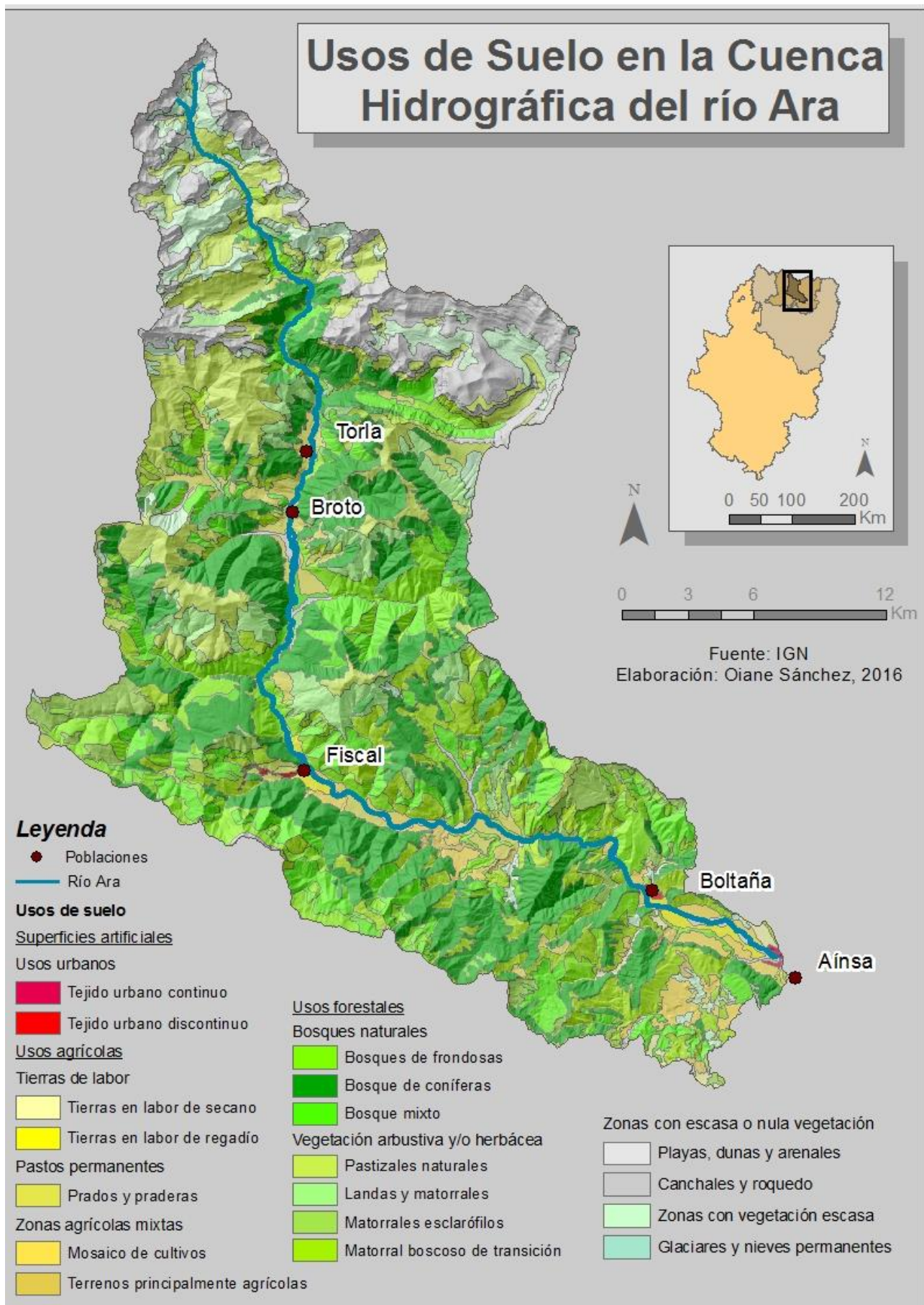
En el tramo medio del valle del Ara predomina la superficie boscosa, tanto de coníferas como de frondosas, siendo destacable la superficie ocupada por especies de matorral como el boj.

Finalmente, en el tramo bajo, el uso del suelo principal los campos de cultivo, que aprovechan los niveles de terraza que se han establecido entre Fiscal y Boltaña.

En cuanto a las especies más importantes de la ribera del río Ara, las podemos diferenciar en función de su disposición a lo largo de la cuenca en diferentes sectores:

- En la cabecera del río encontramos un tapiz herbáceo que cubre todo el valle.
- En la zona de Bujaruelo, en primera línea se encuentran los sauces, acompañados de servales, boj, pinos y abetos y algo más alejados del cauce los hayedos.
- Hasta Broto, la vegetación que se observa son estrechas líneas de sauces y abedules, y aparecen por primera vez choperas.
- Conforme el río llega al municipio de Fiscal, los sotos bien desarrollados cobran protagonismo, ocupando las orillas convexas de los meandros. Acompañan sauces, abedules, arraclanes (alisos) y pinos.
- Aguas abajo de Fiscal, aparece una vegetación fragmentada alternando bosques mixtos de quercíneas y pinares maduros que bajan hasta el cauce y choperas.

Usos de Suelo en la Cuenca Hidrográfica del río Ara



Mapa 5. Usos de suelo de la cuenca hidrográfica del río Ara. Fuente: CNIG e IDE Aragón. Elaboración: Oiane Sánchez

- En Jánovas, la escasa vegetación se hace notar, y tan sólo se observan estrechas hileras de chopos y sauces.
- Por último, en el curso inferior, las masas de vegetación gran variedad de especies, como los sauces, chopos, pinos y fresnos, se expanden allí donde los cultivos y pastizales lo permiten, quedando la vegetación potencial reducida en algunos casos a estrechas franjas de matorral de sustitución.

En líneas generales, la vegetación de ribera del río Ara, a pesar de estar en algunos tramos limitada o alterada por diferentes usos antrópicos (cultivos o prados, extracciones de áridos, algunas edificaciones y tramos de carreteras, escolleras, pastoreo) constituye un corredor fluvial bastante continuo y en total interrelación con la dinámica geomorfológica del cauce. (Ollero, A., et al. 2011).

Desde el punto de vista de los procesos hidrológicos, los usos del suelo de la cuenca, tienen una gran influencia en el funcionamiento de éste.

En el caso de la infiltración, la presencia de cubierta vegetal provoca que haya una mayor infiltración, ya que, la propia vegetación ralentiza la llegada del agua al suelo y hace que, al llegar de una manera más progresiva, el agua se filtre poco a poco. En cambio, la inexistencia de cubierta vegetal, provoca que el efecto “splash” de las gotas, compacte y erosione el suelo y obteniendo una menor infiltración.

La escorrentía va muy ligada a la infiltración y por tanto se podría decir que la existencia de cubierta vegetal favorece a la infiltración como proceso y por tanto se beneficia a la escorrentía subsuperficial y subterránea.

En cambio, si la cubierta vegetal es inexistente, la superficie del suelo se compactará y se impermeabilizará, siendo la escorrentía dominante la superficial.

7. Caracterización hidrológica del río Ara

Otro de los objetivos establecidos para la realización de este proyecto ha sido la caracterización hidrológica de la cuenca del río Ara. En esta caracterización serán la caudalidad, la variación estacional y el régimen hídrico, y la irregularidad interanual y el coeficiente de irregularidad interanual, los datos a estudiar para conseguir un acercamiento lo más estricto posible al comportamiento hidrológico del río Ara.

7.1. Caudalidad

Antes de conocer cómo es el caudal del río Ara, es imprescindible conocer una serie de conceptos, tales como caudal, caudalidad, caudal específico y módulo.

El caudal es la cantidad de agua que discurre por un río, en un lugar y momento determinado. Se mide en m³/segundo.

La caudalidad es el volumen de agua que tiene un río medido en las estaciones de aforo.

El caudal específico es la cantidad de agua que discurre por un río, en un lugar y momento determinado, en relación con la extensión superficial de la cuenca a la que pertenece dicho río. Se mide en litros/segundo/km².

El módulo es el promedio de caudal de cada uno de los meses para una serie de datos prolongada (mínimo 30 años), o bien los datos de caudal anual de dicha serie.

En la estación objeto de nuestro estudio, la estación A9040 (Boltaña), el módulo es 16,87 m³/segundo (tabla 1)

Octubre	16,97	Abril	23,6
Noviembre	18,69	Mayo	29,67
Diciembre	14,06	Junio	28,34
Enero	14,09	Julio	12,34
Febrero	12,49	Agosto	6,69
Marzo	16,87	Septiembre	8,65

Tabla 1. Módulo mensual en la estación de aforos de Boltaña. Anuario de aforos

A continuación se calcula el caudal específico en la estación 9040. Éste es 26,94 l/s/km²

El caudal específico medio anual se puede clasificar en:

- Débil, si el resultado es menor de 5
- Medio, si el resultado se sitúa entre 5 y 15
- Fuerte, el su resultado se sitúa entre 15 y 40
- Muy fuerte, si el resultado es superior a 40.

Según esta clasificación, el río Ara tiene un caudal específico fuerte, ya que su caudal específico, próximo a 27 l/s/km², se sitúa en este intervalo.

Así mismo el río Ara es bastante caudaloso, como consecuencia de las abundantes precipitaciones que recibe la cuenca a lo largo de toda su extensión, pero sobretudo en su cabecera, que actúa como gran cuenca de recepción pluvial y nival.

7.2. Variación estacional y régimen hídrico

El río Ara presenta una serie de variaciones estacionales en cuanto a su disponibilidad de agua. Estas variaciones están influenciadas por factores tales como clima o relieve. Según Parde, existen tres tipos de regímenes fluviales:

- Simples. Con un período de aguas altas y otro de aguas bajas, diferenciando entre régimen pluvial o nival.
- Complejos originales. Con dos períodos de aguas altas y dos períodos de aguas bajas. En algunas ocasiones, pueden ser tres períodos de aguas altas y tres períodos de aguas bajas.
- Complejos cambiantes. En este grupo se engloban grandes ríos que pertenecen a diferentes zonas climáticas, por lo que presentan tramos con comportamientos diferentes.

El régimen estacional del río Ara (figura 11) puede incluirse dentro de los regímenes complejos originales, ya que consta de dos períodos de aguas altas (Octubre-Noviembre y Marzo-Junio) y dos períodos de aguas bajas (Diciembre-Febrero y Julio-Septiembre).

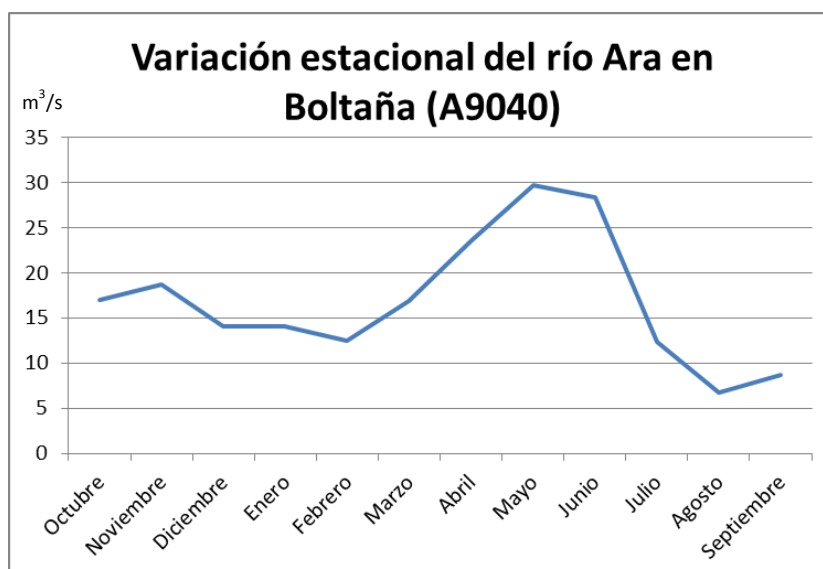


Figura 11. Variación estacional del río Ara en Boltaña. Fuente: Anuario de Aforos. Elaboración: Oiane Sánchez

Aunque nos encontramos delante de un régimen hídrico complejo original, la influencia nival en el río Ara es clara, ya que el principal período de aguas altas se registra en primavera. Esto es debido al deshielo propio del aumento de las temperaturas, junto con las precipitaciones propias de la estación.

El segundo máximo se produce en otoño, favorecido fundamentalmente por precipitaciones en estado líquido.

El mínimo más acentuado se produce en verano, período en el que la fusión nival ya ha terminado y las precipitaciones son escasas. El segundo mínimo se registra en invierno, en este caso por la retención de las precipitaciones en estado sólido.

El coeficiente de caudal es la relación entre el módulo anual y el caudal medio de cada mes, considerando una serie larga de años. En el caso de Boltaña, la serie consta de 68 años (1944/1945 – 2012/2013). Los valores resultantes quedarán comprendidos en tres grupos

- Valores de +1, por encima del módulo
- Valores de +2, duplica el módulo
- Valores de -1, por debajo del módulo

En el caso de Boltaña, el coeficiente de caudal (tabla 2) se puede clasificar en dos categorías.

- Por un lado, los meses en los que se supera el módulo (valores de +1), que corresponden a octubre, noviembre, marzo, abril, mayo y junio. Esto se debe al aporte de precipitaciones, junto al deshielo.

- Por otro lado, los meses en los que no se supera el módulo (valores de -1), que corresponden a diciembre, enero, febrero, julio, agosto y septiembre. Esto se debe a la ausencia de precipitaciones, en algunos meses, y a la retención nival en otros.

	Módulo	Variación estacional	Coefficiente de caudal
Octubre	16,97	16,87	1,01
Noviembre	18,69	16,87	1,11
Diciembre	14,06	16,87	0,83
Enero	14,09	16,87	0,84
Febrero	12,49	16,87	0,74
Marzo	16,87	16,87	1,00
Abril	23,6	16,87	1,40
Mayo	29,67	16,87	1,76
Junio	28,34	16,87	1,68
Julio	12,34	16,87	0,73
Agosto	6,69	16,87	0,40
Septiembre	8,65	16,87	0,51

Tabla 2. Coeficiente de caudal en la estación de aforos de Boltaña. Anuario de Aforos.

7.3. Irregularidad interanual y coeficiente de irregularidad interanual

La irregularidad interanual es la variación experimentada por el caudal medio anual de un río durante una serie larga de años (mínimo 30). Esta irregularidad interanual se representa con un gráfico en el que aparece el tiempo en años (eje X), el caudal (eje Y) y el módulo como referencia.

En Boltaña la mayor parte de los caudales medios anuales (figura 12) están próximos al módulo, destacando los años hidrológicos 1981-1982 y 1985-1986.

Durante los años cincuenta, sesenta, e incluso, parte de los setenta, son numerosos los años en los que se supera el módulo, y, por el contrario, desde la segunda parte de los setenta hasta nuestros días, son pocos los años en los que el caudal medio supera dicho módulo.

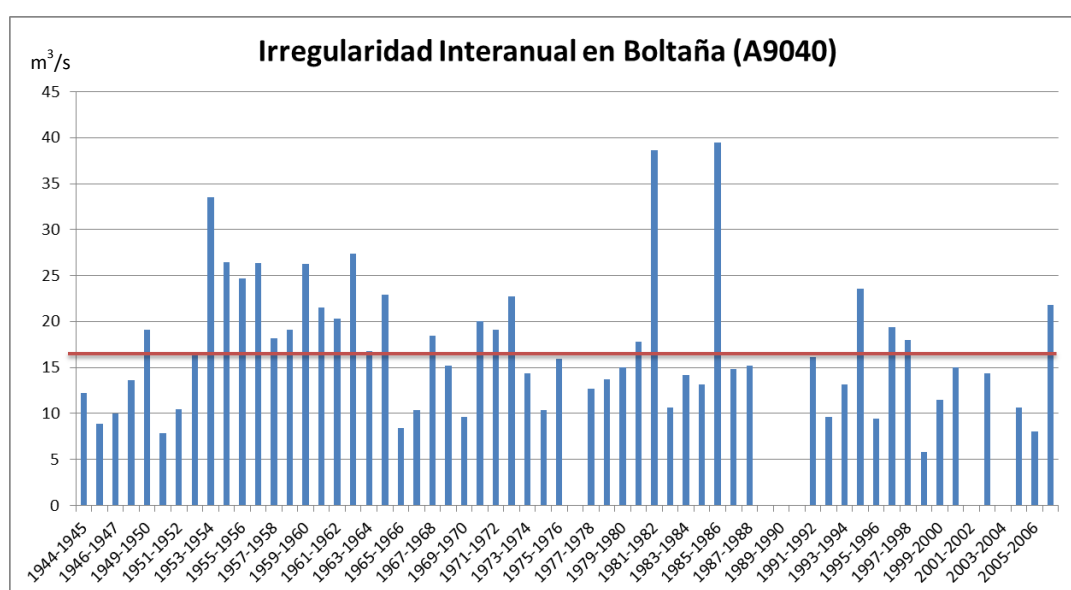


Figura 12. Irregularidad interanual en la estación de aforos de Boltaña. Fuente: Anuario de Aforos.

Elaboración: Oiane Sánchez

Otra forma de analizar la irregularidad interanual, es a través del coeficiente de irregularidad, el cual se calcula realizando el cociente entre el valor máximo medio anual y el mínimo medio anual de una serie de años. Los resultados obtenidos se concentran en tres grupos:

- Irregularidad baja: con valores 2, 3 y 4. Esta irregularidad es la más común en los ríos de montaña.
- Irregularidad media: con valores comprendidos entre 6 y 10
- Irregularidad alta: valores mayores de 10, siendo los ríos mediterráneos los más comunes a tender a estos valores.

En Boltaña, el coeficiente de irregularidad interanual es 6,84; por lo que su irregularidad interanual se puede clasificar como media.



Foto 3: Río Ara a su paso por Broto. Fotografía: Oiane Sanchez

8. Estudio de las crecidas

Siguiendo con los objetivos planteados al principio de esta memoria, en el siguiente apartado se trata de estudiar y analizar las crecidas que se producen en el río Ara, caracterizándolas y estudiando su intensidad y el número de veces que se supera el módulo de este río.

8.1. Crecidas históricas

Los ríos, como sistemas naturales que son, muestran su autonomía a través de las crecidas. Estos fenómenos forman parte de un comportamiento natural que marca su dinámica.

La importancia de las crecidas se basa principalmente en las inundaciones que éstas provocan. Actualmente, el aumento de la población expuesta a inundaciones junto a una falta de percepción del riesgo por parte de la población local, hacen que el riesgo sea mayor.

A pesar de que actualmente existen medios para conocer y prevenir las crecidas de los ríos, siempre ha existido una preocupación por este aspecto, sobre todo desde principios del siglo XX. De esta manera, hoy en día se puede conocer cuáles han sido las mayores crecidas desde que se tiene datos hasta la década de 1980. En el caso del río Ara, éstas han sido las siguientes (tabla 3):

Fecha de la crecida	Datos	Comentarios
Del 26 al 29 de octubre de 1937	1.200 m ³ en Boltaña	
24 de agosto de 1942	1.300 m ³ en Boltaña	El río se llevó todos los puentes de los pueblos, excepto el de Jánovas y el de Boltaña parcialmente
Final de julio y principio de agosto de 1963	118 m ³ en Boltaña	Fue una crecida muy rápida
15 de noviembre de 1963		En ese momento se estaban construyendo las obras de defensa y, aunque cumplieron perfectamente su cometido, evidenciaron la insuficiencia de su longitud, ya que erosionó aguas arriba y debajo de los muros
Del 6 al 10 de noviembre de 1966	1926 m ³ en Boltaña	Fue el valor máximo conocido en lo que iba de siglo y que representaba 90 veces el módulo anual. Esta crecida del Ara se debió al rápido deshielo de las nieves caídas en el Pirineo durante los tres primeros días de noviembre y a los intensos aguaceros, que llegaron a registrar 279 mm en Boltaña
17 de noviembre de 1967		Fue consecuencia del régimen de lluvias registrado
23 de abril de 1971	1784 m ³ en Boltaña	La crecida se produjo como consecuencia de las precipitaciones registradas durante el 22 y 23 de abril. El día 22, en Boltaña se registraron 64,5 mm.
20 de mayo de 1973	100 m ³ en Boltaña	Debido a las precipitaciones caídas en estas fechas en la parte más alta del Pirineo, en Boltaña se registraron 57 mm el día 19.
20 de marzo de 1974	1980 m ³ en Boltaña	En la cuenca del río Ara las precipitaciones fueron numerosas y en forma de nieve por encima de los 1.00 metros de altitud. En Boltaña se registraron 39 mm el día 19 y 20 mm el día 20.
Del 22 de septiembre al 3 de octubre de 1981		Debido a las fuertes tormentas ocurridas durante los días 22 de septiembre al 3 de octubre de 1981, el río Ara experimentó, en el término municipal de Broto, fuertes crecidas, produciendo daños en las obras de encauzamiento que en aquel momento se realizaban
Del 6 al 10 de noviembre de 1982	1540 m ³ en Boltaña	Esta riada provocó socavaciones y daños en la margen izquierda en una longitud de 350 metros, daños en la estación de aforos de Boltaña, caídas de postes eléctricos, daños en los muros de defensas de las instalaciones, daños en numerosas pistas de acceso a las localidades y daños en acequias y azudes de riego. La carretera hacia Boltaña quedó cortada. Broto se salvó de ser arrasado por las aguas gracias a los muros de contención. Torla sufrió daños en acequias y azudes de riego, tomas de abastecimientos y conducciones, pistas forestales y de comunicación, redes de saneamiento y de tendido eléctrico, así como en los puentes de acceso y en las defensas.

Tabla 3. Crecidas históricas hasta la década de 1980. Fuente: Fichas de Inundaciones Históricas del Ebro. Elaboración: Oiane Sánchez

A partir de la década de 1980, las crecidas se registran en el Catálogo Nacional de Crecidas Históricas, propiedad de la Dirección General de Protección Civil. En el río Ara éstas han sido las siguientes (Tabla 4):

	Total (1980 - 2020)	Mínimo (por décadas)	Máximo (por décadas)
Número de episodios	13	0	2
Número de episodios en los que ha habido fallecidos	3	0	1
Número de episodios en los que ha habido heridos	3	0	1
Número de evacuados (total)	192	0	90
Número de episodios en los que ha habido evacuados	3	0	1
Número de episodios en los que se ha habido viviendas afectadas	1	0	1
Número de episodios en los que ha habido industrias afectadas	2	0	1
Número de episodios en los que ha habido ganaderías afectadas	0	0	0
Número de episodios en los que ha habido infraestructuras de transporte afectadas	9	0	2
Número de episodios en los que ha habido infraestructuras hidráulicas afectadas	9	0	2
Número de episodios en los que ha habido servicios afectados	5	0	1

Tabla 4. Crecidas históricas a partir de la década de 1980. Fuente: Catálogo Nacional de Crecidas Históricas. Elaboración: Oiane Sánchez.

Desde 1980 se han producido diversas crecidas en las cuales ha habido consecuencias negativas, tanto personales como materiales. Respecto a los daños personales, han sido tres los eventos donde ha habido personas fallecidas y otras tres con heridos, pudiendo entrever que, milagrosamente, el número de afectados no es muy elevado. Quizás esto sea también consecuencia del importante número de evacuados: 192.

En cuanto a consecuencias materiales, destacan los nueve episodios donde las infraestructuras de transporte e hidráulicas se han visto afectadas por el agua. Siendo afectadas las viviendas, granjas e industrias en un número menor de eventos (cinco).

8.2. Caracterización de las crecidas del río Ara

Las crecidas del río Ara son numerosas y, en muchas ocasiones, voluminosas, como puede caracterizar a cualquier río pirenaico. Por ello, se ha decidido estudiar estos fenómenos, con el objetivo de conocer estos eventos y poder establecer una serie de conclusiones.

Para estudiar las crecidas del río Ara, se han utilizado los datos de la estación de aforos de Boltaña (A9040), única estación activa actualmente en el río Ara. La serie de datos disponible

comienza en el año hidrológico 1979 – 1980, y concluye en el año hidrológico 2012 – 2013, por lo que se dispone de una serie de 33 años de datos.

8.2.1. Número de eventos de crecida

Para analizar las crecidas, el primer paso consiste en contabilizar el número de eventos de crecida y clasificarlos en función de su intensidad.

Se ha establecido como criterio para considerar un episodio de crecida como tal aquellos en los que los caudales superaron el módulo al menos tres veces.

Siendo en Boltaña el módulo $16,87 \text{ m}^3/\text{sg}$, se consideran:

- eventos de crecida ordinaria aquellos que superan en 3 o 5 veces el módulo, es decir, aquellas cuyo caudal máximo se encuentra entre los $50,61 \text{ m}^3/\text{sg}$ y los $84,35 \text{ m}^3/\text{sg}$.
- eventos de crecida límite aquellos que superan en 10 veces el módulo, es decir, aquellas crecidas cuyo caudal máximo alcance los $168,70 \text{ m}^3/\text{sg}$.
- eventos de crecida extraordinarios aquellos que superen 25 veces el módulo ($421,75 \text{ m}^3/\text{sg}$).

Así pues, la clasificación del número de eventos clasificados según su intensidad queda representada gráficamente de la siguiente manera:

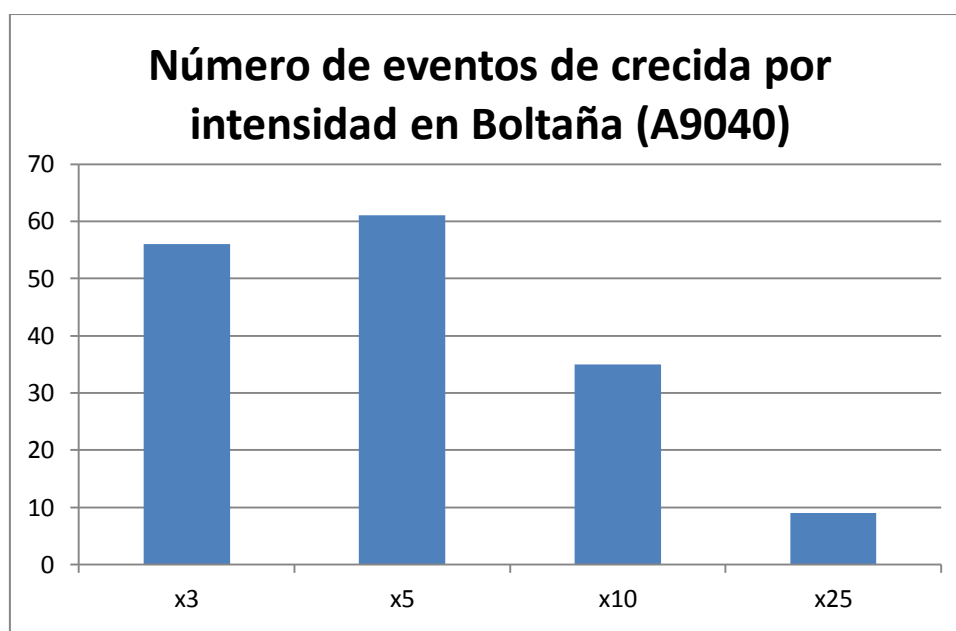


Figura 13. Número de eventos de crecida según su intensidad en Boltaña. Fuente: Anuario de Aforos.
Elaboración: Oiane Sánchez

Como se observa en la figura 13, las crecidas son numerosas. Predominan, como es lógico, las crecidas ordinarias. Concretamente, 56 veces se ha superado el módulo 3 veces y 61 veces se ha superado el módulo 5 veces.

Aunque las crecidas límite (entre 10 y 25 veces el módulo) son menos numerosas, no es nada despreciable el número de veces que estas se producen, hasta en 35 ocasiones.

En el caso de las crecidas extraordinarias, son 9 las veces que estas se han producido.

Según el criterio utilizado son, en total, 161 las crecidas registradas el río Ara en el periodo comprendido.

Son datos que ponen de manifiesto la importancia de las crecidas en el río Ara, más aún si se tiene en cuenta que tan solo hay disponibles 33 años de datos.

8.2.2. Frecuencia, volumen y reparto temporal de las crecidas

Los datos de caudales máximos instantáneos mensuales nos permiten conocer otras características del funcionamiento de las crecidas del río Ara. Para su análisis se ha realizado una tabla en la que se muestran los máximos caudales instantáneos mensuales ordenados por meses y años. Al igual que en el número de eventos de crecida, se presentan los datos desde el año hidrológico 1979 – 1980 hasta el año 2012 – 2013. El objetivo es ver de una manera visual los casos en los que los caudales máximos instantáneos mensuales superan los umbrales de crecida de los diferentes rangos y así, poder sacar conclusiones.

Al igual que en el análisis del número de eventos de crecida, se clasifican en función de si las crecidas superan tres, cinco, diez o veinticinco veces el módulo (Tabla 5 y Figura 14).

