

# Elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo de Inundación en el ARPSI 02 Alto Ebro a su paso por el municipio de Frías y elaboración del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación.

Máster Ingeniería y Gestión del Agua

2011/2012

## **Autores:**

Carlos Daniel Lorenzo Vázquez

Jaime Maceín Velasco

Francisco José Mancebo Pradana

Daniel Novillo López



Esta publicación está bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento, No comercial, Compartir igual, \(by-nc-sa\)](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

## Índice

<b>1. Introducción y antecedentes .....</b>	<b>1</b>
1.1. Marco legislativo español (previo a la Directiva 2007/60/CE) .....	4
1.2. Directiva 2007/60/CE y obligaciones derivadas .....	10
1.3. RD 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación .....	11
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>12</b>
<b>3. Resumen de la Evaluación preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI)     del Ebro.....</b>	<b>14</b>
3.1. Metodología seguida.....	14
3.2. Resultados conseguidos .....	16
<b>4. Características del ARPSI 02 Alto Ebro a su paso por el término     municipal de Frías .....</b>	<b>17</b>
4.1. Ubicación geográfica .....	17
4.2. Caracterización general de la cuenca .....	17
4.3. Características del río .....	23
4.4. Inundaciones históricas documentadas.....	25
4.5. Definición del tramo .....	25
<b>5. Cálculo de los caudales de referencia .....</b>	<b>26</b>
5.1. Metodología .....	26

5.2. Régimen de caudales.....	27
5.3. Resultados: Caudales asociados a periodos de retorno de 10, 100 y 500 años y máxima crecida ordinaria .....	27
<b>6. Cartografía existente para la determinación de los mapas de peligrosidad .....</b>	<b>29</b>
6.1. Principios teóricos de la tecnología LIDAR e información disponible para el estudio .....	29
6.2. Información de ortofotos disponible .....	33
6.3. Información de fotos aéreas antiguas disponibles .....	34
<b>7. Análisis geomorfológico e histórico del tramo .....</b>	<b>36</b>
7.1. Metodología .....	36
7.2. Estudio evolutivo del medio fluvial .....	36
7.3. Análisis geomorfológico.....	39
7.4. Conclusiones: análisis geomorfológico-histórico .....	43
<b>8. Análisis hidráulico de los tramos .....</b>	<b>44</b>
8.1. Introducción .....	44
8.2. Modelos hidráulicos utilizados .....	45
8.2.1. HEC-RAS .....	45
8.2.2. Iber 1.7.....	51

8.3. Resultados para los distintos caudales de referencia .....	54
8.4. Modelo hidráulico seleccionado .....	54
8.5. Calibración con estudio geomorfológico e histórico .....	55
<b>9. Mapas de peligrosidad y delimitación del DPH, ZS y ZP .....</b>	<b>56</b>
9.1. Introducción .....	56
9.2. Metodología .....	56
9.3. Resultados .....	57
9.3.1. Mapa de delimitación del Dominio Público Hidráulico (DPH), Zona de Policía (ZP) y Zona de Servidumbre (ZS).....	57
9.3.2. Mapas de peligrosidad para el periodo de retorno de 10, 100 y 500 años .....	57
9.3.3. Mapas de calados para el periodo de retorno de 10, 100, 500 años.....	58
<b>10. Mapas de riesgo de inundación .....</b>	<b>59</b>
10.1. Introducción.....	59
10.2. Descripción de los usos del suelo, población afectada y metodología .....	60
10.3. Resultados para las avenidas de periodo de retorno de 10, 100 y 500 años y valoración del riesgo global para el ARPSI.....	64
<b>11. Plan de gestión del Riesgo de Inundación .....</b>	<b>68</b>
11.1. Introducción.....	68

11.2. Conclusiones de la evaluación preliminar del riesgo de inundación .....	69
11.3. Descripción de los objetivos de la gestión del riesgo de inundación en la zona concreta a que afectan .....	69
11.4. Plan hidrológico de la cuenca del Ebro. Resumen de los criterios especificados sobre el estado de las masas de agua y los objetivos ambientales del ARPSI 02, Alto Ebro, a su paso por Frías .....	70
11.4.1. Criterios especificados sobre el estado de las masas de agua .....	70
11.4.2. Objetivos medioambientales .....	72
11.5. Resumen del contenido de los planes de protección civil existentes.....	73
11.6. Sistemas y medios disponibles en la cuenca para la obtención de información hidrológica en tiempo real durante los episodios de avenida, así como de los sistemas de predicción y ayuda a las decisiones disponibles.....	78
11.7. Resumen de los programas de medidas .....	79
11.7.1. Medidas de restauración fluvial, conducentes a la recuperación del comportamiento natural de la zona inundable, así como de sus valores ambientales.....	79
11.7.2. Medidas de mejora del drenaje de la infraestructura transversal .....	80
11.7.3. Medidas de predicción de avenidas.....	81
11.7.3.1. Las medidas adoptadas para el desarrollo o mejora de herramientas para predicción o de ayuda a las decisiones relativas a avenidas.....	81
11.7.3.2. Las normas de gestión de los embalses durante las avenidas.....	82
11.7.4. Medidas de coordinación con los planes de protección civil .....	85
11.7.5. Medidas de ordenación territorial y urbanismo .....	85

11.7.5.1. Criterios para las limitaciones a los usos del suelo planteadas para la zona inundable en sus diferentes escenarios de peligrosidad, los criterios empleados para considerar el territorio como no urbanizable, y los criterios constructivos exigidos a las edificaciones situadas en zona inundable .....	85
11.7.5.2. Las medidas previstas para adaptar el planeamiento urbanístico vigente a los criterios planteados en el plan de gestión del riesgo de inundación, incluida la posibilidad de retirar construcciones o instalaciones existentes que supongan un grave riesgo, para lo cual su expropiación tendrá la consideración de utilidad pública.....	88
11.7.6. Medidas consideradas para promocionar los seguros frente a inundación sobre personas y bienes y, en especial, los seguros agrarios.....	90
11.7.7. Medidas estructurales planteadas y los estudios coste-beneficio que las justifican, así como las posibles medidas de inundación controlada de terrenos.....	90
11.7.8. Medidas propuestas y Administración responsable, prioridad y estimación del coste.....	91
11. 8. Descripción de la ejecución del plan de gestión del riesgo de inundación .....	91
11.8.1. Prioridades, los indicadores del cumplimiento y avance del plan de gestión del riesgo de inundación y supervisión de los progresos en la ejecución del mismo.....	91
11.8.2. Lista de las autoridades competentes .....	92
<b>12. Bibliografía .....</b>	<b>93</b>
<b>13. Anexos.....</b>	<b>95</b>

## 1. Introducción y antecedentes

La inundación es el evento natural que mayores daños catastróficos produce en España tanto a nivel de daños materiales como en pérdidas de vidas humanas. Así ha venido siendo históricamente, sobre todo en cuencas fluviales donde los ríos no han sido sólo cauces de agua sino también de cultura, encerrando en sus nombres un tributo a su flujo de vida y también la memoria de sus avenidas.

El relieve y el clima propios de nuestra geografía son propicios para que en determinadas regiones y épocas del año se desencadenen episodios de inundaciones catastróficas, a lo que a menudo contribuye un comportamiento y actividad humanos negligentes y sin perspectiva, fundamentalmente en lo que atañe a la ordenación territorial, a la planificación urbanística y a la gestión del medio ambiente.

Tomando como referencia la siniestralidad por catástrofes naturales pagada por el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) en el período 1971-2010, encontramos que las indemnizaciones, para daños en los bienes y a personas, alcanzaron un total de 4.480,6 millones de euros, cuya distribución se ve reflejada en la siguiente gráfica:

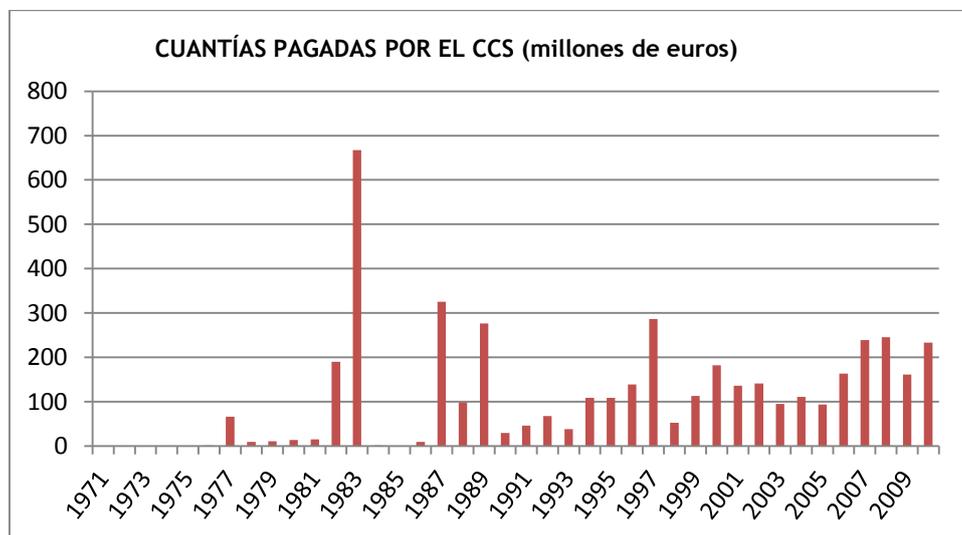


Figura 1. Cuantías pagadas por el CCS en millones de euros. Fuente: CCS.

En la gráfica mostrada a continuación se puede observar los costes los costes medios derivados de las inundaciones. La media anual de costes es de 100 millones de euros, según datos del CCS.

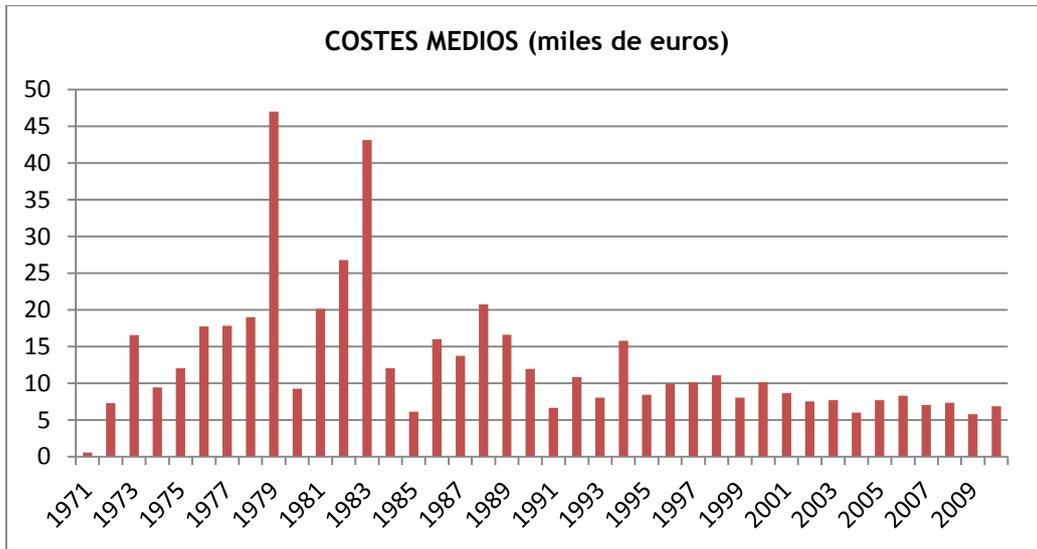


Figura 2. Costes medios en miles de euros. Fuente: CCS.

En el período 1971-2009, según las estadísticas del Consorcio corresponden el 73 % de la siniestralidad total a inundaciones, seguido de un 18 % a tempestades ciclónicas y un 7 % al terrorismo.

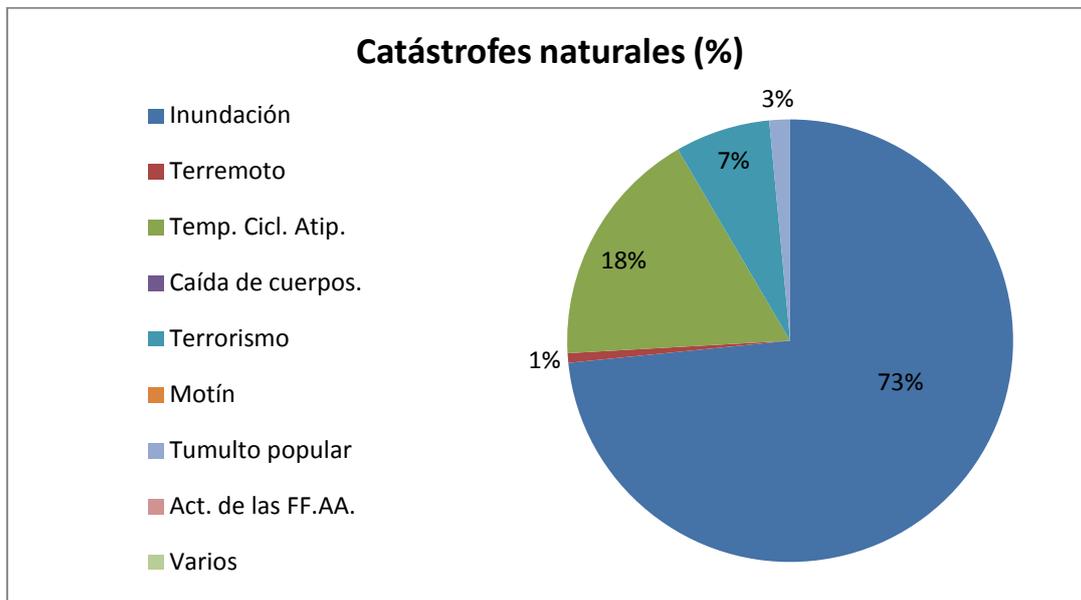


Figura 3. Porcentaje de Catástrofes naturales (%). Fuente CCS.

Las previsiones son, según un estudio conjunto del CCS con el IMEX, que las pérdidas por inundaciones serán de más de 800 millones al año hasta el año 2033.

Además de los daños económicos y sociales, las inundaciones pueden tener graves consecuencias medioambientales, por ejemplo, cuando las instalaciones que contienen grandes cantidades de sustancias químicas tóxicas son dañadas, destruyendo zonas sensibles. Las grandes áreas en las que se concentran

estos lugares de riesgo son, la cuenca Norte, en la que se sitúan 300 puntos conflictivos, principalmente en el País Vasco. Bilbao, Rentería, San Sebastián y Gijón son los sectores con más riesgo en esta cuenca. La probabilidad de inundaciones es alta en estos lugares porque suele haber ocasionalmente precipitaciones muy altas (por ejemplo 500 mm de lluvia el 26 de agosto de 1983 en Larrasquitu) y los valles son estrechos y profundos, con las poblaciones situadas muy cerca de los cauces.

El área mediterránea con mayor riesgo es la que comprende las riberas del Júcar (173 puntos conflictivos), Murcia, Orihuela, Cartagena, El Vallés (Barcelona), Tarragona, Gerona, Málaga y varios puntos de las provincias de Almería, Granada.

En este área el riesgo procede de las típicas lluvias torrenciales mediterráneas (algunos días ha llovido más de 800 mm, como en Oliva el 3 de noviembre de 1987 o en Jávea el 2 de octubre de 1957). Agrava la situación la falta de árboles y el suelo fácilmente erosionable debido a que facilitan el que las aguas arrastren muchos materiales, lo que aumenta su volumen y su peligrosidad.

Los Pirineos orientales también reúnen muchos lugares peligrosos (172 puntos conflictivos). Las inundaciones están provocadas por lluvias de tipo mediterráneo, también, pero en esta zona hay una buena cobertura vegetal que protege de la erosión al suelo lo que disminuye los daños, aunque a veces los aumenta, tal y como sucedió en Biescas.

Quizás la mayor frecuencia con que estas regiones se enfrentan a tal evento hizo olvidar el comportamiento errático del que, como característica general, hacen gala las catástrofes naturales. Tomar conciencia de ello puede resultar a veces trágico, y ahí están como muestra las inundaciones de Yebra y Almoguera (Guadalajara), en 1995, y las de Badajoz en 1997, lugares estadísticamente irrelevantes por experiencias de pérdidas anteriores.

Los factores que causan inundaciones son principalmente elevadas precipitaciones en reducido lapso de tiempo, geomorfología favorable para la concentración de los picos de caudal, escasa cobertura vegetal, suelos erosionados y/o erosionables y la fusión de las nieves de alta montaña en primavera, que coincide con épocas de fuertes lluvias. Aparte de estos existen factores antrópicos que pueden ocasionar inundaciones

- La rotura de presas, ya que cuando se produce este fenómeno, el agua se libera repentinamente y llega al río, con alta peligrosidad.
- Las actividades humanas, debido a su influencia para incrementar los efectos de las inundaciones, tales como la construcción en cauces, la impermeabilización de suelos (lo que aumenta la velocidad del agua a su paso por el mismo), la tala indiscriminada de bosques (que disminuye la infiltración cuando hay fenómenos de precipitación) o la canalización de los cauces, que lejos de evitar el problema de inundaciones, las agrava al aumentar

exponencialmente la velocidad en ese tramo, por lo que muchas veces son medidas tardías e insuficientes.

La lucha contra los efectos de las inundaciones ha sido desde hace muchos años una constante en la política de aguas y de protección civil y así el enfoque tradicional consistente en plantear y ejecutar soluciones estructurales, como la construcción de presas, encauzamientos y diques de protección, se han revelado en determinados casos insuficientes, por lo que ha sido complementado en las últimas décadas con actuaciones no estructurales, tales como planes de protección civil, implantación de sistemas de alerta, corrección hidrológico-forestal de las cuencas y medidas de ordenación del territorio, para atenuar las posibles consecuencias de las inundaciones.

## 1.1. Marco legislativo español (previo a la Directiva 2007/60/CE)

- **Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.**

Por la presente Directiva se establecen los principios básicos para el ámbito del recurso agua, todos ellos relacionados con la dinámica de inundaciones y su afección a las distintas actividades tanto naturales como humanas. Obliga a los Estados Miembros, en su Capítulo II, a la realización de una **evaluación preliminar del riesgo de inundación** antes del 22 de diciembre de 2011 (en adelante EPRI), en todo el ámbito territorial de la demarcación, según la cual se deben identificar las zonas en las que exista un riesgo potencial significativo de inundación. Para cada una de las zonas identificadas, de acuerdo con la Directiva 2007/60/CE, se realizará un **plan de gestión del riesgo** (antes del 22 de diciembre de 2015) basado en la elaboración de **mapas de peligrosidad y de riesgo** (antes del 22 de diciembre de 2013).

Siguiendo los criterios de la Directiva, los Países integrantes de los Estados Miembros de la Comunidad Europea, están acometiendo estas tareas conforme a diferentes aspectos que en general concurren en una determinación similar a la que se propone en este documento.

Artículo 1.e): *"El objeto de la presente Directiva es establecer un marco para la protección de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas que:...e) contribuya a paliar los efectos de las inundaciones y sequías"*.

Artículo 4.3.a) iv). *"Los Estados miembros podrán calificar una masa de agua superficial de artificial o muy modificada, cuando: a) los cambios de las características hidromorfológicas de dicha masa que sean necesarios para alcanzar su buen estado ecológico impliquen considerables repercusiones negativas en (...) iv) la regulación del agua, la protección contra las inundaciones, el drenaje de terrenos"*.

Artículo 4.6.: "El deterioro temporal del estado de las masas de agua no constituirá infracción de las disposiciones de la presente Directiva si se debe a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales o no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, o al resultado de circunstancias derivadas de accidentes que no hayan podido preverse razonablemente cuando se cumplan todas las condiciones siguientes (...)".

Artículo 11.3.l): "Las "medidas básicas" son los requisitos mínimos que deberán cumplirse y consistirán en:... l) cualesquiera medidas necesarias para prevenir pérdidas significativas de contaminantes procedentes de instalaciones industriales y para prevenir o reducir los efectos de las contaminaciones accidentales, por ejemplo como consecuencia de inundaciones (...)".

Artículo 11.5.: "Cuando los datos en virtud de actividades de seguimiento u otros datos indiquen que probablemente no se lograrán los objetivos establecidos en el artículo 4 para una masa de agua, el Estado miembro velará para que (...) cuando esas causas resulten de circunstancias debidas a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales y no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, el Estado miembro (...)".

Anexo II 2.4.). "Examen de la incidencia de los cambios en los niveles de las aguas subterráneas. Los Estados miembros también determinarán las masas de agua subterránea para las que se deberán especificar objetivos inferiores de conformidad con el artículo 4, entre otras razones atendiendo la consideración de las repercusiones del estado de la masa de agua en (...) ii) la regulación hidrológica, protección contra inundaciones y drenaje de tierras (...)".

- **Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.**

En el Real Decreto Legislativo 1/2001 se catalogan y clasifican las distintas zonas inundables; del mismo modo se establecerá al Gobierno y los organismos de cuenca como las competentes en materia de ordenación del territorio, planificación del suelo y autorizaciones de uso.

Artículo 11.: "Las zonas inundables son:

1. Los terrenos que puedan resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos, conservarán la calificación jurídica y titularidad dominical que tuvieren.
2. Los Organismos de cuenca darán traslado a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo de los datos y estudios disponibles sobre avenidas, al objeto de que se tengan en cuenta en la planificación del suelo y, en particular, en las autorizaciones de usos que se acuerden en las zonas inundables.

3. El Gobierno, por Real Decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. Los Consejos de Gobierno de las Comunidades Autónomas podrán establecer, además, normas complementarias de dicha regulación”.

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

Mediante este Real Decreto junto con el el Real Decreto Legislativo 1/2001, se establecen medidas más exhaustivas a la hora de proteger las diversas masas de agua. Con la delimitación del Dominio Público Hidráulico se pueden zonificar aquellas zonas que pueden quedar anegadas de agua y como consecuencia, afectar a bienes tanto materiales como humanos. De este modo se garantiza la seguridad de las personas y los bienes.

Artículo 14.-

“1. Los terrenos que puedan resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos conservarán la calificación jurídica y la titularidad dominical que tuvieran.

2. El Gobierno, por Decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. El Consejo de Gobierno de las Comunidades Autónomas podrá establecer, además, normas complementarias de dicha regulación (Artículo 11 del Texto Refundido).

3. Se consideran zonas inundables las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de quinientos años, a menos que el Ministerio de Medio Ambiente, a propuesta del Organismo de cuenca fije, en expediente concreto, la delimitación que en cada caso resulte más adecuada al comportamiento de la corriente”.

- Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo Títulos II y III de la Ley de Aguas.

Este Real Decreto establece que las administraciones competentes serán los responsables que delimitarán las zonas inundables gracias a los datos y estudios relacionados con situaciones extremas, tales como las inundaciones.

Artículo 59.3.: “Situaciones hidrológicas extremas”

*1. Las administraciones competentes delimitarán las zonas inundables teniendo en cuenta los estudios y datos disponibles que los organismos de cuenca deben trasladar a las mismas, de acuerdo con lo previsto en el artículo 11.2 del texto refundido de la Ley de Aguas. Para ello contarán con el apoyo técnico de estos organismos y, en particular, con la información relativa a caudales máximos en la red fluvial, que la administración hidráulica deberá facilitar".*

- **Ley 10/2001, de 5 de Julio, del Plan Hidrológico Nacional.**

Con esta Ley, se pretende determinar quién delimitará las zonas inundables utilizando para ello los datos técnicos recabados por los Organismos de Cuenca y Administraciones Hidráulicas. Además, se promoverán convenios para liberar la ocupación del DPH y zonas inundables.

Artículo 28.2 y 3.: "*Protección del dominio público hidráulico y actuaciones en zonas inundables.*

*2. Las Administraciones competentes delimitarán las zonas inundables teniendo en cuenta los estudios y datos disponibles que los Organismos de cuenca deben trasladar a las mismas, de acuerdo con lo previsto en el artículo 11.2 de la Ley de Aguas. Para ello contarán con el apoyo técnico de estos Organismos y, en particular, con la información relativa a caudales máximos en la red fluvial, que la Administración hidráulica deberá facilitar.*

*3. El Ministerio de Medio Ambiente promoverá convenios de colaboración con las Administraciones Autonómicas y Locales que tengan por finalidad eliminar las construcciones y demás instalaciones situadas en dominio público hidráulico y en zonas inundables que pudieran implicar un grave riesgo para las personas y los bienes y la protección del mencionado dominio".*

- **Real Decreto 1664/1998, de 24 de Julio de 1998, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de Cuenca.**

Los distintos Planes Hidrológicos de Cuenca son los siguientes: Cuenca del Segura, Cuenca del Guadalquivir, Cuenca del Guadiana, Cuenca del Tajo, Cuenca del Júcar, Cuenca del Sur, Cuenca del Duero, Cuenca del Ebro, Cuenca del Cantábrico, Cuenca del Miño-Sil, Cuenca Galicia-Costa, Cuenca de las Islas Baleares, Cuenca de Islas Canarias y Cuencas Internas de Cataluña.