Modulo	16,87
x3	50,61
x5	84,35
x10	168,7
x25	421,75

Tabla 5. Clasificación del módulo. Fuente: Anuario de Aforos.
Elaboración: Oiane Sánchez

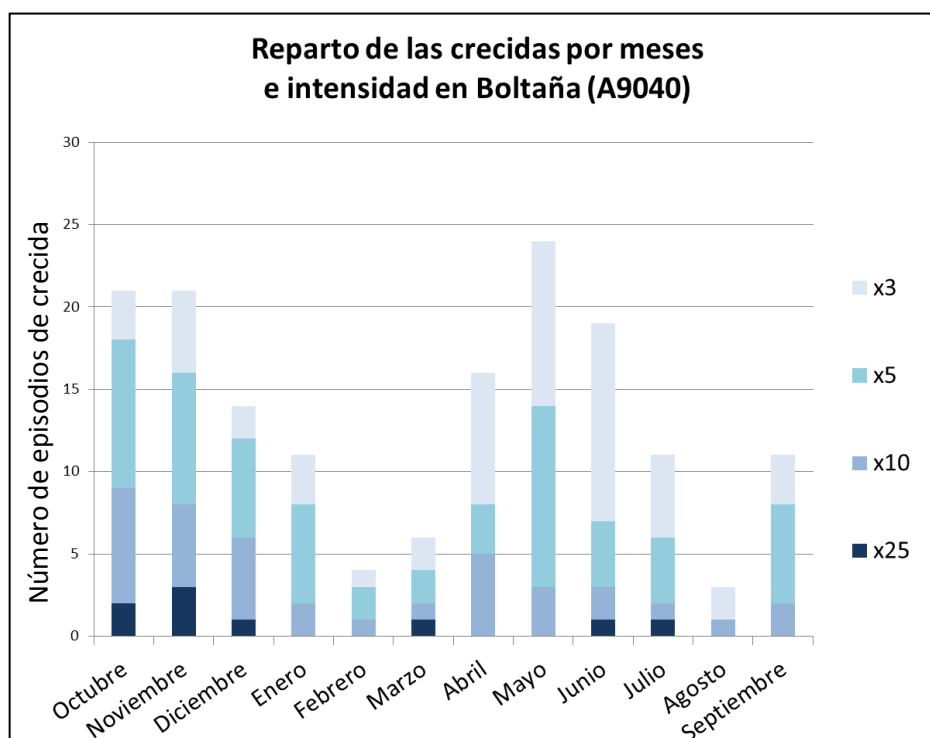


Figura 14. Reparto de las crecidas por meses e intensidad en Boltaña.
Fuente: Anuario de Aforos. Elaboración: Oiane Sánchez.

En la Tabla 6 (página 34), se observa cómo las crecidas de mayor entidad se localizan principalmente en otoño y en marzo, junio y julio.

En el primer caso, las causas podrían deberse a precipitaciones intensas en forma de lluvia o a deshielos repentinos ocasionados por una súbita precipitación o por un rápido aumento de las temperaturas. Como consecuencia, estas crecidas serán más rápidas.

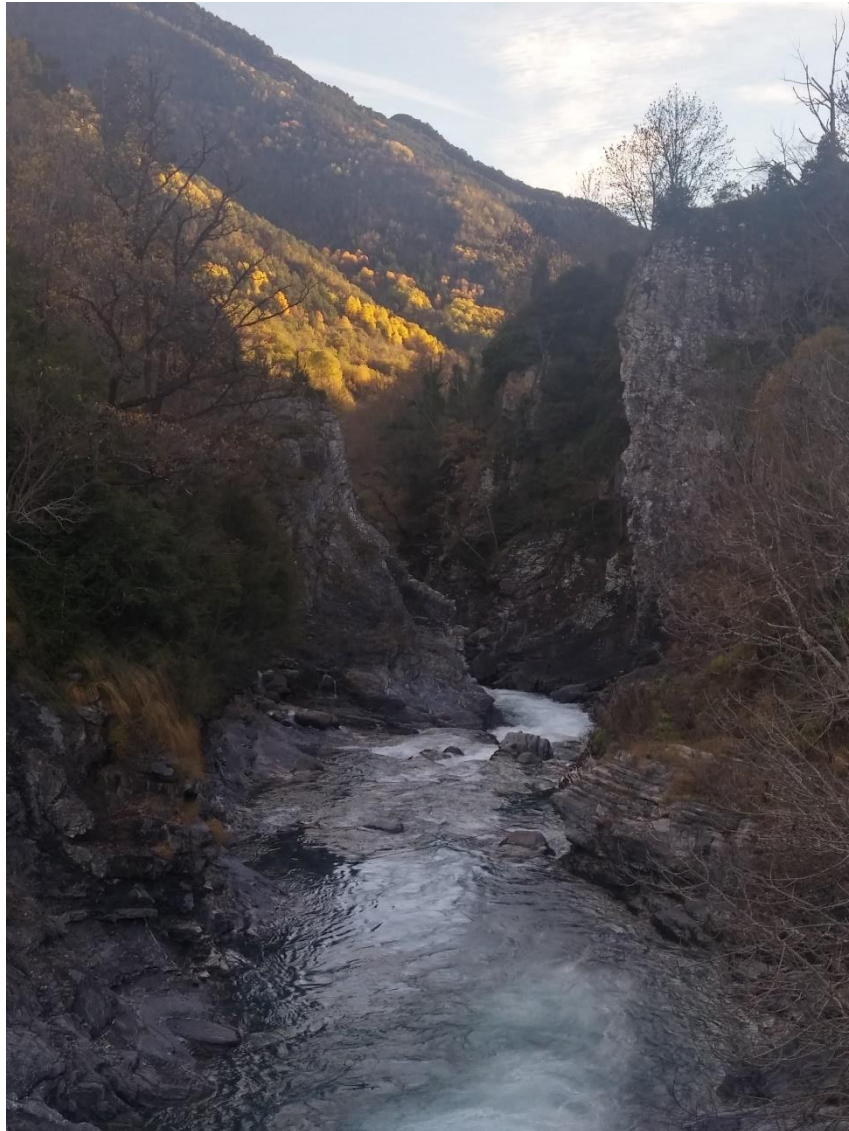


Foto 4: Río Ara a su paso por Torla. Fotografía: Oiane Sanchez

En el segundo caso, las causas podrían deberse al deshielo de la nieve acumulada durante todo el invierno por el aumento de la temperatura. Como consecuencia, estas crecidas serán normalmente más lentas.

Si se observan las series de años, se puede apreciar cómo hasta principios de los años 90, las crecidas eran más voluminosas, aunque no más frecuentes. Sin embargo, desde entonces hasta la actualidad, las crecidas son menores, sobretodo en cuanto a su volumen (Tabla 6).

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
1979-1980	-	-	4,64	29,72	26,46	47,21	82,67	86,16	156,03	23,2	6,16	65,2
1980-1981	107,12	107,12	6,16	9,16	11,02	44,64	54,92	178,6	39,5	16,41	15,44	268,9
1981-1982	29,72	5,78	149,04	86,16	21,26	20,29	23,2	44,64	65,2	65,2	178,6	142,05
1982-1983	191,5	1.226,20	-	-	142,05	-	-	44,64	47,21	28,09	19,32	13,5
1983-1984	3	31,35	28,09	18,35	18,35	65,2	124,59	96,64	65,2	32,98	36,24	1,5
1984-1985	13,5	483,9	191,5	163,01	28,09	10,4	89,65	93,15	49,78	37,87	5,02	3,25
1985-1986	4,64	60,06	37,87	12,88	32,98	28,09	225,9	124,59	60,06	17,38	4,26	107,12
1986-1987	96,64	610,32	18,35	54,92	34,61	17,38	346,3	37,87	62,63	142,05	19,32	44,64
1987-1988	630,96	44,64	307,6	128,08	86,16	32,98	260,3	89,65	832,2	651,6	39,92	23,2
1988-1989	49,82	69,22	3,94	2,68	10,87	36,68	79,36	43,94	31,28	29,2	35,6	35,6
1989-1990	49,82	121,7	238,8	17,59	35,6	19,33	26,2	97,55	79,36	24,2	5,2	29,2
1990-1991	133,78	113,65	20,2	22,2	21,2	440,9	31,28	32,36	49,82	7,09	28,2	30,2
1991-1992	79,36	243,1	14,11	45,41	27,2	41	329,1	419,4	354,9	129,75	14,98	21,2
1992-1993	195,8	49,82	133,78	10,24	5,83	14,11	49,82	89,5	49,82	14,98	39,92	221,6
1993-1994	141,83	55,7	5,83	29,2	26,2	26,2	26,2	75,98	54,23	93,53	15,85	121,7
1994-1995	191,5	509,7	31,28	30,2	34,52	33,44	24,2	43,94	25,2	-	-	-
1995-1996	-	-	406,5	428	37,76	32,36	36,68	48,35	45,41	34,52	43,94	-
1996-1997	-	-	-	-	-	18,99	31,67	76,84	66,22	111	28,41	27,32
1997-1998	3,45	245,72	832	55,6	15,77	12,2	91	137	85,69	15,02	20,98	121
1998-1999	25,15	6,43	6,1	14,28	4,62	34,93	38,2	95	47,99	60,91	31,67	149
1999-2000	250,84	49,07	25,15	9,08	3,45	10,32	123	174,04	156,12	11,68	15,02	15,02
2000-2001	101	153,56	95	156,12	18,99	199,64	83,92	64,45	45,81	323,1	20,98	43,64
2001-2002	156,12	13,76	4,13	5,12	8,42	40,37	59,14	75,07	55,6	13,24	27,32	64,45
2002-2003	99	73,3	76,84	78,61	199,64	85,69	46,9	125	52,34	25,15	7,42	64,45
2003-2004	199,64	276,44	109	16,25	14,91	60,91	55,6	60,91	54,47	59,14	21,65	51,07
2004-2005	129	19,76	5,85	3,89	3,25	13,05	16,92	32,97	27,31	17,87	10,23	12,53
2005-2006	261,08	109	10,97	6,4	12,53	40,89	36,36	38,63	22,78	23,91	10,97	103
2006-2007	238,04	156,12	54,47	5,12	117	12,53	156,12	55,6	133	9,12	34,1	2,28
2007-2008	29,57	85,69	4,38	15,58	8,21	13,57	-	171,48	137	44,28	4,62	6,4
2008-2009	27,31	119	9,86	97	36,36	27,31	119	93	59,14	16,92	57,37	10,23
2009-2010	120,27	27,4	181,2	109,97	76,5	93	49,94	78,61	156,12	67,99	69,76	15,58
2010-2011	54,47	11,49	111	44,28	15,58	39,76	59,14	57,37	37,49	20,7	36,36	5,61
2011-2012	66,2	256	5,4	2,9	3,4	4,9	68	60,9	37,5	30,7	10,6	43,2
2012-2013	426	60,9	119	194,5	34,1	123	48,8	51,1	199,6	55,6	34,1	31,8

Tabla 6. Clasificación de los eventos de crecida a partir de la clasificación del módulo.
Fuente: Anuario de Aforos. Elaboración: Oiane Sánchez

Las principales causas de este cambio pueden ser:

- Por un lado, el cambio en la dinámica de las precipitaciones
- Por otro lado, la reducción de las masas de nieve, bien por el ya mencionado cambio en la dinámica de las precipitaciones, bien por el aumento de la temperatura media.
- Además, cabe mencionar la reforestación del monte por abandono del pastoreo extensivo, ya que, al final, el agua queda retenida y termina por llegar menos agua al río.

Destacan además una serie de años hidrológicos. Bien porque concentran una serie importante de crecidas o bien porque las crecidas que se produjeron en esos años conllevaron una serie de consecuencias importantes para la población.

En el primer caso, destacan los años 1987 – 1988, 2000 – 2001, 2002- 2003, 2003 – 2004, 2009 – 2010 y 2012 – 2013.

En el segundo caso, destaca el año 1997 – 1998, por ser un año en el que la crecida del 18 de diciembre de 1997 propició la ruptura de las ataguías de la presa de Jánovas. Aunque la crecida no fue especialmente voluminosa, la ruptura de dichas ataguías supuso una avenida que supuso un caudal punta de 1551 m³/segundo, basándose en los restos dejados por el agua, dado que el limnigrama de la Confederación no tiene recorrido suficiente para medir tales caudales (*Ollero, A., et al. 2011*).

En general, se aprecia que son muchos los meses en los que se produce una crecida. Aunque cada vez menos voluminosas, las crecidas del río Ara son muy frecuentes por su localización, así como por el hecho de no tener embalses.

Otro aspecto interesante a la hora de estudiar las crecidas del río Ara es su reparto teniendo en cuenta su tiempo de duración, es decir, los días que pasan desde que el caudal comienza a aumentar hasta que éste se normaliza.

En el río Ara se contabilizan 331 crecidas desde 1944 hasta 2014. Con el objetivo de conocer la variación temporal de estas crecidas, éstas se han clasificado en tres grupos:

- Por un lado, crecidas cortas, cuyo hidrograma comprende menos de 14 días
- Por otro lado, crecidas medias, cuyo hidrograma comprende entre 15 y 30 días.
- Po último, crecidas largas, cuyo hidrograma comprende 31 días o más.

Esta información se recoge en una tabla (Tabla 7), la cual incluye el total de crecidas clasificándolas por meses y en función de si son crecidas cortas, medias o largas.

Mes	Crecidas cortas (menos de 14 días)	Crecidas medias (entre 15 y 30 días)	Crecidas largas (31 días o más)
Octubre	39	2	3
Noviembre	36	5	3
Diciembre	21	7	3
Enero	15	7	2
Febrero	15	5	0
Marzo	12	10	5
Abril	13	9	21
Mayo	16	4	17
Junio	9	5	1
Julio	8	1	0
Agosto	7	0	0
Septiembre	28	0	2

Tabla 7. Clasificación de las crecidas por duración del histograma. Elaboración: Oiane Sánchez

Observando la tabla, se puede afirmar que en el río Ara las crecidas son principalmente cortas en otoño y largas en primavera. Esto se debe a que las crecidas de otoño están ocasionadas por precipitaciones intensas y tormentosas o, en algunas ocasiones, por rápidos deshielos de la

escasa nieve almacenada durante esta estación. Sin embargo, las crecidas primaverales son causadas por el deshielo paulatino que ocasiona el aumento de las temperaturas gradual. También, aunque en menor medida, por las precipitaciones primaverales.



Foto 5: Desembocadura Río Ara. Fotografía: Oiane Sánchez

8.2.3. Tipología de las crecidas

Una vez analizadas las características principales de las crecidas del río Ara, se quiere ver el funcionamiento de dichas crecidas a partir del análisis de diferentes hidrogramas.

Para ello, se han seleccionado una serie de avenidas representativas, concretamente ejemplos de crecidas cortas, y ejemplos de crecidas largas, para cada uno de las intensidades de las mismas, (las que multiplican el módulo por 3, por 5, por 10 y por 25 si se da el caso). Con los ejemplos, se observa que éstas, siguen unos modelos. Interpretando dichos modelos, se puede ver cuáles son las que hipotéticamente resultarían más perjudiciales.

Como se observa en los primeros histogramas (figuras 15, 16, 17 y 18), las crecidas cortas se caracterizan por tener un desarrollo muy simple, con una rápida y rectilínea curva de ascenso, y una curva de descenso más lenta, pero continuada. Por esto, las crecidas cortas se han caracterizado como crecidas simples de un solo pico.

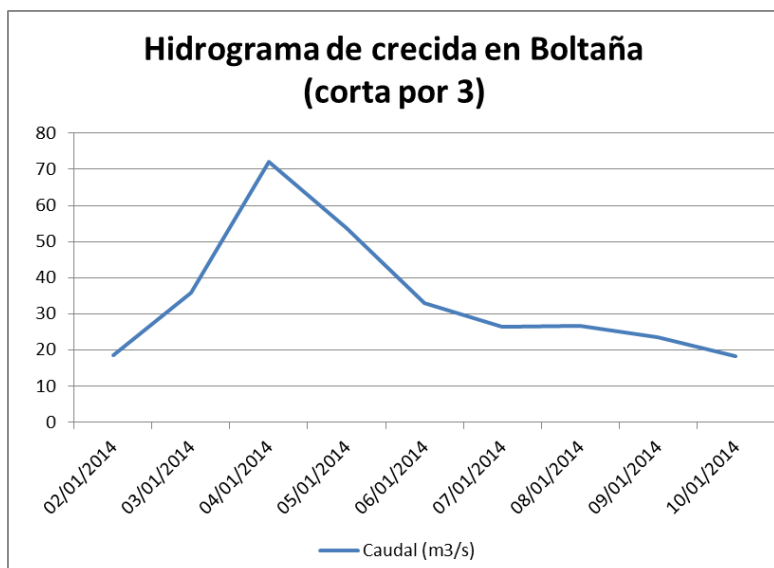


Figura 15. Hidrograma de crecida corta por 3 en Boltaña.

Elaboración: Oiane Sánchez

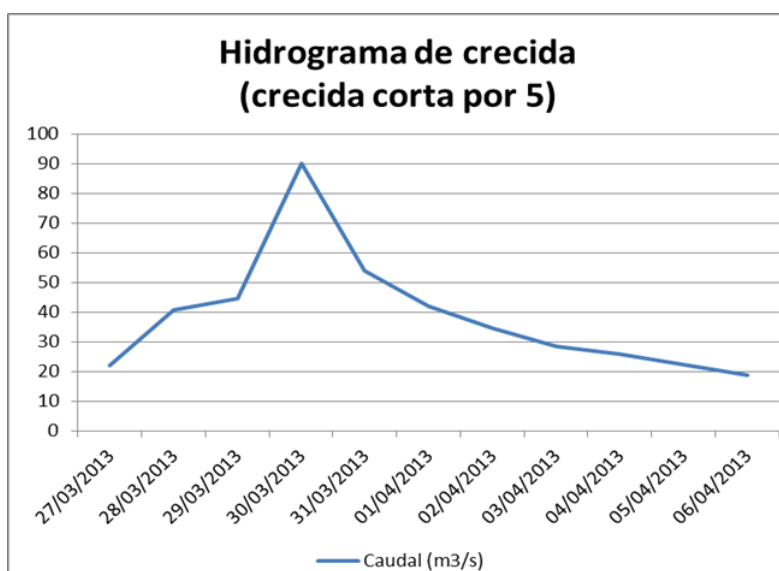


Figura 16. Hidrograma de crecida corta por 5 en Boltaña.

Elaboración: Oiane Sánchez

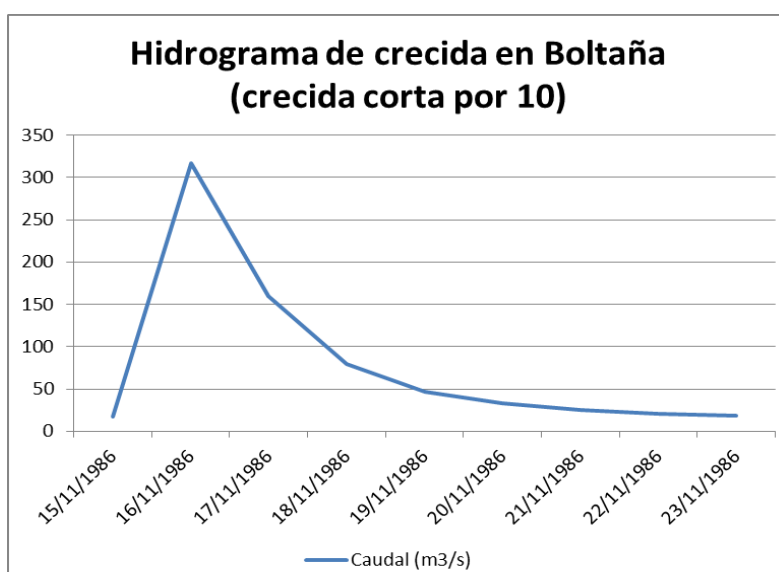


Figura 17. Hidrograma de crecida corta por 10 en Boltaña.

Elaboración: Oiane Sánchez

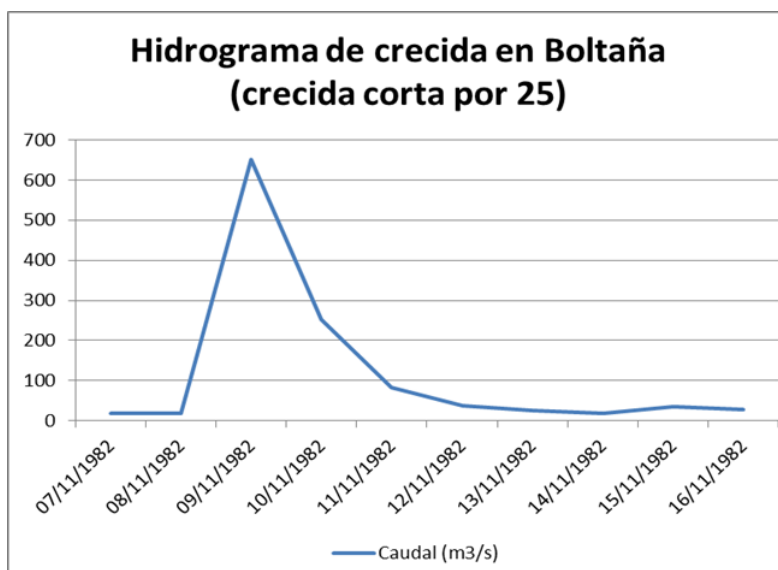


Figura 18. Hidrograma de crecida corta por 25 en Boltaña.

Elaboración: Oiane Sánchez

Otro tipo de crecidas son las crecidas medias (figuras 19, 20 y 21), que se caracterizan por ser crecidas simples, pero con dos picos en vez de uno. Esto quiere decir que este tipo de crecidas tienen dos máximos, uno principal y otro secundario, así como dos períodos de ascenso y otros dos de descenso. También se denominan crecidas simples de dos picos.

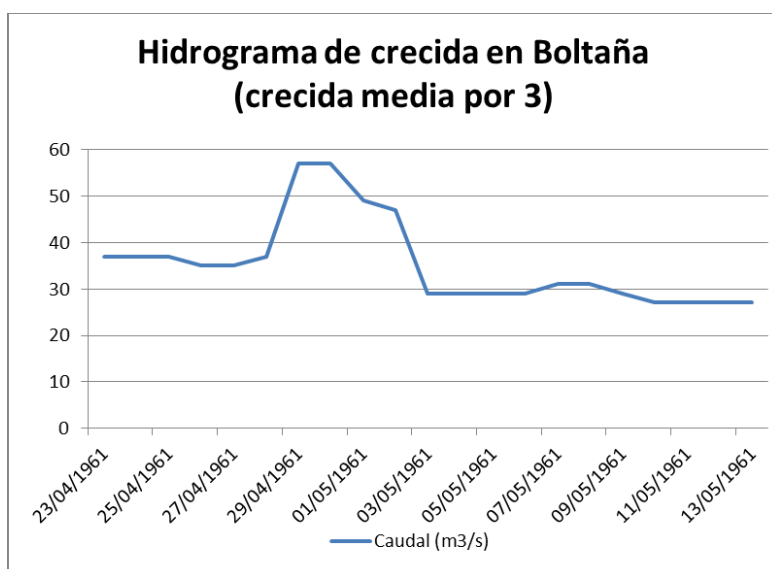


Figura 19. Hidrograma de crecida media por 3 en Boltaña.

Elaboración: Oiane Sánchez

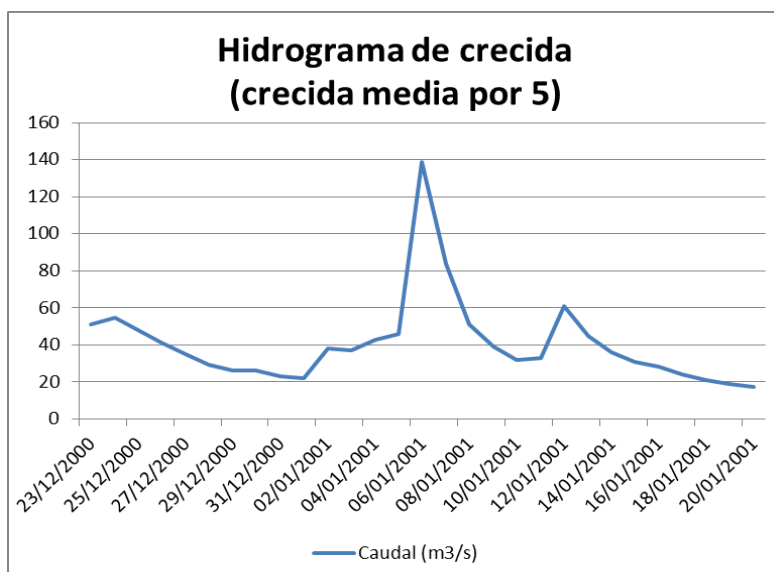


Figura 20. Hidrograma de crecida media por 5 en Boltaña.

Elaboración: Oiane Sánchez

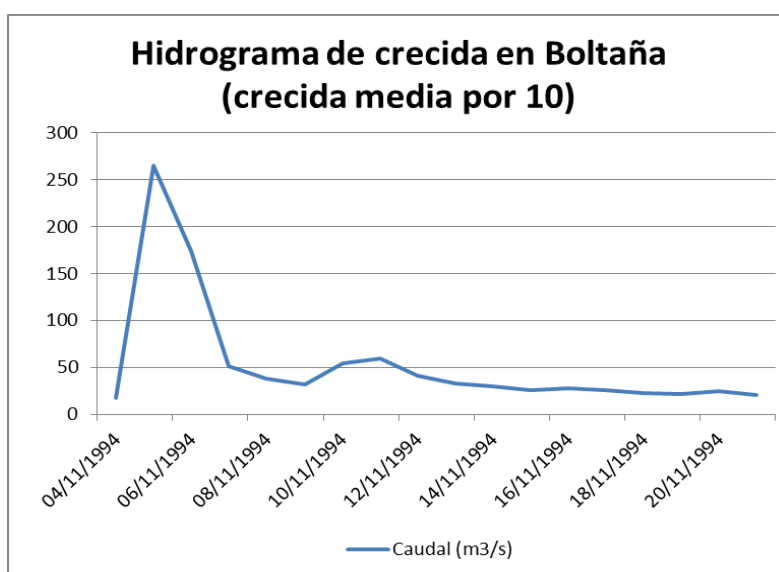


Figura 21. Hidrograma de crecida media por 10 en Boltaña.

Elaboración: Oiane Sánchez

Por último, las gráficas de crecidas largas en Boltaña (figuras 22, 23 y 24) muestran cómo estas se prolongan en el tiempo, por lo que se caracterizan por tener múltiples ascensos y descensos del caudal hasta llegar a un máximo principal. Este tipo de crecidas se denomina crecidas complejas.

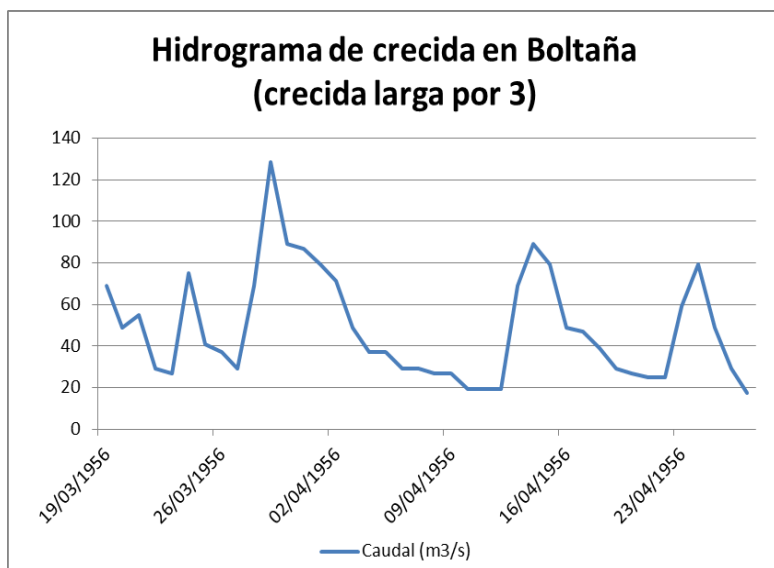


Figura 22. Hidrograma de crecida larga por 3 en Boltaña.

Elaboración: Oiane Sánchez

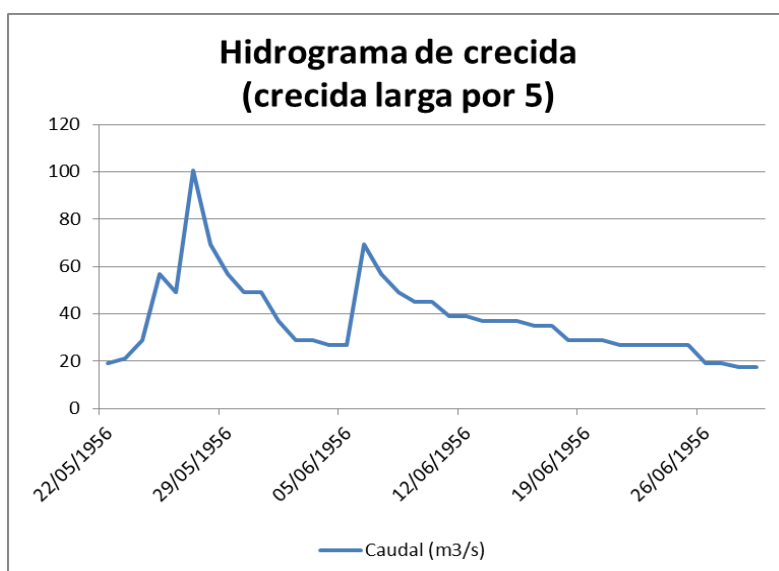


Figura 23. Hidrograma de crecida larga por 5 en Boltaña.