Debido a que las ARPSI's de estudio están en la cuenca del Ebro, este Plan será el que se desarrollará en este proyecto.

El contenido de los planes hidrológicos de cuenca se establecen en la Ley de Aguas, que enumera cada uno de los temas que obligatoriamente deben ser considerados. Se dispone adicionalmente de un

reglamento y de una instrucción de planificación hidrológica que detallan el alcance con que deben ser tratados los distintos aspectos.

El Plan Hidrológico del Ebro es el instrumento clave de implantación de la Directiva Marco del Agua en la cuenca. Su elaboración es una función explícitamente asignada a la Confederación Hidrográfica del Ebro, mientras que su aprobación mediante real decreto corresponde al Gobierno de España.

El Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro actualmente en vigor fue informado favorablemente por el Consejo del Agua de la cuenca del Ebro el 15 de febrero de 1996, siendo aprobado por el Gobierno mediante el Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio.

Reglamentariamente se preveía realizar una revisión completa y periódica del Plan cada ocho años desde la fecha de su aprobación. La promulgación de la Directiva Marco del Agua, ha significado una revisión completa del proceso de planificación y una adaptación a los nuevos plazos y criterios emanados de esta normativa y de su transposición, por lo que la revisión del Plan Hidrológico se ha hecho coincidir con el plazo establecido por la Directiva para la elaboración de los planes hidrológicos de cuenca a los que se refiere en su artículo 13.

El día 12 de mayo de 2012 se inició la consulta pública de 6 meses del nuevo Plan Hidrológico, para la formulación de observaciones y sugerencias.

Los objetivos generales que persigue pueden agruparse en tres bloques:

1. Conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas
2. La satisfacción de las demandas de agua
3. El equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial

Todo ello mediante el incremento de las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

Asimismo, en la memoria del plan hidrológico del Ebro se exponen en su apartado 2 de introducción, las estructuras de protección frente avenidas existentes en la cuenca del Ebro:

#### “2.5.6.- Infraestructuras de defensa frente a avenidas

No se dispone de un inventario de todas las obras de defensa existentes en la cuenca del Ebro. Sin embargo, destacan por haber sido objeto de un gran número de actuaciones, el propio Eje del Ebro y los

cauces de las cuencas del Gállego, Cinca, Segre, Jalón y Garona. La relación de actuaciones sería interminable, por lo que se mencionan brevemente las principales.

Respecto al Eje del Ebro, en el tramo comprendido entre Logroño y Sástago se han inventariado 418 actuaciones de defensa, que suponen una longitud de 426 km de margen protegida. Las obras más abundantes consisten en diques de tierra, escolleras naturales y artificiales, masas de hormigón, espigones y dragados. En el resto del Eje es significativo el encauzamiento con muros en Tortosa.

En el río Gállego existen defensas con escolleras entre Biescas y Sabiñánigo, meandros rectificadas en Gurrea de Gállego, La Paúl y San Mateo (en algunos casos con escollera). En el tramo entre azud de Camarera hasta la desembocadura existen numerosas actuaciones de dragado, defensas de escollera y muros de hormigón. De los restantes cauces de la cuenca destacan los encauzamientos y escolleras del Gorgol, Aras (con muros y lecho revestido) y el barranco de La Violada.

El río Cinca cuenta con escolleras entre Escalona y Aínsa y en algunos tramos entre Bielsa y Escalona. Aguas abajo del embalse de El Grado son numerosos los dragados y defensas de escollera, destacando el encauzamiento con muros y escolleras en Fraga. También destacan las defensas del Cinqueta, con escolleras en los alrededores de San Juan de Plan y desde Salinas a la desembocadura, y del Ara, con escolleras entre Boltaña y Aínsa y en los alrededores de Broto. En el Ésera existen defensas con escollera en Eriste, Castejón de Sos y Villanova. En Graus está canalizado con muros de hormigón. En el Isábena existen defensas de escollera a la altura de Biescas de Obarra. Otras actuaciones significativas en la cuenca son las del Isuela, canalizado en Huesca y con escolleras y motas aguas abajo, el Vero canalizado en Barbastro, etc.

En la cuenca del Segre se realizaron numerosas actuaciones a raíz de la avenida de noviembre de 1982, dragándose prácticamente todos los tramos de las cabeceras hasta Oliana y protegiéndose numerosos meandros con escollera. Los encauzamientos más significativos son el de Martinet y Seo de Urgel, éste último de unos 5 km con escollera en ambos márgenes. En el Segre aguas abajo del embalse de Oliana son numerosos los tramos dragados y encauzados destacando la canalización con muros en Balaguer y en Lérida, recientemente terminado. En la cuenca del Pallaresa existen actuaciones de defensa en Llavorsí, Esterri d'Aneu, Sort y en varios tramos de los ríos Vallferrera y Flamisell. En la cuenca del Noguera Ribagorzana se han construido encauzamientos con escolleras en el entorno de Pont de Suert, en la desembocadura de los ríos Noguera de Tor y Baliera, en Senet y en Erill La Vall.

En la cuenca del Jalón son muy numerosas las actuaciones de defensa, destacando los tramos canalizados de Alhama, Ateca, Ariza, Calatayud, Morés, Sabiñán, etc. Aguas abajo de Épila son numerosos los tramos dragados. En el Jiloca existen tramos dragados desde Villafeliche hasta Calatayud. Incluso su cabecera, desde Cella hasta los Ojos de Monreal, se puede considerar como una canalización. En el Piedra existen pequeñas defensas y dragados aguas abajo de La Tranquera.

En la cuenca del Garona existen un considerable número de encauzamientos y defensas, destacando los muros de protección de Artés, Viella y Bossost. Existen también escolleras en Las Bordas, La Bordeta, Bossost, etc.

Además de las actuaciones en los ríos anteriormente mencionados, que se consideran las principales de toda la cuenca, existen actuaciones en bastantes ríos. Destacan, en este segundo orden, los encauzamientos y defensas del Bayas, Ega, Arga, Araquil, Aragón, Arba, Huerva y Aliaga. Por último conviene mencionar una serie de ríos donde se han realizado drenajes, canalizaciones y otras actuaciones de menor cuantía: Nela, Jerea, Omecillo, Zadorra, Oca, Oroncillo, Tirón, Oja, Najerilla, Iregua, Cidacos, Alhama, Queiles, Huecha, Aguas Vivas, Martín, Guadalope, Guadalopillo y Matarraña.

Dentro de los aspectos relacionados con la corrección de los efectos de las avenidas conviene citar las correcciones de torrentes llevadas a cabo en numerosos puntos del Pirineo, destacando las del torrente de Arás en Biescas, en el Flamisell en Capdella, en el alto Ribagorza en Senet, etc. También han tenido efectos muy positivos las correcciones hidrológico-forestales en las ramblas de la cuenca del Jalón-Jiloca. En protección frente a aludes se han llevado a cabo varios trabajos en el Pirineo, en concreto para la protección de la estación internacional de Canfranc y en el balneario de Panticosa.”

- **La Ley 2/1985**, de 21 de enero, de Protección Civil, se desarrolla mediante la Norma Básica de Protección Civil, aprobada por el Real Decreto 407/1992 de 24 de abril, incluyendo entre los planes especiales de protección civil a elaborar por la Administración General del Estado y por las Comunidades Autónomas, los correspondientes al riesgo por inundación. En el marco de esta legislación destaca la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones, aprobada por acuerdo de Consejo de Ministros de 9 de diciembre de 1994, la cual establece el marco sobre el que se han desarrollado los planes especiales de protección civil ante el riesgo de inundaciones y que puede considerarse como la primera disposición que relaciona expresamente el nivel de riesgo de inundación del territorio con la planificación territorial y los usos del suelo.

- **Real Decreto Legislativo 2/2008**, de 20 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley del Suelo, establece en su articulado la necesidad de incluir en los instrumentos de ordenación territorial mapas de riesgos naturales y de la realización de informes de las administraciones hidrológicas en relación con la protección del dominio público hidráulico y de las costas sobre el deslinde y la protección del dominio público marítimo-terrestre.

## 1.2. Directiva 2007/60/CE y obligaciones derivadas

Esta Directiva exige a los Estados miembros la caracterización de todos los cursos de agua y líneas de costa para así conocer el posible riesgo de inundación, asignar la extensión de la inundación, los activos y

los seres humanos en situación de riesgo en esas zonas y tomar las medidas adecuadas y coordinadas para reducir el riesgo de inundación. Con esta directiva, además, se refuerzan los derechos de los ciudadanos al acceso a información y tener voz en el proceso de planificación.

La Directiva fue propuesta por la Comisión Europea el 18/01/2006, y fue finalmente publicada en el Diario Oficial el 6 de noviembre de 2007. Su objetivo es reducir y gestionar los riesgos que suponen las inundaciones para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica. La Directiva exige a los Estados miembros llevar a cabo una primera evaluación preliminar en 2011 para identificar las cuencas hidrográficas y de las zonas costeras en riesgo de inundación. A continuación, para esas zonas, se tendrá que elaborar mapas de riesgo de inundación para el año 2013 y establecer planes de gestión del riesgo de inundación se centró en la prevención, la protección y la preparación para el año 2015. La Directiva se aplica a las aguas continentales, así como todas las aguas costeras en todo el territorio de la UE.

La Directiva se llevará a cabo coordinada con la Directiva Marco del Agua, en particular mediante los planes de gestión de riesgos y planes hidrológicos de cuenca, y con la coordinación de los procedimientos de participación pública en la preparación de estos planes. Todas las evaluaciones, mapas y planos preparados están a disposición del público.

Los Estados miembros, además, deberán coordinar sus prácticas de gestión de riesgos de inundación en las cuencas hidrográficas compartidas, incluso en terceros países. También los Estados miembros tomarán en consideración los acontecimientos a largo plazo, incluido el cambio climático, así como las prácticas sostenibles de uso de la tierra en el ciclo de gestión del riesgo tratados en la presente Directiva.

### 1.3. Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de los riesgos de inundación

En el preámbulo de dicho texto legal se reconoce que, en España, las inundaciones constituyen el riesgo natural que ha producido los mayores daños tanto materiales como en pérdida de vidas humanas a lo largo de la historia, y ya existe un amplio tratamiento en la legislación vigente, especialmente en aquella relacionada con el agua, las costas, la protección civil y la ordenación del territorio.

Como puntos más importantes: se refleja la obligatoriedad de elaborar una evaluación preliminar del riesgo de inundación, que será desarrollado por los organismos de cuenca, en colaboración con las autoridades de Protección Civil de las comunidades autónomas y de la Administración General del Estado y otros órganos competentes de las comunidades autónomas, o las Administraciones competentes en las cuencas intracomunitarias; Se realizarán mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación; y, por último, se desarrollarán los consecuentes Planes de Gestión del Riesgo de Inundación, que deberán ser aprobados

y publicados antes del 22 de diciembre de 2015 y, además, fija el contenido de los Planes de Gestión, que entre otras medidas deberá tener:

- Medidas de restauración fluvial y las medidas para la restauración hidrológico-agroforestal de las cuencas.
- Medidas de mejora del drenaje de infraestructuras lineales.
- Medidas de predicción de avenidas.
- Medidas de protección civil.
- Medidas de ordenación territorial y urbanismo.
- Medidas consideradas para promocionar los seguros frente a inundación sobre personas y bienes y, en especial, los seguros agrarios.
- Medidas estructurales planteadas y los estudios coste-beneficio que las justifican, así como las posibles medidas de inundación controlada de terrenos.

## 2. Objetivos

El objetivo principal del presente proyecto es la Elaboración del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación en base a la aplicación de la Directiva 2007/60CE y el Real Decreto 930/2010 para el ARPSI 02 Alto Ebro a su paso por el término municipal de Frías (Burgos).

En la consecución de este objetivo principal pueden citarse los siguientes objetivos parciales:

- Caracterización del ARPSI 02 Alto Ebro a su paso por el término municipal de Frías.
- Análisis geomorfológico histórico y actual.
- Cálculo de los caudales de referencia.
- Estudio Hidráulico.
- Elaboración mapas de peligrosidad y riesgo de inundación.

En la secuencia de trabajo necesaria para alcanzar estos objetivos se hará uso de las siguientes aplicaciones informáticas:

- Software CAUMAX (Caudales Máximos): Para el cálculo de los caudales asociados a los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, además del asociado a la máxima crecida ordinaria.
- Software Hec-Ras 4.1.0 (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System): Para la modelización del tramo y simulación de los caudales obtenidos en CAUMAX, obteniendo calados y velocidades de la lámina de agua.
- Software Hec - GeoRas: Extensión del software Arcgis cuya función es la fijación de secciones en el tramo, conformando un nexo de unión entre Arcgis y Hec-Ras.
- Software Arcgis: Sistema de información Geográfica utilizado para elaborar la cartografía.
- Iber 1.7: Para la modelización del tramo y simulación de los caudales obtenidos en CAUMAX, obteniendo calados y velocidades de la lámina de agua.

## 3. Resumen de la Evaluación preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) del Ebro.

### 3.1 Metodología seguida.

El proceso de elaboración de la EPRI se resume en el siguiente esquema:

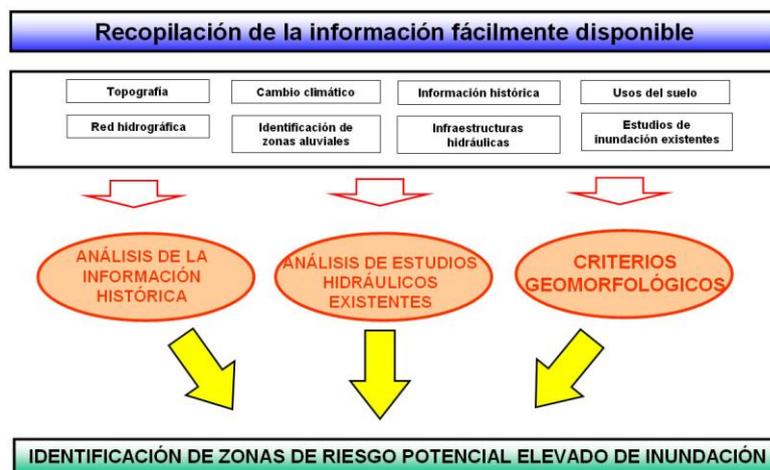


Figura 4. Esquema elaboración de una EPRI. Fuente: EOI.

Según lo expuesto en la memoria del EPRI en la cuenca del Ebro, el proceso se ha dividido en:

- Recopilación de la información disponible. Se considera imprescindible recabar todos aquellos datos disponibles en:
  - Red hidrográfica y topografía.
  - Geomorfología de las zonas aluviales y torrenciales.
  - Información histórica de episodios de inundación.
  - Usos del suelo actual y futuro.
  - Infraestructuras hidráulicas.
  - Estudios previos de inundaciones o sobre el riesgo y/o peligrosidad asociado a las mismas.
  - Influencia del cambio climático

- Análisis y tratamiento de la información. Para determinar los tramos de riesgo potencial de inundación, se comparó la vulnerabilidad de cada tramo con la peligrosidad a la que está expuesta cada unidad. Dados los tramos con su grado de peligrosidad, basados estos en criterios geomorfológicos e históricos, se enfrentan a las zonas clasificadas según su nivel de vulnerabilidad, determinadas a su vez de acuerdo a los distintos usos del suelo. De esto modo se obtienen los tramos con mayor riesgo, producto del grado más alto de vulnerabilidad y peligrosidad, para la salud humana, la actividad económica, el medio ambiente o el patrimonio cultural según lo establecido por la Directiva 2007/60/CE. Los cruces de información se reflejan a continuación en las tablas:

**Nivel de Riesgo total = 9 + % (Edificaciones + Vial, aparcamiento, zona peatonal sin vegetación)**

NIVEL DE RIESGO		VULNERABILIDAD		
		BAJA	MODERADA	ALTA
PELIGROSIDAD	BAJA	1	2	3
	MODERADA	2	4	6
	ALTA	3	6	9

DENOMINACIÓN DEL RIESGO						
CAUSA			HISTÓRICA			
			ALTO		MODERADO	BAJO/SIN DATOS
			SIGNIFICATIVO	ALTO	MODERADO	BAJO/SIN DATOS
GEOMORFOLOGÍA - EST. INUNDACIÓN- ZONAS COSTERAS vs USOS DEL SUELO	ALTO	10-9,5	A1. ALTO SIGNIFICATIVO	A2. ALTO IMPORTANTE	A2. ALTO IMPORTANTE	A2. ALTO IMPORTANTE
		9,5-9,0	A1. ALTO SIGNIFICATIVO	A2. ALTO IMPORTANTE	A3. ALTO MENOS IMPORTANTE	A3. ALTO MENOS IMPORTANTE
	MODERADO	9,0-3,0	A1. ALTO SIGNIFICATIVO	B. MODERADO	B. MODERADO	B. MODERADO
	BAJO/SIN DATO	3,0-0,0	A1. ALTO SIGNIFICATIVO	B. MODERADO	B. MODERADO	C. BAJO

Figura 5. Clasificación del riesgo. Fuente: EOI.

- Delimitación de las ARPSIS. Para ello, se ha seguido el criterio de que aparezcan todos los tramos de riesgo alto SIGNIFICATIVO en alguna de las ARPSIS, y se han englobado también todos los tramos con riesgo alto importante. Se han delimitado las ARPSIS utilizando criterios de analogía hidrológica y geomorfológica, no habiéndose tenido en cuenta los límites administrativos de cada Comunidad Autónoma.

### 3.2 Resultados conseguidos.

Las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs), son aquellas zonas en las que se ha constatado que, de acuerdo con la metodología anteriormente expuesta, existen tramos que sufren impactos significativos o consecuencias negativas potenciales de las inundaciones. Para delimitar las ARPSIs, se ha seguido el criterio de que aparezcan todos los tramos de riesgo alto significativo en alguna de las ARPSIs, y se han englobado también todos los tramos con riesgo alto importante. Se han delimitado las ARPSIs utilizando criterios de analogía hidrológica y geomorfológica, no habiéndose tenido en cuenta los límites administrativos de cada Comunidad Autónoma. En total, en la cuenca del Ebro, se han descrito cuarenta y seis ARPSIs, siendo nuestra zona de estudio el ARPSI 002 del Alto Ebro.

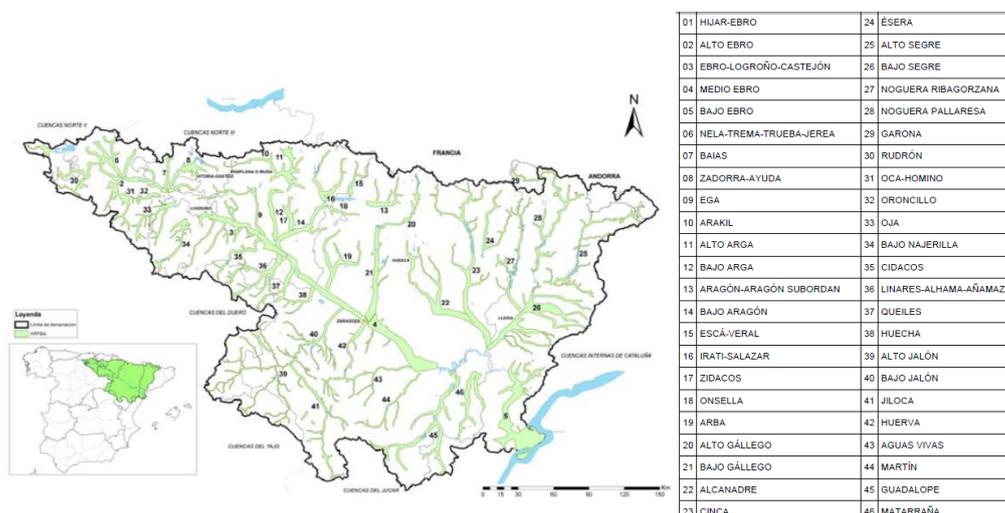


Figura 5. Mapa de situación de los distintos ARPSI's de la cuenca del Ebro. Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

## 4. Características del ARPSI 02 Alto Ebro a su paso por el término municipal de Frías.

### 4.1. Ubicación geográfica.

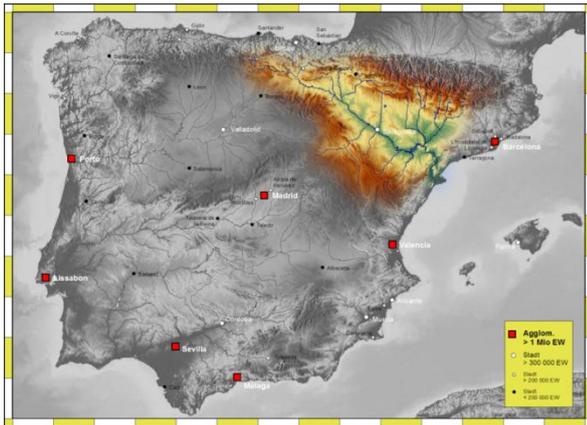


Figura 6. Situación de la cuenca del Ebro. Fuente: [www.maps-for-free.com](http://www.maps-for-free.com).

La Cuenca del Ebro se sitúa en el cuadrante NE de la Península Ibérica y ocupa una superficie total de 85.362 Km<sup>2</sup>, de los que 445 Km<sup>2</sup> están en Andorra, 502 Km<sup>2</sup> en Francia y el resto en España. Es la cuenca hidrográfica más extensa de España, representando el 17,3 % del territorio peninsular español. Sus límites naturales son: por el N los montes Cantábricos y los Pirineos, por el SE el Sistema Ibérico y por el E la cadena Costero-Catalana.

### 4.2 Características generales de la cuenca.

El territorio peninsular español, está dividido administrativamente en diez cuencas hidrográficas de ella la más extensa corresponde a la cuenca hidrográfica del Ebro con una superficie de 86.056 km<sup>2</sup>. Limita al Norte con la vertiente atlántica francesa del Pirineo y la cuenca del Norte de España; al Sur con las del Duero, Tajo y Júcar; y al Este con la del Pirineo Oriental y el mar Mediterráneo. Su longitud es de 928 km de curso fluvial desde Peña Labra a la isla de Buda.

La división político administrativa no coincide exactamente con la geografía. Por un lado se incluye en ella superficies no vertientes al Ebro: 50 km<sup>2</sup> en las inmediaciones de Valcarlos (Navarra), cuenca del río Luzame; 17 km<sup>2</sup> en el valle de los Sarrios, (Huesca), cuenca del río Adour; 555 km<sup>2</sup> en el Valle de Arán, cuenca del río Garona y 551 km<sup>2</sup> de la cuenca endorreica de Gallocanta en las provincias de Zaragoza y Teruel. Por otra parte existen unas superficie de cuenca que no pertenecen al territorio español: 319 km<sup>2</sup> del Principado de Andorra, cuenca del Alto Segre y 349 km<sup>2</sup> de Francia, de los cuales 211 km<sup>2</sup> son de la cuenca del Alto Irati, al Norte de Navarra y 182 km<sup>2</sup> en el Alto Segre, en Gerona. La cuenca hidrográfica del Ebro abarca, además de las zonas francesas y andorranas mencionadas, superficie perteneciente a 18 provincias españolas encuadradas en nueve comunidades autónomas, con arreglo al siguiente detalle:

Superficie y población por CC. AA. que integran el ámbito:

Comunidades Autónomas	Superficie km <sup>2</sup>	Porcentaje %	Nº hab. 2005	Porcentaje %	Densidad hab/km <sup>2</sup>	TT.MM.
Cantabria	775,4	0,91	18.925	0,63	24,41	9
Castilla y León	8.124,9	9,50	94.681	3,14	11,65	186
La Rioja	5.050,7	5,90	301.084	9,97	59,61	174
País Vasco	2.680,7	3,13	266.392	8,82	99,37	57
Navarra	9.227,4	10,79	565.766	18,74	61,31	246
Aragón	42.076,3	49,19	1.217.157	40,31	28,93	663
Castilla-La Mancha	1.117,9	1,31	1.818	0,06	1,63	27
Cataluña	15.634,4	18,28	548.251	18,16	35,07	339
Comunidad Valenciana	846,5	0,99	5.102	0,17	6,03	16
<b>TOTAL ÁMBITO</b>	<b>85.534,2</b>	<b>100,00</b>	<b>3.019.176</b>	<b>100,00</b>	<b>35,30</b>	<b>1.717</b>

Figura 7. Superficie y población por CC.AA. incluidas en la cuenca del Ebro. Fuente: CHE.

La cuenca del Ebro tiene, en planta, una forma triangular, cuyo lado mayor, situado al Norte, lo constituyen las últimas estribaciones de la cordillera cantábrica, los Montes Vascos y el Pirineo. El segundo lado mayor del triángulo lo forma el Sistema Ibérico, que sirve de separación entre la depresión del Ebro y la meseta castellana a lo largo de su directriz NO-SE. Por último el cierre del triángulo lo compone la Cordillera Costero Catalana con orientación NNE-OSO.

La depresión del Este, está, pues, encajada entre una cordillera de atipáis, el sistema ibérico, y una cordillera principal de plegamiento, los Pirineos; constituyendo una fosa recorrida por dos líneas tectónicas principales, de directrices prácticamente ortogonales, una el valle del Ebro propiamente dicho, y otra la alineación del Segre y Guadalupe.

Estas líneas tectónicas representan zonas hundimiento paralelas a los macizos que actuaron como pilares de máxima resistencia, al emerger la cordillera costero catalana, la mar que ocupaba la depresión del Ebro durante el mesozoico, pasó a ser un lago cuyos depósitos fueron poco a poco colmatando. El levantamiento alpino que constituyó las actuales Pirineos, incrementó el desnivel del valle del Ebro, produciéndose la disposición en escalones sucesivos a ambos lados del río.

La Depresión del Ebro comienza en los páramos del Virga y valle de Campoó, descendientes gradualmente hacia el corredor de La Bureba, que pone en comunicación la Meseta y la Rioja. El valle se ensancha a continuación de la Ribera navarro-aragonesa con un relieve mixto de cuevas y escalones para continuar con la comarca de las Bardenas de similares características. En la zona central la comarca de los Monegros aparece partida en dos depresiones, por la sierra de Alcubierre, continuando hacia el Sur por

una extensa plataforma de 300-400 metros de altura, en la cual se encaja el Ebro formando numerosos meandros.

A partir de la confluencia con el Cinca, la cuenca cruza transversalmente las depresiones del Segre, al Norte, y Matarraña, al Sur, para encontrar la depresión de Lérida y los llanos de Urgel, acercándose ya a la cordillera costero catalana. Por otro lado los Pirineos constituyen una cadena montañosa que, de los suaves relieves y valle del extremo occidental, va incrementando sus ondulaciones en la zona Navarra alcanzando su máximo en la parte central, en las comarcas de la Jacetania, Sobrarbe y Ribagorza, para suavizarse poco después en el tramo del Pirineos Central.

Paralelamente a esta secuencia axial, se sitúa la zona pre-pirenaica, en la que destaca dos alineaciones montañosas:

Las Sierras Interiores, con trazado variable, unas veces paralelo al eje longitudinal y otra perpendicular al mismo, y las Sierras Exteriores de orientación Este- Oeste y de alturas sensiblemente menores. Entre ellas, se encuentra una estrecha llanura que recibe el nombre de Depresión Media. Las Sierras Interiores determinan una serie de Valles y Sierras que configuran la mayor parte del curso superior de los afluentes pirenaicos, en forma de estrechos valles y angostos desfiladeros. Por el Sur se encuentra la Depresión Media, y paralelamente las Sierras exteriores, marcando la terminación del Pirineo y enlazando con la Depresión del Ebro, mediante una serie de gradas que constituyen los Somontanos. El borde suboccidental del Valle del Ebro lo constituyen la sucesión de Sierras. Valles y páramos que forman el sistema Ibérico, destacando las sierras de la Demanda, Cameros, Cebollera y Moncallo. No se trata de una alineación neta, si no que está la zona entretejida de estribaciones que se adentran hacia la Depresión del Ebro.

La Cordillera Litoral Catalana, es la última barrera que debe salvar el río, antes de su encuentro con el Mediterráneo, forzándole a un cambio de orientación pasando alternativamente de Este a Oeste a la dirección Norte Sur, hasta desembocar en el mar formando un Delta de más de 30 km de longitud.

En la distribución de altitudes dentro de la cuenca se estima que el 51 % de su superficie está ocupada por terrenos con cotas superiores a mil metros o por zonas inferiores a 400 m de altitud con ligera ventaja para las cotas mayores. El 49 % restante se reparte entre las alturas intermedias.

Siguiendo el esquema descrito anteriormente, el lado Norte del triángulo que forma la cuenca del Ebro, lo constituyen los Pirineos y su prolongación occidental hacia el País Vasco y Cantabria.

El Sistema Pirenaico es una unidad geomorfológica típicamente Alpina en avanzado estado de erosión, que se puede subdividir en: Zona Axil, Sierras Interiores, y sierras Exteriores, situándose entre estas últimas la depresión media. En la zona Axil afloran formaciones Paleozóicas constituidas, esencialmente, por cuarcitas, pizarras, conglomerados, grauwacas, calcoesquistos y calizas, afectadas por una fuerte tectónica e intrusiones eruptivas, en su mayoría granitos que, hacia los bordes, pasan a microgranitos y dioritas, siendo abundante los diques aplíticos y pegmatíticos.

Estas intrusiones llevan asociadas una aureola metamórfica compuesta por gneis granitoides, micacitas y pizarras. Con la misma alineación Este-Oeste se disponen las sierras Interiores, constituidas por un conjunto Mesozoico-Eozonoico, de naturaleza calcáreo- margosa, fundamentalmente y algunos tramos areniscosos. Toda la formación de considerable potencia se encuentra muy plegada y ocupa no solo el conjunto de las Sierras Interiores sino que se prolonga hacia el noroeste alcanzando gran parte del País Vasco y la cabecera del Ebro. La Depresión Media está ocupada en su mayor parte por un sinclinorio paleógeno, que se extiende desde las proximidades de Sangüesa (Navarra), hasta más al Este de Boltaña (Huesca), enlazando posteriormente con la “Conca de Tremp”, en la provincia de Lérida, formada en materiales del Cretácico Superior.

Inmediatamente al Sur se emplazan las alineaciones montañosas de la Sierra de Güara, Seril, Portiello y Galardón, para enlazar con el Monsch a través de una extensa zona de Sierras Menores, Trillo, Campanúe, San Marcos, Berganuy, Palleroa y Mongay, entre otras. La mayor parte de ellas limitan con la cuenca terciaria del Valle del Ebro mediante fallas cabalgantes. Las formaciones predominantes en dichas sierras son Mesozoico - Eocenas, con un componente mayoritario calizo-margoso, que en ocasiones, puede ser arenoso. El Sistema Ibérico también es de origen alpino pero al contrario que Los Pirineos, no constituye una unidad geomorfológica sino que está integrado por diferentes estructurales de composición litorológica y tectónica distinta. Aunque todo el conjunto presenta una orientación global noroeste-sureste, son frecuentes las variaciones locales de directriz y muy numerosas las discontinuidades.

La comarca de La Bureba (Burgos), en el extremo noro-este del Sistema Ibérico, sirve de continuidad, a través de sus depósitos miocenos, entre los sedimentos terciarios de las cuencas del Duero y Ebroa. Al sureste, la Sierra de la Demanda constituye una unidad estructural con alturas superiores a los 2.000 m., en donde aflora un potente Paleozoico con cuarcitas, pizarras y esquistos arcillosos, casi en su totalidad pertenecientes al Carbonífero. Sobre éste se apoya un Mesozoico muy plegado que da paso a los sedimentos terciarios de la cuenca.

Siguiendo la directriz hacia el sureste se sitúa la Sierra de Cameros, donde las facies detríticas del Cretácico inferior (Wealdense) forma un anticlinal, constituido por limolitas, areniscas de grano muy fino y arcillas limolíticas hacia la base, seguido de un tramo de conglomerados y areniscas rojizas muy característico, y coronado por calizas grises. En la vertiente septentrional se deposita un Trias-Jurásico cabalgante sobre el relleno terciario del Ebro.

El macizo de Moncayo (2.315 m.) constituye la altura más importante del tramo, formado por un gran anticlinal de conglomerados y areniscas, con fuerte vergencia al noroeste, estando cortado hacia el Ebro por una falla inversa.

Continúa el Sistema Ibérico con una serie heterogénea de sierras menores que se extienden hasta Montalbán (Teruel), constituidas por materiales paleozoicos y triásicos cortados por una serie de depresiones, de las que la más importante es la de Calatayud, rellenas con depósitos terciarios, drenadas por el río Jalón y sus afluentes.

El enlace entre el Sistema Ibérico y la Cordillera Catalana se efectúa en el macizo del Maestrazgo, de depósitos esencialmente mesozoicos con Cretácico inferior de potencia superior a los 1.000 m.

De la Cordillera Costero-catalana sólo una parte muy pequeña corresponde a la cuenca del Ebro, constituida por formaciones muy heterogéneas que van del Paleozoico al Cuaternario. El enlace entre el Sistema Ibérico y la Cordillera Catalana se efectúa en el macizo del Maestrazgo, de depósitos esencialmente mesozoicos con un Cretácico inferior de potencia superior a los 1.000 m. De la Cordillera Costero-catalana sólo una parte muy pequeña corresponde a la cuenca del Ebro, constituida por formaciones muy heterogéneas que van del Paleozoico al Cuaternario.

Por último la cuenca geológica propiamente dicha del valle del Ebro, está formada por depósitos subhorizontales de conglomerados, areniscas, margas, arcillas, calizas margosas y un importante porcentaje de yesos, del Oligoceno y Mioceno, en sus facies continental y lacustre, predominando los conglomerados hacia los bordes de cuenca.

Como han demostrado diversos sondeos profundos, el espesor del conjunto es muy variable de unos puntos a otros, pero en el centro de la cuenca supera los 3.000 m. Además, los depósitos cuaternarios más importantes se encuentran en la zona de Tortosa y desembocadura del Ebro, donde alcanza gran desarrollo la formación diluvial de arcillas y conglomerados rojizos, cubiertos parcialmente por travertinos, mientras que en el Delta predominan los depósitos aluviales de arcillas y arenas, con turberas y zonas pantanosas, así como extensas dunas. Por otra parte extensas zonas del Terciario se hallan recubiertas por terrazas diluviales escalonadas cuyo número varía de unas zonas a otras, asociadas a la red hidrográfica actual.

No es posible asignar un tipo de clima único a una zona tan extensa y de geomorfología tan heterogénea como la cuenca del Ebro. A todo ello se suma la influencia que ejercen el mar Mediterráneo y el Océano Atlántico, por lo que resulta ser más cálido y de atmósfera menos densa, produciéndose, con frecuencia, un área de bajas presiones con centro en las islas Baleares. El Atlántico, en cambio, se comporta como un mar frío, sobre el que se generan ciclones de frente polar, con una dirección Noroeste-Sureste prácticamente constante y donde se ubica con frecuencia el anticiclón de las Azores. Todos estos factores determinan una serie de climas distintos dentro de la cuenca del Ebro, según predomine uno u otro de los factores mencionados. A grandes rasgos se podrían definir tres grandes zonas:

- En primer lugar la depresión Central, que incluye la parte de las provincias de Álava, Navarra, La Rioja, Zaragoza, Huesca, Teruel y Lérida, es decir, cerca del 80% del total de la superficie de la cuenca. El clima es continental o subdesértico subtropical, resultado de la transición entre el continental templado y el mediterráneo, con escasez de lluvias, larga sequía estival y temperaturas extremas en el fondo del valle. Dentro de esta zona se podrían establecer diversas zonas en función de su disposición morfológica que modificarían alguna de las características climáticas citadas. Así, en la subzona pirenaica, el índice de pluviosidad es mayor, acertando los

veranos y disminuyendo la media de las temperaturas. Entre estos dos extremos caben casi toda la gama de variaciones, al desplazarse desde el centro de la Depresión del Ebro hacia los bordes y a la vez según esté la zona más cerca de la influencia de uno u otro mar.

- Una segunda zona la constituye el área Cantabroatlántica con un clima templado, de abundantes precipitaciones, casi uniformes a lo largo del año y con temperaturas suaves.
- La tercera zona es la que se produce en la región mediterránea, con un clima de características continentales o subdesérticas subtropicales pero moderado en su temperatura por ese gran regulador que es el mar Mediterráneo.

La precipitación media en la demarcación es del orden de los 600 mm/año. Su distribución es muy irregular, con una extensa zona central donde es frecuente observar largos periodos sin lluvia, siendo relativamente frecuentes precipitaciones anuales en esta zona inferiores a los 100 mm/año.

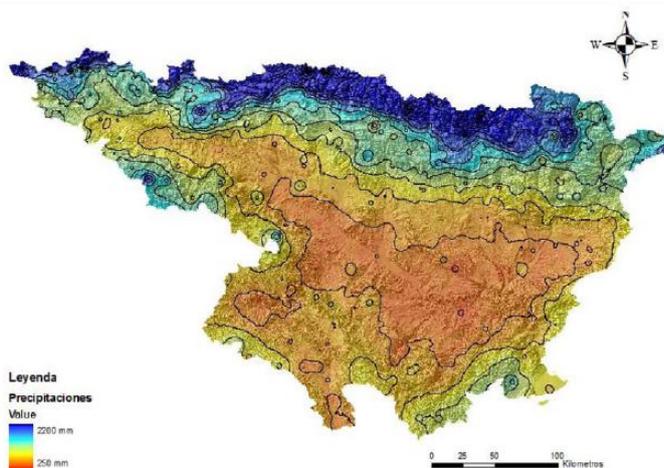


Figura 8. Precipitaciones medias en la cuenca del Ebro. Fuente: CHE.

La temperatura media en la cuenca se encuentra en torno a los 13 °C; sin embargo, en la depresión central, donde más escasean las precipitaciones, las temperaturas medias anuales se elevan por encima de los 15 °C, lo que suele determinar un elevado déficit hídrico en esta región. Los recursos totales de la cuenca se han evaluado en términos medios en 18.000 hm<sup>3</sup>/año en régimen natural, identificándose una notable asimetría hídrica entre los afluentes de la margen izquierda o pirenaica, más caudalosos, y los de la margen derecha o ibérica, de pobres aportaciones. Los

ríos pirenaicos reciben además gran parte de su precipitación en forma nival, con una marcada regulación, representando la precipitación en forma de nieve el 6% de la precipitación total de toda la cuenca. La escorrentía subterránea viene a representar entre un 25 y un 40% de la aportación total, menor en años húmedos y mucho mayor en los secos. A este respecto, la importancia de los acuíferos de la margen derecha, en el dominio de la cadena Ibérica, es claramente mayor que la de los acuíferos pirenaicos. En la depresión central los acuíferos destacables se limitan a formaciones aluviales superficiales generalmente asociadas a los ejes fluviales principales. La morfología fluvial es variada. Se han identificado y catalogado distintos tipos de cauce: muy pendientes, rectos, sinuosos, trenzados, meandriformes, anastomosados y otros alterados cuyos rasgos geomorfológicos no son naturales. Los sinuosos son los más frecuentes, aunque por su alto valor geomorfológico son muy destacables los espectaculares tramos de meandros

libres del tramo medio de la cuenca y los escasos tramos de cursos trezados. En la demarcación del Ebro no existen grandes lagos como los que aparecen en la zona central y norte de Europa, aunque sí existen numerosos espacios de diversa tipología que el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro (CHE, 1996) agrupa bajo la denominación de “zonas húmedas”, que incluye desde lagunas glaciares oligotróficas de alta montaña (Ibones, Estanys) a criptohumedales en zonas semiáridas, y desde lagos de “ox-bow” (galachos) a lagunas temporales saladas o costeras. La mayor parte de estos espacios son de dimensiones reducidas, menores de 5 ha, pero representan una fuerte singularidad en el territorio; son anomalías hídricas positivas que reúnen una variada diversidad biológica y que desempeñan una destacada función ambiental y regeneradora del recurso.

Para finalizar, la población estimada en la cuenca supera los 2.800.00 habitantes, de los que casi el 60% se lo reparten entre las provincias de Zaragoza, Navarra y Lérida. La cuenca del Ebro engloba seis capitales de provincia, Vitoria, Logroño, Pamplona, Zaragoza, Huesca y Lérida, una capital de Estado: Andorra La Vella, y buen número de poblaciones importantes de las dieciocho provincias españolas que, en mayor o menor proporción, la configuran.

El número total de municipios emplazados dentro de la cuenca supera los 2.000, de los cuales, casi el 90% no supera los 2.000 habitantes, y cerca del 99% quedan por debajo de los 10.000 habitantes. En el cuadro que se reprodujo anteriormente se refleja la distribución de la población de la cuenca por Comunidades Autónomas.

### 4.3 Características del río.

EL río Ebro es el segundo río de la Península Ibérica en longitud con 930 km, y en aportación de agua al mar, rondando los 12.000 hm<sup>3</sup> / año. La anchura media de su amplia llanura de inundación alcanza un valor de 3,2 kilómetros, alcanzando un máximo de 6 kilómetros. La llanura de inundación, en el sector central del río Ebro, alcanza una superficie de 739 km<sup>2</sup>. El índice de sinuosidad era de 1,505 en el año 2003 (Ollero, 2007, 2010).

En la cuenca existen 347 ríos principales que suman en longitud más de 12.000 Km. De acuerdo a la caracterización de los Tipos fluviales establecida por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para la implementación de la DMA en España, en cumplimiento de su Anexo II, en esta cuenca se encuentran ocho Tipos Fluviales diferentes con el siguiente porcentaje de representación respecto al total de kilómetros de ríos existentes en la cuenca:

- 1) Ríos mineralizados de baja montaña mediterránea (20.5 %)
- 2) Ríos de montaña mediterránea silíceo (2.4 %)
- 3) Ríos de montaña mediterránea calcárea (31.1 %)
- 4) Ejes mediterráneos continentales poco mineralizados (6.4 %)

- 5) Ejes mediterráneos continentales mineralizados (1.0 %),
- 6) Grandes ejes en ambiente mediterráneo (4.3 %),
- 7) Ríos de montaña húmeda calcárea (25.8 %)
- 8) Ríos de alta montaña (8.6 %).

El río Ebro, en su tramo alto que es dónde se asienta la zona de estudio del presente trabajo, ha elaborado una red hidrográfica caracterizada por la sucesión de cañones inscritos en amplias plataformas, con paisajes kársticos dominantes, en un clima de transición atlántico-mediterráneo (González Pellejero, 1986; García Fernández, 1992). Se trata de un paisaje rural generado por un sistema tradicional caracterizado por una intervención antrópica capaz de inducir profundas modificaciones en la dinámica geomorfológica (kárstica, de laderas, fluvial). Una primera fase de elaboración de la red hidrográfica generará formas y depósitos sobre las parameras, adaptados a las estructuras, que las retocan con valles poco encajados, donde alternan morfologías aplanadas con valles en V. Pero el encajamiento del Ebro y sus afluentes es el responsable de los valles encajados, hoces y cañones que caracterizan el Alto Ebro. Cuando el río llega a Burgos, el Ebro se encaja en estas calizas parameras e inicia una sucesión de profundos cañones y estrechos valles, con bruscos cambios de dirección por razones estructurales: cañón del Ebro, valle de Zamanzas, Hoz de Colina, valle de Manzanedo, hoyo y hocino de Incinillas, valle de Valdivielso, desfiladero de la Horadada, valle de Tobalina y desfiladero de Sobrón. Los principales afluentes que recibe el Ebro son el Rudrón y el Oca por la derecha y Nela y Jerea por la izquierda. En la estación de aforo de Palazuelos el régimen del Ebro presenta máximo en febrero, caudales altos de diciembre a abril y estiaje marcado entre julio y septiembre. A la salida del estrecho de Sobrón el valle del Ebro se abre en la cuenca de Miranda, cubeta de sedimentos oligomiocenos integrada en el largo sinclinorio surpirenaico. Aquí tributan sus aguas los ríos Omecillo, Bayas y Zadorra por la izquierda y el Oroncillo por la derecha. En la estación de aforo de Miranda el caudal medio del Ebro es de 62,96 m<sup>3</sup>/s, lo cual supone un caudal específico de 11,5 l/s/km<sup>2</sup> (MARTÍN RANZ y GARCÍA RUIZ, 1984). Se aprecia un máximo invernal en enero, con aguas altas prolongándose hasta marzo y estiaje estival marcado.

Por lo que respecta a la vegetación, ésta juega un papel clave en la modificación de las dimensiones del cauce, particularmente en aquellos casos en que, con anterioridad a la construcción de una presa, los cauces se caracterizaban por una elevada anchura y un escaso calado. La reducción en la frecuencia de las avenidas facilita, por lo general, el crecimiento de la vegetación dentro del cauce, como se puede ver, por ejemplo, en trabajos como los de Sherrard & Erskine (1991) o Merritt & Cooper (2000). En otras ocasiones (Magdaleno & Fernández, 2011), se ha reconocido el incremento artificial de los caudales de estiaje como el fundamento del crecimiento y estabilización de la vegetación en el cauce. El papel de la vegetación en la evolución morfológica del cauce ha sido reconocido como un proceso activo. La vegetación riparia ha reaccionado de manera intensa a la alteración hidrogeomorfológica. La estructura espacial, originalmente de tipo mosaico, se ha convertido, a comienzos del siglo XXI, en una estructura lineal y próxima al eje del río en muchos de sus tramos.

Con carácter general, es necesario mencionar que las características de una cuenca condicionan ante todo la escorrentía, el caudal circulante por el tramo del sistema fluvial, es decir, el comportamiento hidrológico del sistema en un punto concreto. Esta escorrentía, tanto en su régimen normal como en sus casos extremos, crecidas y estiajes, es el elemento activo del sistema, la entrada de energía al mismo y el motor de la dinámica fluvial. Pero frente al elemento activo hay otros elementos de resistencia o filtro que van a condicionar la dinámica fluvial en el espacio considerado: la geomorfología del valle, su pendiente y nivel de base, las características de los sedimentos transportados por la corriente, la presencia o ausencia y caracteres de la vegetación en las riberas y las actuaciones humanas sobre el cauce y el espacio ribereño: infraestructuras de regulación o de defensa contra la inundación, defensas en las márgenes para evitar la socavación, encauzamientos, usos del suelo en la llanura de inundación, etc.

Por tanto, se puede asegurar que los procesos físicos son los responsables del mantenimiento de las características básicas de los sistemas fluviales y de su dinámica espacio-temporal, y son por ello básicos para la protección de la integridad ecológica de los ríos (Amoros & Petts, 1993; Petts, 2000).

#### 4.4. Inundaciones históricas.

En el ARPSI de estudio, se han recopilado dos eventos históricos, que por la falta de registro de datos, no es posible realizar con rigor ningún análisis. Del primer evento, se desconoce la fecha exacta y el segundo evento ocurrió el 14-01-2010, ambos sin calados registrados.

#### 4.5. Definición del tramo.

El tramo objeto del proyecto es el que discurre por el término municipal de Frías, perteneciente al ARPSI 02 Alto Ebro, y con una longitud de 3,519 km.

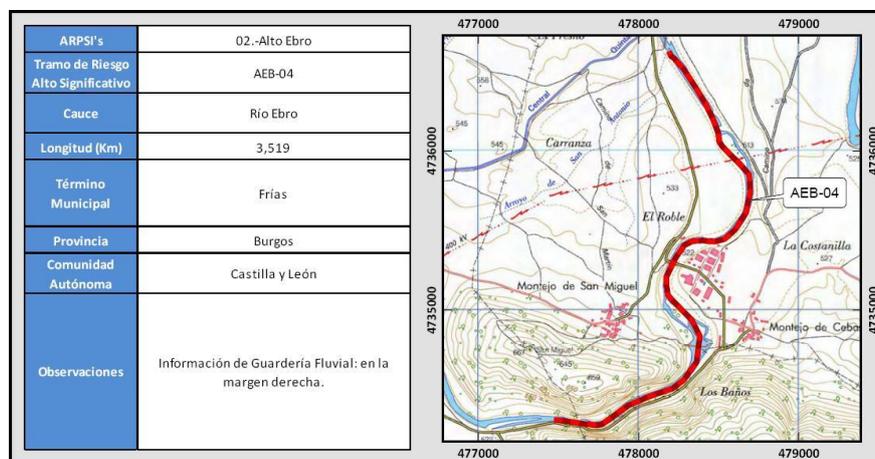


Figura 9. Ficha del ARPSI 02 Alto Ebro. Fuente: CHE.

## 5. Cálculo de los caudales de referencia.

### 5.1. Metodología.

Con el fin de no realizar estudios hidrológicos específicos para cada zona de estudio, y de este modo poder unificar criterios, los caudales de cálculo a emplear en la delimitación de las zonas inundables, deben basarse en los datos dados por el mapa de caudales máximos, Caumax (CEDEX, 2009) realizados para la Dirección General del Agua del MAGRAMA. Estos mapas, se han realizado en régimen natural por lo que habrá que realizar un análisis previo para decidir si es necesario completarlo con un estudio hidrológico complementario que recoja la alteración, hidrograma, ajustar cuantiles..., dependiendo de las necesidades de la zona.