Elaboración: Oiane Sánchez

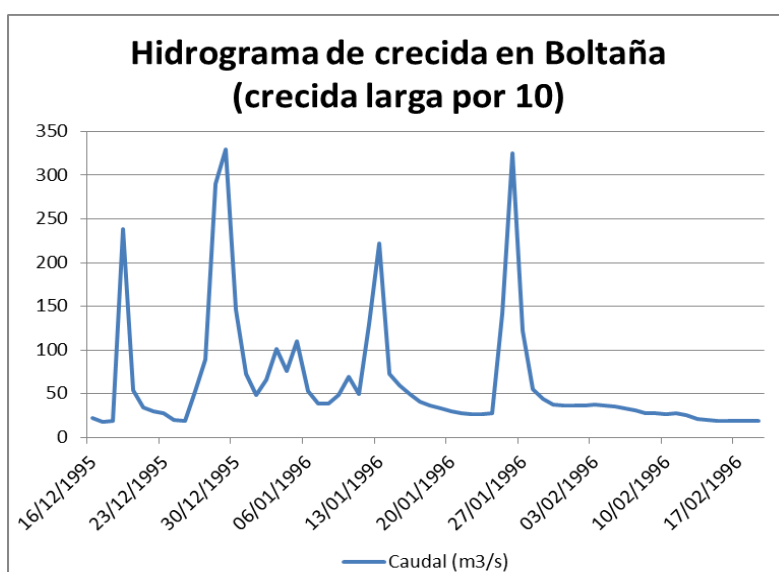


Figura 24. Hidrograma de crecida larga por 10 en Boltaña.

Elaboración: Oiane Sánchez

9. Estudio de probabilidad de inundación en los principales núcleos de población del valle del Ara





Analizada la fisionomía de la cuenta, se estudia el posible riesgo de inundación que el Ara representa en los núcleos más importantes de la cuenca: Boltaña, Fiscal, Broto y Torla.

Para ello, se ha realizado un estudio mediante la cartografía realizada por la Confederación Hidrográfica del Ebro, en la que se analizan los siguientes mapas:


- Área inundable para los diferentes períodos de retorno: 10 años, 50 años, 100 años y 500 años.
- Área inundable con la máxima crecida ordinaria.
- Área inundable en función de la probabilidad de inundación: alta (T10), frecuente (T50), media (T100) y baja (T500)
- Zona de flujo preferente.
- Delimitación de cauces públicos.

Para analizar estos mapas se ha utilizado la siguiente leyenda:








Mapa 1: Zonas inundables para los diferentes períodos de retorno

	Período de retorno de 10 años
	Período de retorno de 50 años
	Período de retorno de 100 años
	Período de retorno de 500 años


Mapa 2: Máxima Crecida Ordinaria

	Máxima crecida Ordinaria
---	--------------------------

Mapa 3: Área inundable en función de la probabilidad de inundación

	Calado menor de 0,3 metros
	Calado entre 0,3 metros y 0,5 metros
	Calado entre 0,5 metros y 0,7 metros
	Calado entre 0,7 metros y 1 metro
	Calado entre 1 metro y 1,5 metros
	Calado entre 1,5 metros y 2 metros
	Calado superior a 2 metros

Mapa 4: Zona de flujo preferente

	Zona de flujo preferente
---	--------------------------

Mapa 5: Delimitación de cauces públicos




	Dominio Público Hidráulico
	Zona de Servidumbre
	Zona de Policía

Tabla 8. Leyenda mapas de inundación. Elaboración: Oiane Sánchez

Además de este análisis, en Boltaña se ha elaborado una comparación entre los datos del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables y los datos del Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca Hidrográfica del Ebro.

En el caso del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), la información a estudiar se obtiene de los Mapas de Caudales Máximos para cada uno de los diferentes periodos de retorno (2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 100 años y 500 años). La particularidad de estos datos (régimen natural) hace que se puedan encontrar variaciones según el lugar concreto donde se tomaron las medidas. Al tener esta variación, se estimó la realización de una media de los datos para, posteriormente, compararla con el caudal medio diario de la estación A9040 de Boltaña. El objetivo de esta comparación es el saber con certeza si, la previsión realizada por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, ha llegado a cumplirse en algún momento del periodo estudiado en los datos reales del Anuario de Aforos.

9.1. Boltaña

El caso de Boltaña es especialmente significativo, ya que es la localidad en la que está situada la estación de aforo, por lo que es en la única localidad en la que se puede hacer una comparación real de los datos.

Tal y como se ha explicado con anterioridad, la verificación de datos consiste en la comparación entre los datos obtenidos de los Mapas de Caudales Máximos y los datos del Anuario de Aforos para cada uno de los periodos de retorno establecidos.



Foto 6: Estación de aforo del Río Ara en Boltaña. Fotografía: CHE

En la tabla que se muestra a continuación (Tablas 9 y 10), para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 100 años, los datos han quedado confrontados.

- En el caso del periodo de retorno para 2 años, existen 19 crecidas, cuyos caudales van desde los 191,5 m³/s hasta los 276,44 m³/s, quedando justificado el caudal estimado de 187.8 m³/s.
- En el caso del periodo de retorno de 5 años, la existencia de 5 crecidas cuyos caudales abarcan desde los 307,6 m³/s hasta los 354,9 m³/s, permiten justificar el caudal estimado de 302,6 m³/s.
- Para el periodo de retorno de 10 años, la existencia de 7 crecidas con caudales que van desde los 406,5 m³/s, hasta los 509,7 m³/s, justificar la estimación del SNCZI que estableció un caudal de 400 m³/s.
- Para el periodo de 25 años, al igual que los anteriores analizados, también quedan justificados sus caudales, ya que la existencia de 5 crecidas con caudales entre 610,32

m³/s y 832,2 m³/s, permiten ver que la verificación es de nuevo positiva, puesto que la estimación realizada por el SNCZI fue de 557,4 m³/s.

- Por último, en el período de 100 años, existe una crecida con un caudal de 1.226 m³/s, que justifica la estimación de 887,4 m³/s.
- Por el contrario, en el período de retorno de 500 años, no existen datos que confronten los caudales estimados por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, ya que no se han registrado caudales superiores a 1518,3 m³/s. Esto no significa que estos caudales no puedan darse, si no que hasta ahora, con los datos disponibles, no lo han hecho.

Período de retorno	Caudal	Media	Verificación
2 años	189 m ³ /s	187,8 m ³ /s	Sí (tabla 10)
	188 m ³ /s		
	194 m ³ /s		
	182 m ³ /s		
	186 m ³ /s		
5 años	299 m ³ /s	302,6 m ³ /s	Sí (tabla 10)
	304 m ³ /s		
	305 m ³ /s		
10 años	395 m ³ /s	400 m ³ /s	Sí (tabla 10)
	396 m ³ /s		
	402 m ³ /s		
	403 m ³ /s		
	404 m ³ /s		
25 años	549 m ³ /s	557,4 m ³ /s	Sí (tabla 10)
	558 m ³ /s		
	559 m ³ /s		
	560 m ³ /s		
	561 m ³ /s		
100 años	866 m ³ /s	887,4 m ³ /s	Sí (tabla 10)
	867 m ³ /s		
	868 m ³ /s		
	884 m ³ /s		
	885 m ³ /s		
	898 m ³ /s		
	900 m ³ /s		
	901 m ³ /s		
	902 m ³ /s		
	903 m ³ /s		
500 años	1499 m ³ /s	1518,3 m ³ /s	No (tabla 10)
	1500 m ³ /s		
	1523 m ³ /s		
	1527 m ³ /s		
	1530 m ³ /s		
	1531 m ³ /s		

Tabla 9. Comparación datos Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables y Anuario de Aforos. Elaboración: Oiane Sánchez

2 Años		5 años		10 años	
Fecha	Caudal (m ³ /s)	Fecha	Caudal (m ³ /s)	Fecha	Caudal (m ³ /s)
Octubre de 1982	191,5	Diciembre de 1987	307,6	Diciembre de 1995	406,5
Octubre de 1994	191,5	Julio de 2001	323,1	Mayo de 1992	419,4
Enero de 2013	194,5	Abril de 1992	329,1	Octubre de 2012	426
Octubre de 1992	195,8	Abril de 1987	346,3	Enero de 1996	428
Junio de 2013	199,6	Junio de 1992	354,9	Marzo de 1991	440,9
Marzo de 2001	199,64			Noviembre de 1984	483,9
Febrero de 2003	199,64			Noviembre de 1994	509,7
Octubre de 2003	199,64				
Septiembre de 1993	221,6				
Abril de 1986	225,9				
Octubre de 2006	238,04				
Noviembre de 1991	243,1				
Noviembre de 1997	245,72				
Octubre de 1999	250,84				
Noviembre de 2011	256				
Abril de 1988	260,3				
Octubre de 2005	261,08				
Septiembre de 1981	268,9				
Noviembre de 2003	276,44				
25 años		100 años		500 años	
Fecha	Caudal (m ³ /s)	Fecha	Caudal (m ³ /s)	Fecha	Caudal (m ³ /s)
Noviembre de 1986	610,32	Noviembre de 1982	1.226,20		
Octbre de 1987	630,96				
Julio de 1988	651,6				
Diciembre de 1997	832				
Junio de 1988	832,2				

Tabla 10. Datos del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). Elaboración: Oiane Sánchez

A través de las predicciones de caudal máximo realizadas por el SNCZI, la Confederación Hidrográfica del Ebro elaboró una serie de cartografías en la que se establecían las áreas de inundabilidad para cada uno de los periodos de retorno en cada uno de los municipios estudiados.

En el caso de Boltaña, analizando el mapa de los diferentes periodos de retorno (mapa 6), se observa cómo queda fuera de las áreas de inundación. En el caso del periodo de retorno de 10 años, el río apenas desborda el cauce, por lo que no existe riesgo para la población. En los casos de 50 años, 100 años y 500 años, el río desborda el cauce, pero solo lo hace inundando cultivos, por lo que sigue sin haber riesgo para la población. Las dos zonas principales que quedan inundadas se dan con el periodo de retorno de 500 años. Estas zonas son, por un lado, unos cultivos al noroeste del núcleo antiguo, y, por otro lado, unos cultivos al sur de la parte nueva de Boltaña. Pero en ninguno de los dos casos afecta a la población. Tan sólo podría afectar a algunas casetas de campo dispersas por la llanura de inundación. También podría verse afectado el Camping La Gorga, cuya superficie se ve afectada parcialmente por el área de inundación en los periodos de retorno superiores a 10 años.

En cuanto a la máxima crecida ordinaria (mapa 7), tal como se ve en el periodo de retorno de 10 años, no desborda el cauce, por lo que esta crecida no genera riesgo para la población.

Con respecto a la probabilidad de inundación, es un aspecto a destacar, ya que los calados representan la profundidad que el agua alcanzaría en las diferentes zonas inundadas.

En la zona de alta probabilidad de inundación (T10) (mapa 8), los calados son importantes en la zona más próxima a Boltaña, pero no supera el nivel de Bankfull.

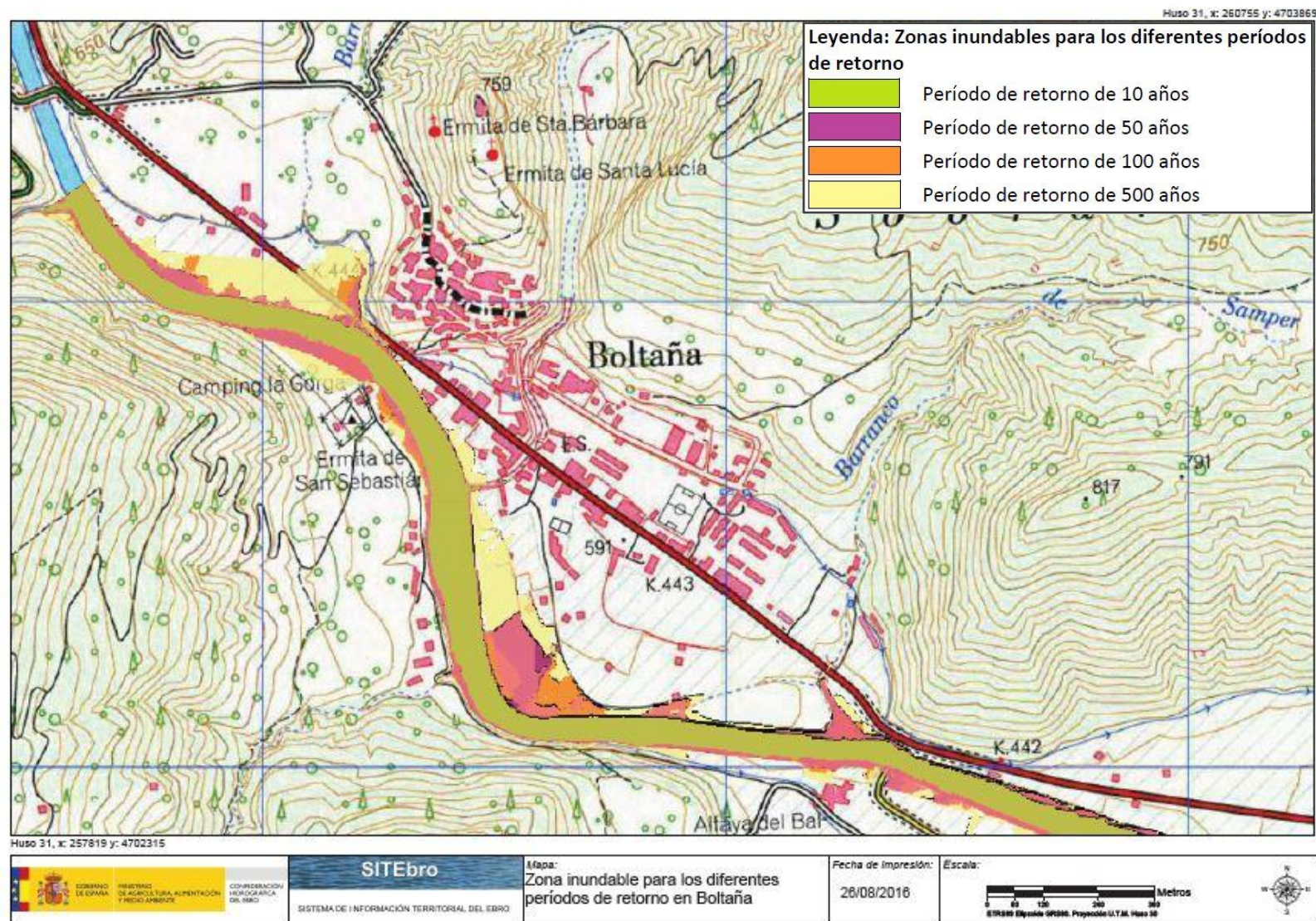
En la zona de inundación frecuente (T50) (mapa 9), todo el río tiene un calado superior a 2 metros, pero igualmente, no supera el cauce, por lo que el río no genera riesgos personales.

En la zona de probabilidad media de inundación (T100) (mapa 10), el calado es menor que en la zona de inundación frecuente, ya que con este periodo de retorno, el caudal desborda levemente el nivel Bankfull, por lo que es lógico que el calado disminuya. Aun así, el riesgo para la población es prácticamente inexistente.

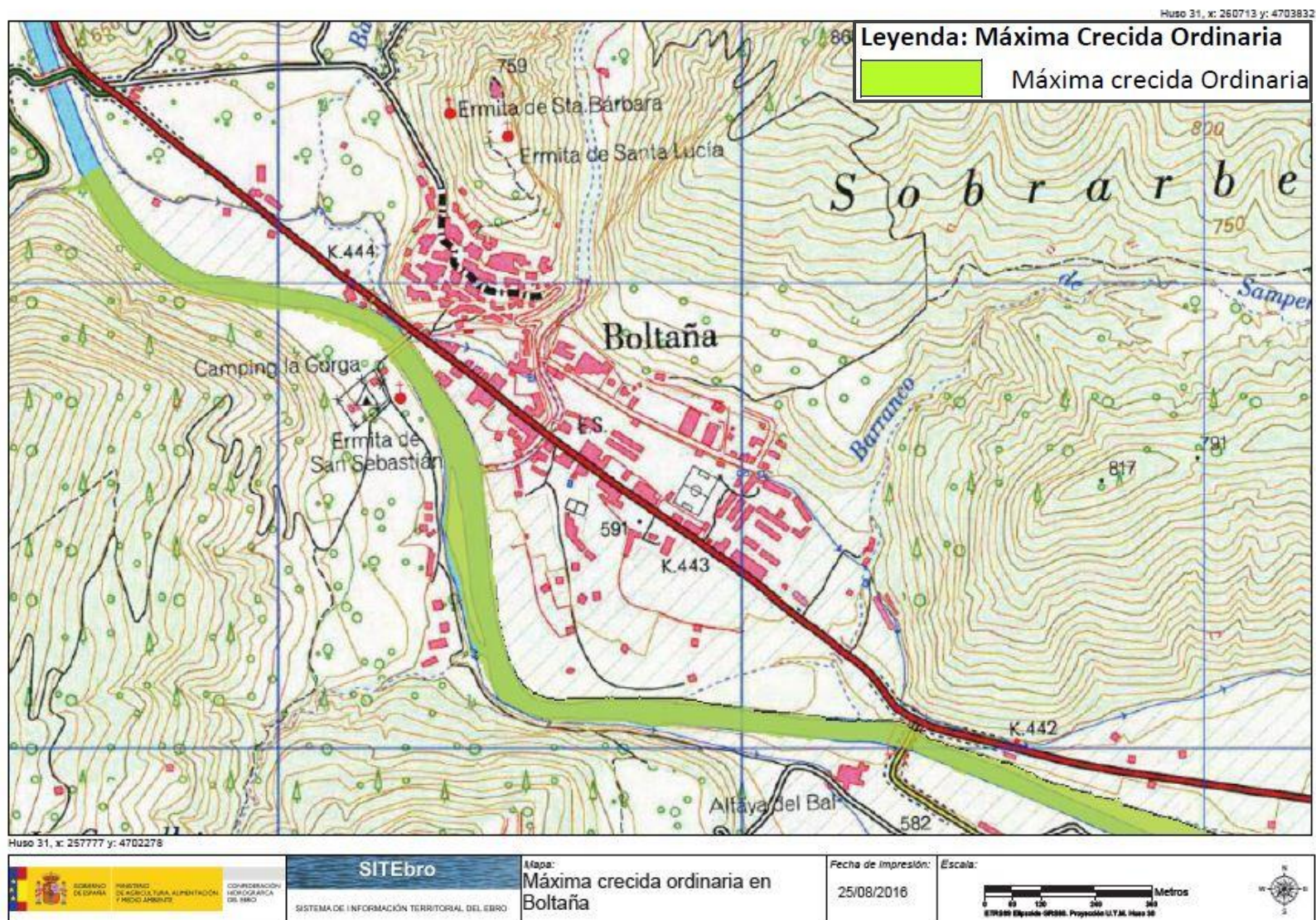
Por último, en la zona de probabilidad baja de inundación, (T500) (mapa 11), el río tiene un calado superior a 2 metros en el cauce y disminuye conforme el área se aleja del cauce. De manera que se observan calados entre 0,3 metros y 2 metros en los cultivos antes mencionados.

En la Zona de Flujo Preferente (mapa 12), se observa cómo el río trata de acortar las curvas por las que pasa, por lo que esta zona se limita al cauce en sí y a cierta área junto a las curvas.

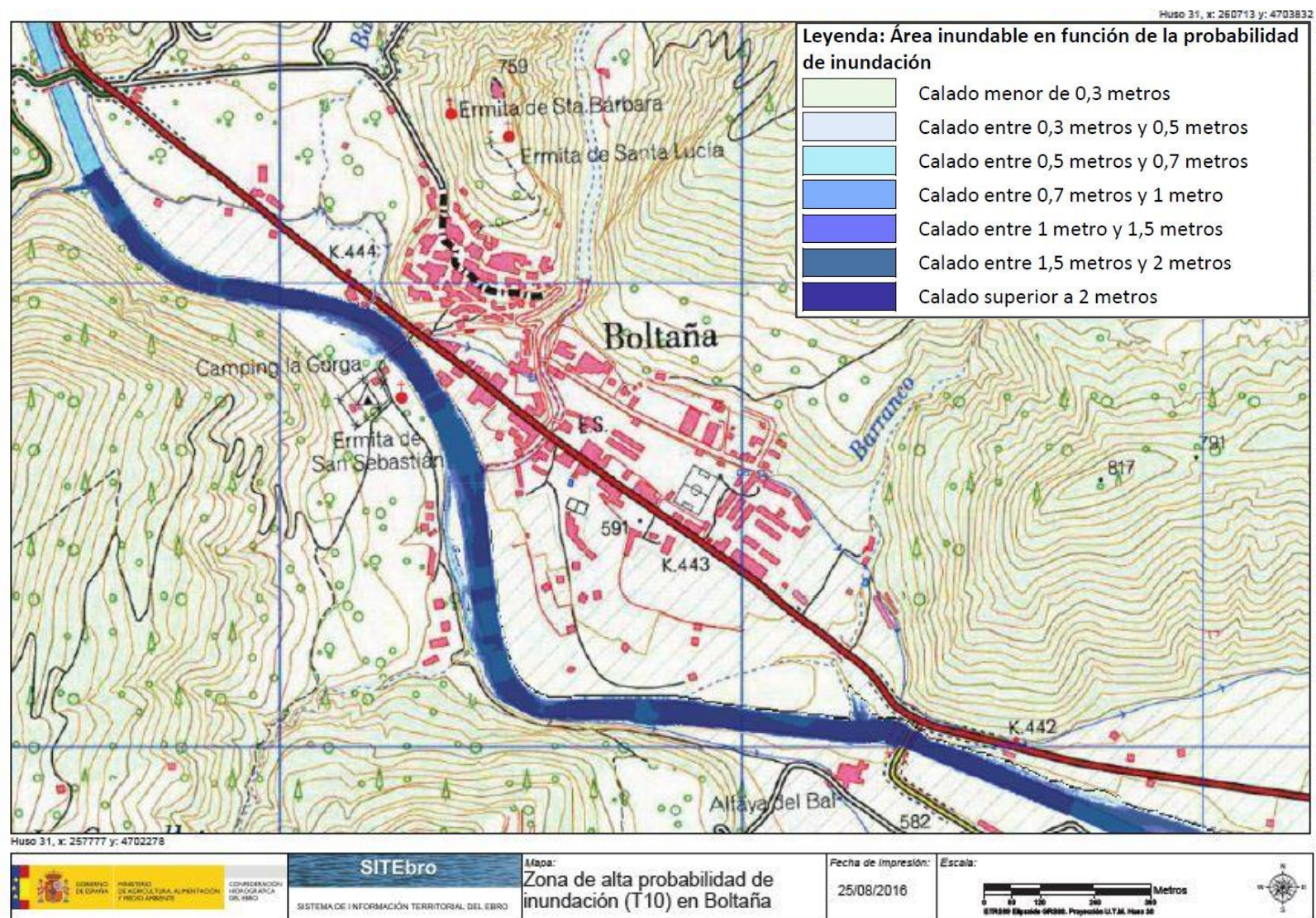
Por último, en la Delimitación de Cauces Públicos (mapa 13), se aprecia que un sector de Boltaña queda dentro del Dominio Público Hidráulico, así como parte del Camping la Gorga.



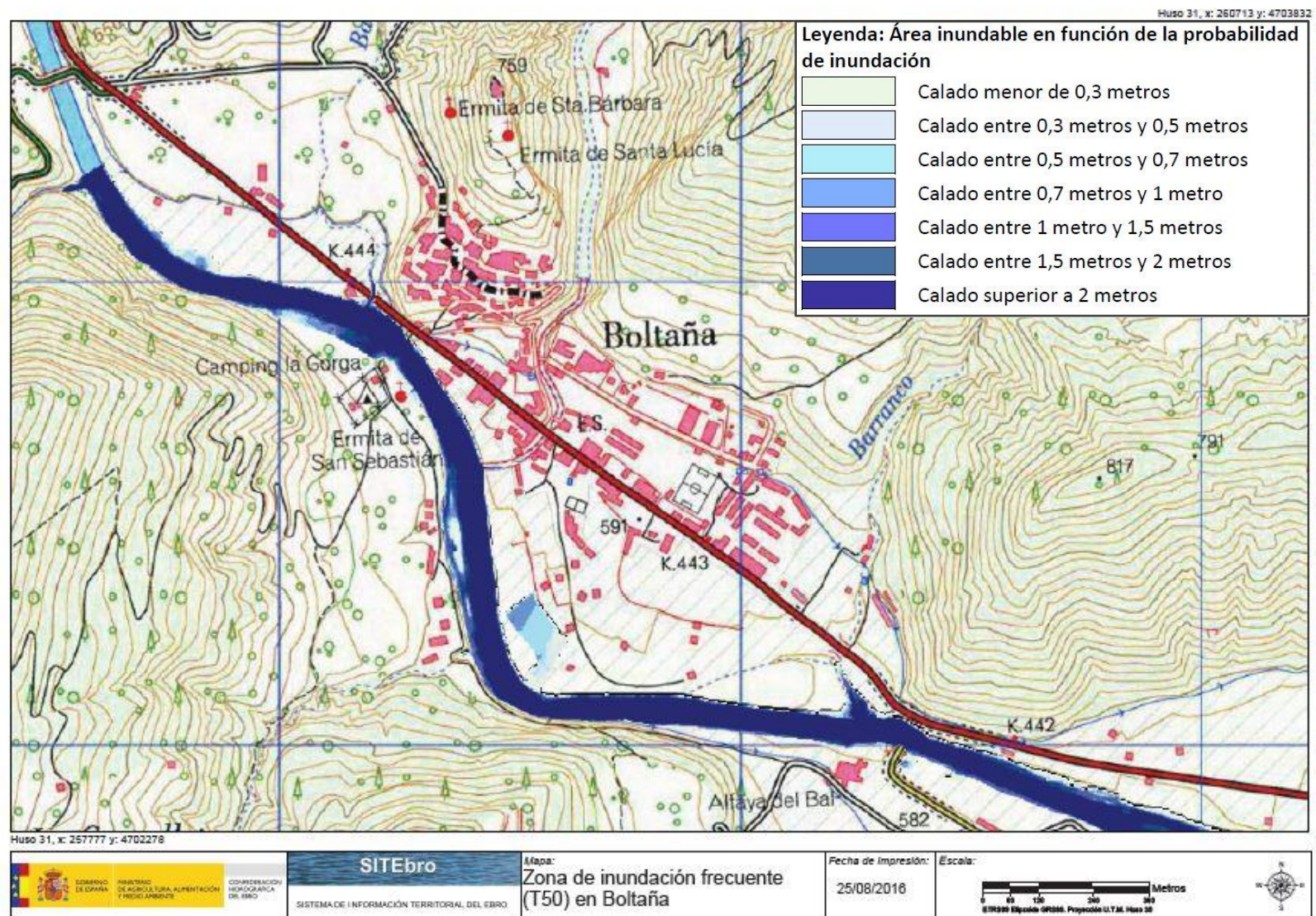
Mapa 6. Períodos de retorno en Boltaña. Fuente: SITEbro



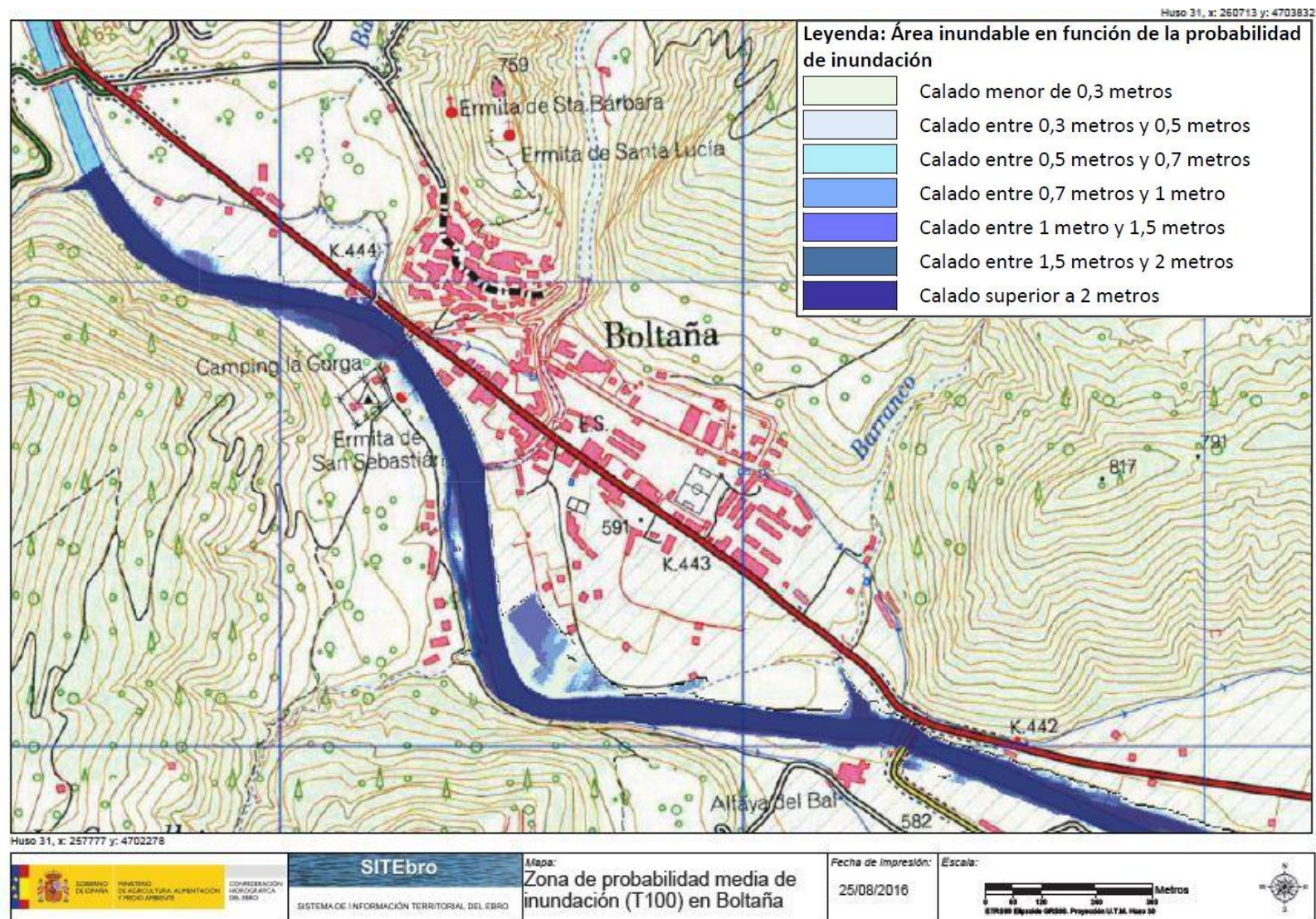
Mapa 7. Máxima Crecida Ordinaria en Boltaña. Fuente: SITEbro.