Consiste en la realización de un mapa de caudales máximos de avenida para la red fluvial de la España peninsular, dando cumplimiento al mandato legal establecido en el artículo 28.2 de la Ley 10/2001 de 5 de julio además de un servicio de enorme utilidad para la gestión del Dominio Público Hidráulico.

A través de un estudio piloto en la cuenca del Tajo se ha establecido la metodología usada, que parte de la selección de estaciones de aforos y embalses con suficiente información que permita estimar de forma fiable los cuantiles. Sobre las series de caudales máximos, se han aplicado diversas técnicas estadísticas que verifiquen la calidad de la información.

- A las series de datos seleccionadas, se les ha ajustado una función de distribución que, salvo en algunas excepciones, ha sido mediante la función de valores extremos generalizada (GEV) ajustada mediante L-momentos para determinar su ley de frecuencias para 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años.
- Para la determinación del coeficiente de sesgo, se han delimitado las regiones con un comportamiento homogéneo en el ámbito de estudio.
- Incorporación de información histórica sobre valores de caudales en el rango de probabilidad no cubierto por las series, mejorando significativamente la estimación de los cuantiles de alto periodo de retorno.

Para poder realizar una red continua de datos, se han extrapolado los resultados a los puntos no aforados, esto se ha realizado por un lado mediante el método racional modificado (Témez, 1991). Este modelo ha sido calibrado desde un punto de vista estadístico para comprobar su fiabilidad en los puntos aforados, admitiendo así que para los no aforados reproduce resultados correctos. Este modelo se ha aplicado para zonas que tengan una cuenca vertiente menor de 500km<sup>2</sup>, para cuencas vertientes mayores, se han utilizado modelos estadísticos que mediante distintas ecuaciones de regresión múltiple para cada región, se basan en relacionar los cuantiles calculados a partir de las series, con determinadas características fisiográficas y climáticas de las cuencas, como por ejemplo área, altitud,...

Obtenidos estos cálculos y como etapa final, se aplica mediante un SIG, el modelo hidrometeorológico y el modelo estadístico de tal forma que se disponga en cada una de las demarcaciones hidrográficas con cuencas intercomunitarias, de seis capas asociadas cada una a un periodo de retorno distinto (2, 5, 10, 25, 100 y 500) en formato raster con resolución de 500x500m.

De esta manera se obtiene una herramienta mediante la cual se puede realizar de forma sencilla la consulta de los mapas de caudales máximos para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100, 500 años, además del caudal máximo de cualquier otro periodo de retorno entre 2 y 500 años, y estimaciones de los caudales máximos en los puntos de la red fluvial no incluidos en los mapas (cuencas menores de 50Km<sup>2</sup>).

## 5.2. Régimen de caudales.

Como se ha citado en la metodología CAUMAX, los caudales calculados en el programa CAUMAX 2.0, se obtienen en régimen natural, por tanto es necesario comprobar si en la cuenca vertiente del cierre de nuestro ARPSI tenemos alguna infraestructura (azudes, presas, etc.) que puedan alterar el régimen natural de caudales. Según la Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables (MAGRAMA, 2011) *“la alteración del registro de caudales y volúmenes máximos anuales no es significativa si el porcentaje de cuenca controlada por los embalses es menor del 10 %”*. De tal forma, debe evaluarse la repercusión en la cuenca vertiente al ARPSI de estudio del embalse del Ebro, que se encuentra al comienzo del río, ya que se trata de un gran embalse que lamina las avenidas en la cuenca vertiente al mismo. Sin embargo su cuenca vertiente representa tan solo el 9,7 % del total de la cuenca vertiente al cierre de nuestro tamo de río, por lo que no altera el régimen natural. De igual manera, *“podrá consideras despreciables aquellas presas cuyo volumen útil de embalse sea muy reducido en comparación con el volumen de avenidas en el punto de estudio”* (MAGRAMA, 2011). Este es el caso de las presas de Cillaperlata y Cereceda, cuyos embalses hidroeléctricos se encuentran arriba de la cuenca de estudio pero que son muy pequeños y cuya laminación despreciamos por no ser representativas.

Por tanto los regímenes de caudales asociados a los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años, y el caudal de máxima crecida ordinaria obtenidos a partir del mapa de caudales máximos son los utilizados en el desarrollo del presente proyecto

## 5.3. Resultados: Caudales asociados a periodos de retorno de 10, 100 y 500 años y máxima crecida ordinaria.

La cartografía que se va a elaborar, según lo establecido en el *Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación*, contemplará al menos los escenarios de alta probabilidad de inundación (período de retorno de 10 años), probabilidad media de inundación (período de retorno de 100 años), y baja probabilidad de inundación o extrema (período de retorno de 500 años). Además, los mapas de

peligrosidad deben contener la delimitación del dominio público hidráulico, calculado a partir del caudal de la máxima crecida ordinaria, las zonas de servidumbre y policía, y la zona de flujo preferente.

Los caudales asociados a los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años, y el de la máxima crecida ordinaria (M.C.O) del ARPSI objeto de estudio se estimaron a partir del mapa de caudales máximos (CauMax). Los resultados obtenidos quedan reflejados en la siguiente tabla:

T (años)	Q (m <sup>3</sup> /s)
M.C.O	701
10	1090
100	1700
500	2119

Tabla 1. Caudales asociados a los diferentes periodos de retorno analizados. Fuente: Elaboración propia.

## 6. Cartografía existente para la determinación de los mapas de peligrosidad.

Disponer de información cartográfica del tramo de estudio, lo más actual posible y de calidad suficiente es esencial para la posterior elaboración de los mapas de peligrosidad y riesgo, así como para la zonificación legal. Los siguientes elementos se muestran básicos como información de partida:

- El modelo digital de terreno (MDT) de la cuenca y del tramo fluvial a estudiar con la mejor resolución posible.
- Ortofoto actual de la zona de estudio a la mejor resolución posible.
- Fotos aéreas del vuelo americano de 1956-57 georreferenciadas.

### 6.1. Principios teóricos de la tecnología LIDAR e información disponible para el estudio.

Para la realización de los estudios geomorfológicos e hidráulicos es necesario disponer de una cartografía de mucha precisión y que represente fielmente la realidad del terreno en un MDT generado a partir de la tecnología LIDAR (Light Detection And Ranging), capaz de generar MDT de mayor precisión.

El LIDAR es un sistema activo (que significa que contiene un emisor de impulsos y un receptor) de detección remota basada en un sensor láser, acoplado a un avión desde el cual se produce la emisión de un pulso. Al tiempo que tarda en llegar este pulso al suelo y la demora en volver tras rebotar en los elementos del terreno, se le asigna una cota, de forma que la cota será menor cuanto más tiempo tarde en devolver el terreno la señal y viceversa. Además dependiendo de la respuesta del objeto que recibe el pulso, se puede interpretar que elemento del terreno se tiene.

El sistema instalado en el avión no trabaja solamente en la vertical del mismo sino que también se realizan medidas transversalmente a la dirección de avance, con un cierto ángulo respecto a la vertical, realizando el avión sobre el terreno múltiples pasadas entre sí.

El registro del primer pulso permite describir la superficie de los objetos, mientras que el registro del último eco se usa para conocer la superficie del suelo. La capacidad multiretorno se utiliza para detectar vegetación y su altura.

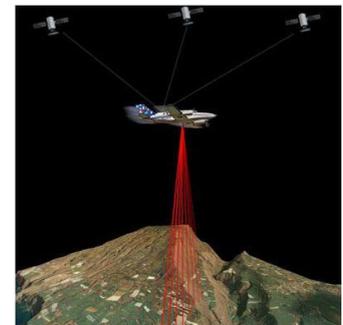


Figura 10. Representación de un vuelo LIDAR sobre el terreno. Fuente: CARTOGRAFICA DE CANARIAS, S.A. (GRAFSCAN).

El resultado final, que deberá tratarse posteriormente, es una nube de puntos que refleja el terreno y los elementos existentes en él:

- Terreno base
- Vegetación
- Edificios

La resolución del vuelo LIDAR se caracteriza por el número de puntos medio por metro cuadrado del que se dispone de información. La densidad puede variar de 50 puntos por metro cuadrado en vuelos en helicóptero, hasta 0,33 de vuelos en avión a alta distancia. Una precisión excesiva repercute en el precio del vuelo haciéndolo demasiado caro mientras que la poca precisión puede arruinar el trabajo (baja calidad)

Para poder referenciar correctamente el punto que se ha medido en el terreno, se utiliza la combinación de dos técnicas diferentes:

- **INS (Sistema de Navegación Inercial):** permite medir la orientación exacta del sensor. Este sistema mide los diferentes ángulos en los que se toman los datos con una precisión de 0,001 grados. Esto, además, permite compensar los movimientos bruscos que sufre el sensor a bordo del avión, pudiendo calcular en cada momento las coordenadas exactas del punto que se está midiendo en el terreno.
- **GPS diferencial:** permite medir la posición exacta del sensor (su ubicación en el espacio, es decir sus coordenadas en el momento de efectuar cada medición).

De esta forma se obtienen las alturas del terreno con un error de +/- 15 cm en altura. Si el sensor trabaja con una frecuencia de hasta 150 kHz, el proceso de medida descrito anteriormente se repite 150.000 veces por segundo, lo que permite obtener modelos de alta precisión, con una resolución espacial de 1 metro por pixel.

Una vez obtenidos dichos puntos comienza el procesado de datos que se basa en la aplicación de diferentes tipos de algoritmos sobre los datos obtenidos en los vuelos. Los algoritmos pueden llegar a modificar el dato original para lograr este objetivo, o interpolar los puntos sin datos originales. De esta manera, aun partiendo de los mismos datos LIDAR, se puede obtener diferentes resultados según el procesado de los mismos.

Los nuevos métodos de interpolación trabajan partiendo de la información espacial de la forma de las curvas de nivel e interpolando a partir de ella, sin una estructura predefinida, así, se posibilita reconstruir las vaguadas sin errores, con lo que se obtienen modelos hidrológicamente correctos.

Así, se reconstruye la superficie del terreno de una manera suave, sin la aparición de plataformas, oscilaciones, cambios bruscos de pendiente indeseados y demás artefactos producidos por otros métodos de interpolación. Eso se aprecia cuando tenemos grandes zonas sin dato y que hay que interpolar, por ejemplo en cuerpos de agua, o al eliminar los edificios del MDS. Por último se procede a la verificación visual comparando el MDT/MDS con ortofotografías de precisión. El objetivo es comprobar que el producto final se corresponde con la realidad observada. Así obtendríamos los productos iniciales y finales:

- **MDS:** a partir de la nube de puntos original, se obtiene el MDS que almacenará la altura máxima medida para cada unidad de superficie.
- **MDI:** a partir de la nube de puntos original, se obtiene el MDI que almacenará los valores de la intensidad medida por el LIDAR para cada uno de los pulsos emitidos. Esta imagen de intensidades puede dar información de diferentes tipos de superficies.

Estos productos iniciales deberán ser tratados para obtener aquéllos que se emplearán en los estudios

- **Eliminación de puentes:** El pulso del LIDAR, al rebotar sobre el tablero de puentes, da como resultado que la cota del MDS en el punto sea la cota superior del tablero del puente y no la del cauce (imagen 11a), por lo que será necesario restituir las cotas del cauce para que las modelizaciones posteriores sean correctas:
- **Corrección de zonas con agua:** En ocasiones debido a la presencia de agua o vegetación en el cauce del río el modelo digital del terreno generado con tecnología LIDAR presenta algunos errores en el cauce del río que cortan el camino del agua y dan problemas a la hora de realizar un estudio hidráulico. En lugar de mantener en el MDT la altura del agua, será necesario disponer de perfiles batimétricos de los ríos, de forma que en las zonas de agua sean las medidas de campo las que se fijen como cota del terreno en los perfiles y los datos LIDAR se utilicen para obtener la anchura del cauce. De esta forma se integran dentro del mismo MDT los datos LIDAR con perfiles batimétricos en campo, para obtener un único modelo con la aproximación más realista posible del terreno.
- **Vectorización de edificios:** A partir del LIDAR y con el apoyo necesario de las ortofotos disponibles, será necesario realizar una sectorización manual de los edificios (imagen 11b) presentes en la zona de estudio, de forma que se pueda obtener un MDT eliminando la vegetación (presente en imagen 11c) y demás objetos, manteniendo la altura de los edificios. Los edificios influyen en las líneas de flujo de la modelización, por lo que cualquier simulación en régimen real debe considerarlos de forma adecuada.

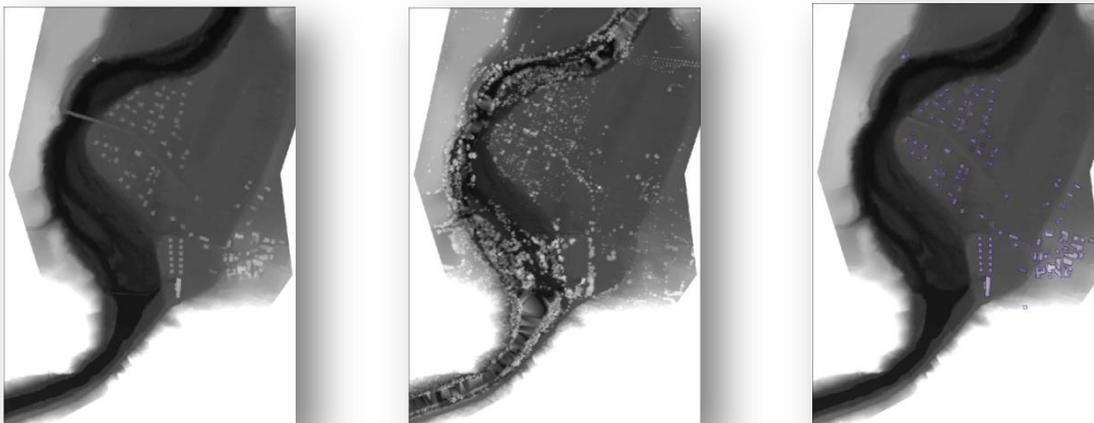


Imagen 11a. MDS con puente y azud. Imagen 11b. MDS con vegetación. Imagen 11c. MDS con edificios

- **Productos finales: MDTactual y MDTnatural:** Por último después de las citadas correcciones se obtiene como producto final dos MDT, uno al que pasaremos a llamar MDTactual que corresponde a las citadas correcciones y que presenta la morfología del terreno real, que actualmente presenta el terreno estudiado, y será utilizado para la modelización en el programa Iber para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años. El segundo MDT que se utiliza es el denominado MDTnatural y que será utilizado para modelizar la máxima crecida ordinaria en régimen natural, sin los elementos introducidos en el terreno por el hombre que permitirá delimitar (no contiene las cotas relativas al puente, al azud ni a los edificios). También se utiliza para la modelización en HecRas ya que este programa deben introducirse los elementos antrópicos a posteriori.

Como podemos decir que el LIDAR presenta ventajas muy claras en lo que a determinación de zonas inundables se refiere. Demuestra mayor precisión en la determinación de las cotas y homogeneidad de los resultados. En cuanto a los estudios de modelización hidráulica demuestran facilidad de manejo para la obtención de datos y reducción considerable del trabajo de delineación posterior al cálculo hidráulico. Por último suponen un menor coste.

Pero la tecnología LIDAR también presenta desventajas como son la necesidad de realización de batimetrías en aquellos casos en que los cauces lleven agua, falta de información asociada (toponimia, etc...); la dificultad de cartografiar superficies cubiertas de vegetación muy densa, lo que puede dar lugar a errores en MDTs finales; o los fallos de precisión en la delineación de líneas, límites o aristas visibles en imágenes fotográficas (motas, orillas, etc.).

## 6.2. Información de ortofotos disponibles.

El IGN elabora de forma periódica las Ortofotos de todo el territorio nacional en el Sistema Geodésico de Referencia ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla y utiliza el REGCAN95 para las Islas Canarias. Existen tres tipos de información en función de las escalas de vuelo y de la cartografía obtenida: PNOA 50, 25 y 10. Para este estudio se ha utilizado el PNOA 25, cuyas especificaciones técnicas son las siguientes.

Características	Tamaño de pixel proyectado sobre el terreno GSD (cm)		Precisión planimétrica (X,Y) Error cuadrático medio(m)	Precisión altimétrica (X,Y) Error cuadrático medio (m)	Paso de malla	Escala adecuada para restituir
	Vuelo	Ortofoto				
PNOA 25 cm	22	25	≤0,5	≤1,00	5x5	1:5.000

Tabla 2. Características técnicas de la ortofoto empleada para el estudio. Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención de las ortofotos se sigue el siguiente proceso:

1. Vuelo fotogramétrico equivalente a una escala de vuelo 1:15.000 (PNOA 25) y 1:30.000 (PNOA 50), con una cámara digital de alta resolución y un vuelo LIDAR. Con periodicidad bianual se realiza una actualización de las ortofotos del territorio de forma alterna, PNOA 25-PNOA 50.
2. Toma de datos GPS y sistema inercial IMU/INS en vuelo, para el procesado de la trayectoria del avión.
3. Aerotriangulación digital por métodos automáticos.
4. Generación del modelo digital de elevaciones (MDE).
5. Ortoproyección a partir del modelo digital de elevaciones depurado y edtiado.

Para el estudio llevado a cabo se han descargado desde la página web del Instituto Geográfico Nacional (IGN) las ortofotos de la zona de estudio (hoja 136, Oña, según la unidad de distribución y descarga del MTN50) del PNOA máxima actualidad y de máxima resolución, como se recomienda para los estudios de estas características “por su homogeneidad en todo el territorio nacional y por la calidad y fiabilidad” (*Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, MAGRAMA, 2011*).

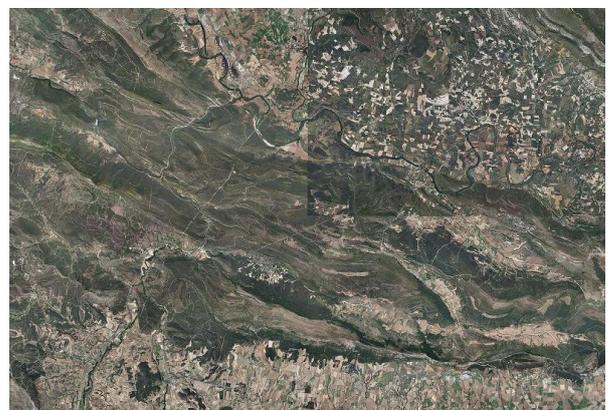


Figura 12. PNOA máxima actualidad de la hoja 136 correspondiente a la distribución MTN50. Fuente: IGN.

### 6.3. Información de fotos aéreas antiguas disponibles.

El estudio del vuelo del 56, conocido como vuelo americano, es esencial para el análisis de la evolución histórica del cauce. Permite su estudio y el de las evidencias geomorfológicas de crecidas en un régimen más natural que el presente, y la comparación con el estado actual.

La información de base del vuelo americano corresponde a la fotografía aérea original en papel (escala aproximada 1:33.000), a la que se somete a un proceso de ortorrectificación para conseguir una imagen planimétricamente correcta que pueda ser utilizada en un SIG junto con el resto de datos geográficos. El error estimado puede ser entre 5-10 metros debido a que en el proceso de generación de ortofotos a partir del vuelo americano se arrastran muchos errores:

- Se tienen que estimar los parámetros de orientación interna (desconocida) de los fotogramas.
- Si la escala es 1:33.000, el GSD, es decir, el tamaño de pixel proyectado sobre el terreno será 66 cm, con la consecuente pérdida de precisión en la digitalización.
- Se utilizan puntos de apoyo de otros vuelos actuales.
- Se utiliza un modelo digital del terreno actual.

Los pasos concretos de ortorrectificación serían los siguientes:

1. Escaneado completo de las fotos en papel de las zonas seleccionadas y recorte del borde.
  2. Creación de un registro con la información más relevante de cada fotograma, que pueda ser útil en el proceso de ortorrectificación
  3. Proceso de ortorrectificación: ya que la simple georreferenciación con puntos de referencia puede dar lugar a errores al no tener en cuenta la curvatura terrestre se siguen los siguientes pasos:
    - a. Datos de base:
      - Modelo de relieve. Para no realizar una simple georreferenciación, sino una ortorreferenciación es necesario contar con un modelo de elevaciones. Para ello se puede usar un MDT existente.
      - Parámetros de base de la cámara: coordenadas del punto central de la foto, distancia relativa al punto central de las marcas fiduciales y distancia focal.
      - Modelo de proyección: coordenadas UTM, datum ETRS89.
    - b. Introducción de puntos de referencia:
      - Elementos geográficos que pueden ser localizados en la fotografía aérea del 56 y en la ortofoto actual o en la cartografía vectorial como mínimo es necesario utilizar 3 puntos de referencia por cada fotograma, siendo recomendable el empleo de entre 6 y 8 puntos.
- Remuestreo de la imagen que genera una nueva imagen ortorrectificada.



Figura 13. Foto correspondiente al vuelo americano de 1956/57 sobre la zona de estudio. Fuente: IGN.

## 7. Análisis geomorfológico e histórico del tramo.

### 7.1. Metodología.

A la hora de realizar la delimitación del Dominio Público Hidráulico probable (DPHP), las Zonas de Flujo Preferente (ZFP) y en la zonificación de la inundabilidad han de tenerse en cuenta inundaciones y evidencias constatables mediante referentes históricos, así mismo, el análisis histórico se plantea en dos grandes apartados: análisis histórico y análisis actual, ambos mediante el análisis de ortofotografías.

### 7.2. Estudio evolutivo del medio fluvial.

El objetivo de este estudio es analizar las fotos aéreas del vuelo americano realizado en los años 1956/57 de la zona de estudio, delimitando el cauce histórico del río Ebro a su paso por Frías y Montejo de Cebas, así como aquellas zonas que puedan identificarse como más inundables y valorar su repercusión en la delimitación del DPH, ZFP e inundabilidad.



Figura 14. Fotografías aéreas utilizadas. A: Foto actual 2009. B: Foto vuelo americano 1956/57.  
Fuente: IGN.

La reconstrucción de series históricas de inundaciones, como se citó anteriormente en el apartado 4.4. Inundaciones históricas, la falta de datos recogidos en las avenidas históricas no hace posible este análisis.

Para la delimitación del DPH es esencial definir el cauce histórico, ya que “es necesario otorgar al río el territorio que fue suyo en su día (criterio evolutivo), para mantener su dinámica sin causar daños o perjuicios a los propietarios ribereños (sostenibilidad), tener libertad para su desplazamiento lateral y desbordamiento (criterio dinámico) y restablecer la conectividad entre los hábitat del cauce y los de las riberas y márgenes (criterio ambiental), al objeto de conseguir una morfología estable y en equilibrio con el régimen de caudales” (Guía metodológica para la elaboración de proyectos de restauración de ríos (González de Tánago y García de Jalón, 2007).

Los sistemas fluviales pueden mantener su posición durante décadas o bien sufrir variaciones en planta o en perfil. La evolución reciente de muchos ríos españoles comparte, en líneas generales, la del resto de países europeos, representada por una tendencia dominante hacia el estrechamiento y encajamiento del canal, especialmente manifiesta en ríos trenzados o braided. La comunidad científica ha investigado ampliamente este tipo de evoluciones, atribuyendo a las actividades humanas gran parte de la responsabilidad, no sólo a las ejecutadas directamente sobre el medio fluvial, como embalses, canalizaciones y ocupación de las llanuras aluviales, sino también a lo largo de su cuenca hidrográfica, en relación con cambios en los usos del suelo.

En un primer análisis hidrológico-agroforestal se puede observar la proliferación de la cobertura vegetal. En el vuelo de 1956 no existía bosque de ribera, apenas algunos pies en el tramo correspondiente al cañón. Sin embargo en la foto actual podemos observar como el bosque ha cubierto totalmente la ribera del río en ambas márgenes, siendo, posiblemente, la principal causa del cambio la ubicación de presas, sobre todo la presa del Ebro, en la parte superior de la cuenca (figura 14 a y b). Esto se debe a que la suelta de agua por parte de las presas en los meses de estiaje provoca que el río lleve agua en una época del año dónde debería haber estrés hídrico, favoreciendo el crecimiento de la vegetación de ribera. Además posiblemente en los años 1956 se producían talas de árboles como leña, actividad que en la actualidad no se realiza. Por último cabe reseñar que la proliferación de la vegetación puede verse acuciada por la pérdida de la magnitud en la avenida por los usos intensivos en la agricultura. En la misma línea, pueden observarse una serie de islas formadas dentro del cauce del río. En la foto actual se puede ver como la isla ha sido totalmente cubierta por vegetación, mientras que en la foto del vuelo americano se encuentra despejada.