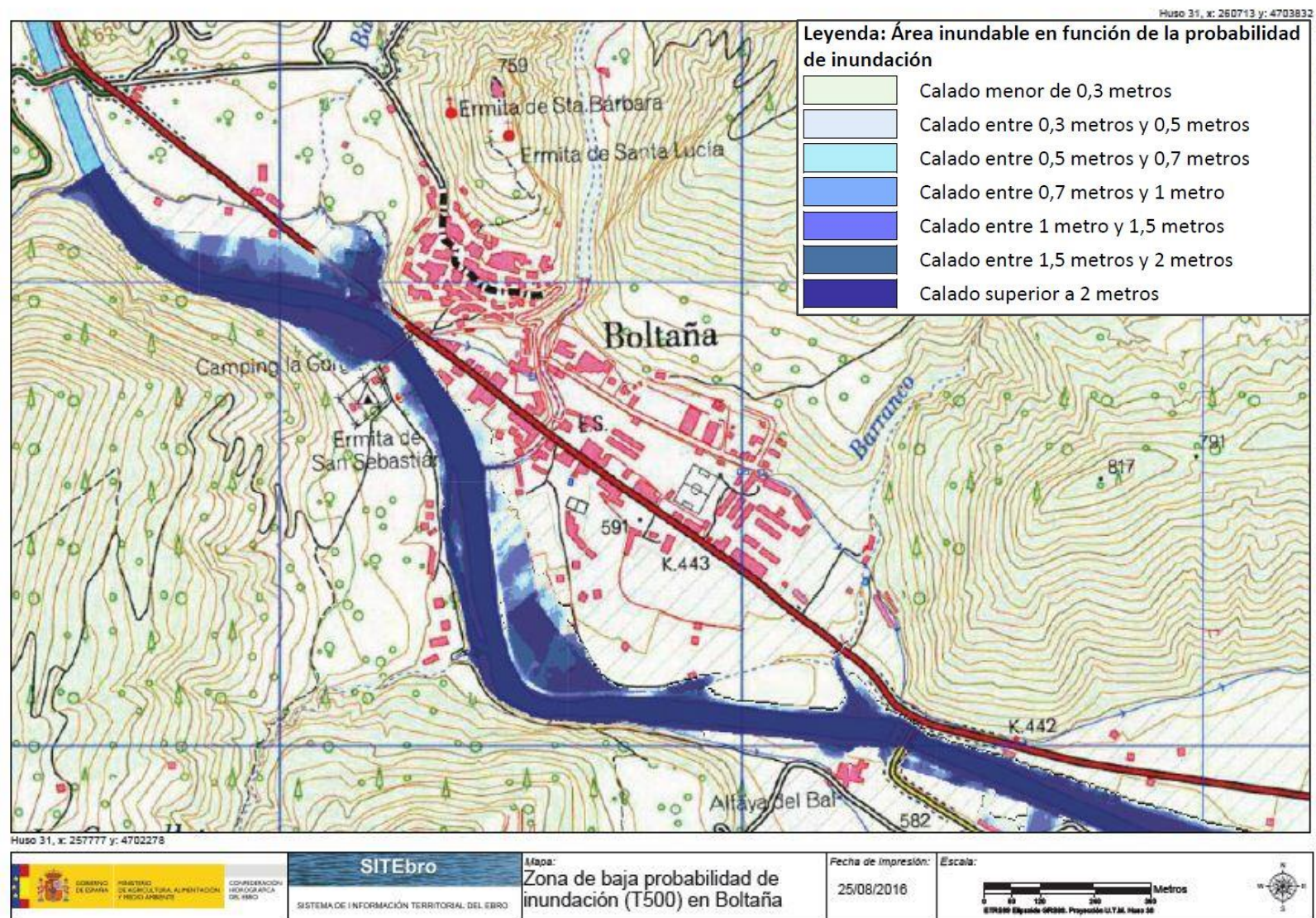
Mapa 8.Zona de alta probabilidad de inundación en Boltaña (T10). Fuente: SITEbro.



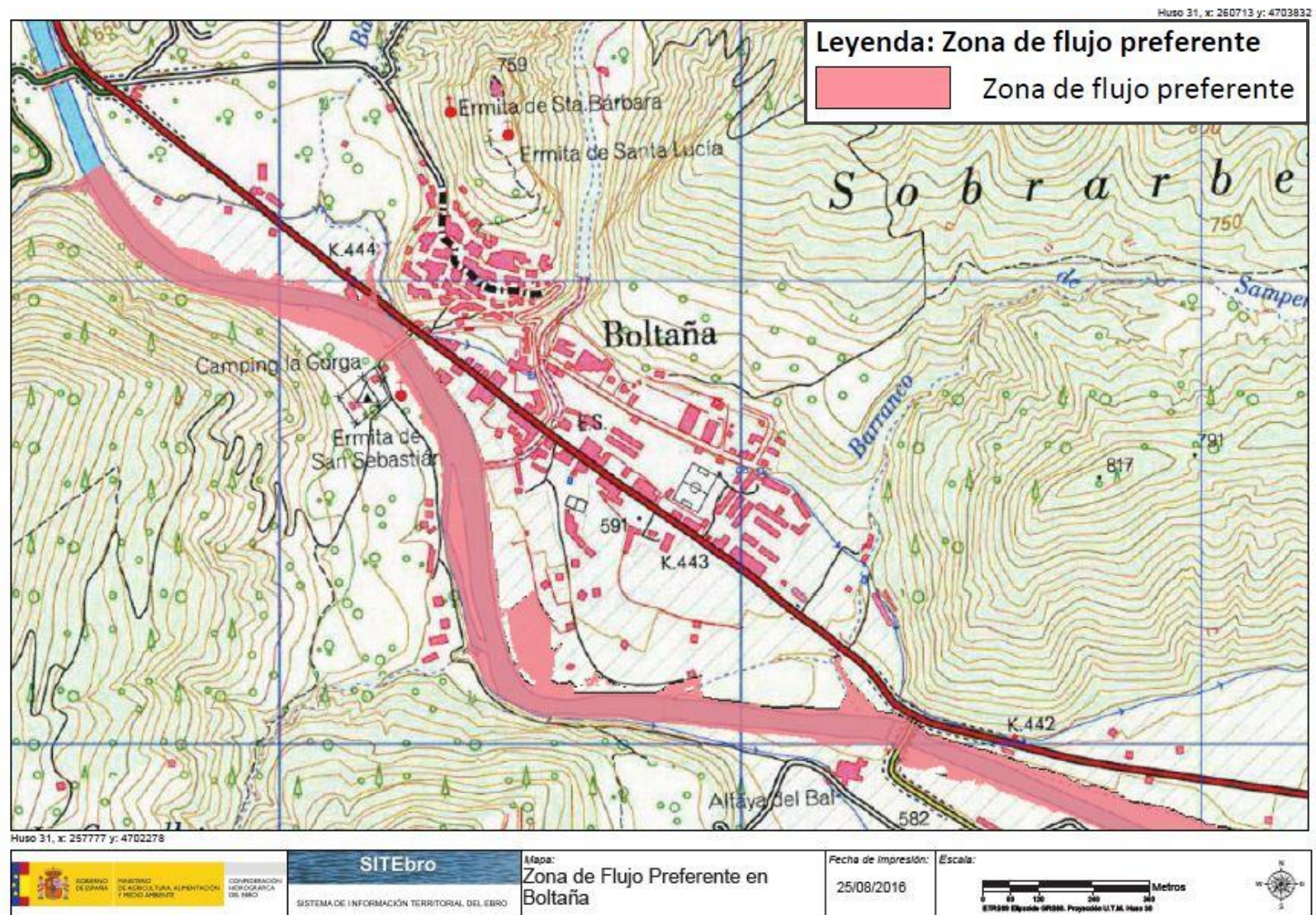
Mapa 9. Zona de inundación frecuente en Boltaña (T50). Fuente: SITEbro.



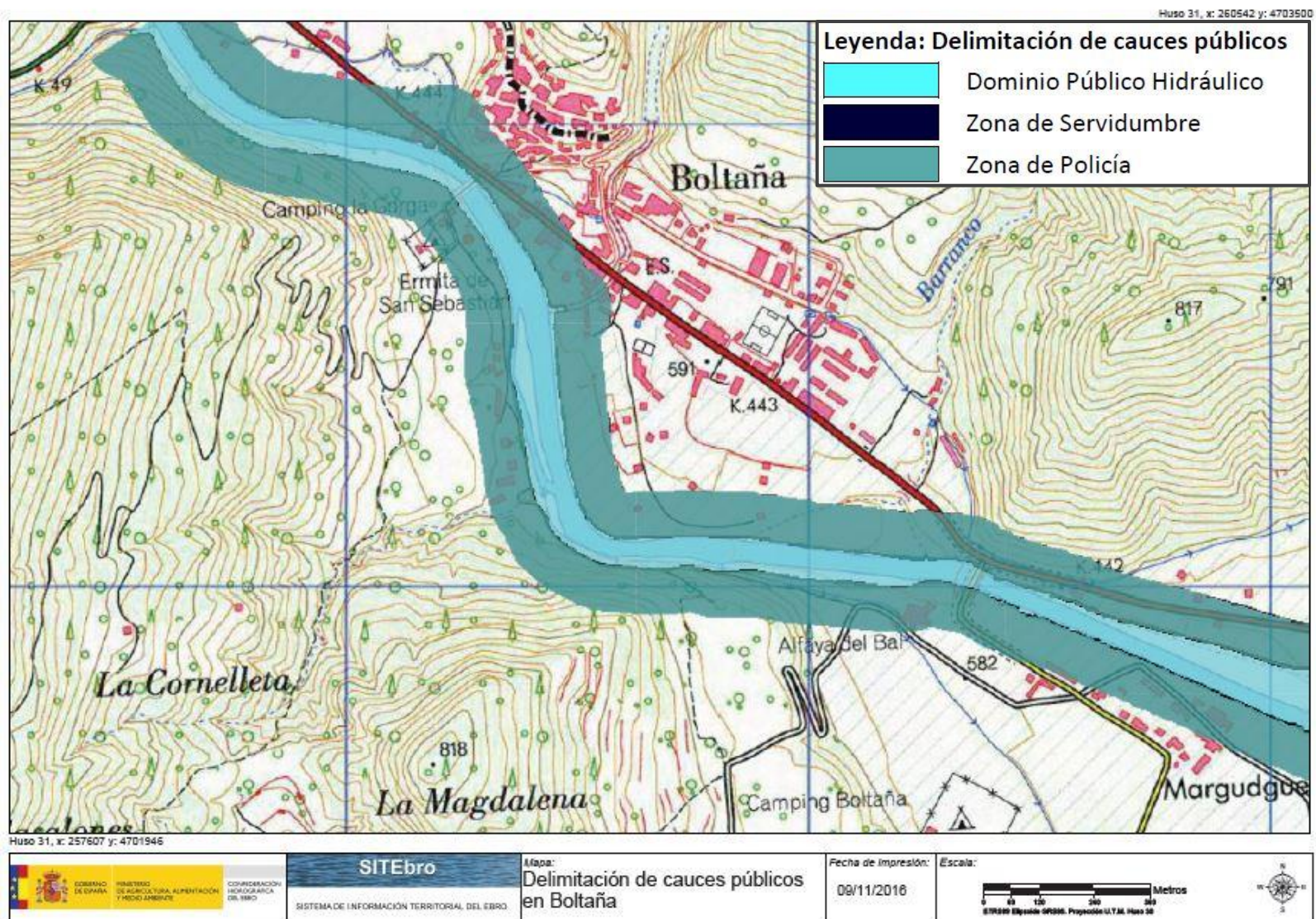
Mapa 10. Zona de probabilidad media de inundación en Boltaña (T100). Fuente: SITEbro.



Mapa11.Zona de probabilidad baja de inundación en Boltaña (T500). Fuente: SITEbro.



Mapa 12. Zona de Flujo Preferente en Boltaña. Fuente: SITEbro.



Mapa 13. Delimitación de Cauces Públicos en Boltaña. Fuente: SITEbro.

9.2. Fiscal

Observando el mapa con los diferentes períodos de retorno (mapa 14), podría decirse que el riesgo de inundación es medio. El núcleo urbano, con ninguno de los períodos de retorno, se vería afectado por una posible crecida. Tan solo afectaría a los cultivos, principalmente aguas abajo de Fiscal. Sin embargo, aunque al núcleo principal no afecten las posibles crecidas, sí que lo haría con algunas casetas o casas aisladas situadas más próximas a la ribera del río. Hay que tener en cuenta, que si el riesgo de inundación en Fiscal no es más alto, es gracias a la construcción de protecciones para las zonas del núcleo más próximas a la ribera. Esto quiere decir, que en alguna ocasión el pueblo ha tenido que verse afectado por las crecidas para que esas protecciones hayan sido construidas.

Llama la atención cómo el área inundable con un período de retorno de 500 años, sí afectaría a los dos camping próximos a Fiscal. Incluso, a pesar de que no esté representado en el área inundable, llaman la atención los barrancos próximos a Fiscal, pero sobretodo, los barrancos próximos al camping “el Jabalí Blanco”.

En cuanto a la máxima crecida ordinaria (mapa 15), apenas inunda más allá del cauce del río, por lo que el riesgo de inundación en este caso no existe.

Con respecto a los mapas que representan la probabilidad de inundación, son muy representativos, ya que, indican cuáles son los calados de las áreas inundables para cada período de retorno. Es decir, qué profundidad alcanzaría la inundación en cada lugar.

En el caso de las crecidas en las que la probabilidad de inundación es alta (T10) (mapa 16), la lámina de agua apenas supera el cauce del río. Además, en las escasas zonas en las que lo hace, el calado es inferior a un metro, por lo que, aunque los daños materiales pudieran ser considerables, no habría un riesgo excesivamente elevado para la población de Fiscal.

En el caso de las crecidas en las que la probabilidad de inundación es frecuente (T50) (mapa 17), la lámina de agua supera levemente el cauce del río. Sin embargo, en este caso el calado es mayor, por lo que sí existe riesgo para la población más próxima al cauce.

En cuanto a las crecidas en las que la probabilidad de inundación es media (T100) (mapa 18), llama la atención cómo la lámina de agua inunda un antiguo brazo, pero se desvía justo aguas arriba de algunas de las casas del núcleo. Esto lleva a pensar que, ante las posibles inundaciones, la población se reforzó para que no afectara al núcleo. Es decir, que de este mapa se puede deducir que sí existe un riesgo de inundación en Fiscal, pero que la población está protegida contra las avenidas por muros o motas. Aguas más abajo del núcleo, el río se expande inundando algunos cultivos y casetas, aunque con un calado que no presenta riesgo para la población.

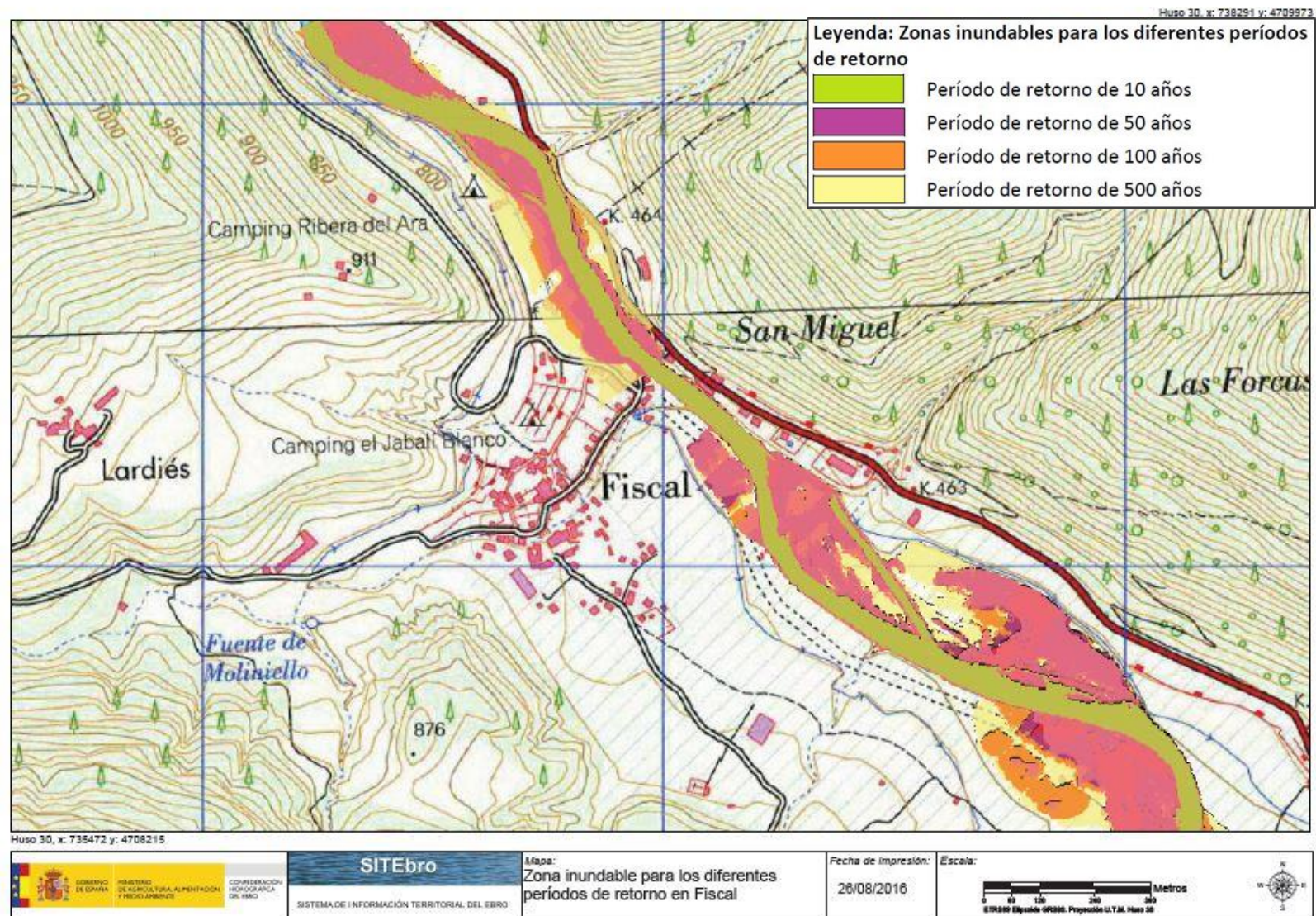
Por último, en el caso de las crecidas en las que la probabilidad de inundación es baja (T500) (mapa 19), se aprecia de una manera más clara esa protección por medio de motas o muros, ya que el río lleva una trayectoria que se corta justo antes de entrar en el núcleo. Como es lógico, los calados son mayores y quedan inundados cultivos que no estaban inundados antes. El riesgo para la población es elevado, ya que el calado es superior a dos metros de profundidad en la zona protegida.

Además, el mapa de zona de flujo preferente (mapa 20) deja patente que Fiscal está muy próxima al cauce y que, de no ser por las protecciones, parte de su núcleo quedaría inundada cuando las avenidas tuvieran un volumen considerable.

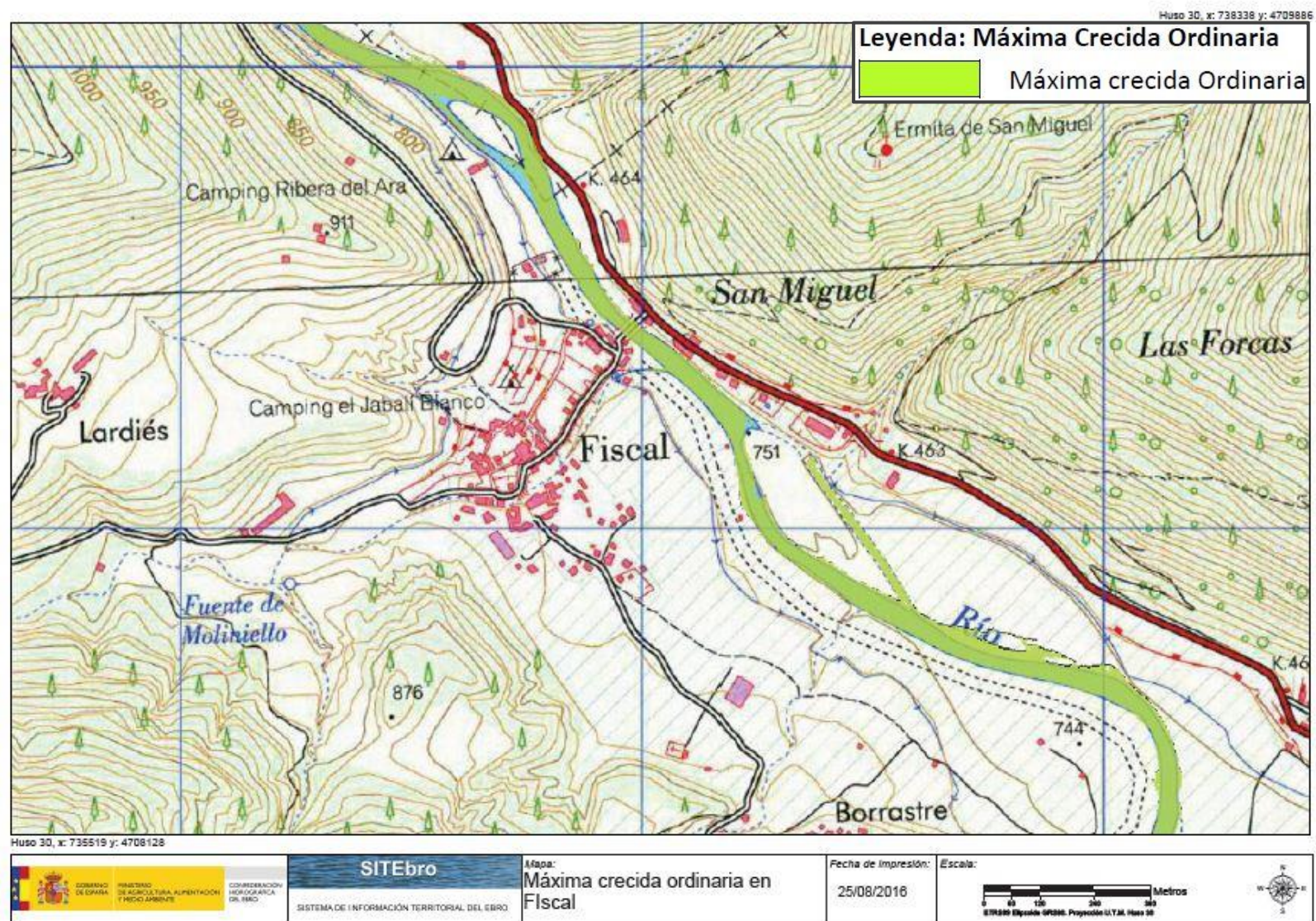
Por último, en la Delimitación de Cauces Públicos (mapa 21), se puede apreciar cómo parte del núcleo de Fiscal queda dentro de la Zona de Policía, así como un pequeño sector del camping “el Jabalí Blanco”. Si se tiene en cuenta que la Zona de Policía suele coincidir con el área inundable con un período de retorno de 100 años (Proyecto Linde, MAPAMA), se puede deducir que Fiscal tiene riesgo de inundación en la parte más próxima al cauce y que las defensas están bien colocadas con el objetivo de minimizar ese riesgo. Sin embargo, no hay que olvidar que el riesgo sigue estando, ya que las protecciones a veces fallan o el volumen del río puede ser mayor a lo estudiado.



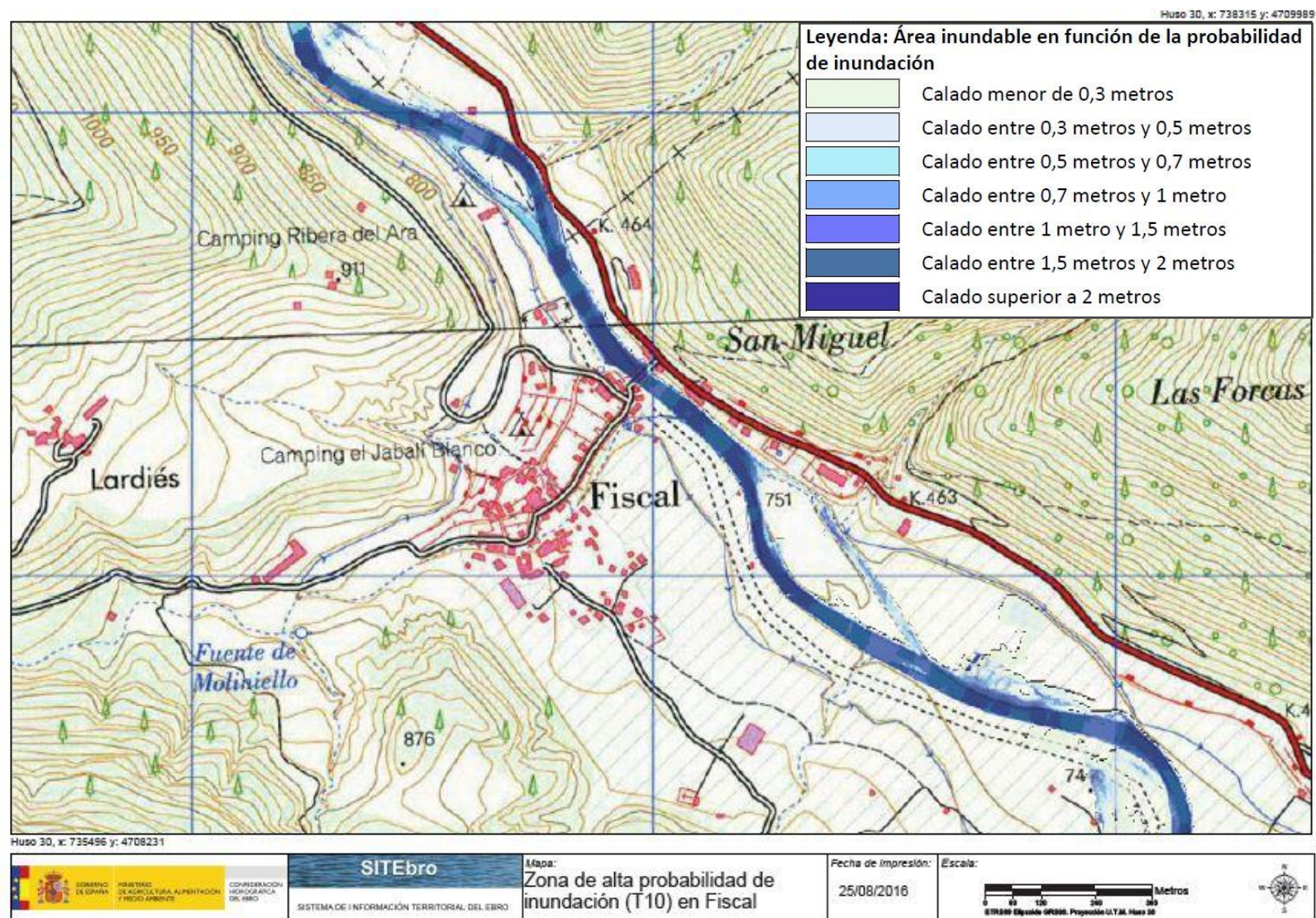
Foto 7: Río Ara a su paso por Fiscal. Fotografía: Oiane Sánchez



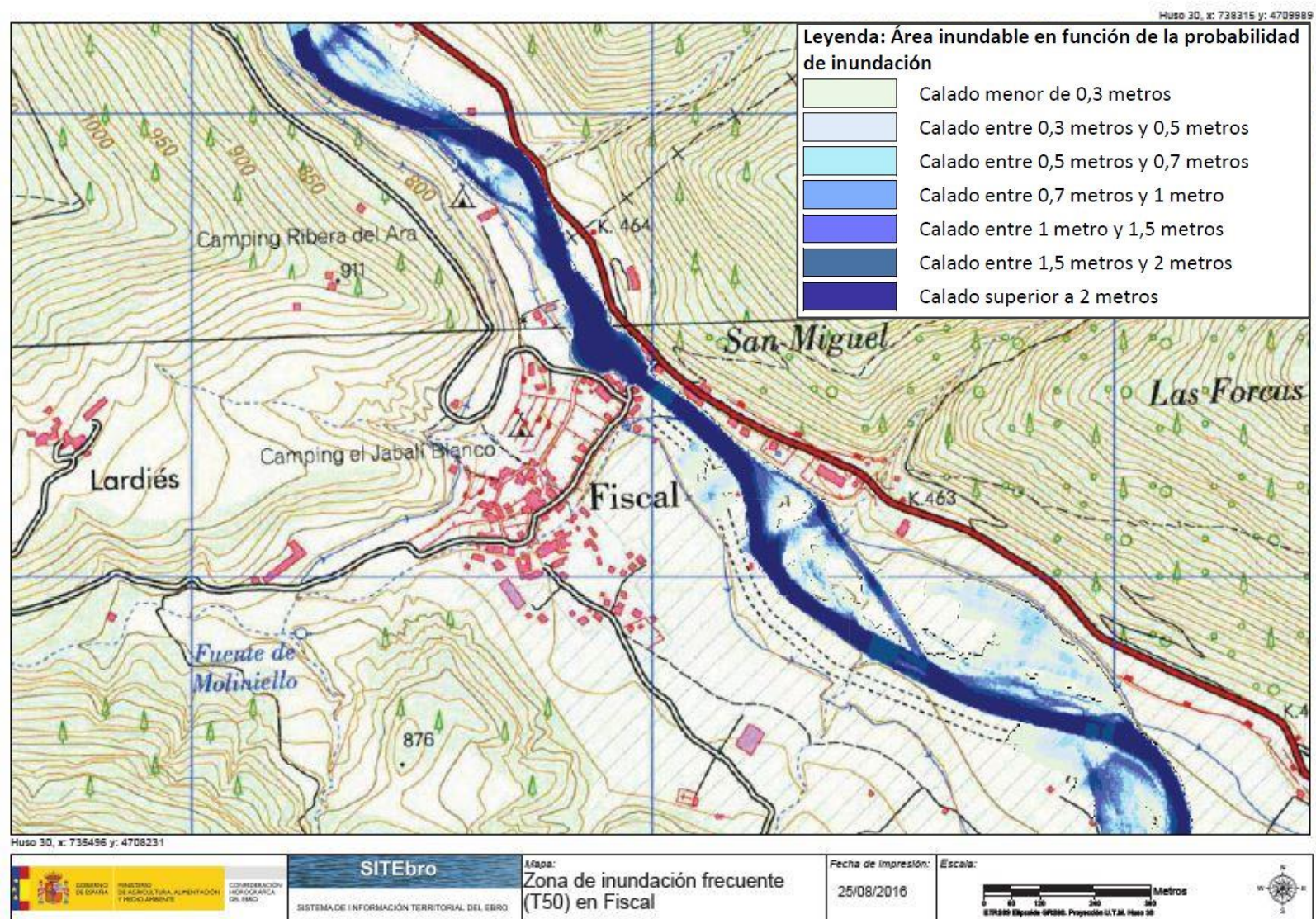
Mapa 14. Períodos de retorno en Fiscal. Fuente: SITEbro.



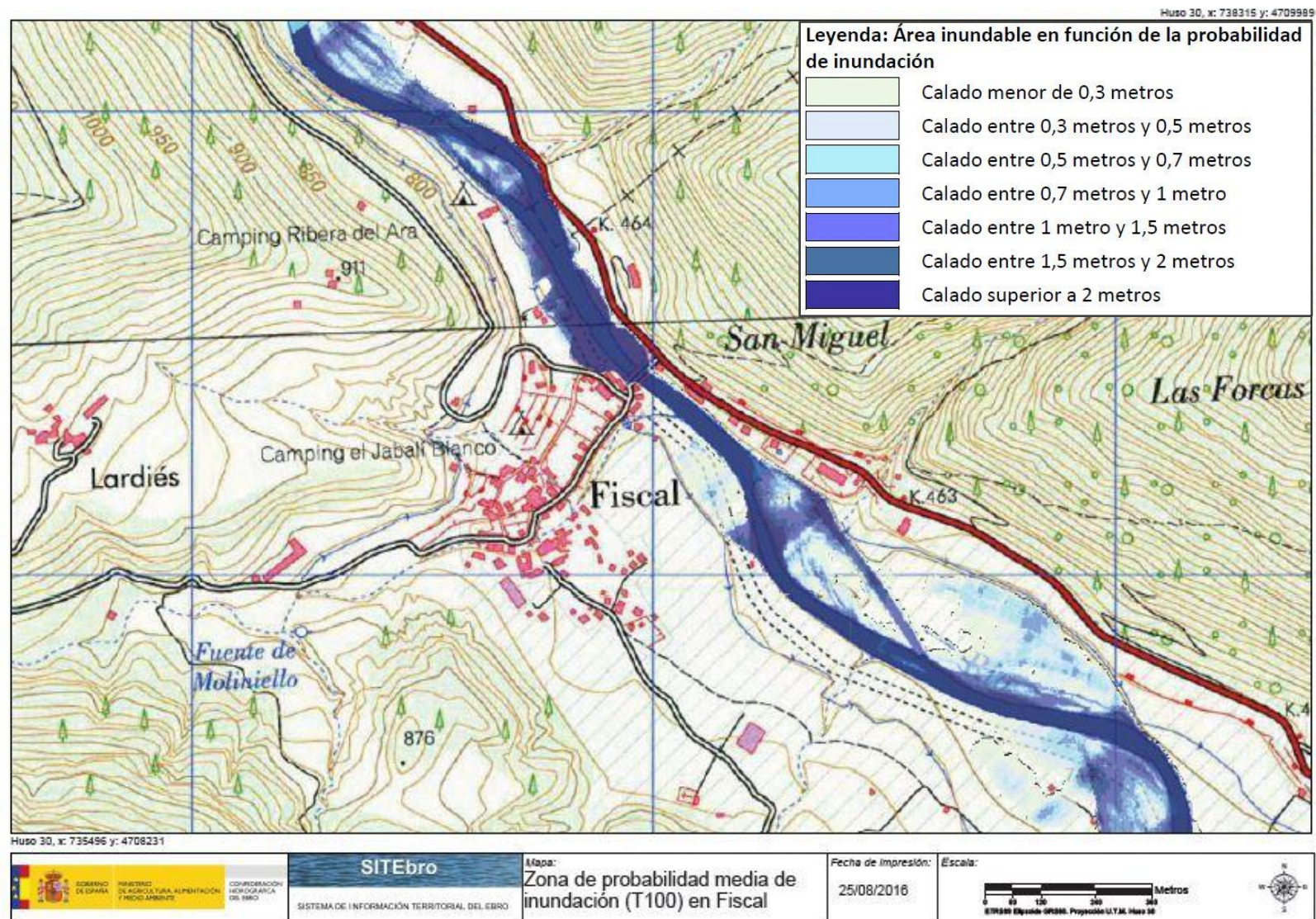
Mapa 15. Máxima Crecida Ordinaria en Fiscal. Fuente: SITEbro.



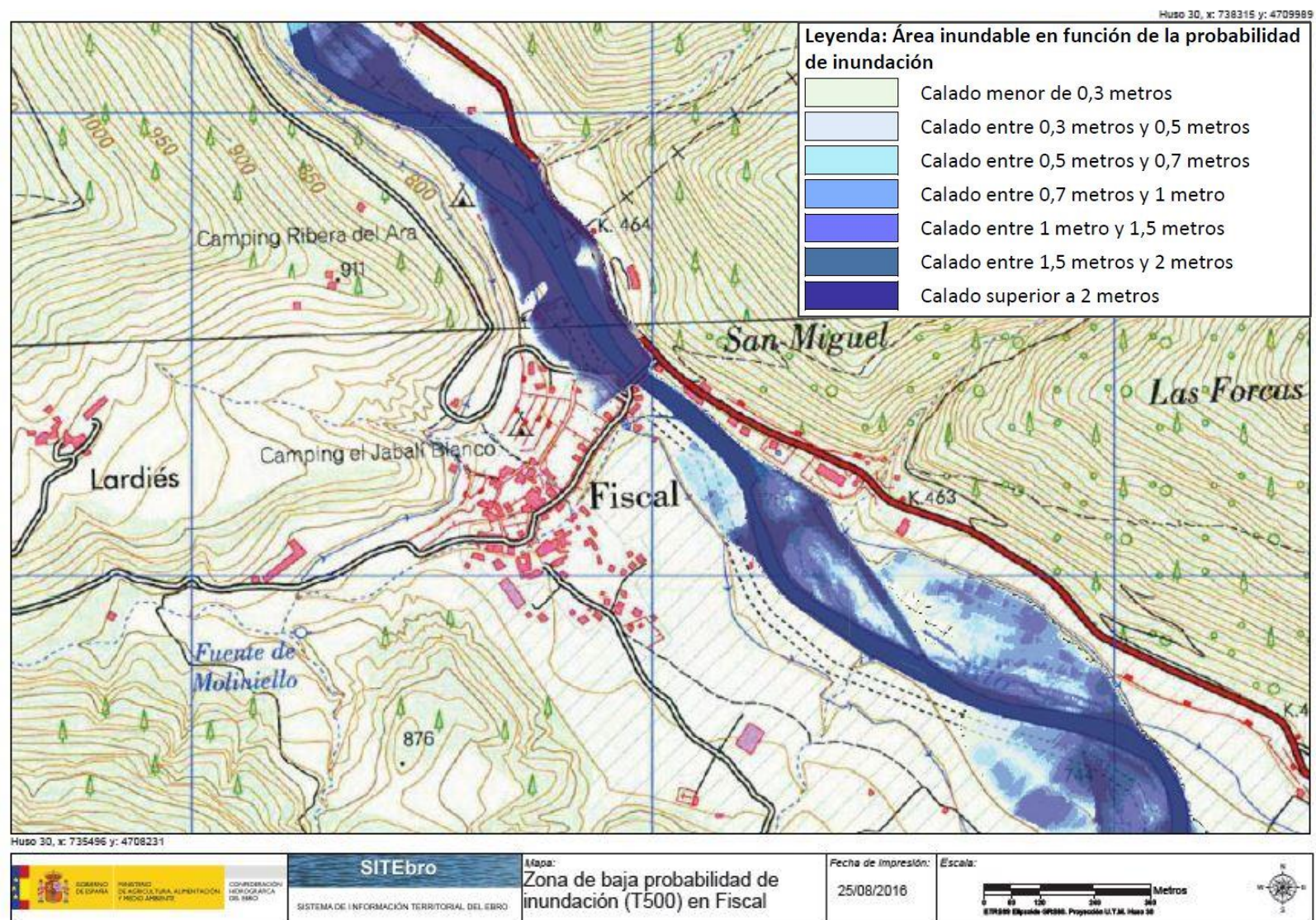
Mapa 16. Zona de alta probabilidad de inundación en Fiscal (T10). Fuente: SITEbro.



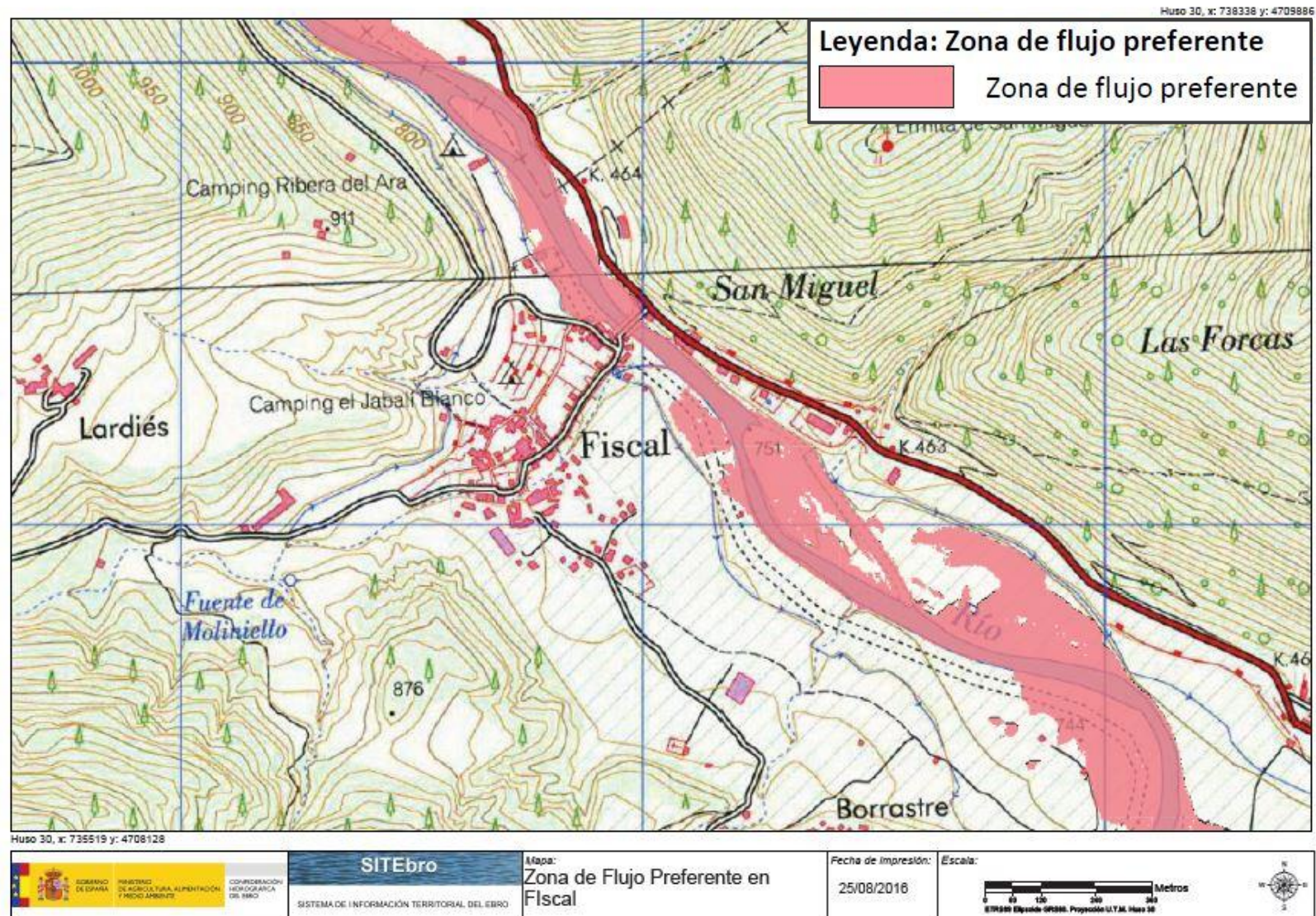
Mapa 17. Zona de inundación frecuente en Fiscal (T50). Fuente: SITEbro.



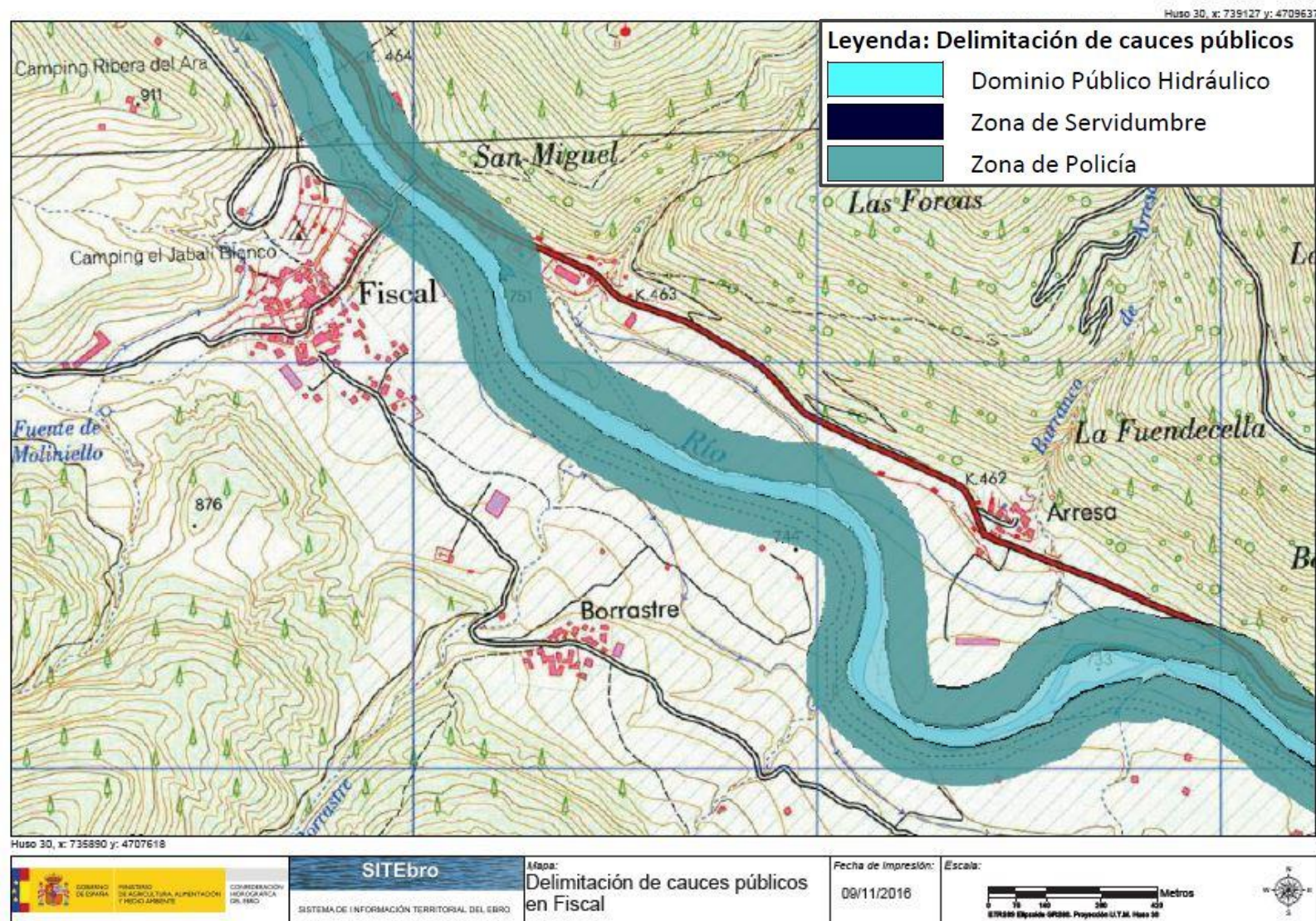
Mapa 18. Zona de probabilidad media de inundación en Fisca (T100)l. Fuente: SITEbro.



Mapa 19. Zona de probabilidad baja de inundación en Fiscal (T500). Fuente: SITEbro.



Mapa 20. Zona de Flujo Preferente en Fiscal. Fuente: SITEbro.



Mapa 21. Delimitación de Cauces Públicos en Fiscal. Fuente: SITEbro.

9.3. Broto

El caso de Broto es especialmente significativo, ya que el río atraviesa el pueblo y, además, el barranco del Sorrosal desemboca en el río Ara a la altura de Broto. Esto hace que, en ocasiones, el agua del barranco no pueda salir al río y la inundación producida sea mayor.

Observando el mapa con los diferentes períodos de retorno (mapa 22), se puede ver como Broto tiene un riesgo enorme de sufrir inundaciones a pesar de las diferentes protecciones. En el caso de que la crecida tuviera un período de retorno de 10 años, la lámina de agua apenas superaría el nivel de Bankfull, por lo que la población solo tendría un ligero riesgo de sufrir daños personales, excepto que cometieran alguna imprudencia u ocurriera algún imprevisto.

En el caso de que la crecida tuviera un período de retorno de 50 años, la parte más próxima al río quedaría inundada, principalmente a la derecha del río y aguas arriba del puente y a la izquierda del río y aguas abajo del puente, ya que son las zonas más bajas del pueblo. Además, más al sur, destaca cómo la urbanización Nuevo Broto no se inundaría, a pesar de que está muy próxima al río. Esto es consecuencia de las protecciones que dicha urbanización tiene frente a las crecidas. De esta manera, la crecida inunda los campos de enfrente de la urbanización y no hay riesgo de inundación para la población, salvo rotura de defensas, ya que el peligro sigue estando ahí, pero se intenta corregir con esas defensas para que dicho peligro no se materialice.

En el caso de que la crecida tuviera un período de retorno de 100 años, la mayor parte de Broto quedaría inundada. Tan solo se salvaría la parte más alta del pueblo, la más antigua, así como algunas casas situadas en la margen derecha, ya que éstas están lo suficientemente alejadas del río. Aguas abajo de Broto, frente a la Urbanización Nuevo Broto, ocurre lo mismo que si la crecida tiene un período de retorno de 50 años, ya que las protecciones aguantarían la crecida y el río evacuaría el agua hacia los campos de la otra margen. Sin embargo, como se ha dicho en el párrafo anterior, no existe una garantía plena de que estas protecciones aguanten. Existen numerosos casos en los que durante una crecida, determinadas defensas han sido destruidas por la fuerza erosiva y la presión del caudal líquido – sólido o por socavamiento basal de la defensa.

Por último, en el caso de que la crecida tuviera un período de retorno de 500 años, Broto quedaría prácticamente inundado del todo. Al igual que si la crecida tuviera un período de retorno de 100 años, tan solo las partes más elevadas del pueblo quedarían a salvo de la crecida. Además, el mapa sigue reflejando que las protecciones de la Urbanización Nuevo Broto seguirían aguantando la crecida y evacuando el agua hacia los cultivos de enfrente de la urbanización.

En cuanto a la máxima crecida ordinaria en Broto (mapa 23), se ve cómo prácticamente no supera el nivel de Bankfull, por lo que son las crecidas de carácter extraordinario las que conllevan un evidente peligro para este núcleo de población.

Al igual que en Fiscal, la probabilidad de inundación es un aspecto muy representativo, ya que además de analizar cuál es el área inundable, indica cuáles son los calados de dichas áreas.

En cuanto a las zonas con alta probabilidad de inundación (T10) (mapa 24), apenas rebasa el cauce, por lo que el riesgo para la población es inexistente. Sin embargo, en el mapa de zonas de inundación frecuente (T50) (mapa 25), comienzan a verse diferentes áreas inundadas por el río, así como un cauce con una elevada profundidad. Llama la atención que una parte importante del núcleo quede inundada, además con una profundidad suficiente para que haya riesgo para la población. Además, también llama la atención, tal como se ha dicho anteriormente, la clara influencia de las protecciones en la expansión de la lámina de agua, a pesar del calado de ésta.

En el caso de las zonas con probabilidad media de inundación (T100) (mapa 26), son las mismas que quedaban representadas en el mapa de zonas de inundación frecuente (T50) (mapa 27), pero con un calado mayor. Donde antes había apenas unos centímetros de profundidad, ahora se aprecia un mayor calado y, por tanto, un mayor riesgo para la población. Ocurre lo mismo en las zonas de baja probabilidad de inundación, aunque en este caso se observan algunas zonas más que quedarían inundadas. Estas zonas afectan completamente al núcleo urbano, de manera que la mayoría de Broto quedaría anegado con un importante calado, por lo que el riesgo para la población es muy elevado. Cabe destacar también la resistencia de las protecciones que tiene la Urbanización Nuevo Broto, ya que, a pesar del importante calado que tiene el río en esa zona, la urbanización queda a salvo. Sin embargo, como ya se ha dicho antes, esto tiene un doble riesgo: por un lado, que las protecciones fallen y entre todo el agua de golpe y, por otro lado, que el agua entre y después no pueda salir por culpa de las protecciones.

Broto es, con total seguridad, el núcleo con mayor riesgo de inundación para la población. El primer lugar a destacar es una zona situada aguas arriba del puente en la margen derecha, porque es una zona que no cuenta con protección en el cauce y que está a la misma altura que éste. Además, se da el problema añadido de que, en algunas crecidas, se cortaría el paso por carretera. El segundo lugar, se encuentra frente a la desembocadura del barranco de Sorrosal, ya que, si ambos están sufriendo una crecida al mismo tiempo, el barranco no puede desembocar, por lo que el río se desborda por la zona de enfrente del barranco. Por último, en tercer lugar, la zona de la Urbanización Nuevo Broto, en la que si no fuera por las protecciones, la urbanización quedaría inundada con mucha frecuencia, poniendo en riesgo a la población que allí reside.

La zona de flujo preferente en Broto (mapa 28), deja patente este elevado riesgo, ya que es la zona por la que discurrirá el agua de forma prioritaria en caso de desbordamiento. En el núcleo, esta zona cubre la mayor parte, por lo que el riesgo de inundación en Broto es incuestionable. Además, se vuelve a poner en evidencia las protecciones de la Urbanización Nuevo Broto, ya que esta zona de flujo preferente queda totalmente representada en la otra orilla a la ocupada por dicha urbanización.