Tanto en la figura 15 a y b como en las siguientes fotos se puede observar como indica el círculo amarillo, como las playas fluviales han sido cubiertas por vegetación.



Figura 15 a y b. Playas fluviales ocupadas por la vegetación. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente al año 1956 la zona inundable ha sido ocupada por una nueva urbanización del municipio de Montejo de Cebas, como muestran las figuras 16 a y 16 b.



Figuras 16 a y b. Playas aluviales (1956/57) cubiertas por vegetación (foto actual) y nueva urbanización en Montejo de Cebas. Fuente: Elaboración propia.

Por último, comparando la zona de flujo preferente (ZFP) estimada en la fotografía de 1956 con la actual se observa que en la parte final del ARPSI tras la roturación del suelo para destino agrícola se ha ganado terreno al monte, de forma que es previsible que la superficie de la inundación aumente.



Figura 17 a y b. Zona de flujo preferente. Fuente: elaboración propia.

Es de destacar que la morfología del río no apenas ha cambiado desde el año 1956 lo cual refuerza la idea de que los embalses aguas arriba no han cambiado la dinámica fluvial del Ebro en la zona de estudio, quizá favorecido por la orografía de la zona, ya que la entrada del ARPSI 02 AEB el río se encuentra encañonado. El cauce mantiene su anchura original y los meandros no se han modificado, siendo el único cambio reseñable el citado del aumento ostensible de la vegetación en ambas márgenes, y la ocupación por la urbanización en la margen derecha.

### 7.3. Análisis geomorfológico.

El análisis geomorfológico pretende estudiar la relación existente entre las evidencias topográficas y efímeras generadas por la circulación de las aguas sobre los terrenos inundables, tanto en el cauce como en la llanura aluvial, con el tránsito de avenidas de forma recurrente y de alta intensidad, eventos recientes con velocidades y calados capaces de transportar y depositar sedimentos estableciéndose una alta correlación entre estos fenómenos y la inundabilidad. Las evidencias efímeras tienden a desaparecer o camuflarse en el corto plazo, por el contrario, las topográficas alteran sustancialmente la morfología y la topografía del terreno perdurando en la superficie de las zonas inundables durante décadas que corresponden con la intervención de procesos erosivos y sedimentarios. Los dos tipos de evidencias, por tanto, indican la inundabilidad de los terrenos, pero la gran diferencia para proceder a su estudio estriba en que las efímeras sólo se observan durante un corto período de tiempo entre días y uno o dos años, por

lo cual es necesaria la realización de trabajos de campo. Respecto a las evidencias topográficas, pueden reconocerse de forma relativamente sencilla mediante el LIDAR apoyándose también en trabajos de campo.

En muchos casos, son terrenos a los que las avenidas recurren para amortiguar su energía y la carga sólida transportada, señalando su potencial pertenencia al cauce o la Zona de Flujo Preferente en, al menos, condiciones naturales. Además, en función de las características observadas, pueden poner de manifiesto el carácter inundable ante condiciones alteradas, pueden poner de manifiesto el carácter inundable ante condiciones alteradas e incluso en otras zonas inundables próximas pero carentes de este tipo de evidencias, mediante extrapolación de la información.

Teniendo en cuenta estas premisas, el análisis geomorfológico permite identificar situaciones que tendrán una repercusión directa en algunos de los elementos de la cartografía de zonas inundables. El objetivo es definir las unidades teniendo en cuenta estas evidencias constatadas de inundabilidad reciente, cabiendo esperar una alta correspondencia con los resultados de la modelación hidráulica, que será mostrado en los apartados siguientes del proyecto.

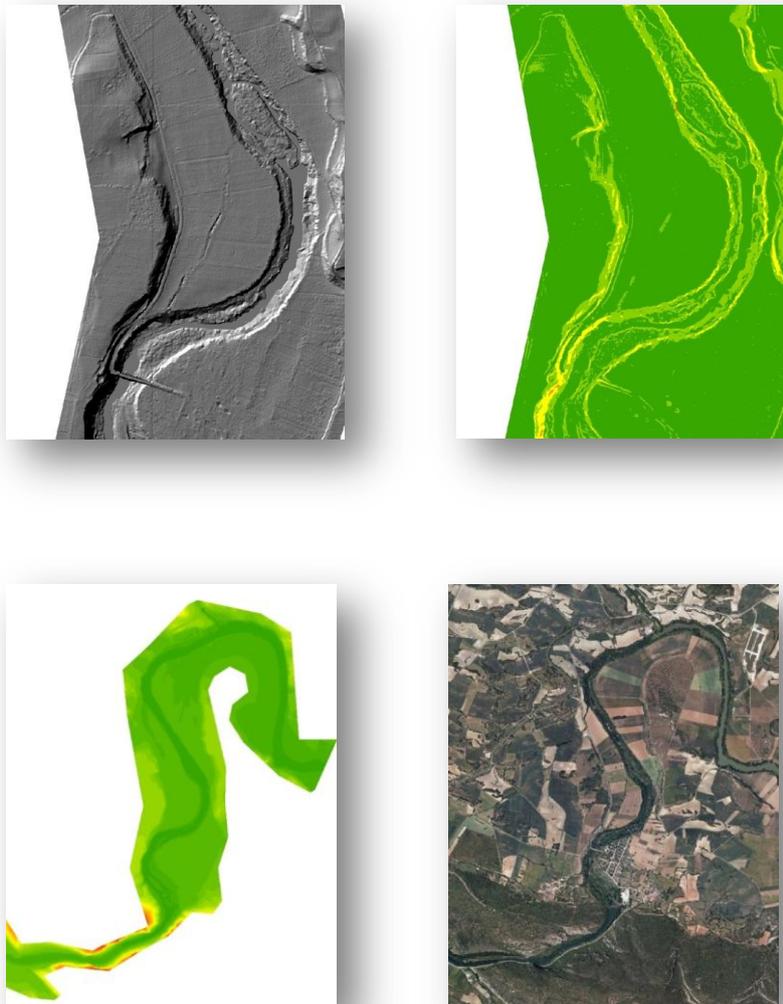
Para obtener los mapas finales que se presentan en las conclusiones del apartado de análisis de geomorfológico e histórico se plantearon las siguientes etapas:

- Observaciones geomorfológicas en el cauce dirigidas a definir los límites del DPHP.
- Observaciones sobre las márgenes con el fin, por un lado, de separar unidades inundables ubicadas a diferente altura con respecto al cauce y, en consecuencia, con diferente inundabilidad y, por otro, determinar la presencia o ausencia de formas erosivas o sedimentarias generadas por inundaciones previas y recientes. Estos aspectos están dirigidos al análisis de la ZFP y a la definición de unidades con diferente inundabilidad.
- Combinación de las observaciones geomorfológicas en el cauce y márgenes con los análisis históricos al objeto de precisar no solo la inundabilidad en las zonas con más datos sino identificar unidades próximas con similares características y, en consecuencia, con similar probabilidad de inundación. Estos aspectos están dirigidos al análisis de la inundabilidad.

La delimitación del DPHP geomorfológico se basa en la combinación del cauce histórico con el actual. Durante el análisis del cauce histórico en el apartado anterior, ya se han identificado los terrenos más susceptibles de formar parte del DPHP. No obstante, la evolución del cauce en las últimas décadas puede caracterizarse por una ausencia de cambios significativos, por una variabilidad en la morfología y posición del cauce, por una variación en la vegetación de ribera, generalmente una aumento en porte y densidad, como sucede en el tramo de estudio, o incluso por la ocupación antrópica de estas unidades. En el análisis

geomorfológico-histórico, así como en el SNCZI, se pretende que los terrenos que formaron parte del cauce histórico tengan representación en el DPHP, independientemente de la tendencia evolutiva o de las causas de los posibles cambios.

Para la delimitación, a priori, del DPHP se van a utilizar las ventajas que otorga el LIDAR y los productos derivados que de éste se obtengan. Una primera aproximación se realizará con el mapa de pendientes obtenido del LIDAR (figura 18b). Posteriormente será analizado el mapa de pendientes junto con información complementaria, como el modelo digital de elevaciones, la ortofoto u otras topografías de alto detalle. Se trabajará sobre el modelo hillshade (figura 18a), donde se ubicará el cauce actual y en función de las características observadas se determinará la potencialidad de que los terrenos que pertenecieron al cauce histórico formen parte del DPH.



**Figura 18:** a. Hillshade. b. LIDAR. c. Modelo Digital de Elevaciones. d. Ortofoto de la zona. Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenidos los resultados del análisis anterior es necesaria una comparación con estimaciones de inundabilidad observando además los mapas geológicos de la zona. Para ello, se ha hecho uso de El Mapa Geológico de España (1971-2004) de la Serie MAGNA, que cubre el territorio nacional a escala 1:50.000 (figura 19).

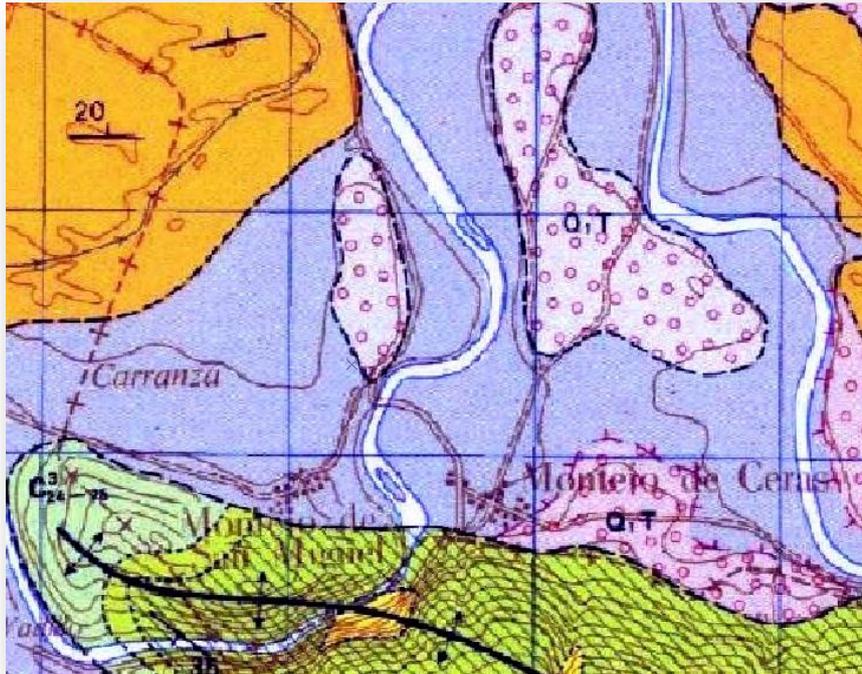


Figura 19. Mapa geológico de la zona. Fuente: Mapa geológico de España.

El pueblo de Montejo de Cebas se asienta actualmente sobre material aluvial en su mayoría, sobre todo después de la construcción de las nuevas urbanizaciones. Parte del pueblo se encuentra en material catalogado como terraza. Este hecho se correlaciona íntimamente con los análisis realizados anteriormente con el estudio de la ortofoto y el LIDAR, aunque en este último no se llega a apreciar la gran extensión de los materiales aluviales pertenecientes al río.

En cuanto al comienzo del Arpsi el material sobre el que se asienta es Calizas y calcarenitas con Lacazina y Dolomías, areniscas rojas, arcillas, margas caliza de Hippurites, Lacazinas. También esto se corresponde con los cañones que se observan utilizando los modelos derivados del LIDAR.

## 7.4. Conclusiones. Análisis geomorfológico-histórico.

Tras llevar a cabo los dos apartados anteriores se unifica la información obtenida, representándose gráficamente en el mapa geomorfológico, recogido en el anexo I. En el análisis geomorfológico-histórico se han obtenido los siguientes puntos.

Zona de flujo preferente: la zona de flujo preferente se delimitará con el objeto de preservar la estructura y funcionamiento del sistema fluvial, dotando al cauce de espacio adicional suficiente para permitir tanto su movilidad natural como la laminación de caudales y carga sólida transportada, favoreciendo la amortiguación de las avenidas. En la cartografía se muestran unificadas las ZFP de ambas fotografías, tomando como límite el más externo de los dos periodos analizados.

Para la delimitación de la DPHP se tiene en cuenta el estudio de fotografías aéreas históricas, las evidencias geomorfológicas y la vegetación de ribera. Para el estudio de la foto aérea del 1956/57 se asigna tras el análisis del mismo el canal de aguas bajas y la franja de ribera potencialmente conectada. Para completar la delimitación se compara con la fotografía de máxima actualidad del PNOA, que coincide en nuestra zona con la de máxima resolución, seleccionando como cauce histórico definitivo aquel delimitado por las orillas más externas siguiendo el criterio descrito para la obtención de la ZFP.

Por último se diferencian dos escenarios para el DPHP, dividiéndolo en DPHPa y el DPHPb. El DPHPa se define como la mínima superficie que debe estar reflejada en el DPHP definitivo sin tener en cuenta otros análisis. Por tanto el DPHPb, forma parte también del DPHP, pero dependiendo de resultados obtenidos en otros análisis pueden ser variables y debe analizarse.

## 8. Análisis hidráulico de los tramos.

### 8.1. Introducción.

Una vez realizado el análisis geomorfológico, se realizará el modelado y análisis hidráulico en los periodos de retorno establecidos (10, 100 y 500 años) para concretar las áreas de inundabilidad asociadas a cada periodo, así como su calado, velocidad del agua, etc. Para la realización del análisis hidráulico se ha decidido utilizar dos programas de simulación, uno unidimensional (HEC-RAS) y otro bidimensional (Iber 1.7), con el fin de realizar un estudio más completo y poder de esta forma comparar ambos modelos y utilizar el más preciso a la hora de dibujar la lámina de agua correspondiente a las avenidas de los periodos de retorno que se van a estudiar.

El estudio hidráulico se ha realizado a partir del MDT de precisión de un metro; los caudales de referencia se han obtenido a partir de Caumax; los coeficientes de pérdida de carga a partir de la capa de usos del suelo del SIOSE y los valores de coeficiente de Manning son los indicados en la *Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables del MAGRAMA* (2011). El área de estudio queda delimitada por el ARPSI 002 Alto Ebro a su paso por Frías, de 3.52 Km de longitud, mas la longitud de acomodamiento de un Km, longitud añadida para de este modo hacer que las zonas de cálculo donde se pueden sufrir los mayores desajustes en los cálculos, sean zonas fuera del área de estudio.

A partir de estos datos, se ha utilizado un modelo unidimensional (Hec-RAS) y otro bidimensional (IBER 1.7) Ambos tipos de modelos, presentan una serie de ventajas e inconvenientes, siendo las principales diferencias y similitudes:

SIMILITUDES	Empleo de ecuaciones de Saint Venant 2D o 2D Shallow Water Equations para régimen variable	
	Método de cálculo numérico basado en métodos finitos (elementos, diferencias, volúmenes) DISCRETIZAR	
	Necesidad de condiciones de contorno e iniciales	
DIFERENCIAS	<b>MODELOS UNIDIMENSIONALES</b>	<b>MODELOS BIDIMENSIONALES</b>
	Flujo considerado en 1 dimensión --> Sin flujos laterales	Flujo considerado en 2 dimensiones --> Flujos laterales
	Velocidad transversal nula	Velocidad en 2D; constante en eje Z
	Discretización --> PERFILES TRANSVERSALES	Discretización --> MALLA DE CÁLCULO
	Calado constante en todo el perfil	Calado variable para cada celda
	Interpolación de resultados entre perfiles	Obtención directa de resultados
	Tiempo de cálculo: de segundos a minutos	Tiempo de cálculo: de minutos a días
	Onda difusiva	Onda dinámica

Figura 20. Comparación de software de modelación unidimensional y bidimensional. Fuente: EOI.

La principal desventaja del modelo bidimensional es el tiempo de proceso que necesita, que es muy superior al necesario por el modelo unidimensional, sin embargo este a su vez presenta la desventaja de no incorporar en los cálculos la componente transversal, por otro lado, los cálculos los realiza entre perfiles, perdiendo precisión que el modelo bidimensional tiene gracias a que realiza sus cálculos sobre una malla que se adapta al terreno de forma más precisa. Además de estas dos grandes desventajas, el análisis de resultados resulta más complejo que en el modelo bidimensional.

## 8.2. Modelos hidráulicos utilizados.

### 8.2.1. Hec - Ras 4.1.0.

El software Hec-Ras, (River Analysis System) calcula el perfil de la lámina de agua en cauces para un caudal circulante determinado. Las características básicas del programa son:

- Los contornos son rígidos no admitiéndose erosión o sedimentación en el cauce.
- Flujo unidimensional.
- Movimiento del agua: Estacionario y No estacionario.
- Flujo en régimen lento, rápido y mixto.
- Permite modelar redes de ríos.
- Permite contemplar los efectos de puentes, azudes,....

El software requiere unos datos básicos para realizar la simulación:

- Descripción geométrica del cauce.
- Coeficientes de pérdidas de energía en el cauce (coeficientes de Manning, coeficientes de contracción y expansión, pérdidas locales en puentes, azudes,...).
- Caudal circulante por el río.
- Condiciones iniciales o de contorno.
- Régimen del flujo: Lento, rápido, mixto.
- Resultado: Cota de la lámina de agua en cada sección transversal.

Ya se dispone de los caudales que se van a utilizar en la simulación y en este apartado se van a fijar las características geométricas, los coeficientes de pérdidas de energía y las condiciones de contorno.

La geometría consiste en la definición de secciones transversales a lo largo del tramo de estudio. Para fijar las secciones se debe hacer a una distancia determinada, y para ello se ha utilizado la extensión HEC-GeoRAS, la cual se conforma como un nexo de unión entre ARCGIS (utilizado como medio de visualización de las ortofotos y modelos digitales del terreno) y HEC-RAS (programa donde se modelarán los ríos),

utilizándose para definir tanto el cauce del río, sus márgenes, y la llanura de inundación, como las secciones transversales, que englobarán el escenario probable de inundación.

La posición de las secciones debe ser tal que se verifique la hipótesis de flujo unidimensional, y por tanto deben ser perpendiculares a las líneas de flujo, tanto en el cauce como en la zona de avenidas. Además, deben colocarse secciones que registren los cambios de geometría en planta (especialmente en estrechamientos y ensanchamientos) y en alzado (cambios bruscos de pendiente). Por otra parte, deben hacerse secciones transversales específicas para el estudio hidráulico del puente y el azud que se encuentran en la zona de estudio.

La información referente a la geometría básica en HEC-GeoRAS se almacena en una geodatabase para usos posteriores. Esta información se procesa en HEC-GeoRAS, donde se transforma la información plana en información altimétrica, creando un archivo de intercambio con la misma (de geometría), al que se le deben añadir los elementos estructurales (puentes, azudes, vertidos laterales...). De esta forma se introduce la información disponible en HEC-RAS, en cuanto a geometría y forma, del azud y del puente para la simulación del régimen alterado.

La modelación, con la disposición de secciones, realizada hasta ahora, da lugar a un esquema básico del flujo y a una cota de la lámina de agua para cada sección, cuyo ancho se define en ambos márgenes mediante puntos, que unidos, forman el polígono de inundación para los caudales de cálculo, de tal forma que se obtendrán diferentes polígonos para cada uno de los caudales de periodo de retorno establecidos. Hay que tener en cuenta, que teniendo una alta resolución del MDT se reducen en gran medida los errores que pudieran producirse (en la definición de los calados y en la extensión de la avenida simulada). La tensión debida al rozamiento con el contorno en la estimación de las variables hidráulicas en un modelo es de suma importancia. Las pérdidas de carga por fricción en el cauce están relacionadas con la composición del material del lecho y las relacionadas con las llanuras de inundación lo están con los usos del suelo (cultivos, tejido urbano, etc.). Existen diferentes ecuaciones para calcular la pérdida por rozamiento (Chèzy, Darcy y Manning), y se ha decidido utilizar Manning para introducir la variabilidad del rozamiento en cada una de las secciones del modelo, puesto que la mayoría de los modelos hidráulicos siguen utilizando esta fórmula para la estimación de las pérdidas de carga por fricción. Para calcular la rugosidad asociada a cada uno de los usos del suelo tenidos en cuenta en el estudio se ha partido de un análisis de la capa gis del SIOSE, que ofrece una información más completa que la ofrecida por el Corine Land Cover 2000, y de la propia observación de su correspondencia con las ortofotos de que se disponían. Así, se ha obtenido un valor del coeficiente Manning para cada polígono de uso del suelo diferenciado. Tras consultar los usos del suelo en el sistema de información geográfica, hemos tomado los valores publicados en la Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables (MAGRAMA, 2011)

A continuación se reflejan, en forma de tabla, los valores del coeficiente de rugosidad de Manning obtenidos:

USOS DEL SUELO	RUGOSIDAD
Matorral	0.068
Pastizal	0.0355
Fronosas caducifolias	0.07
Fronosas perennifolias	0.07
Suelo desnudo	0.03
Casco Urbano	0.1
Vial, aparcamiento y similares	0.1
Coníferas	0.07
Frutales no cítricos	0.06
Cultivos herbáceos distintos de arroz	0.04
Zonas artificiales verdes y arbolado	0.09
Suelo no edificado	0.04
Asentamiento agrícola residencial	0.04
Cursos de agua	0.04
Embalses	0.025

**Tabla 3.** Usos del suelo contemplados y rugosidad asociada. Fuente: elaboración propia.

Para cada polígono, en el que convergen varios tipos de suelo, y por tanto rugosidades distintas, además de tener en cuenta la superficie que ocupa cada uno, se han ponderado sus valores para conseguir así el Manning que representará a cada uno de ellos.

Una vez definidas las rugosidades de los polígonos, con los perfiles definidos, se asignan un coeficiente de rugosidad a cada lado del perfil (izquierda y derecha) y otro en el cauce, obteniendo tres coeficientes de rugosidad por perfil.

Una vez definidas las rugosidades con el coeficiente de Manning, se deben definir los coeficientes de expansión y contracción. El programa utiliza los coeficientes de contracción/expansión para determinar las pérdidas de energía entre dos secciones contiguas. Los autores para una transición gradual aconsejan 0.1 (contracción) y 0.3 (expansión), mientras que en las proximidades de un puente pueden ser, respectivamente de 0.3 y 0.5, por la mayor pérdida de energía.

Una vez definidas las pérdidas de energía, se deben definir las condiciones de contorno. El software necesita esta información en cada tramo para establecer el nivel del agua inicial en ambos extremos del tramo del río: aguas arriba y/o aguas abajo, y a partir de ellas calcular el resto de variables. En un régimen lento sólo se necesita en el extremo de aguas abajo (downstream); en régimen supercrítico, sólo

es necesario aguas arriba (upstream), y si se va a calcular en un régimen mixto (por variaciones del caudal), que es el caso del presente estudio hidráulico, se necesitan en ambos extremos del tramo. Si establecemos régimen lento, sólo obtendremos, como resultado, las cotas superiores al calado crítico y si establecemos régimen rápido, las cotas inferiores al calado crítico, por lo tanto se ha decidido definir un flujo mixto y obtener la mayor información posible sobre calados. Los caudales son los calculados por Caumax para este tramo de río. Para definir las condiciones de contorno existen cuatro posibilidades:

- Alturas de la superficie del agua conocidas (Known Water Surface Elevations). Se debe introducir la altura del agua para cada uno de los perfiles que se van a calcular.
- Profundidad crítica (Critical Depth). Con esta opción no se tiene que introducir nada. El programa calcula la profundidad crítica para cada uno de los perfiles y la utilizará como condición de contorno.
- **Profundidad Normal** (Normal Depth). En este caso, se introduce la pendiente de la línea de energía (energy slope), que se utilizará para calcular la profundidad normal en ese punto (ecuación de Manning). Si no se conoce ese dato, como es el caso, se ha sustituido por la pendiente del fondo del cauce, que se ha calculado con ayuda de ARC-GIS.
- Curva de gastos (Rating Curve). En esta opción debemos introducir una serie de parejas de valores nivel-caudal.

Con los datos de los que se dispone, se ha decidido utilizar la profundidad normal o calado normal, introduciendo el valor de la pendiente del cauce, la misma, ya sea aguas arriba como aguas abajo, presentando un valor de 0,001267, y como ya se ha mencionado, se realiza la simulación en régimen mixto por las características del flujo del río.