Por último, en cuanto a la Delimitación de Cauces Públicos (mapa 29), ésta vuelve a reflejar lo ya explicado, que Broto es una localidad con un enorme riesgo de inundación. En este caso se puede apreciar porque la zona de policía, coincidente con una crecida con un período de retorno de 100 años, ocupa prácticamente todo el pueblo. Además, es la primera vez que se ve implicada la Urbanización Nuevo Broto, lo que vuelve a demostrar que sin las protecciones, tanto la urbanización como Broto en sí, quedarían anegadas con frecuencia, lo que conllevaría una

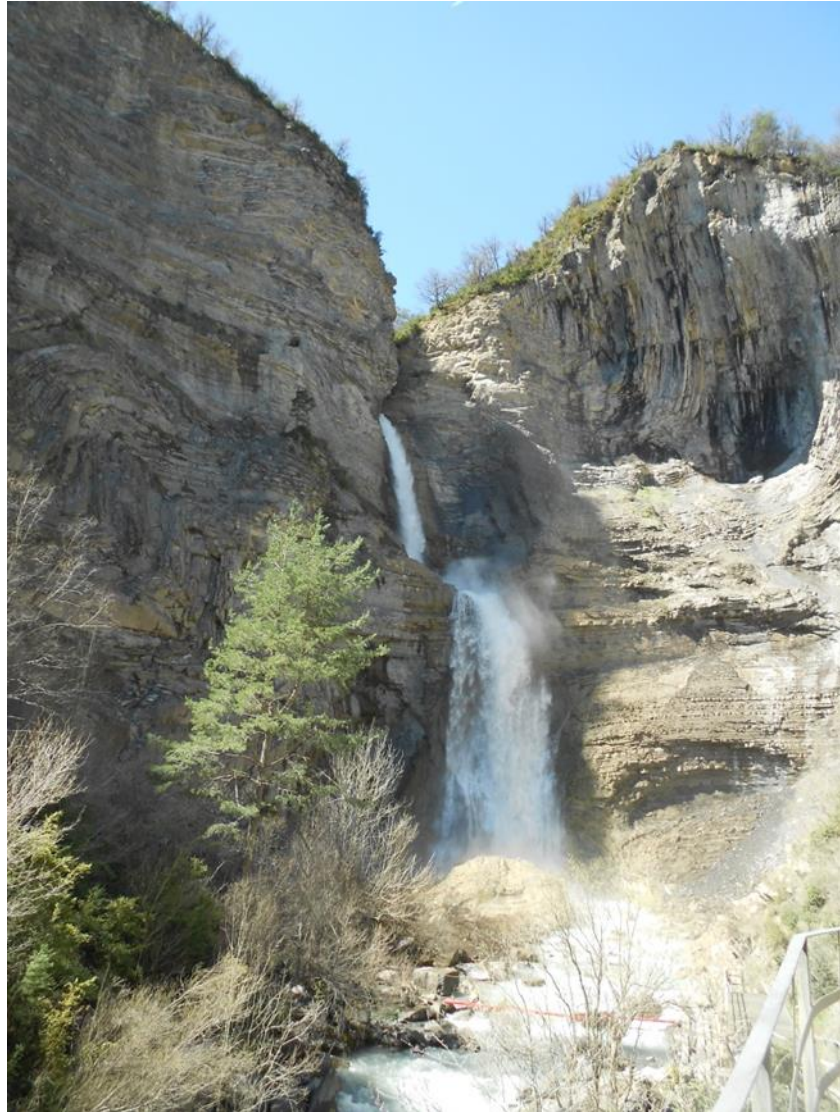
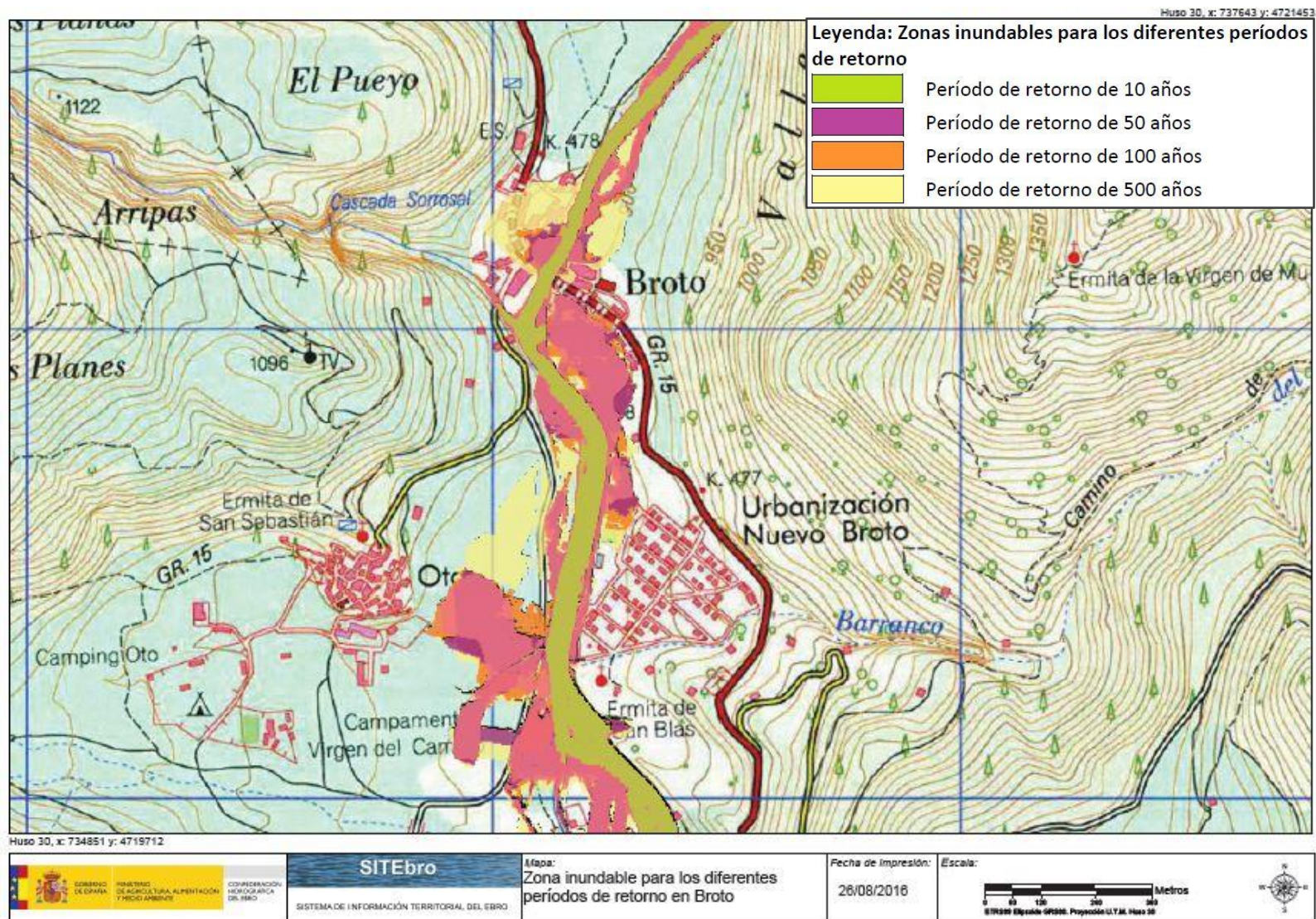
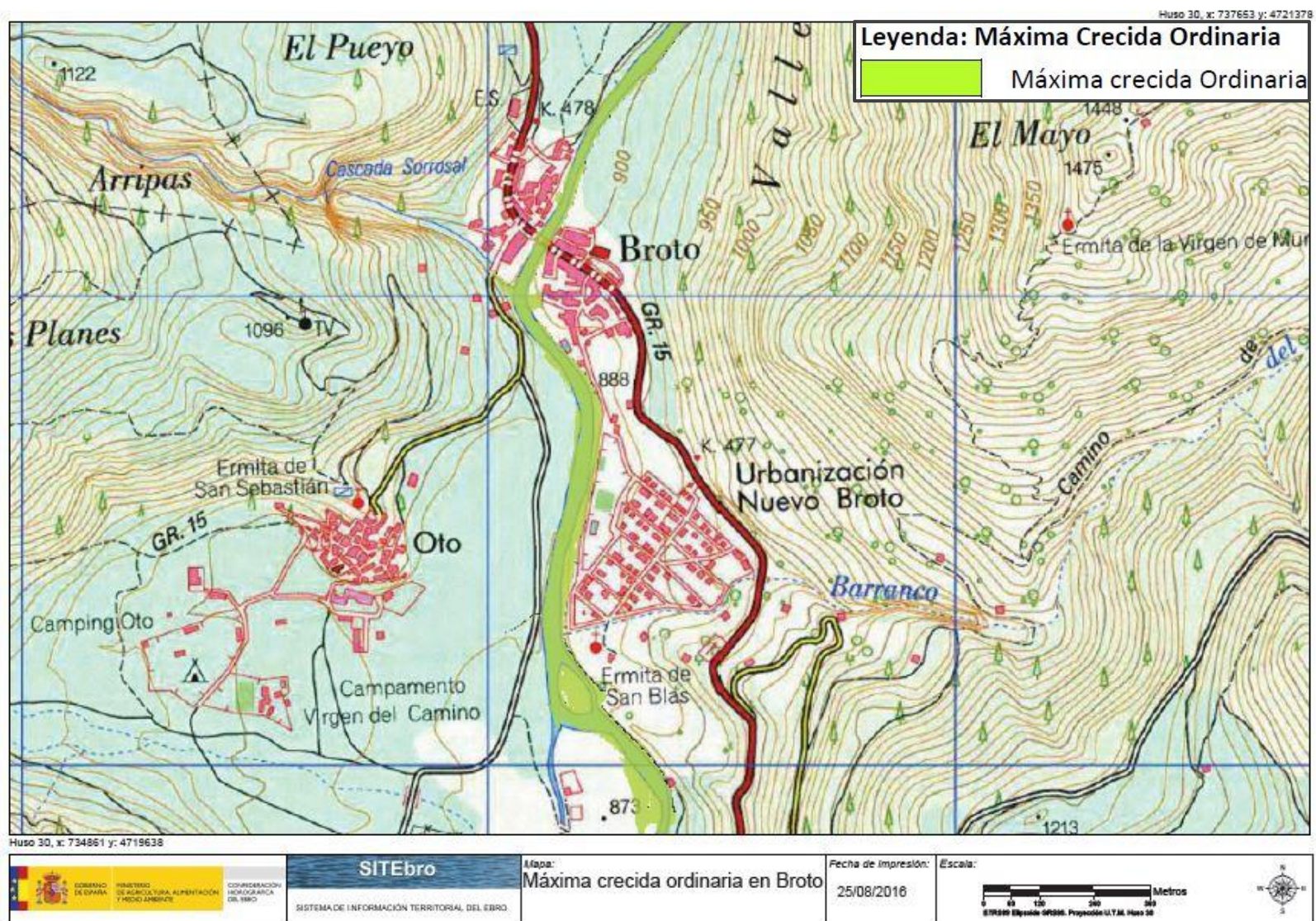


Foto 8. Cascada del Sorrosal. Fotografía: Oiane Sánchez

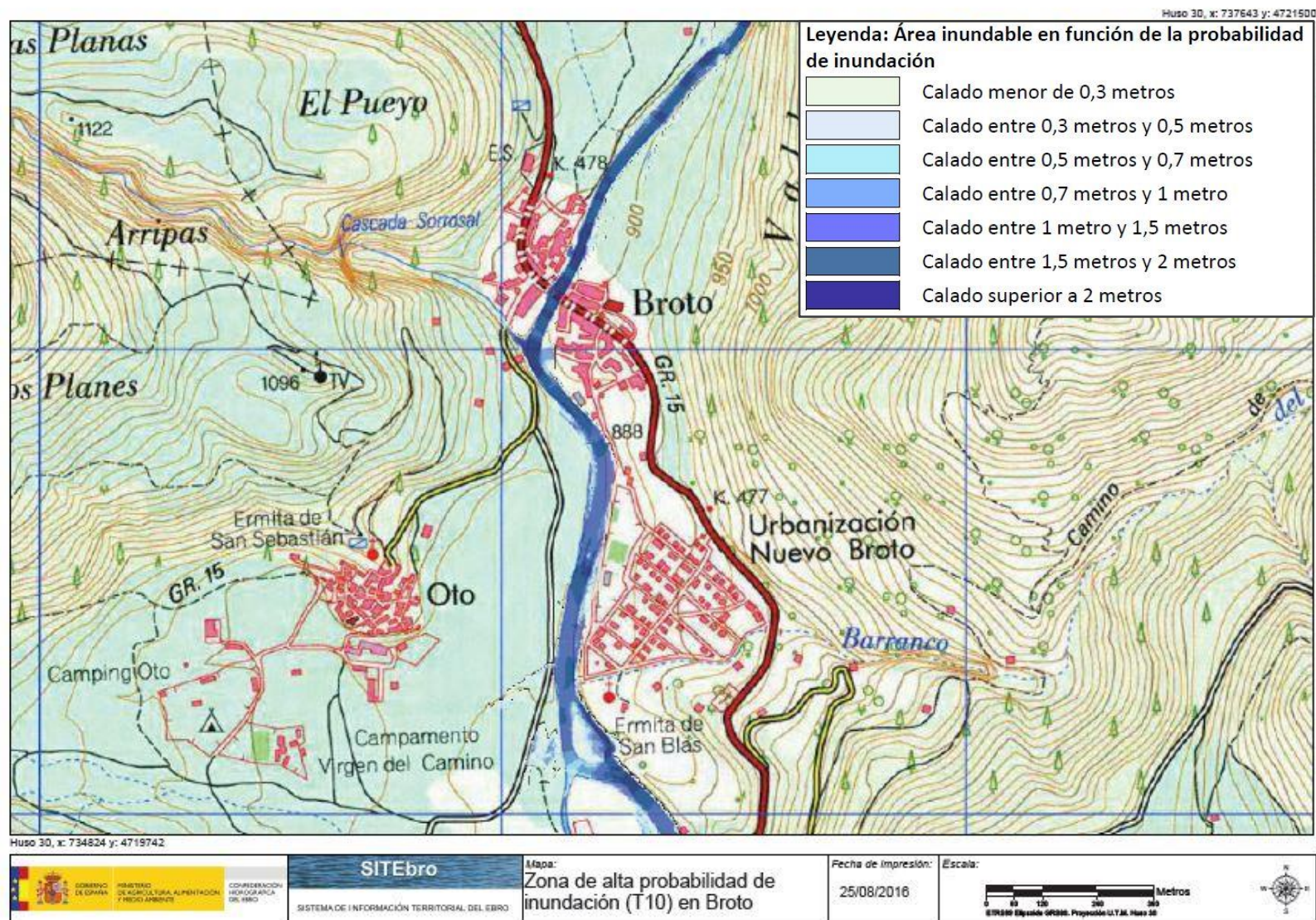
enorme dificultad para la vida en Broto. Asimismo, el que parte de la urbanización quede dentro de la Zona de Policía, siendo una urbanización de construcción reciente, hace plantearse si realmente la ubicación actual era la mejor para dicha urbanización.



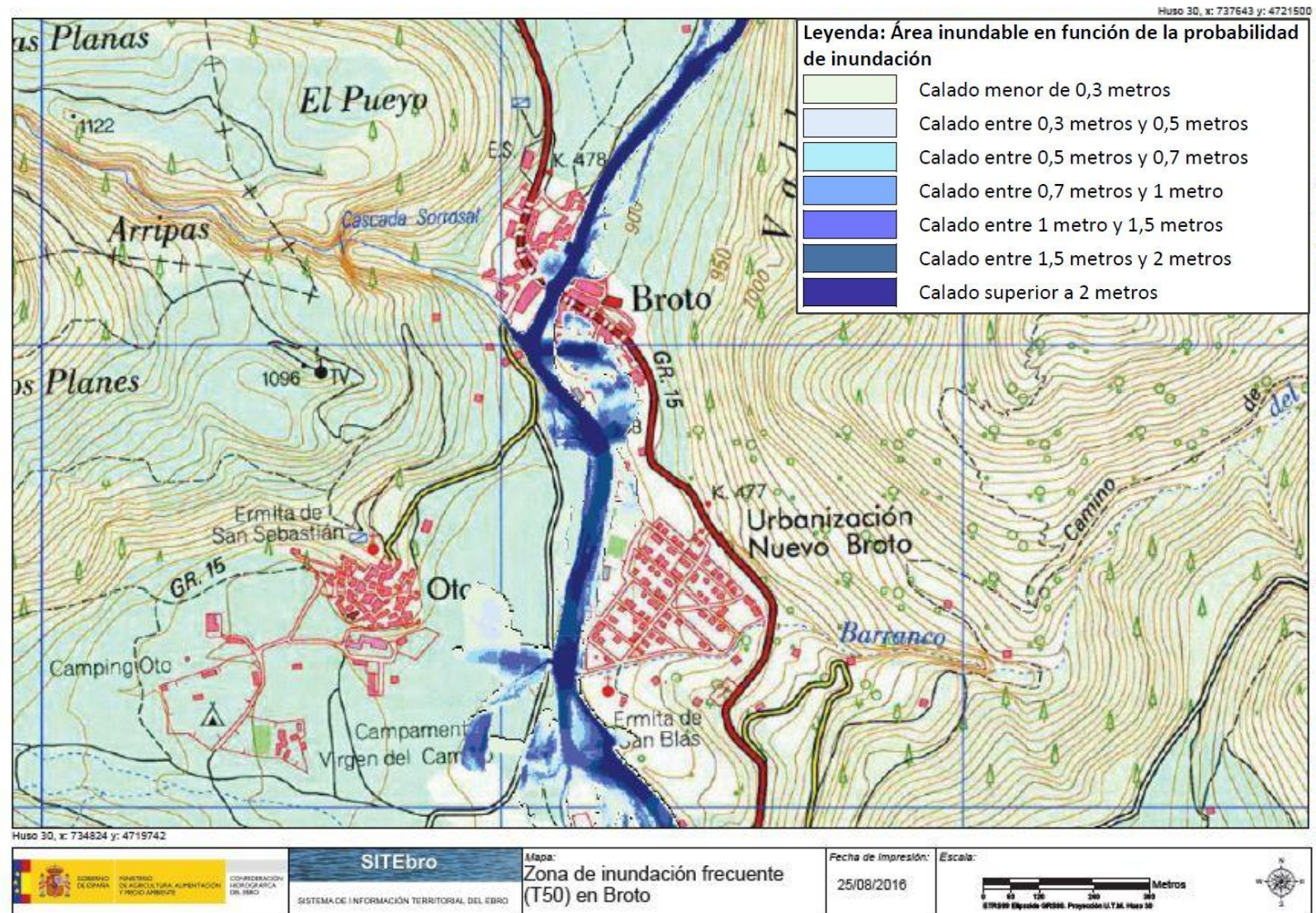
Mapa 22. Zona inundable para los diferentes períodos de retorno en Broto. Fuente: SITEbro.



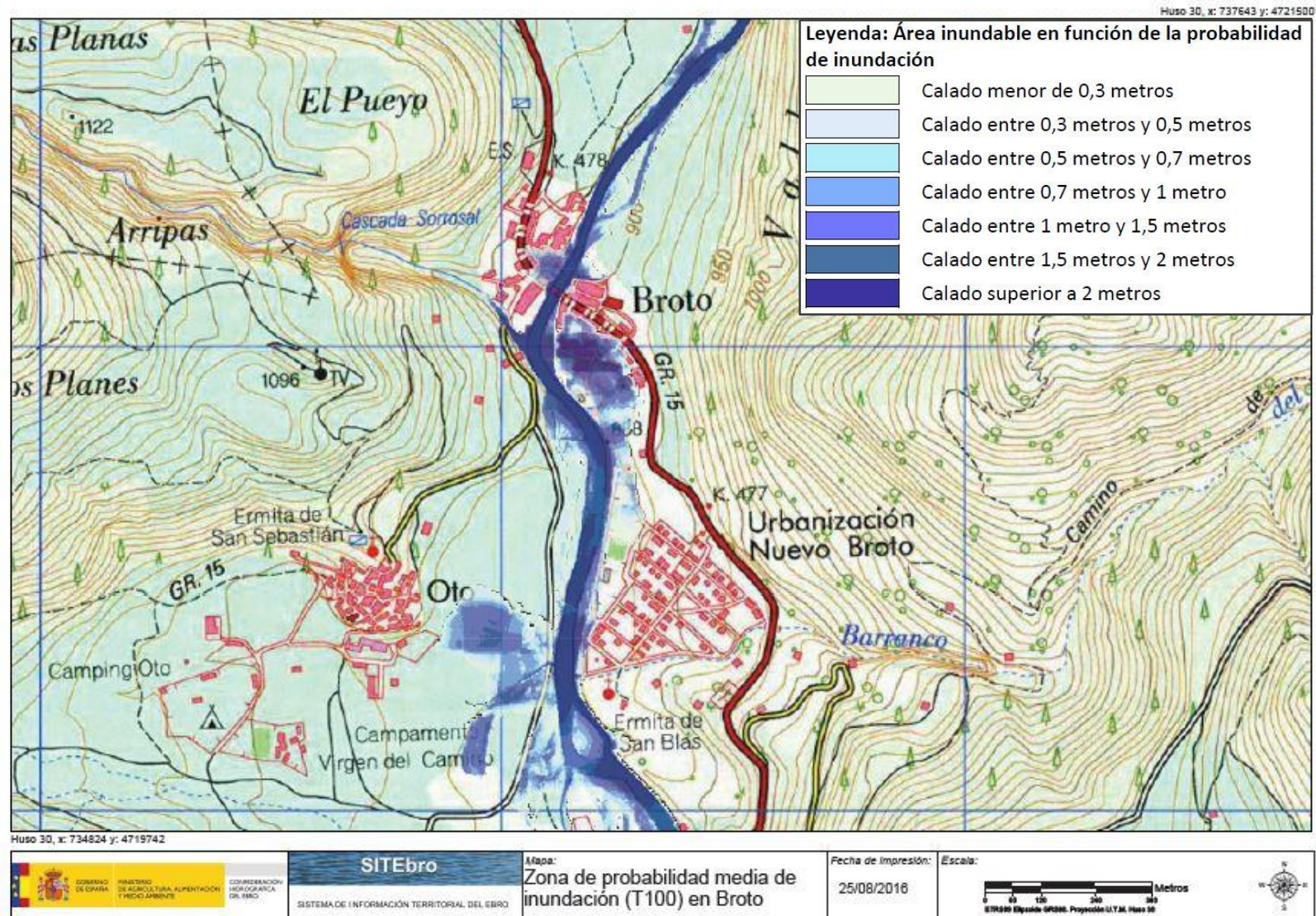
Mapa 23. Máxima Crecida Ordinaria en Broto. Fuente: SITEbro.



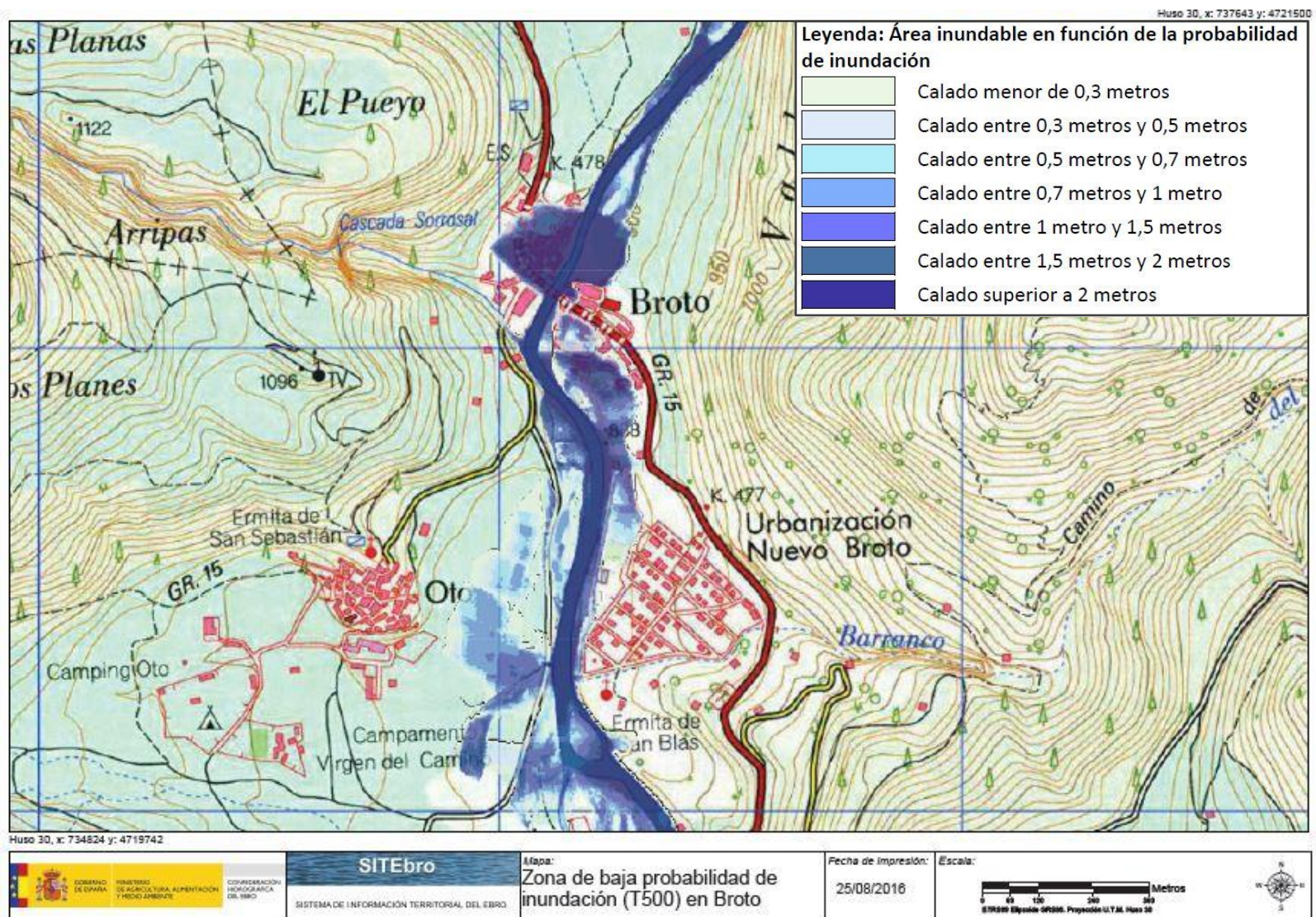
Mapa 24. Zona de alta probabilidad de inundación en Broto (T10). Fuente: SITEbro.



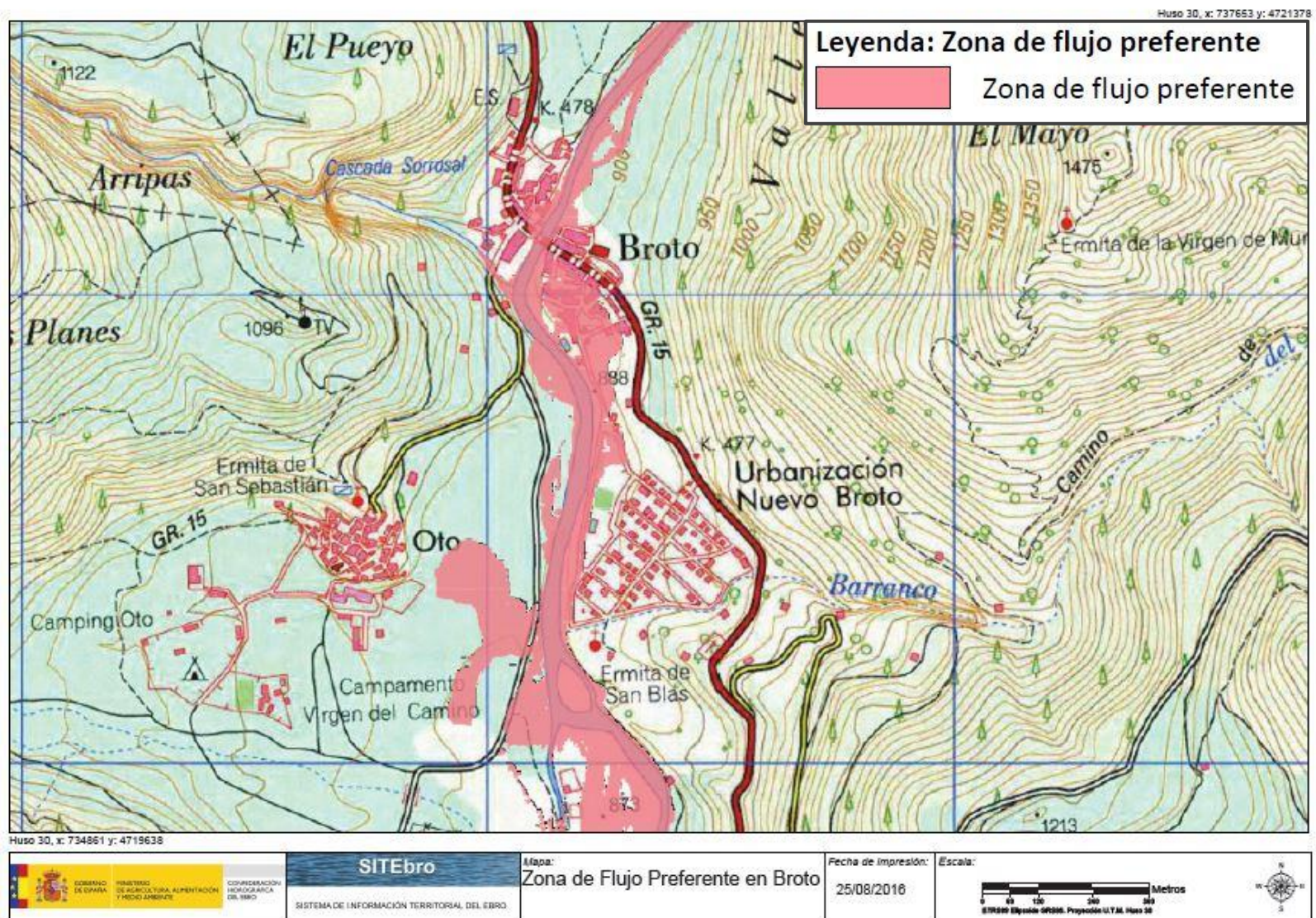
Mapa 25. Zona de inundación frecuente en Broto (T50). Fuente: SITEbro.



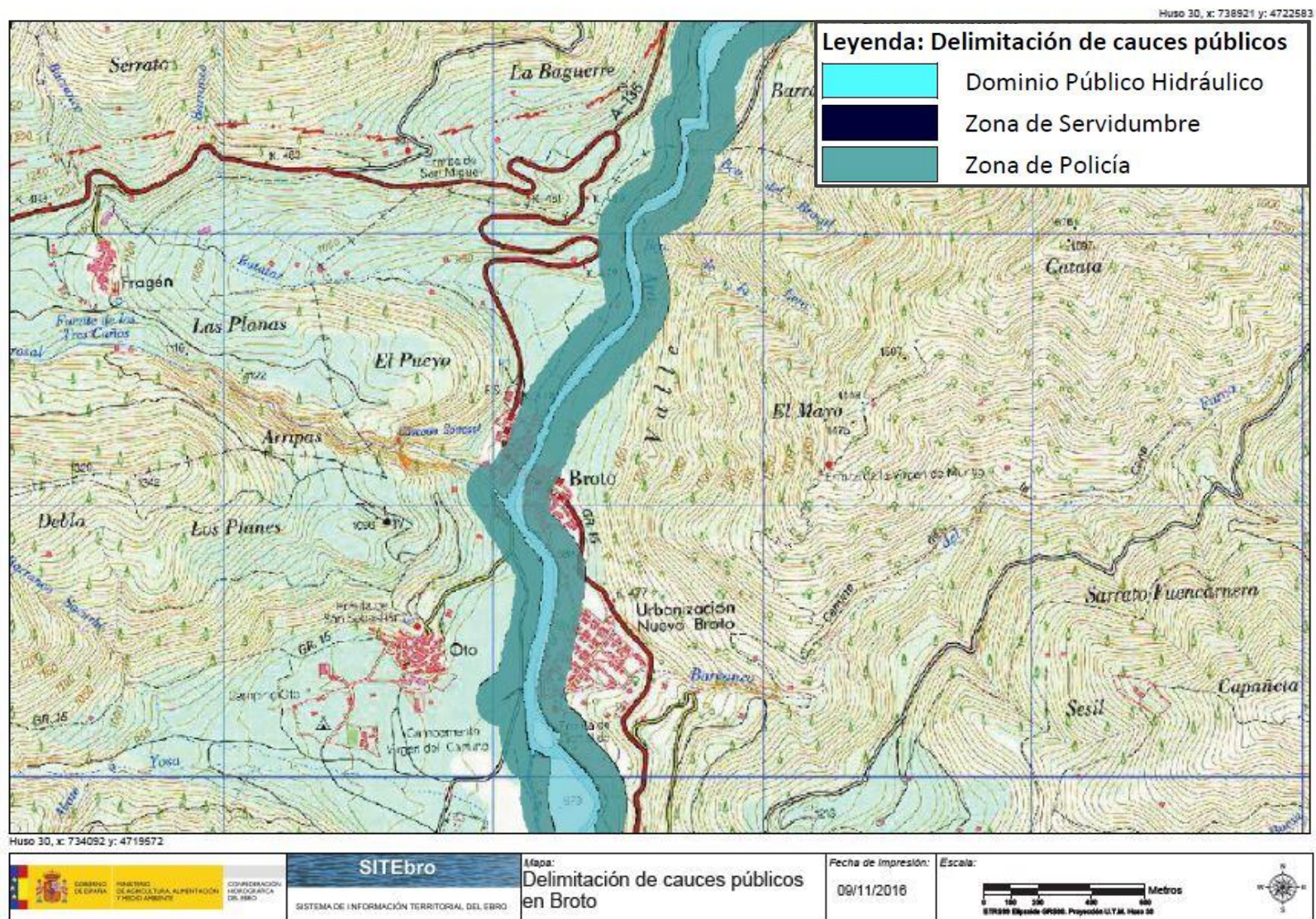
Mapa 26. Zona de probabilidad media de inundación en Broto(T100). Fuente: SITEbro.



Mapa 27. Zona de probabilidad baja de inundación en Broto (T500). Fuente: SITEbro.



Mapa 28. Zona de Flujo Preferente en Broto. Fuente: SITEbro.



Mapa 29. Delimitación de Cauces Públicos en Broto. Fuente: SITEbro.

9.4. Torla

Viendo el mapa de los diferentes períodos de retorno (mapa 30), puede afirmarse que Torla tiene un riesgo de inundación muy bajo, ya que con ninguno de los períodos de retorno el núcleo se ve afectado por las inundaciones. Además, el río en esta zona está muy encajonado y tiene una gran pendiente, por lo que es difícil que rebase su cauce y genere riesgos para los habitantes. Tan solo podrían verse afectadas algunas casetas aisladas, pero en las que no reside población, por lo que el riesgo personal es prácticamente inexistente, salvo imprudencias.

En cuanto a la máxima crecida ordinaria (mapa 31), al ser una zona en la que el río está muy encajonado, no supera el nivel Bankfull, por lo que no crea riesgo para la población.

Los mapas de calados en este caso no son tan representativos como lo eran en casos anteriores, ya que, como ya se ha dicho, el río está muy encajonado, por lo que pronto se alcanzan los dos metros de calado, que es el máximo representado.

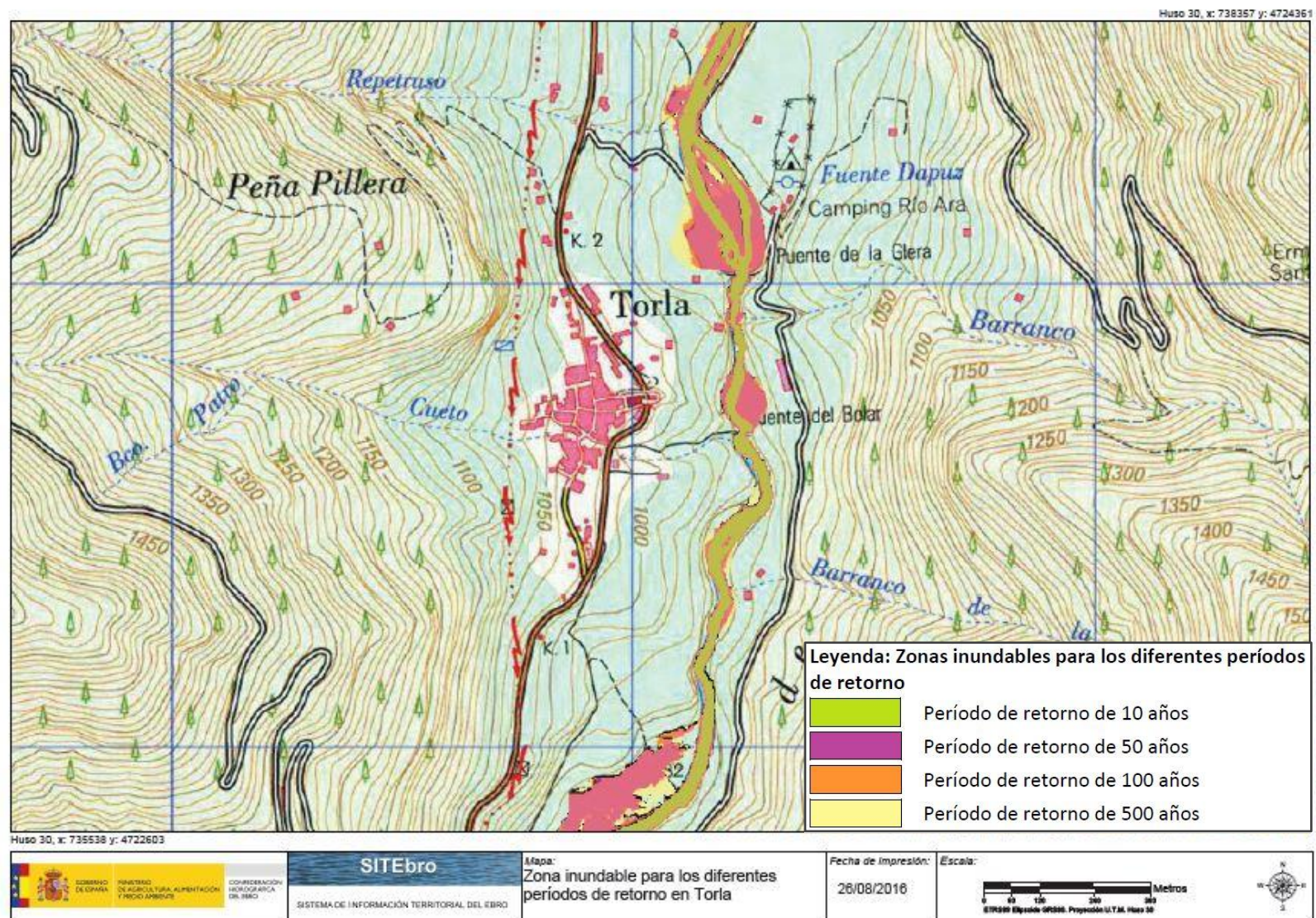
En el mapa de zonas de alta probabilidad de inundación (T10) (mapa 32), se aprecian dos zonas en las que el calado es elevado: la zona del Puente de la Glera y la zona del Puente del Bolar. En el primer caso porque un poco aguas arriba, el río se bifurca y, al juntarse bajo el puente, el calado aumenta. El segundo caso porque ahí desemboca el Barranco Cueto, que aunque no quede representado gráficamente como un elemento generador de riesgo, es quizás el único riesgo visible para Torla, ya que cruza la localidad hasta desembocar en el Ara.

En el mapa de zonas de inundación frecuente (T50) (mapa 33) y en el mapa de zonas de probabilidad media de inundación (T100) (mapa 34), se aprecian las mismas zonas conflictivas, aunque con un calado mayor. También se puede ver un calado superior a lo largo de todo el cauce.

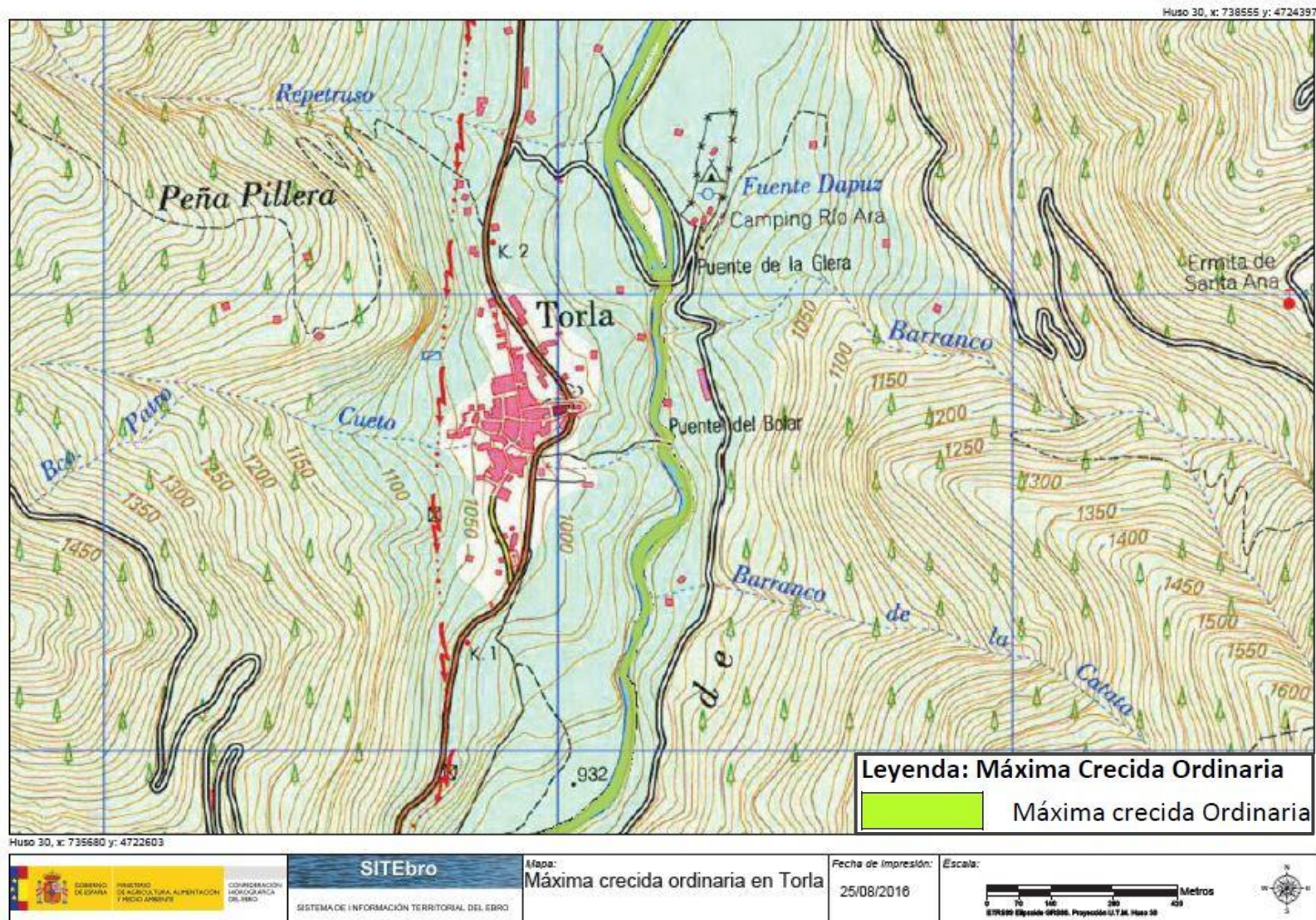
Por último, en el mapa de zonas de baja probabilidad de inundación (T500) (mapa 35), se aprecia una mayor superficie inundada en la zona del Puente de Glera, ya que el agua cubre toda la bifurcación y no se ve la isla que se podía apreciar en los otros mapas. Igualmente, el calado a lo largo de todo el río es superior a los dos metros.

La zona de flujo preferente en Torla (mapa 36) es prácticamente igual que la máxima crecida ordinaria, lo que muestra que el río está muy encajonado y que el riesgo es muy bajo, ya que la máxima crecida ordinaria es aproximadamente como una crecida con un período de retorno de 10 años y la zona de flujo preferente coincide con una crecida con un período de retorno de 100 años y apenas existe variación.

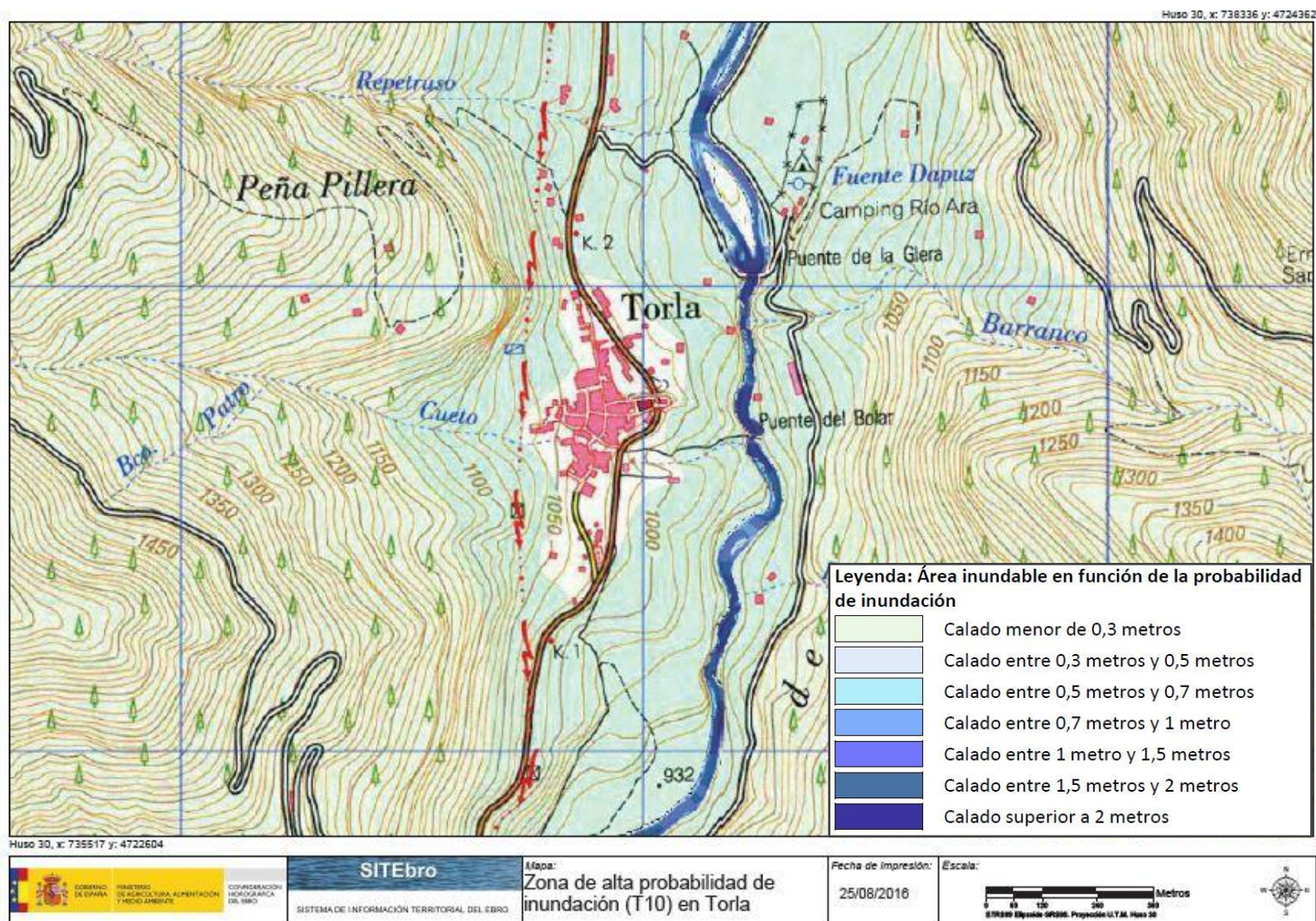
Por último, en cuanto a la delimitación de cauces públicos (mapa 37), éstos no afectan a la localidad. Tan solo la Zona de Policía afecta a las casetas antes nombradas y al camping Río Ara, pero sin que esto modifique el riesgo para la población.



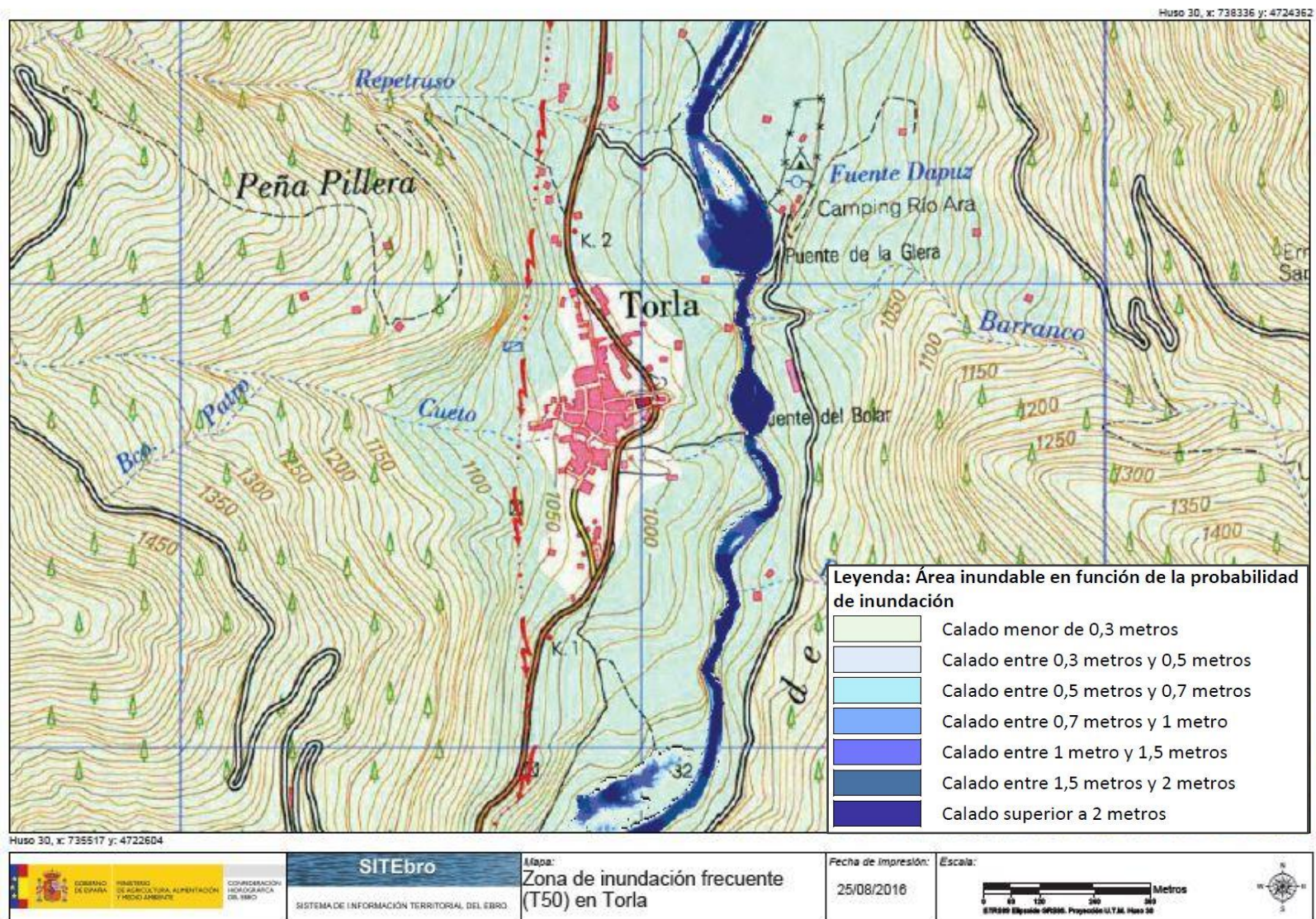
Mapa 30. Períodos de retorno en Torla. Fuente: SITEbro.



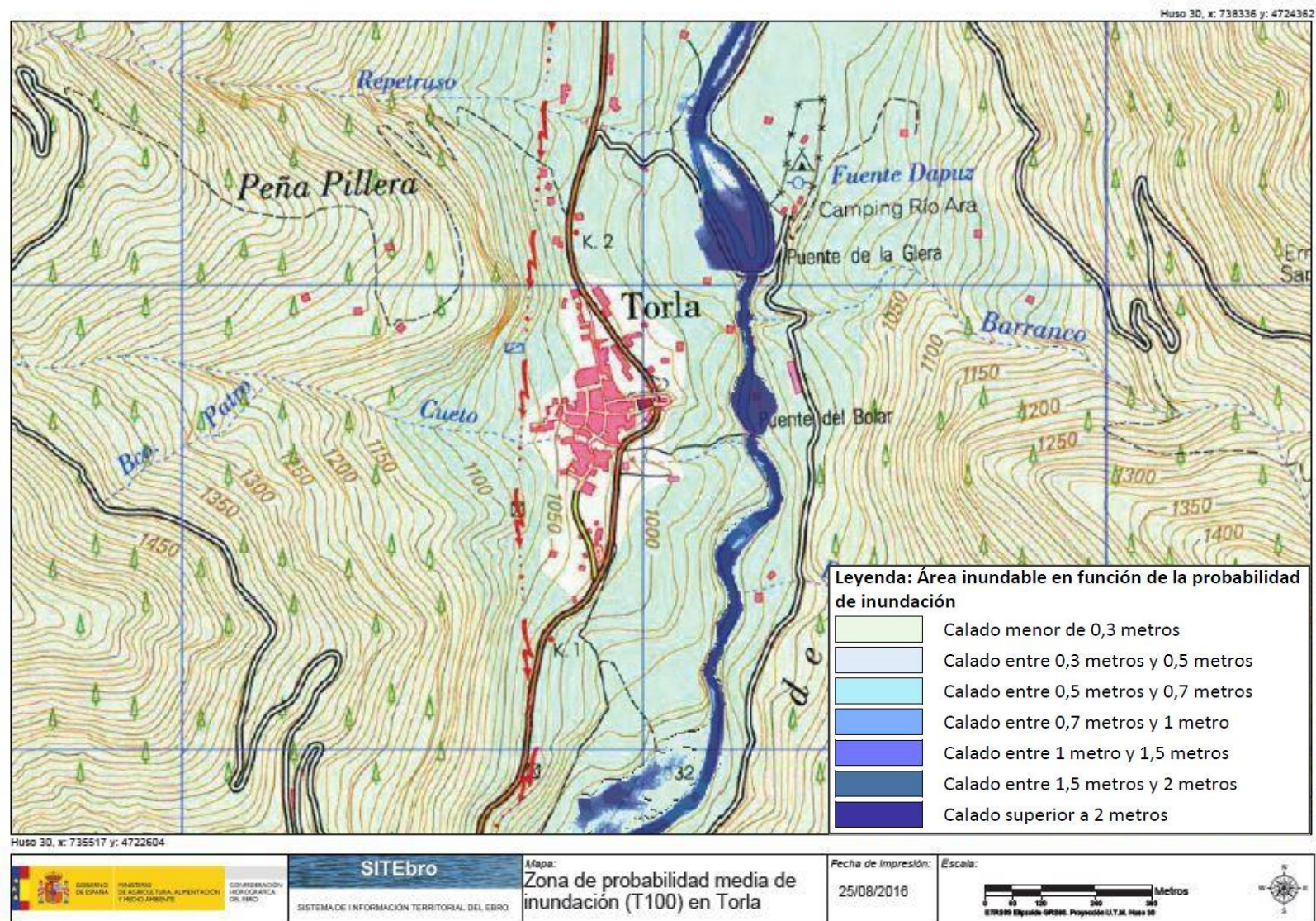
Mapa 31. Máxima Crecida Ordinaria en Torla. Fuente: SITEbro.



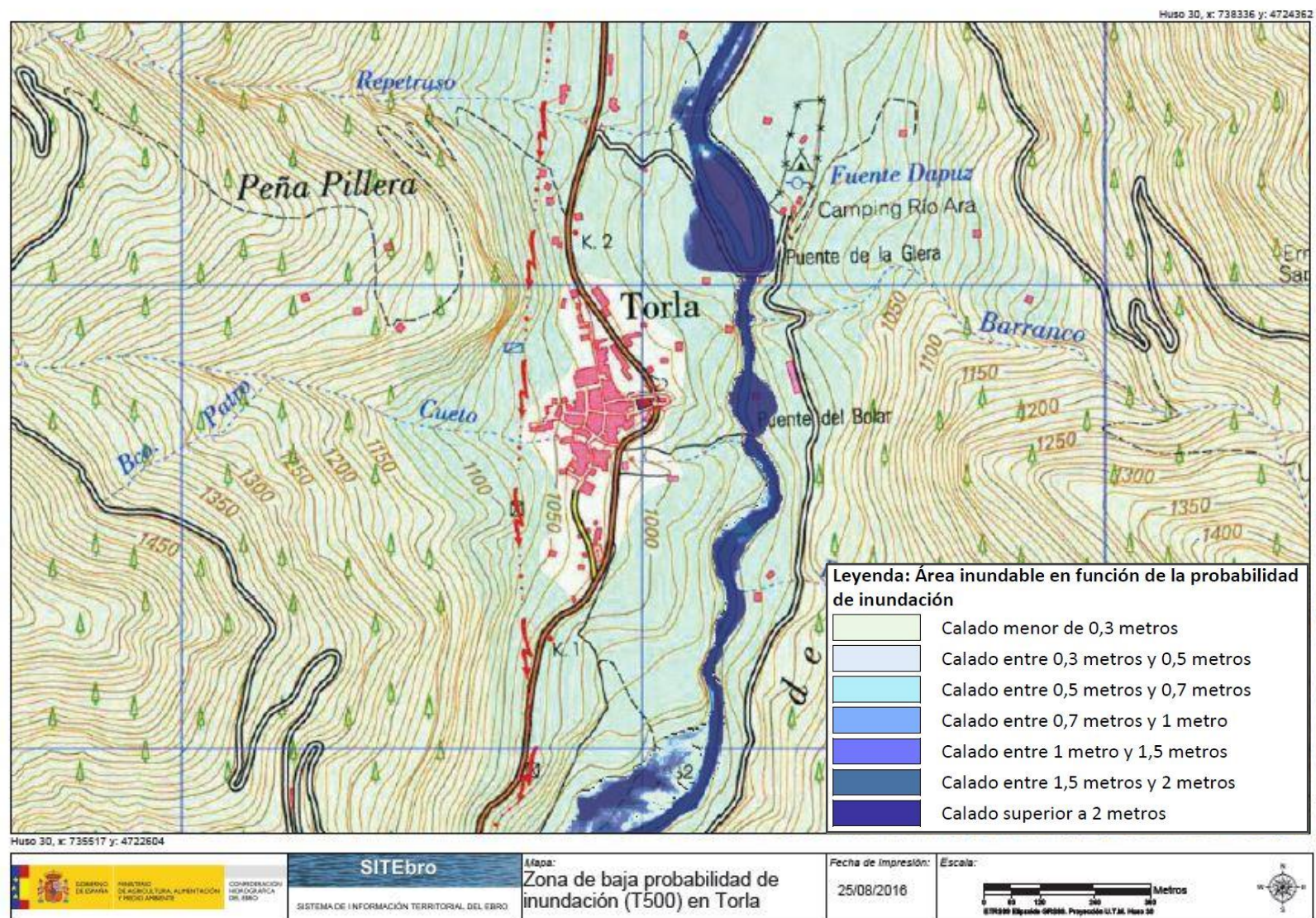
Mapa 32. Zona de alta probabilidad de inundación en Torla (T10). Fuente: SITEbro.



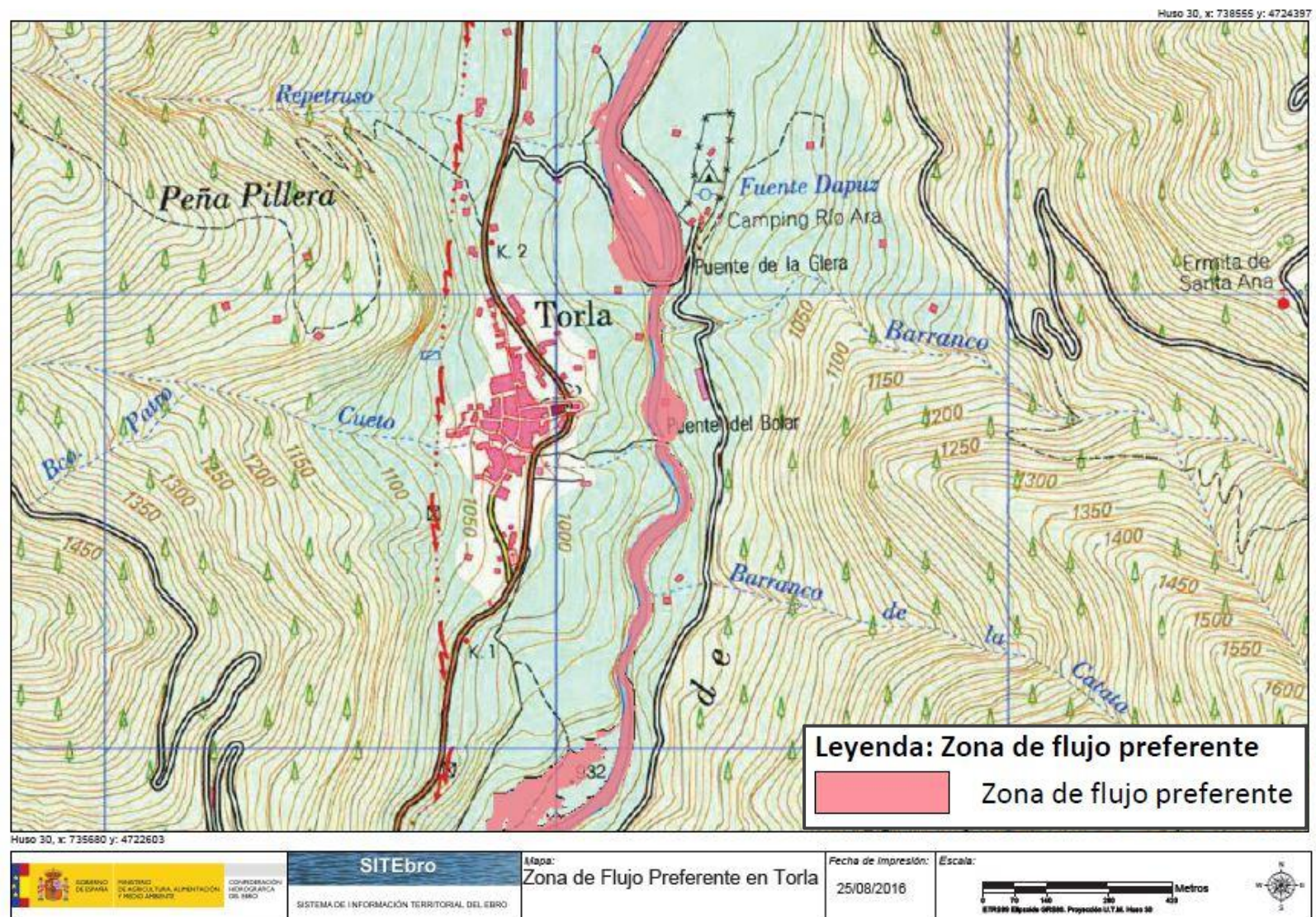
Mapa 33. Zona de inundación frecuente en Torla (T50). Fuente: SITEbro.