Por último, se debe tener en cuenta la denominada “longitud de acomodación”, que es la longitud que tenemos que alargar el estudio aguas arriba y aguas abajo para poder paliar los efectos de las condiciones de contorno y otras alteraciones que tengamos en el río aguas abajo, azudes, puentes, etc., sobre todo en los extremos del modelo, para evitar posibles errores a la hora de modelizar.

Siguiendo este procedimiento se ha simulado la Máxima Crecida Ordinaria en régimen natural, sin tener en cuenta las infraestructuras, utilizando un TIN del MDT natural. Por otra parte, se han simulado las crecidas para periodos de retorno de 10, 100, y 500 años teniendo en cuenta el puente y el azud que se encuentran en el tramo de estudio, es decir, se ha simulado en régimen alterado. Los resultados arrojados por el HEC-RAS son los que se presentan a continuación, en una vista en 3 dimensiones del terreno y la crecida.

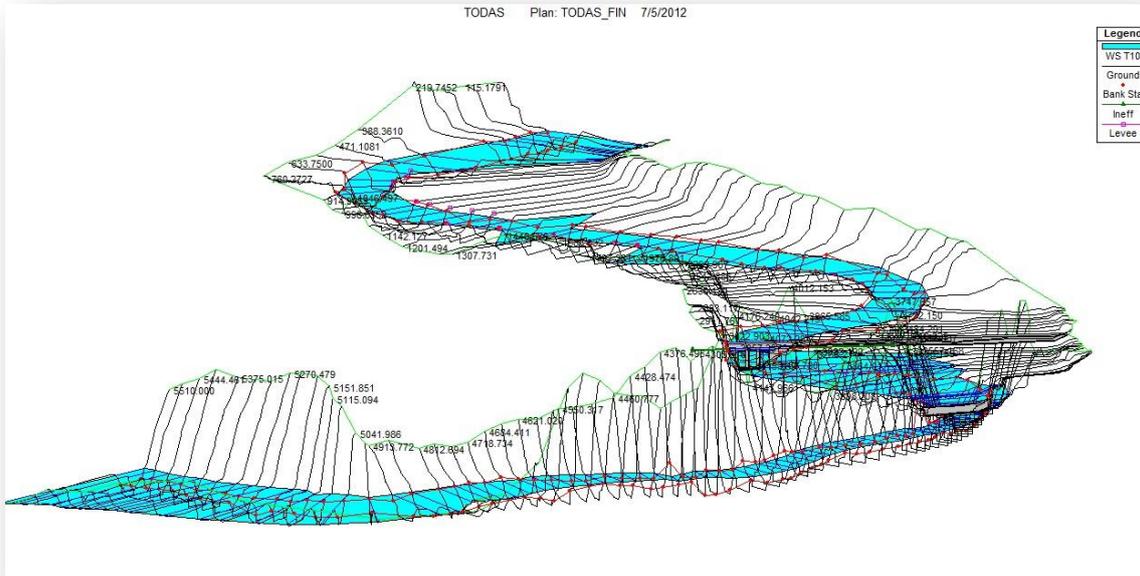


Figura 21. Vista en 3D de la inundación simulada por HEC-RAS para T=10. Fuente: Elaboración propia.

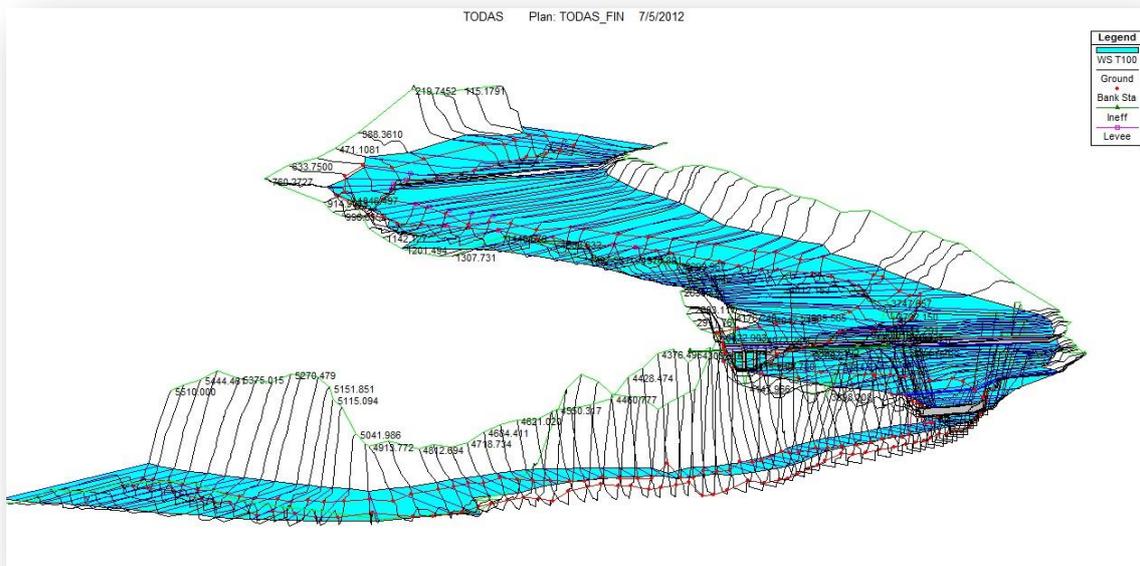


Figura 22. Vista en 3D de la inundación simulada por HEC-RAS para T=100. Fuente: elaboración propia.

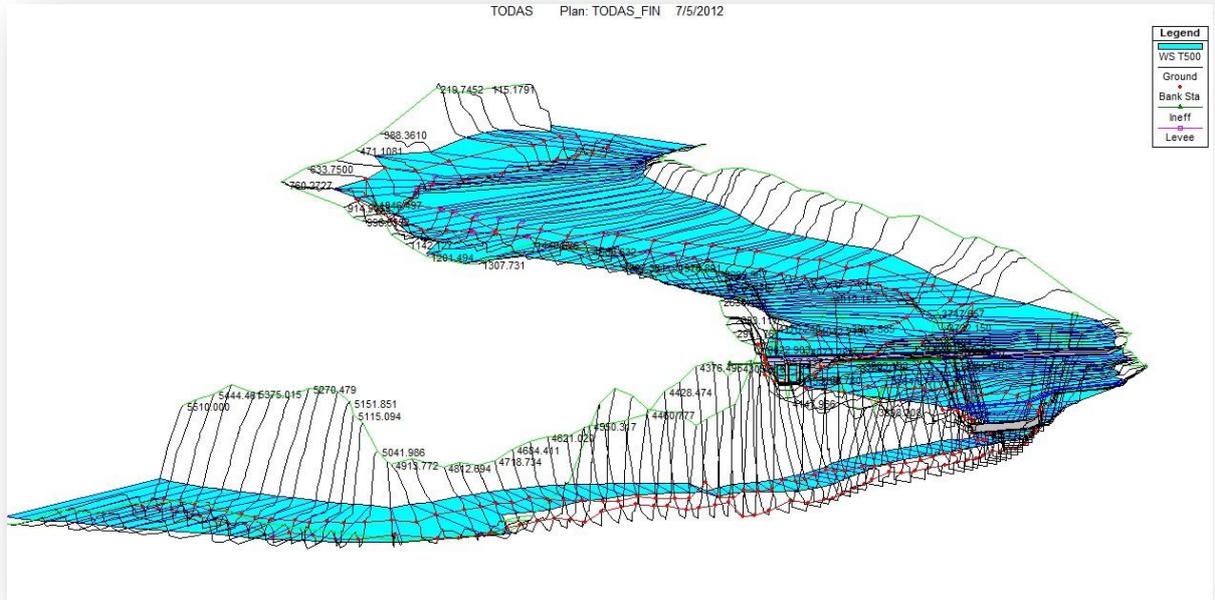


Figura 23. Vista en 3D de la inundación simulada por HEC-RAS para T=100. Fuente. Elaboración propia.

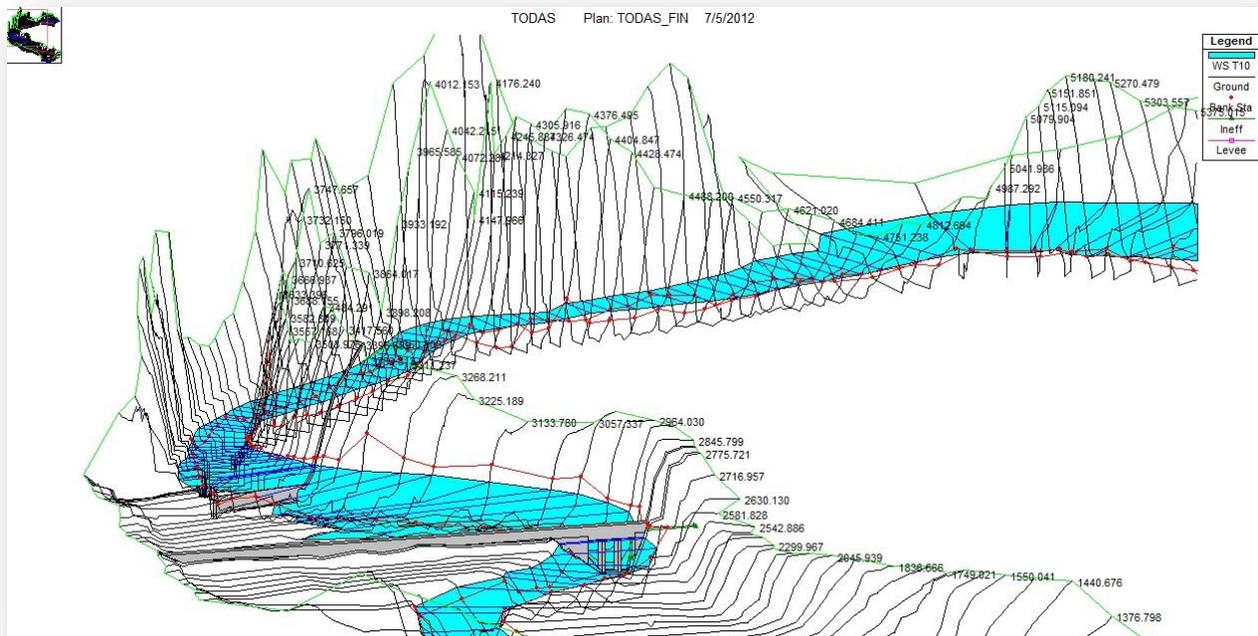


Figura 24. Detalle del puente y el azud simulados con HEC-RAS. Fuente: elaboración propia.

### 8.2.2. Iber 1.7.

IBER 1.7, es un modelo bidimensional que a diferencia de los modelos unidimensionales, incorpora la componente transversal del flujo.

En este tipo de modelización, el cálculo de las variables hidráulicas, se realiza en los elementos de una malla elaborada a partir del MDT con edificaciones, siendo capaz de distribuir el flujo a través de las calles del núcleo de población. La dificultad de este tipo de modelo, radica en encontrar un equilibrio entre una malla, que represente de forma detallada el terreno, y el tiempo de simulación ya que cuanto más detallada sea la malla, mayor será el tiempo de simulación del modelo, siendo este crítico por la cantidad de recursos informáticos que requiere.

IBER utiliza el modelo numérico de volúmenes finitos, que son los más utilizados por resolver mejor las discontinuidades hidráulicas además de ser más rápidos que los demás. Estos modelos numéricos, se basan en ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (2D Shallow Water Equations (2D-SWE) o ecuaciones de Saint Venant), que se apoyan en las ecuaciones de conservación de la masa y de momento en los dos ejes horizontales. Al mismo tiempo, el modelo parte de dos hipótesis, que son la distribución de presión hidrostática y la distribución uniforme de velocidad en profundidad (escala vertical mucho menor que escala horizontal). Dicho esto cabe destacar que IBER cumple el requerimiento de ser capaz de resolver la ecuación de la onda dinámica.

El resumen del proceso metodológico llevado a cabo es el siguiente:

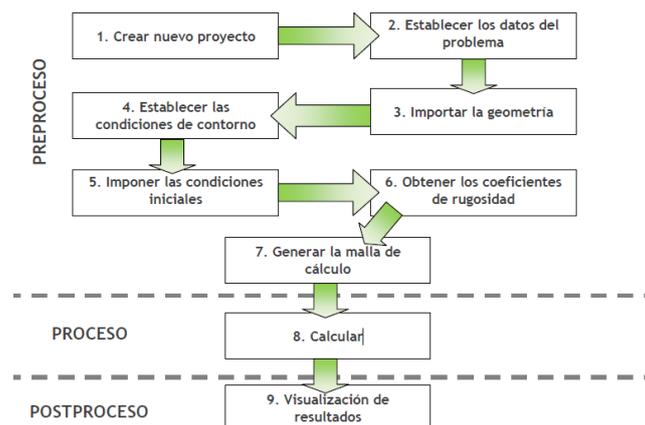


Figura 25. Esquema del proceso realizado con Iber 1.7. Fuente: EOI.

Iber da la posibilidad de importar la geometría de varias maneras, habiéndose elegido importar el MDT en forma de TIN lo cual genera elementos triangulares lo más regulares posibles que se adapten al terreno, siendo estos elementos de mayor tamaño en zonas donde la variación del terreno es menor y de menor tamaño en las zonas más escarpadas, quedando así definidas las variaciones del terreno. Esto

asegura la estabilidad del esquema numérico y minimiza el error de balance de masas debido al cálculo en caso de emplear un esquema no conservativo. Señalar que para la simulación de la máxima crecida ordinaria correspondiente al periodo de retorno de 2,5 años, se ha utilizado el MDT en condiciones naturales. Para el resto de simulaciones, se ha utilizado un híbrido entre el MDT en condiciones naturales y el MDT con todas las edificaciones e infraestructuras. En resumen, se ha utilizado el MDT con las edificaciones, eliminando las infraestructuras presentes en el cauce. Tras una serie de pruebas que buscan el equilibrio entre el nivel de detalle y el tiempo de proceso, las características básicas que se le han asignado a los elementos del TIN generado, han sido:

- Lado máximo de 10
- Lado mínimo de 5
- Tolerancia de 0.15.

Obtenida esta geometría se han introducido las condiciones de contorno de entrada y salida. Estas condiciones de contorno se dividen en condiciones de entrada y de salida. La condición de entrada, se ha introducido en régimen subcrítico/crítico y se ha optado por introducir un caudal constante correspondiente a cada periodo de retorno, en lugar de un hidrograma, ya que de este modo nos aseguramos de no pasar por alto ningún área susceptible de ser inundada, situándonos así del lado de la seguridad, esta condición queda asignada a las superentidades de nivel 1 que componen el cauce en su entrada a la zona de estudio. La condición de salida, se ha introducido en régimen crítico/supercrítico en las superentidades de nivel 1 en el cauce en la salida de la zona de estudio. Por otro lado, las condiciones iniciales que se han adoptado, son de un calado inicial de cero en toda el área, ya que partimos de un estudio nuevo y no queremos dar continuidad a otras simulaciones, ni se da ninguna circunstancia especial que nos indique que debemos dar una condición inicial distinta. En cuanto al azud y el puente presentes en el cauce, se han introducido como condiciones internas. El azud que se ha introducido en el programa como un *vertedero* de coeficiente de desagüe de 1,7, y el puente, se ha introducido como una *compuerta-desagüe* con coeficientes de desagüe de 0,6 y 1,7 sucesivamente y 0,8 de coeficiente de compuerta anegada. Ambas estructuras ocupan el 100% del ancho del cauce.

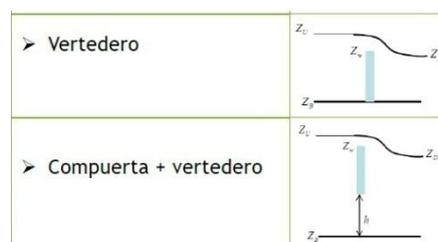


Figura 26. Detalle de las infraestructuras introducidas en el software. Fuente: EOI.

Una vez creada la geometría e introducido las condiciones de contorno, las condiciones iniciales y las condiciones internas, se ha generado una malla estructurada. Sobre esta malla se han introducido los coeficientes de manning correspondientes a los usos del suelo definidos en el apartado 10.2 a través de un archivo ASCII Grid.

Por último se han asignado los datos del problema. Estos datos son los tiempos que se hace funcionar el modelo en la simulación (tiempo que virtualmente funciona el modelo) y los intervalos en que se muestren los cálculos. Se ha hecho funcionar el modelo durante 18.000 segundos de modo que el caudal recorra todo el tramo, obteniéndose los resultados que se exponen en los mapas generados.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

↓  
COEFICIENTE DE MANNING

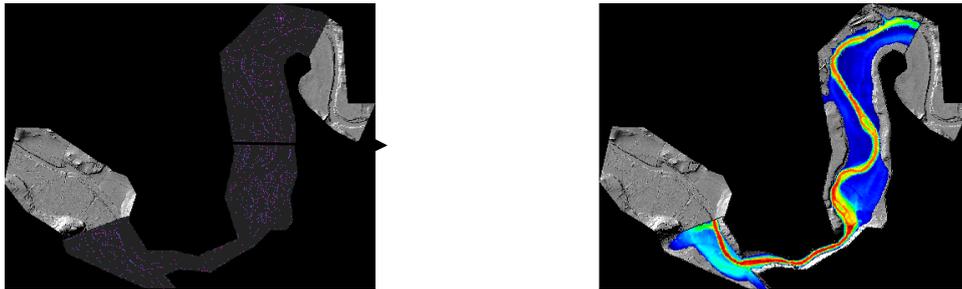


Figura 27. Detalles de los resultados obtenidos en IBER 1.7. Fuente: elaboración propia.

Tras esto se procede al cálculo, lo cual genera un post-proceso donde podremos visualizar los resultados. Estos resultados se pueden exportar de forma sencilla en formato ascii, pudiendo de este modo trabajar con sistemas de información geográfica. También se pueden visualizar los resultados en forma de animación, pudiendo de un vistazo ver la evolución del proceso de inundación. Los resultados que se obtienen son:

- Cota
- Calado
- Velocidad
- Número de Froud

- Máximos
- Caudales específicos

### 8.3. Resultados para los distintos caudales de referencia.

Finalmente, teniendo en cuenta las condiciones de contorno relativas al flujo y la geometría del tramo (con las secciones transversales), se obtienen las simulaciones para cada periodo de retorno con los dos software utilizados. Estas simulaciones, muestran un aumento progresivo de las áreas inundadas, así como el relieve que las condiciona. Los resultados de estas simulaciones son exportados a Arcgis para obtener las capas necesarias para la elaboración de la cartografía. Las capas que se obtienen nos ofrecen los calados y las velocidades asociadas a cada inundación y con ellas se obtiene también la superficie inundada.

Como ya se ha dicho anteriormente, aunque se haya realizado la simulación con dos programas, sólo se utilizará la obtenida mediante Iber como ya se dijo anteriormente.

### 8.4. Modelo hidráulico seleccionado.

El modelo bidimensional ha sido muy útil para simular las avenidas, ya que simula de forma más real el proceso de inundación, sobre todo en las llanuras de inundación y en la zona urbana donde la componente transversal es crítica para simular de forma detallada la evolución de la lámina de agua. Esto se ve de forma clara para el periodo de retorno de diez años, donde su caudal asociado, se interna en la zona urbana e inunda parte de ella siguiendo zonas que el modelo unidimensional no ha sido capaz de reproducir. En el resto de caudales, la simulación ha sido similar exceptuando pequeños detalles en las llanuras de inundación ya que para los periodos de retorno de 100 y 500 años el caudal asociado inunda prácticamente toda la llanura y caben pocas diferencias entre ambos modelos. Otra razón por la cual se ha utilizado el modelo bidimensional es que proporciona resultados de velocidades más completos y reales. Estos resultados de velocidades son además necesarios para delimitar las ZPF. Por otro lado el modelo unidimensional, dado que el tiempo de proceso es mucho menor, ha sido sumamente útil para realizar el estudio de la afección de las infraestructuras sobre la lámina de agua, pudiendo eliminarlas y modificarlas lo que habría resultado de realizar con el modelo bidimensional. De este modo podremos dotar al plan de gestión de argumentos de peso para la toma de decisiones sobre la modificación, eliminación o conservación de estas infraestructuras.

Por lo tanto, para la elaboración de los correspondientes mapas, delimitaciones y Plan de Gestión, se utilizarán los resultados obtenidos en la simulación con Iber.

## 8.5. Calibración con estudio geomorfológico e histórico.

Para la delimitación final del Dominio Público Hidráulico (DPH) debe realizarse una comparación entre los resultados obtenidos de la simulación del modelo hidráulico con Iber y el estudio geomorfológico e histórico. Existen diferencias entre los resultados obtenidos en ambos métodos, por lo que se hace necesaria una calibración en la que se comparen las superficies delimitadas como DPH para obtener un resultado final teniendo en consideración ambas zonas. El resultado gráfico de esta calibración es el mapa que se presenta en el anexo II.



**Figura 28.** Calibración del DPH sobre la ortofotografía de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

Al superponer las capas de los distintos métodos se ha podido observar una diferencia en el tamaño de las superficies definidas. Como DPH final se ha optado por una combinación de la superficie obtenida con la simulación de la máxima crecida ordinaria y los DPHPa y DPHb obtenidos en los análisis geomorfológicos. Esta decisión ha sido motivada por la reducida superficie ocupada por la máxima crecida ordinaria respecto a la de los otros casos. Con esa reducida superficie no se alcanzaban zonas que mediante el análisis se pueden clasificar como DPH, ya sea por evidencias claras o por simple deducción.

## 9. Mapas de peligrosidad y zonificación legal.

### 9.1. Introducción.

Según el Real Decreto 903/2010, los mapas de peligrosidad deben contemplarse para los escenarios de alta probabilidad de inundación, probabilidad media de inundación y baja probabilidad de inundación (eventos extremos). Los mapas deben contemplar tanto la extensión previsible de la inundación como los calados de agua.

En los anexos III, IV y V se muestran estos mapas elaborados para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, tanto en mapas separados como en conjunto, de forma que se puede observar como la extensión y el calado aumenta con el periodo de retorno.

El Real Decreto además refleja además la necesidad de representar adicionalmente a los mapas de peligrosidad, la delimitación de los cauces públicos y de las zonas de servidumbre y policía, la zona de flujo preferente, la delimitación de la zona de dominio público y la zona de servidumbre de protección.

### 9.2. Metodología.

Para la elaboración de los mapas de inundación se han seguido los pasos descritos en los apartados anteriores. En un principio se obtienen los caudales para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años a través de los caudales del Mapa de Caudales Máximos en régimen natural.

Con el MDT actual, que contiene el azud y el río, y junto a los caudales, se modelizan las inundaciones con los caudales asociados a los periodos de retorno de 10, 100 y 500, de forma que se obtienen una serie de ficheros legibles en el programa ArcGis 9.3. Estas capas que se obtienen corresponden al calado y superficie de la lámina de agua que forma la inundación, y se representan sobre la ortofoto del PNOA de forma que se representa la superficie del territorio que queda anegada.

Para la delimitación del DPH el procedimiento es el mismo que el citado anteriormente, introduciéndose en la modelización el caudal calculado por CAUMAX para la Máxima Crecida Ordinaria. Los límites de la superficie de la lámina de agua obtenida será considerado el dominio público estimado por las modelizaciones, el cual pasa a calibrarse con el DPHP obtenido en el análisis geomorfológico-histórico.

Para la obtención de las zonas de policía y servidumbre se realiza un buffer en el programa ArcGis 9.3. de 5 metros para la primera y de 100 para la segunda.

Por último para la representación la zona de flujo preferente, hemos seguido las directrices del *Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico*, que indica que será delimitada por la avenida de 100 años de periodo de retorno cuando el calado sea superior a 1 m., la velocidad sea superior a 1 m/s. y el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m<sup>2</sup>/s, operaciones que se han realizado en el programa ArcGis 9.3.

## 9.3. Resultados.

### 9.3.1. Mapa de delimitación del Dominio Público Hidráulico (DPH), Zona de Policía (ZP) y Zona de Servidumbre (ZS).

Como se observa en el RD 903/2010 en su artículo 8 del capítulo II, para los mapas de peligrosidad, adicionalmente “*se representará la delimitación de los cauces públicos y de las zonas de servidumbre y policía, la zona de flujo preferente en su caso, la delimitación de la zona de dominio público marítimo-terrestre (...)*”.

Por ello, se elaborado un mapa que muestra la zonificación final y la que legalmente poseería valor, recogiendo todo lo mencionado previamente. A partir del DPH obtenido en el apartado de calibración se delimitarán la Zona de servidumbre (ZS), consistente en una franja de 5m de ancho a ambos lados del DPH; y la Zona de policía (ZP), correspondiente a una franja de 100m situada a ambos lados de la Zona de servidumbre. También se representará la Zona de flujo preferente (ZFP), correspondiente a la superficie en la que, al simular la avenida con periodo de retorno de 100 años, se den calados superiores a 1 m, velocidades superiores de 1m/s y el producto de ambos valores sea superior a 0,5. Por último, se representará también la superficie inundada por la avenida correspondiente al periodo de retorno de 500 años obtenida con Iber.

El mapa obtenido con la representación de todos los elementos se puede consultar en el anexo III.

### 9.3.2. Mapas de inundabilidad para el periodo de retorno de 10, 100 y 500 años.

Según el RD 903/2010, y como queda reflejado en el BOE de 15 de julio de 2010), será preciso elaborar mapas de inundabilidad por inundaciones, los cuales muestren, para el tramo del ARPSI, las áreas susceptibles de ser inundadas para cada caudal de agua de un periodo de retorno de 10, 100 y 500 años. De esta forma, para cada una de ellas, se obtiene un mapa que presenta las áreas susceptibles de sufrir inundación con una probabilidad alta, media y baja.

El río Ebro en este tramo se encuentra encajado y muestra una llanura de inundación bien delimitada por taludes generados por las inundaciones históricas, por lo que las avenidas asociadas al periodo de retorno de 100 y 500 años son similares habiendo diferencias en los calados como se muestra en los mapas de calados pero no en el área inundada, que queda delimitada por estos taludes.

En el anexo IV se muestran estos mapas de peligrosidad, donde se observa el progresivo aumento de áreas inundadas a medida que el periodo de retorno va aumentando. Las áreas señaladas, serán las susceptibles de ser gestionadas dando así respuesta a las demandas de la Directiva 2007/60/CE.

### **9.3.3. Mapas de peligrosidad para el periodo de retorno de 10, 100, 500 años.**

El *Real Decreto 903/2010 de Evaluación y Gestión de Riesgos de Inundación* establece que para evaluar la peligrosidad por inundación es necesario elaborar mapas de calado. Estos mapas representan la superficie de la inundación con sus distintos calados asociados en los diferentes escenarios de probabilidad: alta (T=10 años), media (T=100años) y baja (T=500 años).

Los mapas de peligrosidad resultantes se encuentran en el anexo V Como es de esperar, en líneas generales se observa como los calados mayores se presentan en zonas del cauce desde una visión areal y en la avenida asociada al periodo de retorno de 500 años. También se observa como pese a no presentarse diferencias significativas en el área inundada entre los periodos de retorno de 100 y 500, se muestran calados superiores en este último escenario siendo los cambios más importantes en la zona urbana dada la mayor repercusión sobre los bienes y las vidas humanas.

## 10. Mapas de riesgo de inundación.

### 10.1. Introducción.

Los mapas de riesgo de inundación muestran las inundaciones en relación con los impactos potenciales que éstas pueden llegar a producir en personas, bienes y actividades. Por ello, es preciso añadir también el concepto de vulnerabilidad. Así pues, los mapas de riesgo de daños por inundación son los verdaderos mapas de riesgo, ya que se elaboran, por una parte, a partir de cartografía que localiza y caracteriza el fenómeno físico de las inundaciones, y, por la otra, a partir de cartografía que localiza y caracteriza los elementos expuestos. (Masgrau, 2004).

Para su realización, se debe disponer de los mapas de áreas inundables y de peligrosidad, para localizar y caracterizar el suceso y que dan lugar al mapa final de peligrosidad; y posteriormente, localizar y caracterizar los elementos en juego que conducen al mapa final de vulnerabilidad. La superposición de estos dos mapas finales proporciona la cartografía de riesgo de daños por inundación.

Los mapas de riesgo de daños por inundación son una herramienta insustituible para detectar las áreas y los elementos sometidos a riesgo y así poder distribuir los esfuerzos proporcionalmente a los niveles de afectación. Es decir, conocer el nivel potencial de impacto de la inundación sobre los diversos elementos distribuidos en el territorio ayuda a analizar, a tomar decisiones y a desarrollar medidas de gestión. Un ejemplo de mapa de riesgo de daños por inundación sería el que propone Benoît Legeard (1999) aplicado a los habitantes de la ciudad francesa de Nîmes y en relación con tres franjas horarias: riesgo en horas laborables, en horas punta y en horas nocturnas para cada sector urbano definido en relación con su actividad. Por ejemplo, las áreas peatonales del centro de la ciudad presentan una elevada concentración de personas en horas punta y laborables, y por tanto muestran una vulnerabilidad alta en estos períodos del día. En cambio, por la noche sucede todo lo contrario, ya que estas áreas centrales aparecen vacías al ser poco propicias a las funciones residenciales. El resultado final son tres mapas de riesgo de afectación por inundación a la población; uno para cada una de las tres franjas horarias mencionadas y, evidentemente, en relación con las zonas inundables. Un determinado punto puede tomar como máximo un valor diferente para cada franja horaria y, como mínimo, el mismo valor para las tres. Estos mapas permiten apreciar la variabilidad espacial del riesgo potencial de daños simultáneamente a su variabilidad temporal. Otro ejemplo es el realizado por George Clark y otros (1998) que estudia la interacción entre el fenómeno físico propiamente dicho (la inundación) y 34 variables socioeconómicas (porcentaje de niños menores de cinco años, porcentaje de casas construidas antes de 1939, renta per cápita, etc.) de los habitantes de la ciudad de Revere (EE.UU.). Su tesis es que el impacto de un suceso catastrófico presenta una distribución desigual entre las personas expuestas. Las variables socioeconómicas se sintetizan en una

sola escala de vulnerabilidad que se representa cartográficamente. Este mapa se combina con el mapa de áreas inundables para obtener el mapa final de riesgo de daños a la población por inundación.

## 10.2. Descripción de los usos de suelo, población afectada y metodología.

Montejo de Cebas es un pueblo enclavado al inicio del gran meandro que realiza el Ebro en el tramo de estudio. En el valle del Ebro, a 610 m de altitud, entre la Sierra de Arcena al norte y la Sierra de Pancorbo al sur; a 39 km de Villarcayo, cabeza de partido, y a 79 de Burgos. En su origen, se incluía en el partido de Castilla la Vieja en Burgos, jurisdicción de señorío, ejercida por el Duque de Frías quien nombraba su alcalde ordinario. A la caída del Antiguo Régimen queda agregado al ayuntamiento constitucional de Valle de Tobalina, en el Partido de Villarcayo perteneciente a la región de Castilla la Vieja.

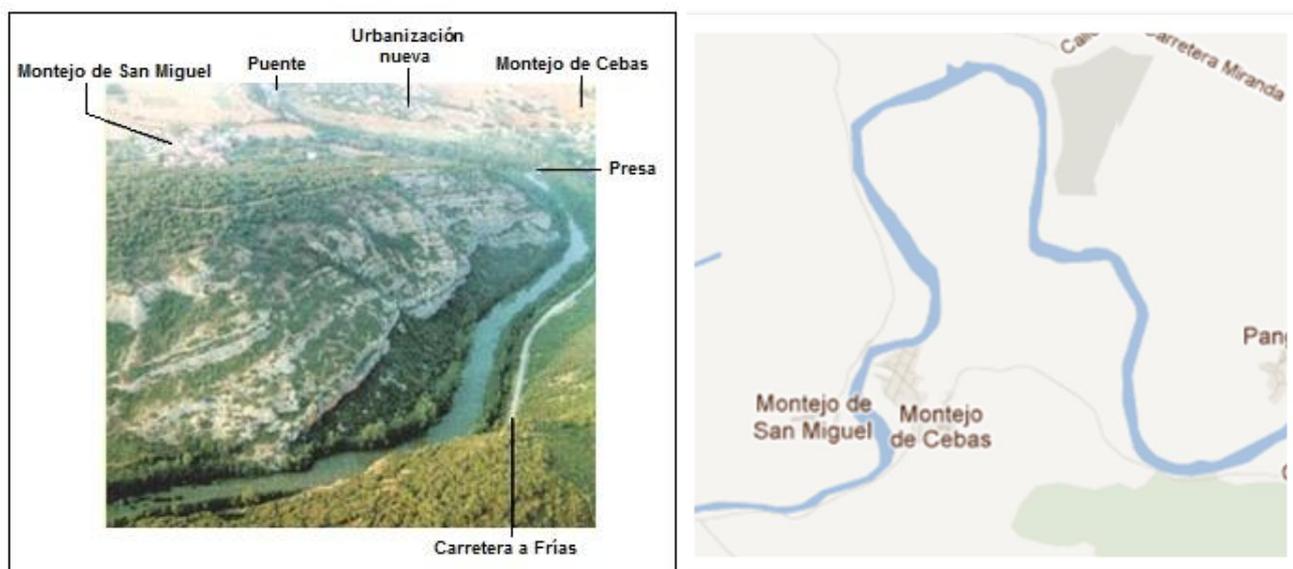


Figura 29. Imagen y mapa de situación del núcleo urbano presente en el ARPSI. Fuente: elaboración propia.

Este núcleo urbano se compone de dos zonas bien diferenciadas: el casco antiguo y una reciente zona residencial, junto al puente, denominada «Grupo residencial de los Montejos», dividida a su vez en otras dos partes por la carretera que lleva a Frías.

El origen del pueblo se remonta al s. XII, y su emplazamiento, probablemente, se debe a su cercanía al recurso hídrico para el desarrollo de la agricultura y la ganadería. El nombre de Montejo hace referencia a su emplazamiento montuoso y Cebas procede de la palabra acebo, planta muy común en la zona. Ya aparece con este nombre en el año 1177. Un repaso por el patrimonio cultural del pueblo nos sitúa junto a la carretera, exactamente al inicio de la angostura que lleva a Frías, donde brota la fuente

de la Salud, motivo de la instalación de un balneario para dolores de estómago y artritis. Al desaparecer, su edificio se aprovechó para colegio veraniego. Actualmente se está procediendo a la reconstrucción del mismo. Hacer mención, también, de la necrópolis alto-medieval excavada en roca y situada a un kilómetro escaso, con media docena de sepulturas, conocidas como “Tumbas de los Moros”. Cerca de éstas se encontraba una ermita, desaparecida hace más de un siglo y de la que sólo quedan ruinas. El término del pueblo coincide en buena medida con el gran recodo del Ebro que penetra hasta Quintana y que forma una extensa llanura arenosa, llamada de S. Sebastián, que aunque de no mucha calidad se aprovechó intensivamente antes para el viñedo y ahora para los cereales. La iglesia, del siglo XVI, dedicada a S. Millán, se encuentra al norte del pueblo, con cementerio adosado. Hay que señalar, finalmente, un escudo en una casa particular con las armas de los Salazar, Varona, Fernández del Manzano y otras alianzas.



Figura 30. Tumbas de los moros. Fuente: [www.valledetobalina.com](http://www.valledetobalina.com)

Parte del término municipal se encuentra incluido en el Parque Natural de Montes Obarenes-San Zadornil, declarado en 2006. En este espacio aparecen numerosas especies amenazadas como el visón europeo, el cangrejo de río autóctono o el águila perdicera. La zona fue propuesta como Lugar de Interés Comunitario por la Comunidad de Castilla y León, el 18 de marzo de 1999, y designada como Zona de Especial Protección para las Aves por la Unión Europea, el 31 de agosto de 2000. Entre la comunidad vegetal del Parque se encuentran hayas, encinas, quejigos y alcornoques, arces y serbales, enebros y madroños, los brezos, aulagas y genistas, tomillos, espliegos, prados de siega, tierras cerealistas y pinares (pino silvestre, pino negral y pino laricio). Como fauna representativa se pueden mencionar numerosas especies de vertebrados (gato montés, nutria, corzo, jabalí...), además de las 76 especies de aves, de las cuales siete son muy significativas: águila real, águila perdicera, aguilucho cenizo, buitre común, tórtola común, búho real y garza imperial sin olvidar las diversas especies de aves migratorias.

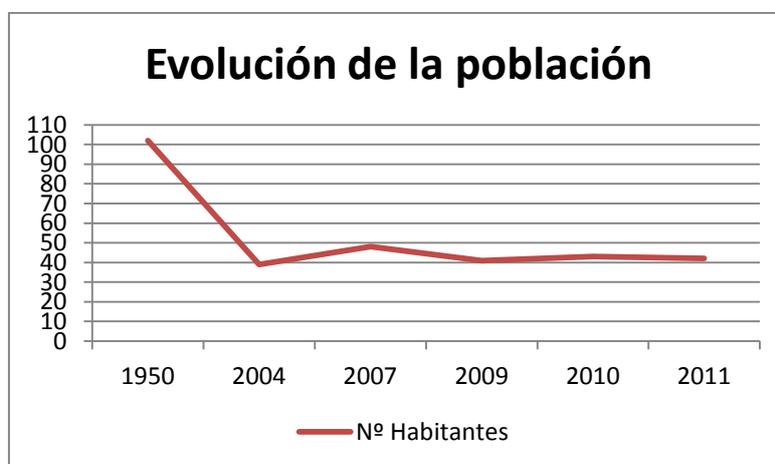


Figura 31. Evolución de la población de Montejo de Cebas. Fuente: elaboración propia con datos del INE.

En la actualidad, según datos del Instituto Nacional de Estadística, Montejo de Cebas posee 42 habitantes censados, repartidos equitativamente en ambos sexos, 21 mujeres y 21 hombres. Desde los años cincuenta se produjo un descenso de la población, debido, probablemente, al éxodo de la población rural hacia las ciudades. Los 42 habitantes hacen referencia a la población censada o empadronada en el pueblo, de los que, seguramente, no todos residen permanentemente en el mismo. Sin embargo, los fines de semana y periodos vacacionales, se incrementará en buen número la población. La zona residencial, de reciente construcción, se compone de viviendas unifamiliares, típicamente utilizadas como segundas residencias. Aunque, tras elaborar los mapas de peligrosidad, se aprecia que la inundación ocupará gran parte del núcleo urbano, debido a lo expuesto anteriormente, el riesgo de pérdidas de vidas humanas puede ser muy reducido o nulo, ya que los periodos de mayor población no suelen coincidir con los episodios lluviosos que producen las avenidas en esta zona de la península.

Los usos del suelo que se van a ver afectados por las posibles inundaciones se reflejan en la siguiente tabla, extraída del apartado 8.2.1:

USOS DEL SUELO
Matorral
Pastizal
Frondosas caducifolias
Frondosas perennifolias
Suelo desnudo
Casco
Vial, aparcamiento y similares
Coníferas
Frutales no cítricos
Cultivos herbáceos distintos de arroz
Zonas artificiales verdes y arbolado
Suelo no edificado
Asentamiento agrícola residencial
Cursos de agua
Embalses
Vías de comunicación

Tabla 4. Usos del suelo contemplados. Fuente: elaboración propia.

La relación de usos del suelo expuestos en la tabla han sido extraídos del SIOSE, como se expuso en el apartado correspondiente (epígrafe 8.2.1). Para la elaboración de los mapas de riesgo se han agrupado todos los usos en tan solo cuatro usos generales, para facilitar el cálculo del valor económico de los daños. Esta agrupación queda expuesta en la tabla 6, y a partir de ella se realizará la valoración de daños.

Finalmente, en este proyecto se ha optado por el método de exposición, propuesto por el MAGRAMA, que consiste en cruzar la información disponible de peligrosidad por inundación con la relativa a la vulnerabilidad del territorio para así obtener una estimación del riesgo que permita una comparación relativa de tramos.

Para realizar la estimación del riesgo a partir de la combinación de información indicada se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Estimación de la población afectada y posibles víctimas medias anuales en cada ARPSI.
- b) Estimación genérica de las pérdidas económicas medias anuales en cada ARPSI.
- c) Identificación de bienes singulares afectados, infraestructuras, instalaciones que provoquen contaminación, etc.

Para determinar el número de probables víctimas, se ha partido de un porcentaje asignado en función del tiempo de concentración de la cuenca (ver tabla 5) aplicándolo posteriormente a la población afectada por la inundación. Para determinar el número de víctimas habría que conocer el tiempo de concentración de la cuenca, escoger el porcentaje correspondiente a ella, y aplicarlo sobre los habitantes afectados.

<b>Tiempo de concentración</b>	> 2 horas	0,2%
	< 2 horas	1,0%

Tabla 5.- Porcentajes asociados en función del tiempo de concentración. Fuente: MAGRAMA.

Para la estimación del valor económico de las pérdidas se considera necesario establecer unos valores de referencia de los daños que ocasiona la inundación de cada tipología de uso del suelo e infraestructura lineal (ambos detallados por unidad de superficie, en €/m<sup>2</sup>). Como valores orientativos, y que utilizamos en este caso, el MAGRAMA propone los siguientes valores:

Tipo de bien o uso del suelo	€/m <sup>2</sup>
Forestal	0
Agrícola	10
Urbano	100
Vías de comunicación	450

Tabla 6. Agrupación de los usos del suelo para el cálculo del riesgo por inundación. Fuente: elaboración propia.

Con estos datos se elaboran una serie de tablas que recogen la información pertinente para el tramo de estudio: por un lado las correspondientes a cada uno de los periodos de retorno y por otro, la del valor del riesgo total. Para el cálculo del riesgo total se aplicará la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo total} = 0,10 \cdot RT10 + 0,01 \cdot RT100 + 0,002 \cdot RT500$$

En las tablas se añadirán los valores totales calculados para cada periodo de retorno, tanto el resultante de asignar las categorías propuestas a los usos de la zona inundable, como el obtenido de las infraestructuras lineales afectadas. Cada uno de los subtotales anuales sería el resultado de la aplicación de la ecuación, siendo el valor anual total la suma de ambos valores parciales. Los datos correspondientes a la población y las singularidades afectadas, serían los obtenidos para cada uno de los periodos de retorno previamente.

### 10.3. Resultados para las avenidas de periodo de retorno de 10, 100 y 500 años y valoración del riesgo global para el ARPSI.

Siguiendo la metodología comentada anteriormente, a continuación se procederá al análisis del riesgo de cada una de las avenidas de los periodos de retorno considerados. A continuación se muestran las tablas con la valoración económica asociada a cada periodo de retorno (tablas 7, 8 y 9) así como su correspondencia con los distintos usos de suelo considerados y la superficie que ocupan. Los mapas correspondientes se pueden consultar en el anexo VI.

Pérdidas por superficie T10		Superficie (m <sup>2</sup> )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	Total valor categoría (€)
<i>Urbano</i>		60181.4	100	6018140
<i>Agrícola</i>		400208.43	10	4002084.3
<i>Forestal</i>		383865.71	0	0
Total/promedio/Total		844255.54	36.67	10020224.3
Pérdidas por infraestructuras lineales		Superficie (m <sup>2</sup> )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	Total valor categoría (€)
<i>Vías de comunicación</i>		2936.03	450	1321213.5
Total/promedio/Total		2936.03	450	1321213.5
<b>TOTAL PÉRDIDAS ESCENARIO</b>				<b>11341437.8</b>
Población afectada	<i>En zona inundable</i>	<i>Población total municipio</i>	<i>Posibles víctimas</i>	
	30	42	0	
Otros valores afectados	<i>Singularidades</i>			
	Balneario			

Pérdidas por superficie T100		Superficie (m <sup>2</sup> )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	Total valor categoría (€)
<i>Urbano</i>		133890.48	100	13389048
<i>Agrícola</i>		1062715.62	10	10627156.2
<i>Forestal</i>		439347.12	0	0
Total/promedio/Total		1502062.74	36.67	24016204.2
Pérdidas por infraestructuras lineales		Superficie (m <sup>2</sup> )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	Total valor categoría (€)
<i>Vías de comunicación</i>		12882.16	450	5796972
Total/promedio/Total		12882.16	450	5796972
<b>TOTAL PÉRDIDAS ESCENARIO</b>				<b>29813176.2</b>

Población afectada	En zona inundable	Población total municipio	Posibles víctimas
	42	42	0

Otros valores afectados	Singularidades
	Balneario

Pérdidas por superficie T500		Superficie (m <sup>2</sup> )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	Total valor categoría (€)
<i>Urbano</i>		136357.92	100	13635792
<i>Agrícola</i>		1101406.93	10	11014069.3
<i>Forestal</i>		459153.13	0	0
Total/promedio/Total		1696917.98	36.67	24649861.3
Pérdidas por infraestructuras lineales		Superficie (m <sup>2</sup> )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	Total valor categoría (€)
<i>Vías de comunicación</i>		14005.42	450	6302439
Total/promedio/Total		14005.42	450	6302439
<b>TOTAL PÉRDIDAS ESCENARIO</b>				<b>30952300.3</b>

Población afectada	En zona inundable	Población total municipio	Posibles víctimas
	42	42	0

Otros valores afectados	Singularidades
	Balneario

Tablas 7, 8 y 9. Cuantificación monetaria del riesgo de inundación en el ARPSI. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, a medida que aumenta el calado de las avenidas, aumenta el área que éstas inundan y, por lo tanto, varía el uso de suelo que anegan y la superficie del mismo. Cabe destacar que en los tres periodos de retorno se ve afectado el uso urbano, con las consecuencias que ello conlleva, ocupando la lámina de agua casi la totalidad del área urbana en el primer escenario, y la totalidad del mismo en los otros dos escenarios.

Periodo de retorno	Área total (m <sup>2</sup> )
T = 10	844255.54
T = 100	1502062.74
T = 500	1696917.98

Tabla 10. Superficies de riesgo asociadas a los periodos de retorno. Fuente: elaboración propia.

Resaltar también que el grueso de las pérdidas económicas se concentra en los terrenos agrícolas, por ser también, los de mayor superficie afectada, como se puede ver en las tablas anteriores (tablas 7, 8, 9).

Al igual que se ha destacado el aumento de la superficie afectada en función de los periodos de retorno estudiados, también se refleja a continuación el aumento de pérdidas económicas, directamente proporcional a los periodos de retorno y a las superficies afectadas, doblándose, e incluso triplicándose con respecto al período de retorno de 10 años.

Periodo de retorno	Valor económico total (€)
T = 10	11341437.8
T = 100	29813176.2
T = 500	30952300.3

Tabla 11. Valor económico total asociado a cada periodo de retorno. Fuente: elaboración propia.

En las tablas anteriores también se reflejan las posibles pérdidas de vidas humanas y de patrimonio cultural. Respecto a las pérdidas de vidas humanas se puede destacar la pequeña diferencia entre el primer escenario y los dos restantes. En el primer caso no se ve afectada la totalidad del uso urbano, donde se encuentran las viviendas, por lo que no se considera la posible pérdida de la totalidad de la población. Sin embargo, en los otros dos casos si se ve afectada la totalidad del suelo urbano, por lo que se consideran afectados todos los habitantes del municipio. Los bienes culturales afectados por las inundaciones se reducen al balneario. Se ve afectado totalmente en los escenarios de 100 y 500 años de periodo de retorno y en un 50%, aproximadamente, en el de 10 años. A este tipo de bienes no se les ha asociado un valor económico de las pérdidas debido a su difícil estimación, pues su valor está asociado a

los años que llevan contruidos. De igual manera, al uso forestal no se le otorga valor, no porque no lo posea, sino porque actualmente no se considera que tenga un valor económico directo, ya que su valor se lo otorgan los servicios ambientales que nos brinda.

A continuación se muestra una tabla resumen en la que quedan reflejadas las pérdidas anuales estimadas para cada periodo de retorno, y en el epígrafe siguiente se procede a calcular la pérdida anual total según la metodología seguida.

	Pérdidas económicas		Habitantes			Otros valores afectados
	<i>Pérdidas por superficie</i>	<i>Pérdidas por elementos lineales</i>	<i>Número de víctimas probables</i>	<i>Habitantes afectados</i>	<i>Total población</i>	<i>Singularidades</i>
<b>T = 10</b>	10020224.3	1321213.5	0	30	42	Balneario
<b>T = 100</b>	24016204.2	5796972	0	42	42	Balneario
<b>T = 500</b>	24649861.3	6302439	0	42	42	Balneario

<b>Pérdida media anual estimada parcial</b>	1291484.19	202695.948
---	------------	------------

<b>Pérdida estimada anual total</b>	1494180.14
-------------------------------------	------------

Tabla 12. Pérdidas totales estimadas para cada escenario y para todo el ARPSI. Fuente: elaboración propia.

Tras la aplicación de la ecuación propuesta por el MAGRAMA, por separado a los usos del suelo y a las vías de comunicación, se han sumado los resultados parciales obtenidos y se ha obtenido pérdida anual, alcanzando ésta la cifra de 1.494.180,14 euros. Esta cifra es un valor orientativo obtenido de ponderar los daños con las probabilidades de ocurrencia de los fenómenos de inundación, pero sirve para cuantificar pérdidas o priorizar actuaciones en el ARPSI.