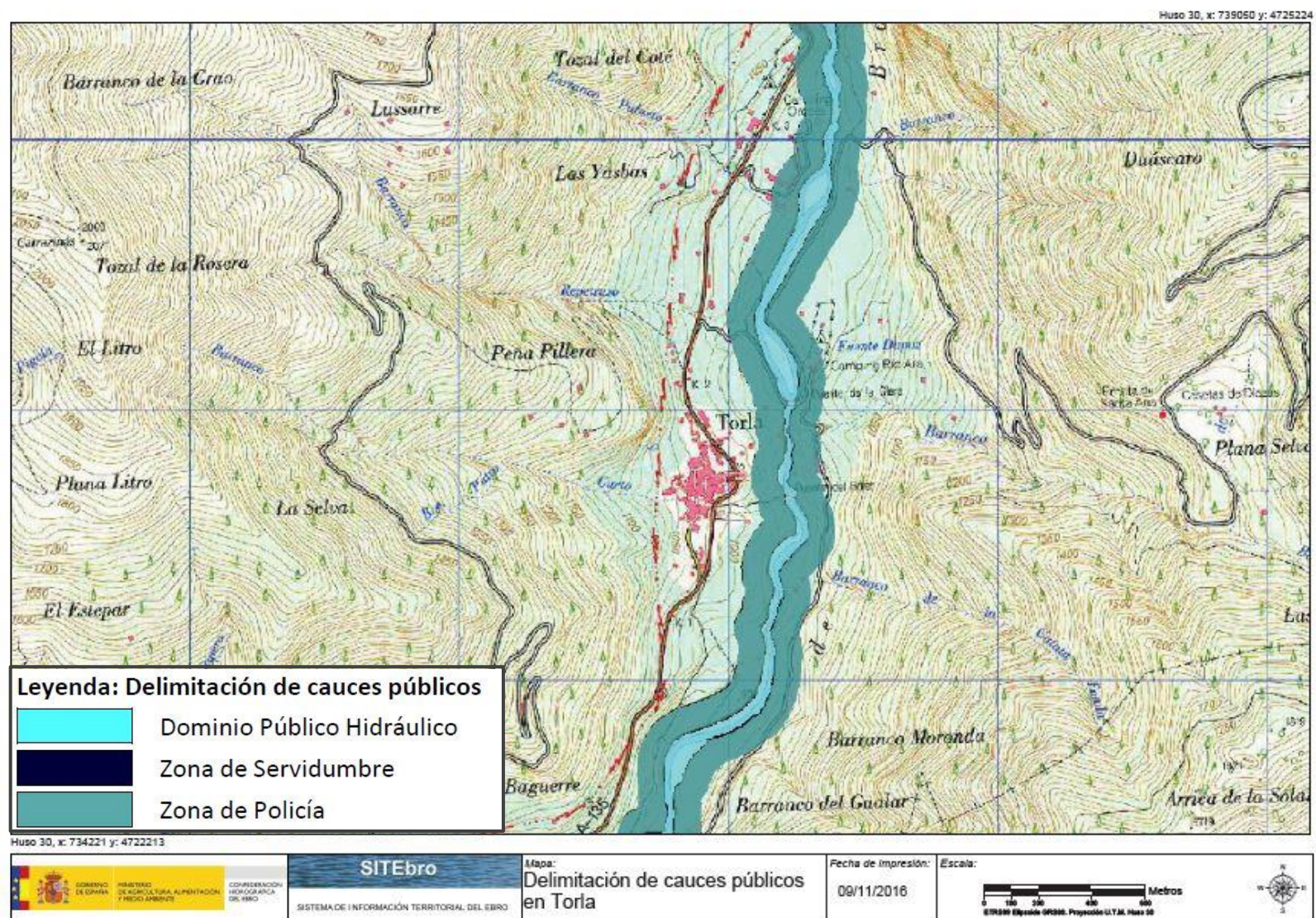
Mapa 34. Zona de probabilidad media de inundación en Torla (T100). Fuente: SITEbro.



Mapa 35. Zona de probabilidad baja de inundación en Torla (T500). Fuente: SITEbro.



Mapa 36. Zona de Flujo Preferente en Torla. Fuente: SITEbro.



Mapa 37. Delimitación de Cauces Públicos en Torla. Fuente: SITEbro.

10. Percepción social

Como se ha dicho anteriormente, las crecidas son el elemento del comportamiento hidrológico al que más atención se presta, debido a las consecuencias que estas crecidas pueden tener cuando desbordan el cauce habitual de los ríos o, incluso, cuando inundan parte de la llanura de inundación.

La importancia de estos efectos ha llevado a la elaboración de la Directiva Europea de Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación (2007/60/CE). En ella se establece que las inundaciones son fenómenos naturales inevitables y que pueden producir víctimas o daños económicos. Por ello, se debe implementar una serie de medidas con el objetivo de paliar y minimizar los daños producidos por estas crecidas. Para ello, es necesaria una evaluación preliminar del riesgo de inundación.

Es importante señalar que esta directiva europea se hace efectiva en España a través del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, cuyo principal objetivo es “obtener un adecuado conocimiento y evaluación de los riesgos asociados a las inundaciones y lograr una actuación coordinada de todas las administraciones públicas y la sociedad para reducir las consecuencias negativas de las inundaciones”.

Hasta ahora, para llevar a cabo esta evaluación, era necesario analizar cada cuenca y subcuenca por separado, así como su comportamiento hidrológico, la frecuencia de sus crecidas y la peligrosidad y vulnerabilidad ante la exposición de las personas y los bienes de éstas. Sin embargo, dado el interés provocado por las numerosas crecidas, sería muy interesante la elaboración de un índice de inundaciones.

Al igual que es importante conocer la dinámica de los ríos y su riesgo de inundación, es muy importante la percepción social de la población de los pueblos más afectados por estas crecidas. En nuestro caso, como ya se ha visto, estos pueblos son Torla, Broto, Fiscal y Boltaña.

Dado que las crecidas del río Ara son numerosas y voluminosas, en pueblos cuyo riesgo de inundación es elevado, lo lógico sería pensar que la población está preparada para posibles crecidas e inundaciones. Sin embargo, la percepción social de la población es contraria, ya que no tienen esa sensación de peligro, a pesar de las evidencias.

En ninguna de las cuatro poblaciones, la población percibe riesgo, o por lo menos así lo manifiesta. Se sienten seguros protegidos por unos muros que encauzan el río, principalmente en Broto. Sin embargo, llama la atención que a la vez que dicen no percibir ningún riesgo, admiten que ciertas zonas del núcleo han quedado inundadas por el río en crecidas pasadas.

Para conocer cuál es la percepción de la población respecto al riesgo de inundación en su localidad, se planteó una encuesta y se realizó en los cuatro núcleos de población. Sin embargo, no pudo realizarse íntegramente, ya que se observó que la gente colaboraba más al no hacerles preguntas concretas, si no tan sólo conversar con ellos.

Sin embargo, a pesar de no poder completar un número elevado de encuestas, ya que tan sólo se realizaron unas 30 o 40, se llegó a una serie de conclusiones, principalmente en Broto:

- La gente no tiene miedo de que se inunde su localidad. Se sienten protegidos por los muros y defensas. Sin embargo, no tienen en cuenta que esas protecciones pueden fallar o ser insuficientes.
- Creen que el problema de las crecidas es que no se limpia el río.
- Admiten que ha habido inundaciones importantes, en las que ha habido daños materiales considerables, tales como inundaciones en casas o cultivos o derrumbamiento de puentes.
- La población no es educada adecuadamente en este sentido, ya que es contradictorio el hecho de no tener miedo con el reconocer que han vivido diversas inundaciones. Además, no se realizan simulacros ni se contratan seguros.

Llama mucho la atención esta percepción social, ya que los mapas del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables muestran lo contrario, principalmente en Broto. Sin embargo, es cierto que en el Catálogo de Inundaciones Históricas de Protección Civil, los datos no muestran grandes daños personales en las crecidas contabilizadas hasta la fecha. Pero esto no quiere decir que el riesgo no esté ahí y que las inundaciones no puedan producirse en un futuro.

11. Conclusiones

El río Ara es un río de tan sólo 70 km, largo para ser un afluente de montaña, pero que sin embargo ocupa una cuenca grande (718 km²). Además, tiene una gran importancia como afluente del río Cinca, ya que le aporta un gran caudal a lo largo de todo el año.

Su cuenca de drenaje se caracteriza por unas elevadas pendientes, lo que contribuye a facilitar la llegada de aportes de agua y sedimentos a los cursos fluviales.

La caracterización climática de la cuenca es favorable para los procesos característicos de un río de montaña. Por un lado, el balance hídrico es positivo al norte de la cuenca y negativo al sur. Por otro lado, las temperaturas son suaves en toda la cuenca, aunque bien es cierto que existe un gradiente térmico positivo conforme nos alejamos del nacimiento del río y nos acercamos a su desembocadura. Por último, el gradiente de precipitación es inverso al de temperaturas, ya que en el norte las precipitaciones son más elevadas que al sur. Estas características favorecen la acumulación de nieve en las zonas más altas de la cuenca, por lo que aportan caudal a



Foto 9. Nacimiento del río Ara. Fotografía: Carlos Baraza

lo largo de gran parte del año. Para el conjunto de la cuenca las precipitaciones son abundantes, 885 mm/año en Torla. Todo esto permite presuponer la existencia de abundantes caudales en el Ara.

La litología de la cuenca favorece los procesos de escorrentía, ya que la mayor parte de la cuenca está cubierta por rocas blandas e impermeables del Terciario. Siendo algo más importantes los procesos de infiltración en el tramo bajo del río, coincidiendo con pendientes más laxas y suelos más favorables.

La existencia de una importante cubierta vegetal, principalmente forestal, favorece los procesos de infiltración frente a los de escorrentía. Aunque conforme nos acercamos a la desembocadura aparecen usos de suelo más propicios a la escorrentía en esas zonas.

En definitiva, áreas de pendiente elevada favorecen la llegada de las precipitaciones hasta los cursos fluviales, mientras que la distribución de los afloramientos litológicos en la cuenca y su cubierta vegetal determinan el reparto del agua entrante en la cuenca. De modo que aunque una parte llegue a través de la escorrentía superficial al cauce principal, otra lo hace a través de la escorrentía subsuperficial y subterránea, tras el funcionamiento de los procesos de infiltración y percolación.

Este conjunto de factores hacen que el río Ara sea un río con un caudal específico fuerte (26,94 l/s/km²).

El régimen hídrico del río Ara es de tipo complejo original, ya que tiene dos períodos de aguas altas y dos períodos de aguas bajas, relacionados directamente con el régimen nivo-pluvial del río. Este régimen se caracteriza por tener un máximo principal en primavera, asociado principalmente al deshielo, aunque también influyan las precipitaciones primaverales, y otro secundario en otoño, asociado a las lluvias típicas de esta estación.

El cociente de irregularidad del río Ara es medio, con un valor de 6,84.

Las crecidas del río Ara son muy numerosas, principalmente las ordinarias (las que superan por 3 y por 5 el módulo). Su origen principal es el deshielo primaveral y las tormentas repentinas en otoño. Podemos diferenciar entre las crecidas que se dan en primavera (Abril y Mayo) que son prolongadas en el tiempo (pueden alargarse hasta junio-julio) pero con caudales más bajos; y las de otoño que son generalmente más cortas, pero en las que se alcanzan los mayores caudales, siendo noviembre el mes en el que se alcanzan las crecidas con mayor caudal y que coinciden con los eventos de crecidas extraordinarias (los que superan en 25 veces el módulo).

En cuanto a la tipología de las crecidas, se han podido distinguir tres tipos: crecidas de tipo simple, crecidas de tipo simple con dos máximos y crecidas complejas. Estos tres tipos se pueden relacionar con la duración de las crecidas, ya que las crecidas cortas son generalmente simples, las crecidas medias son generalmente simples con dos máximos y las crecidas largas son generalmente complejas.

El riesgo de inundación de las principales localidades del río Ara es una interesante línea de trabajo abierta en la que poder trabajar a futuro. Este riesgo de inundación se puede

considerar bajo, excepto en Broto y otras zonas del cauce ocupadas por instalaciones antrópicas como algunos de los campings de la zona.

En Broto, el riesgo de inundación es el más elevado de todas las localidades. Si hasta la fecha Broto no ha sufrido serios problemas de inundación, ha sido gracias a la canalización con altos muros del río a su paso por la localidad. Este hecho queda evidenciado en la Urbanización Nuevo Broto y en la zona de nuevas construcciones (mapa 22), quedando el núcleo antiguo de Broto en alto y afectado únicamente por periodos de retorno de 500 años.

El desarrollo urbanístico, tanto de Broto como de otras localidades, ocupa cada vez en mayor medida el cauce del río, aumentando considerablemente los riesgos que se derivan. Los campings como el del Mesón de Bujaruelo, el Camping Ribera del Ara, el Camping Jabalí Blanco, o el Camping La Gorga, quedan dentro del área de inundación del río. Este es un hecho llamativo, ya que es una evidencia de la falta de aprendizaje y de la repetición de errores en cuanto a los desastres naturales y a los riesgos que la naturaleza presenta.

Otra línea de investigación abierta en la que sería muy interesante trabajar sería el de desarrollar un índice de inundabilidad con el que clasificar el nivel de riesgo de inundación de las diferentes localidades de la cuenca, haciéndolo extrapolable a otras cuencas hidrográficas.

La población local mantiene una percepción del riesgo baja o muy baja respecto a los efectos posibles de las crecidas, a pesar de que los hechos confirman la recurrencia de las mismas y su peligrosidad tanto para bienes materiales como personales.

Con el fin de mitigar los efectos de las inundaciones, se han elaborado una serie de propuestas, basadas fundamentalmente en la Ordenación del Territorio:

- El cambio de ubicación de los campings expuestos a la inundación
- La protección de las zonas urbanizadas expuestas a las crecidas y el seguimiento de la incidencia de las mismas en dichas defensas, para mejorar su posición y por tanto el nivel de protección que ofrezcan
- La prohibición de seguir construyendo en cualquier zona urbana expuesta a las inundaciones
- La educación de la población sobre el riesgo de inundaciones en general y sobre el peligro existente en la cuenca del Ara. Esto podría realizarse de múltiples formas, por ejemplo:
 - Informando de la existencia de un elevado nivel de riesgo en alguno de los núcleos de población
 - Informando de que la construcción de defensas de tipo estructural solo es una medida aceptable para la protección de los núcleos de población, ya que suele tener una incidencia muy negativa en la naturalidad de los sistemas fluviales;
 - Además, evidenciar, a través de diferentes experiencias reales del pasado, que la existencia de estos muros y motas de protección, no son una garantía plena de que el río no pueda entrar en esas zonas inundables protegidas.

12. Bibliografía

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, 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, Nº 61.

Anuario de Aforos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2014. Disponible [en línea] <http://sig.magrama.es/aforos/>

Capas temáticas del SITebro. 2016. Disponible [en línea] <http://iber.chebro.es/sitebro/sitebro.aspx>

Cartografía del Instituto Geológico y Minero de España. 2016. Disponible [en línea] <http://www.igme.es/infoigme/catalogo/catalogo.aspx?tab=0>

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

Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrológica del Ebro, (2002): Estudio de la calidad ecológica integral de los tramos fluviales más importantes del río Cinca: Río Ara. Págs. 58.

Del Valle, J., Ollero, A., Sánchez, M., (2007). Atlas de los ríos de Aragón, Prames, Zaragoza, págs. 479.

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

Directiva Europea 2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, traspuesta a España por el Real Decreto 903/2010.

Fichas de inundaciones históricas. Base documental de la cuenca del Ebro. Tomo III.

García-Ruiz, J.M., Puigdefábregas, J. y Martín-Ranz, M.C. (1983): “Diferencias espaciales en la respuesta hidrológica a las precipitaciones torrenciales de noviembre de 1982 en el Pirineo Central”. Estudios Geográficos, 170-171, 291-316.

García, J.M., Beguería, S., López, J.I., Llorente, A., Seeger, M., (2001). Los recursos hídricos superficiales del Pirineo aragonés y su evolución reciente. Geoforma Ediciones. Logroño, págs. 192.

Geoportal Confederación Hidrológica del Ebro. 2016. Disponible [en línea] <http://iber.chebro.es/geoportal/>

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

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

López Martín, F. (coord., 2007): Atlas Climático de Aragón. Págs. 222

Sánchez, M. (2015). “Apuntes de Hidrogeografía”. Grado en Geografía y Ordenación del Territorio).

Sánchez, M (2016): "Apuntes de Análisis Integrado del Medio Natural". Grado en Geografía y Ordenación del Territorio

Olcina, J., (2004). Riesgos de inundación y Ordenación Territorial en la escala local: el papel del planeamiento urbano municipal. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante. Boletín de la A.G.E. Nº 37. págs. 49-84.

Olcina, J., (2010). El tratamiento de los riesgos naturales en la planificación territorial de escala regional, Papeles de Geografía, Nº 51-52. págs. 223-234.

Ollero, A., (1997). Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico. Un planteamiento didáctico. Lurralde. Esp. 20 págs. 261 - 283.

Ollero, A. (coord., 2001): Dinámica ambiental del río Ara: la complejidad de un sistema fluvial de montaña. En Varios Autores: El río Ara es de todos, 41-54, Asociación Río Ara, Zaragoza.

Ollero, A. (2015): "Apuntes de Geografía Física Aplicada a la Ordenación del Territorio II: El agua". Grado en Geografía y Ordenación del Territorio.

Ollero, A.; Díaz, E.; Ibisate, A. y Domínguez, E. (2001): Tipos de cauce y tramos homogéneos en el sistema fluvial Ara. En Varios Autores: El río Ara es de todos, 55-64, Asociación Río Ara, Zaragoza.

Ortofotos PNOA del SITAR. 2016. Disponible [en línea]
<http://sitar.aragon.es/descargas/hoja324.htm>

Visor de Google Earth. 2016. Disponible [en línea]
http://www.google.es/intl/es_es/earth/explore/products/plugin.html

13. Anexos

13.1. Anexo 1: datos climáticos

Fiscal

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	51	50	61	62	81	68	42	57	65	63	68	62
°C	2.6	3.6	6.3	8.5	11.9	15.4	17.9	17.9	15.2	10.8	6.2	3.1
°C (min)	-1.5	-0.8	1.1	3.3	6.7	9.9	12.0	11.9	10.0	5.9	1.9	-0.5
°C (max)	6.8	8.1	11.5	13.8	17.1	20.9	23.9	23.9	20.4	15.8	10.6	6.7
°F	36.7	38.5	43.3	47.3	53.4	59.7	64.2	64.2	59.4	51.4	43.2	37.6
°F (min)	29.3	30.6	34.0	37.9	44.1	49.8	53.6	53.4	50.0	42.6	35.4	31.1
°F (max)	44.2	46.6	52.7	56.8	62.8	69.6	75.0	75.0	68.7	60.4	51.1	44.1

Broto

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	60	58	71	70	90	78	49	65	71	70	79	74
°C	1.7	2.6	5.3	7.3	10.7	14.4	16.9	16.9	14.2	9.8	5.3	2.3
°C (min)	-2.3	-1.8	0.2	2.2	5.6	9.0	11.2	11.1	9.1	5.0	1.1	-1.2
°C (max)	5.8	7.0	10.4	12.5	15.8	19.8	22.7	22.7	19.3	14.7	9.6	5.9
°F	35.1	36.7	41.5	45.1	51.3	57.9	62.4	62.4	57.6	49.6	41.5	36.1
°F (min)	27.9	28.8	32.4	36.0	42.1	48.2	52.2	52.0	48.4	41.0	34.0	29.8
°F (max)	42.4	44.6	50.7	54.5	60.4	67.6	72.9	72.9	66.7	58.5	49.3	42.6

Torla

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	64	62	75	74	95	83	53	69	74	73	83	79
°C	1.2	2.1	4.7	6.8	10.1	13.8	16.3	16.2	13.7	9.3	4.8	1.8
°C (min)	-2.8	-2.2	-0.2	1.7	5.1	8.5	10.7	10.5	8.7	4.6	0.6	-1.7
°C (max)	5.2	6.5	9.7	11.9	15.1	19.1	22.0	22.0	18.7	14.1	9.1	5.4
°F	34.2	35.8	40.5	44.2	50.2	56.8	61.3	61.2	56.7	48.7	40.6	35.2
°F (min)	27.0	28.0	31.6	35.1	41.2	47.3	51.3	50.9	47.7	40.3	33.1	28.9
°F (max)	41.4	43.7	49.5	53.4	59.2	66.4	71.6	71.6	65.7	57.4	48.4	41.7

Boltaña

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	46	46	59	60	78	67	41	57	64	60	65	58
°C	3.1	4.3	7.1	9.4	12.6	16.3	18.9	18.8	15.9	11.4	6.8	3.6
°C (min)	-1.0	-0.3	1.8	4.0	7.3	10.7	12.9	12.8	10.7	6.4	2.5	0.0
°C (max)	7.3	8.9	12.4	14.8	18.0	21.9	24.9	24.8	21.2	16.5	11.2	7.2
°F	37.6	39.7	44.8	48.9	54.7	61.3	66.0	65.8	60.6	52.5	44.2	38.5
°F (min)	30.2	31.5	35.2	39.2	45.1	51.3	55.2	55.0	51.3	43.5	36.5	32.0
°F (max)	45.1	48.0	54.3	58.6	64.4	71.4	76.8	76.6	70.2	61.7	52.2	45.0

13.2. Anexo 2: Encuesta de percepción del riesgo de inundación

Datos personales

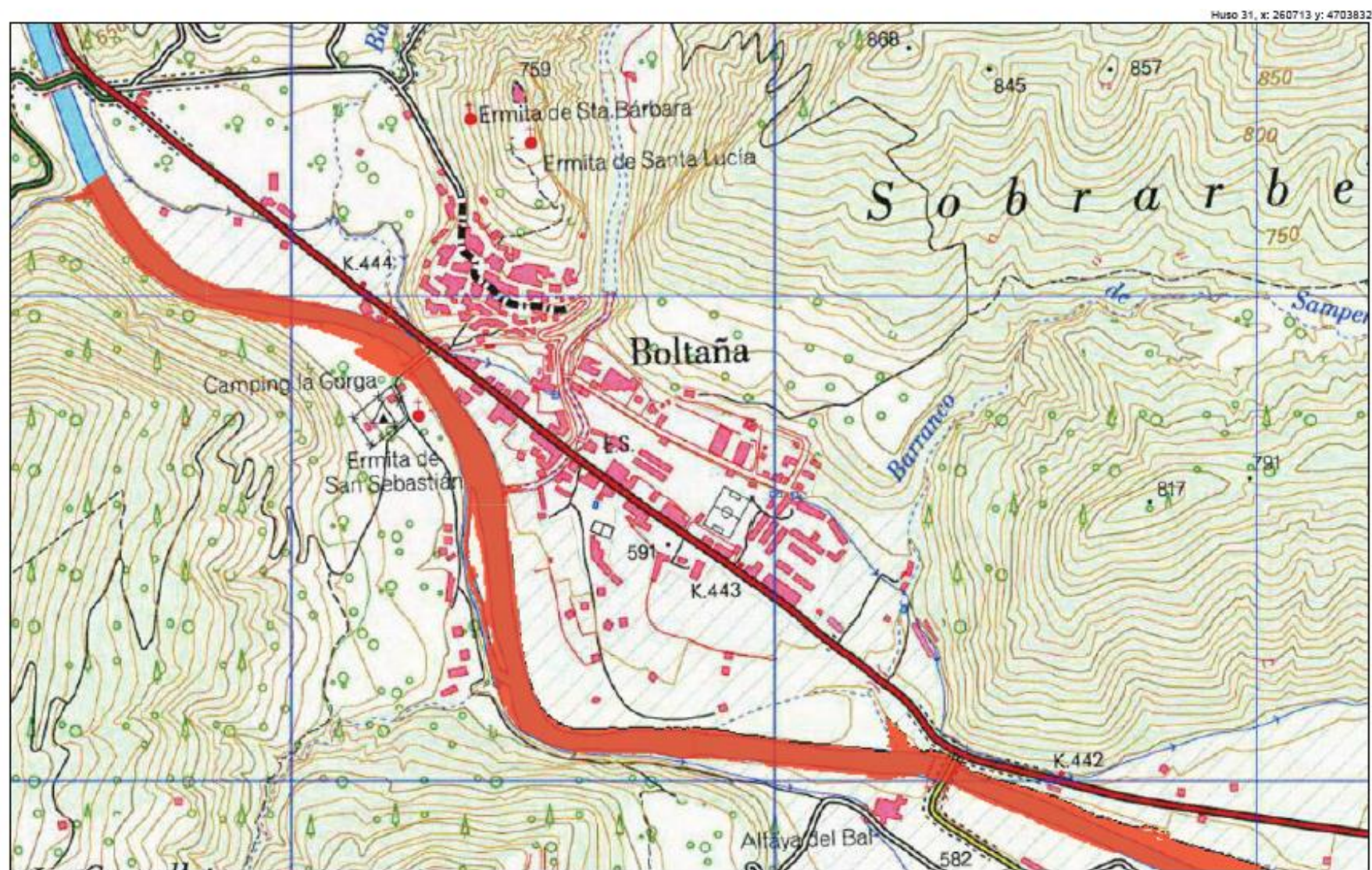
1. Pueblo
 - a. Torla
 - b. Broto
 - c. Fiscal
 - d. Boltaña
2. Lugar de residencia habitual o segunda residencia
 - a. Lugar de residencia habitual
 - b. Segunda residencia
3. Edad
 - a. Menor de 20
 - b. De 20 a 40
 - c. De 40 a 60
 - d. De 60 a 80
 - e. Mayor de 80
4. Sexo
 - a. Hombre
 - b. Mujer
5. Actividad que desarrolla
 - a. Sector primario
 - b. Sector secundario
 - c. Sector terciario




Percepción de inundación

1. ¿Alguna vez ha vivido una inundación en su localidad?

2. En caso afirmativo, ¿Cuándo?
3. Del 1 al 10, ¿Cuál es su nivel de preocupación respecto a una posible inundación en su localidad?
4. ¿Cree usted que hay peligro de pérdida de vidas humanas por las inundaciones en su localidad?
5. ¿Considera que las pérdidas económicas que causaría una inundación en su pueblo podrían llegar a ser elevadas o no?
6. ¿Cree usted que su domicilio, negocio, tierras o algo suyo está ubicado en un lugar que tiene riesgo de resultar inundado?
7. ¿Tiene usted algún tipo de seguro de inundación para alguna de sus propiedades?
8. Si en la respuesta anterior respondió que no, ¿por qué?
 - a. Es caro
 - b. No lo ve necesario
 - c. Al final no te pagan nada
 - d. Otro: ¿Qué?
9. ¿Ha tomado alguna acción para proteger alguna de sus propiedades de una posible inundación?
 - a. Construcción de defensa de tierra (mota)
 - b. Construcción de muros
 - c. Otras. ¿Cuáles?
10. ¿Sabe usted cómo actuar en caso de inundación?
11. ¿Ha recibido información al respecto?
12. ¿Ha realizado algún simulacro?
13. En su opinión, del 1 al 10, ¿cómo de eficaz es la gestión de la administración frente a las inundaciones en su localidad?

13.3. Anexo 3: mapas de inundación de la Confederación Hidrográfica del Ebro



 <p>GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE</p>	<p>SITEbro</p> <p>SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL DEL EBRO</p>	<p>Mapa: Area inundable con un período de retorno de 10 años en Boltaña</p>	<p>Fecha de impresión: 25/08/2016</p>	<p>Escala:</p>  <p>0 60 120 240 360 Metros</p> <p>679689 Esquema 01000. Proyección UTM. Huso 30</p> 
--	--	--	---	--