En el anexo VI se pueden observar los correspondientes mapas de riesgo en los que se presentan las zonas afectadas por las inundaciones de cada periodo de retorno.

## 11. Plan de Gestión del Riesgo de Inundación.

### 11.1. Introducción.

España es un país en el que la incidencia de las inundaciones ha supuesto y supone un capítulo a tener en cuenta de manera muy especial en todas las políticas asociadas con la gestión del agua, la ordenación del territorio, la conservación del medio ambiente y el desarrollo económico sostenible. En este país, su peculiar climatología que origina un régimen de precipitaciones muy irregular en el tiempo y en el espacio, favorece la ocurrencia de eventos de avenidas e inundaciones, con consecuencias importantes tanto económicas como en pérdida de vidas humanas.

En este sentido, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, ha defendido intensamente la necesidad de dar más espacio a los ríos, promocionando las prácticas de uso sostenible del suelo y teniendo en cuenta aspectos tales como las zonas con potencial de retención de las inundaciones, los costes y beneficios, los objetivos medioambientales indicados en la Directiva 2000/60/CE y la ordenación del territorio. De esta forma el Gobierno Español fue clave para que la nueva directiva europea (Directiva 2007/60/CE) del Parlamento y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la Evaluación y gestión de los riesgos de inundación, apelara a la devolución de espacio a los ríos como medida para evitar los daños que ocasionan las crecidas.

Esta gestión del riesgo constituye el pilar en que se basa la modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986 de 11 de abril (Real Decreto 9/2008 de 11 de enero), que persigue como objetivo la protección de las personas y los bienes, y del medio ambiente, a través de la modificación de la normativa sobre inundaciones y de la introducción de un nuevo título relativo a la seguridad de presas, embalses, y balsas.

En dicha modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico se incorporan los criterios de la Directiva de Inundaciones (Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2007) tanto en lo relativo a las zonas inundables como en lo referente al reconocimiento de que la presión ejercida por algunas actividades humanas (como el incremento de los asentamientos humanos y los bienes económicos en las llanuras aluviales) sobre los cauces reduce día a día el espacio fluvial, incrementa los riesgos frente a las inundaciones, y menoscaba la protección medioambiental del dominio público hidráulico exigida por la Directiva 2000/60/CE.

Por otra parte, con el objetivo de incorporar estos criterios y adaptar el contenido de los vigentes reglamentos de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica a la nueva ordenación europea, recientemente se ha aprobado una norma que regula sistemáticamente todos los aspectos relacionados con la gestión del riesgo de inundación: el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de

Evaluación y Gestión de Riesgos de Inundación, que transpone la Directiva de Inundaciones al ordenamiento jurídico español.

La Directiva 2007/60/CE obliga a que los estados miembros incorporen políticas sobre gestión del riesgo de inundaciones que garanticen al máximo la seguridad de los ciudadanos -adoptando criterios adecuados de usos del suelo- y que permitan la laminación de caudales y de carga sólida transportada ampliando en la medida de lo posible el espacio fluvial disponible.

## 11.2. Conclusiones de la evaluación preliminar del riesgo de inundación.

La Confederación Hidrográfica del Duero ha realizado una evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI) cuya finalidad es la de identificar las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs), evaluación llevada a cabo en los términos indicados en la Directiva Marco del Agua (DMA).

Una vez analizada la incidencia que presentan los diferentes factores determinantes del riesgo de inundación sobre las distintas zonas de la Cuenca Hidrográfica del Ebro, y aplicados los umbrales de riesgo significativo conforme a las características de la cuenca, se concluye la evaluación preliminar con la delimitación de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs), siguiendo los criterios descritos en el resumen del la EPRI.

## 11.3. Descripción de los objetivos de la gestión del riesgo de inundación.

El principal objetivo en el Plan de Gestión del Riesgo de Inundación para el ARPSI 02 Alto Ebro, perteneciente al tramo de riesgo alto significativo AEB 04, en el término municipal de Frías (Burgos), no es otro que el de conseguir que no se incremente de manera significativa el riesgo de inundación en este tramo. Además, como objetivo secundario se contempla una situación en la que se produzca una reducción progresiva de las consecuencias adversas potenciales de la inundación para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica.

Este Plan se elabora partiendo de los principios generales de solidaridad, coordinación entre todos los agentes relacionados con las inundaciones, la coordinación con otras políticas sectoriales que afecten a la evaluación, la prevención y gestión de las inundaciones, respeto al medio ambiente mediante la selección de medidas sostenibles y la adopción de aproximaciones naturales para gestionar el riesgo de inundaciones.

Para alcanzar estos objetivos se contemplarán las medidas que se describen en el apartado del conjunto de programas de medidas, formadas por medidas preventivas y paliativas, estructurales y no estructurales.

Por último, abarcará todos los aspectos de la gestión del riesgo de inundación, centrándose en la prevención, protección y preparación, incluyendo la previsión de inundaciones y los sistemas de alerta temprana.

## 11.4. Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro. Resumen criterios especificados sobre el estado de las masas de agua y los objetivos ambientales en del ARPSI 02, Alto Ebro, a su paso por Frías.

La propuesta de proyecto del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro se encuentra actualmente en fase de consulta pública. El plan se redacta al amparo de lo establecido en el Texto Refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto legislativo 1/2001, de 20 de julio. A su vez los Planes Hidrológicos de Cuenca se insertan en el marco normativo de la política de aguas de la Unión Europea, definido en la Directiva 2000/60/CE.

Según el Reglamento de la Planificación Hidrológica (RPH) aprobado por *Real Decreto 907/2007, de 6 de julio de 2007, planificación hidrológica* tiene por objetivos generales conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas, la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

### 11.4.1. Criterios especificados sobre el estado de las masas de agua.

El estado de las masas de agua superficial se clasifica a partir de los valores de su estado ecológico (muy bueno, bueno, moderado, deficiente y malo) y de su estado químico (bueno y no alcanza el buen estado); quedando determinado por el peor valor de los dos. La consecución del buen estado en las masas de agua superficial requiere, por tanto, alcanzar un buen estado tanto ecológico como químico. Así, los ríos evaluados quedan clasificados como bueno o mejor, o estado peor que bueno.

Los indicadores para la evaluación del **estado ecológico** son los siguientes:

1. Indicadores de los elementos de calidad biológicos:
  - Composición y abundancia de la flora acuática
  - Composición y abundancia de la fauna bentónica de invertebrados

- Composición, abundancia y estructura de edades de la fauna íctica.
2. La caracterización de la calidad hidromorfológica:
- El régimen hidrológico
  - La continuidad fluvial
  - Las condiciones morfológicas

Para la evaluación de las condiciones morfológicas se utilizan los índices IHF (índice de hábitat fluvial) y QBR (calidad del bosque de ribera), dejando por el momento sin evaluar el régimen hidrológico y la continuidad fluvial.

3. El RPH establece, en su anexo V, entre los indicadores químicos y físico-químicos que afectan a los indicadores biológicos, los siguientes:
- Condiciones generales:
  - Condiciones térmicas
  - Condiciones de oxigenación
  - Salinidad
  - Estado de acidificación
  - Nutrientes
  - Contaminantes específicos no sintéticos vertidos en cantidades significativas
  - Contaminantes específicos sintéticos vertidos en cantidades significativas

La clasificación del **estado químico** de las masas de agua superficial viene determinada por el cumplimiento de las normas de calidad medioambiental respecto a las sustancias de la Lista I y la Lista II prioritaria del Anexo IV del RPH, así como el resto de las normas de calidad ambiental establecidas a nivel europeo.

La red hidrográfica se divide en 700 masas de agua superficial (MAS) tipo río. Las MAS se definen como “una parte diferenciada y significativa de agua superficial, como un lago, un embalse, una corriente, río o canal, parte de una corriente, río o canal, unas aguas de transición o un tramo de aguas costeras” (*Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica*). Actualmente de las 700 masas de agua de la categoría río que hay en la demarcación, 223 presentan un buen estado, mientras que 163 presentan un estado peor que bueno, estando las 314 masas restantes sin evaluar.

La MAS correspondiente con el ARPSI 02, Alto Ebro, a su paso por Frías, queda clasificada según la CHE como la número “401: Río Ebro desde el río Molinar hasta el río Purón (Río Natural)” y pertenece al grupo de masas de agua sin evaluación. Por tanto para acercarnos a conocer el estado ecológico y químico de la misma se consulta la clasificación de las masas de tipo río inmediatamente superior y posterior con datos.

Estas son, según el orden citado, la número “228: Río Ebro desde el río Oca hasta el río Nela y la central de Trespaderne en la cola del Embalse de Cillaperlata (Río Natural)” cuyo estado ecológico es “bueno” y la “798: Río Ebro desde la Presa de Sobrón hasta la central de Sobrón y la cola del Embalse de Puentelarrá (Río Natural)”, cuyo estado ecológico es “muy bueno”. Ambas carecen de evaluación química siendo la evaluación final de su estado como “bueno”.

#### **11.4.2. Objetivos medioambientales.**

Además de los objetivos generales, citados anteriormente, el Plan Hidrológico de la CHE, deben garantizar el cumplimiento de los objetivos medioambientales (OMA) establecidos en el art. 92 y 92 bis del *Texto Refundido de la Ley de Aguas*. Los OMS son los siguientes:

1. Prevenir el deterioro del estado de las masas de agua superficiales
2. Proteger, mejorar y regenerar todas las masas de agua superficial con el objeto de alcanzar un buen estado de las mismas
3. Reducir progresivamente la contaminación procedente de sustancias prioritarias y eliminar o suprimir gradualmente los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias.

Para la masa de estudio, la 401, la propuesta de proyecto de Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro dispone que los OMA serán cumplidos para la el 2015, fecha que marca la DMA como plazo límite para la consecución de dichos objetivos. Si bien, en el documento *Evaluación cuantitativa del riesgo de incumplir los objetivos medioambientales de la Directiva Marco del Agua en las masas de agua superficiales de la Demarcación del Ebro (IMPRESS 2010)* se otorga a la masa una presión media (de una clasificación de presión como bajo, medio y alto) y un riesgo alto (con los mismos grados que para presión) de incurrir en un incumplimiento de los objetivos citados a fecha de 2010, sin embargo las masas 228 y 798, de las cuales si había datos tienen un riesgo bajo.

Por tanto, dado que nos encontramos con sin la posibilidad para determinar el estado real de la masa de agua correspondiente al ARPSI de estudio, se propone el seguimiento del estado del tramo, tanto ecológico como químico, según se describe en el apartado VI. Programas de control y estado de las masas de agua de la propuesta de programa de Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro. Este constaría de los siguientes programas de control:

1. La red de control de vigilancia en ríos analiza los siguientes tipos de indicadores:
  - Indicadores biológicos: diatomeas, macroinvertebrados y macrófitos, y se muestrean una vez al año, en los meses de junio a septiembre.
  - Indicadores fisicoquímicos: se indican en la Tabla 50 y los muestreos se realizan trimestralmente.

- Indicadores hidromorfológicos: IHF, QBR, y se muestrean una vez al año, en los meses de junio a septiembre.
2. La red de control operativo en ríos analiza los siguientes tipos de indicadores:
    - Indicadores biológicos: diatomeas y macroinvertebrados, y se muestrean una vez al año, en los meses de junio a septiembre.
    - Indicadores fisicoquímicos: se indicaron en la Tabla 50 y los muestreos se realizan trimestralmente.
    - Indicadores hidromorfológicos: IHF, QBR, y se muestrean una vez al año, en los meses de junio a septiembre.
  3. La DHE ha establecido estaciones para el control de la contaminación causada en el medio acuático (agua, sedimentos y biota) por sustancias peligrosas aguas abajo de sus puntos de emisión, definiendo dos redes con distintos puntos de control, frecuencia de muestreo, parámetros de medida y matrices de análisis:
    - La *Red de Control de Sustancias Peligrosas (RCSP)* para el control de la contaminación de origen fundamentalmente industrial / puntual y,
    - La *Red de Control de Plaguicidas (RCP)*, destinada a controlar la contaminación de origen agrícola / difuso.
  4. Red oficial de estaciones de aforo.
  5. Estaciones de seguimiento de la calidad del sistema SAICA (Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas - Red de Alerta de Calidad) registran datos en continuo de turbidez, conductividad, pH, oxígeno disuelto, temperatura del agua e ion amonio, y en dos de estas estaciones cloruros y nitratos.

Desde la dirección del proyecto se recomienda el seguimiento de la masa de agua 401 según marca la DMA, si bien no es una medida que influya en la gestión de las inundaciones por lo que no se destinará presupuesto para este programa. Dado el alto coste que tiene la instalación de una estación SAICA, se opta por recomendar que se incluya en las redes de muestreo manual los puntos necesarios para conocer el estado ecológico y químico de la masa de agua correspondiente al ARPSI.

## 11.5. Resumen del contenido de los planes de protección civil existentes.

Las inundaciones constituyen en nuestro país el fenómeno natural que con mayor frecuencia se manifiesta dando lugar a situaciones de grave riesgo colectivo o catástrofe, a las que se refiere la Ley 2/1985, de 21 de enero, de Protección Civil.

Estas características configuran el riesgo de inundaciones como uno de los fundamentales a tener en cuenta desde la óptica de la planificación de protección civil. Así ha sido considerado en la Norma Básica de Protección Civil, aprobada por *Real Decreto 407/1992, de 24 de abril*, la cual determina en su apartado 6 que este riesgo será objeto de Planes Especiales en aquellos ámbitos territoriales que lo requieran. La misma Norma Básica señala, en su apartado 7.2, que los Planes Especiales se elaborarán de acuerdo con las Directrices Básicas relativas a cada riesgo.

El objeto de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, es establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los correspondientes Planes Especiales de Protección Civil, en cuanto a fundamentos, estructura, organización y criterios operativos y de respuesta, para ser homologados e implantados en su correspondiente ámbito territorial, con la finalidad de prever un diseño o modelo nacional mínimo que haga posible, en su caso, una coordinación y actuación de los distintos servicios y Administraciones implicadas.

Con este marco legal, la Junta de Castilla y León ha elaborado el plan de protección civil ante el riesgo de inundaciones en Castilla y León (INUNcyl), que tiene entre sus objetivos la prevención de los daños que puedan causar las inundaciones en el ámbito geográfico de la Comunidad Autónoma, así como la protección de las personas, los bienes y el medio ambiente. Para ello es necesaria una actuación rápida, eficaz y coordinada de los recursos públicos y/o privados ante las emergencias que puedan generarse como consecuencia de las inundaciones. Este plan es de aplicación en todo el territorio de la Comunidad Autónoma, en donde la red hidrográfica del Ebro, que es la que estudia este trabajo, representa a nivel administrativo y legal un 6,80% de toda la superficie hidrográfica de Castilla y León.

Este plan contempla las inundaciones por avenidas o desbordamiento de los cauces de los ríos y lagos, provocados o potenciados por precipitaciones, deshielo o fusión de nieve, y obstrucción de cauces. En este escenario se establecen los siguientes niveles de peligrosidad para los núcleos de población:

- Peligrosidad Nivel A: núcleos que están situados en llanuras de inundación y que en su totalidad o parte de los mismos están dentro de áreas inundables, presentando además una frecuencia de al menos 2 eventos desde 1959 y 15 o más en el histórico.
- Peligrosidad Nivel B: núcleos que están situados en llanuras de inundación y que en su totalidad o parte de los mismos están dentro de áreas inundables, presentando además desde 1959 una frecuencia de al menos 2 eventos y no están incluidos en el grupo de nivel A.
- Peligrosidad Nivel C: núcleos que están situados en llanuras de inundación y que no están incluidos en los grupos de nivel A ó B.

Se han aplicado estos condicionantes de Peligrosidad a nivel de núcleo de población y, se ha tenido en cuenta el número de habitantes de los mismos, estableciéndose una matriz que permite clasificar estos

núcleos de población de Castilla y León dentro de una de las tres categorías de riesgo poblacional (alto, medio o bajo):

		Población (INE 2006)		
		$x \leq 500$	$500 < x < 1000$	$x \geq 1000$
Nivel Peligrosidad	A	Medio	Medio	Alto
	B	Bajo	Medio	Medio
	C	Bajo	Bajo	Medio

Figura 32. Clasificación de los núcleos de población según su peligrosidad de inundación. Fuente: INUNcyl.

En concreto, con lo visto en el Anexo V del INUNcyl, tanto el pueblo de Montejo de Cebas como el de Montejo de San Miguel, pertenecientes al Municipio de Valle de Tobalina se clasifican con un nivel de peligrosidad C, y con sus 44 y 19 habitantes respectivamente en el 2006 (INE), presentan un riesgo poblacional bajo. Por otra parte, en lo referente a la estructura, se corresponde a un solo Plan con dos niveles de activación, dependiendo del ámbito y extensión de la situación de emergencia, de tal forma que se contemplará un nivel provincial y un nivel regional o autonómico. Además se presenta el siguiente organigrama para diferenciar la organización y las diferentes funciones a desarrollar:

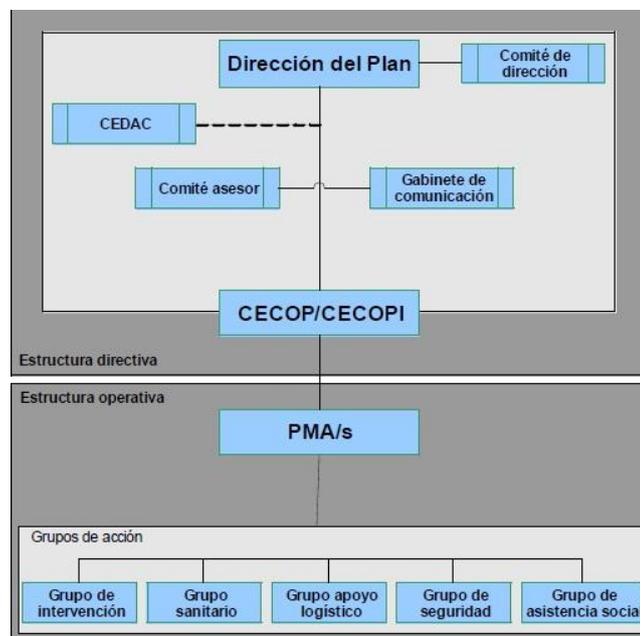


Figura 33. Organigrama de la organización y funciones a desarrollar. Fuente: INUNcyl.

La Dirección del Plan corresponde, en el ámbito regional, al titular de la Consejería de Interior y Justicia, que podrá delegar en el Director de la Agencia de Protección Civil y Consumo. En el ámbito provincial, la Dirección del Plan corresponde al Delegado Territorial de la Junta de Castilla y León. Sus principales funciones son las de declarar en fase de emergencia las situaciones que procedan y activar el Plan, así como la finalización de las situaciones de emergencia y la desactivación del mismo, y dirigir y coordinar el INUNcyl con el apoyo del Comité Asesor. Cuando en una emergencia por inundaciones lo solicite la Comunidad Autónoma y, en todo caso, cuando la emergencia sea declarada de interés nacional, las funciones de dirección y coordinación serán ejercidas dentro de un Comité de Dirección formado por un representante de la Administración General del Estado y otro de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, a través del Centro de Coordinación Operativa (CECOP) que corresponda, quedando constituido a estos efectos como Centro de Coordinación Operativa Integrado (CECOPI).

En segundo lugar, el Comité Asesor, es el órgano colegiado de apoyo a la toma de decisiones por la Dirección del Plan, especialmente en los aspectos de dirección y supervisión para la gestión de la emergencia. En materia de inundaciones corresponderá a las Confederaciones Hidrográficas, el asesoramiento al Director del Plan. En el ámbito regional, el comité estará constituido por los miembros (o personas en que se delegue) a quienes convoque el Director del Plan. Entre sus funciones están las de asesorar al Director del Plan y garantizar la coordinación de las distintas Administraciones y Entidades implicadas en la emergencia apoyando al Director del Plan en la toma de decisiones, además de valorar la situación en cada momento y proponer las actuaciones más adecuadas.

En tercer lugar, el Gabinete de Comunicación que canalizará y supervisará toda la información oficial que se suministre a los medios de comunicación. Estará constituido por el personal responsable de prensa de la Consejería de Interior y Justicia o de la Delegación Territorial.

En cuarto lugar, el Centro de Asistencia Ciudadana (CEDAC), que en cualquier ámbito de activación por inundaciones y en función de la situación de emergencia, mediante el titular de la Agencia de Protección Civil y Consumo podrá reforzar con personal técnico CEDAC para ponerlo como apoyo a la Dirección del Plan.

En quinto lugar, el CECOP, formado por la Dirección del Plan, el Comité Asesor y Gabinete de Comunicación, tiene como misiones principales la recogida y elaboración de datos e informaciones necesarios para facilitar el proceso de toma de decisiones, la comunicación de las acciones a ejecutar por los responsables de la intervención y el control del sistema de operaciones.

En sexto lugar, el Puesto de Mando Avanzado (PMA) se establecerá en las proximidades del incidente, y desde él se dirigen y coordinan las intervenciones directas de los Grupos de Acción en las zonas afectadas. Debe asumir las funciones operativas sobre el terreno.

Por último, para la ejecución de las actuaciones previstas en este Plan se constituirán los siguientes Grupos de Acción:

- Grupo de Intervención.
- Grupo Sanitario.
- Grupo de Seguridad.
- Grupo de Apoyo Logístico.
- Grupo de Asistencia Social.

Con toda esta estructura operativa, se recogen datos de los sistemas de previsión y alerta (Aemet, CH del Ebro), realizando la predicción y la vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos (Aemet), además de la ayuda proporcionada por los sistemas de información hidrológica (SAIH), para, con todo ello, establecer la identificación de fases y situaciones para la gestión de emergencias, distinguiéndose los siguientes escenarios:

#### A. Fase de Alerta

Se declarará esta fase ante la existencia de informaciones proporcionadas por los Sistemas de Previsión y Alerta que por su evolución desfavorable pudiesen dar lugar a inundaciones. Si bien no se activa formalmente el Plan, si que se activa la cadena de transmisiones con los diversos organismos y servicios implicados. La declaración de esta fase de Alerta corresponderá a la Agencia de Protección Civil y Consumo de la Junta de Castilla y León.

#### B. Fase de Emergencia

En esta fase se activan los Planes de Ámbito local ante Inundaciones que correspondan, y los Servicios de Emergencia de los Grupos de Acción en proporción a las necesidades de la situación bajo las órdenes del Director del Plan de Ámbito local ante Inundaciones o de la autoridad que determine la Dirección del INUNcyl en caso de no existir Plan de Ámbito Local. En el ámbito autonómico se activará el Plan de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones en la Comunidad de Castilla y León. Para finalizar, ante un riesgo de interés nacional, el Ministerio del Interior podrá realizar la conversión del Centro de Coordinación Operativa de Castilla y León en Centro de Coordinación Operativa Integrado con el correspondiente representante de la Administración General del Estado.

#### C. Fase de Normalización

La Dirección del Plan declarará el fin de la emergencia una vez comprobado que han desaparecido o se han reducido suficientemente las causas que provocaron la activación del Plan y que se ha restablecido los niveles normales de seguridad y los servicios mínimos a la población.

El INUNcyl considera adecuado que los órganos competentes de los municipios o entidades locales elaboren y aprueben sus Planes de Actuación frente a Inundaciones; que establecerán la organización y actuaciones de los recursos y servicios propios, al objeto de hacer frente a las emergencias por inundaciones dentro de su ámbito territorial. En este sentido, se recomienda su elaboración a todos los municipios con nivel de peligrosidad A y a los de nivel de peligrosidad B de más de 1000 habitantes, sin menoscabo de la capacidad de otros municipios para elaborar y disponer de planes al efecto. Por lo tanto, en el caso que nos ocupa, al no existir un protocolo de actuación en la zona de estudio, se recomienda desde la dirección del presente trabajo la elaboración del Plan de Actuación Local frente a Inundaciones al Ayuntamiento de Valle de Tobalina, porque si bien no se alcanzan los niveles de peligrosidad A y B, si existe un riesgo bajo en gran parte de los núcleos de población que conforman dicho Ayuntamiento.

### 11.6. Sistemas y medios disponibles en la cuenca para la obtención de información hidrológica en tiempo real durante los episodios de avenida, así como de los sistemas de predicción y ayuda a las decisiones disponibles.

Con la ayuda de la página web de la CH del Ebro, se ha podido comprobar la existencia de una estación de aforos SAIH aguas arriba de nuestro tramo de estudio, aproximadamente a 8,5 kilómetros de Montejo de Cebas. La estación A161 está en la margen izquierda del río Ebro, y se encuentra situada en Palazuelos de Cuesta-Urría, en el municipio de Cillaperlata (Burgos), en la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

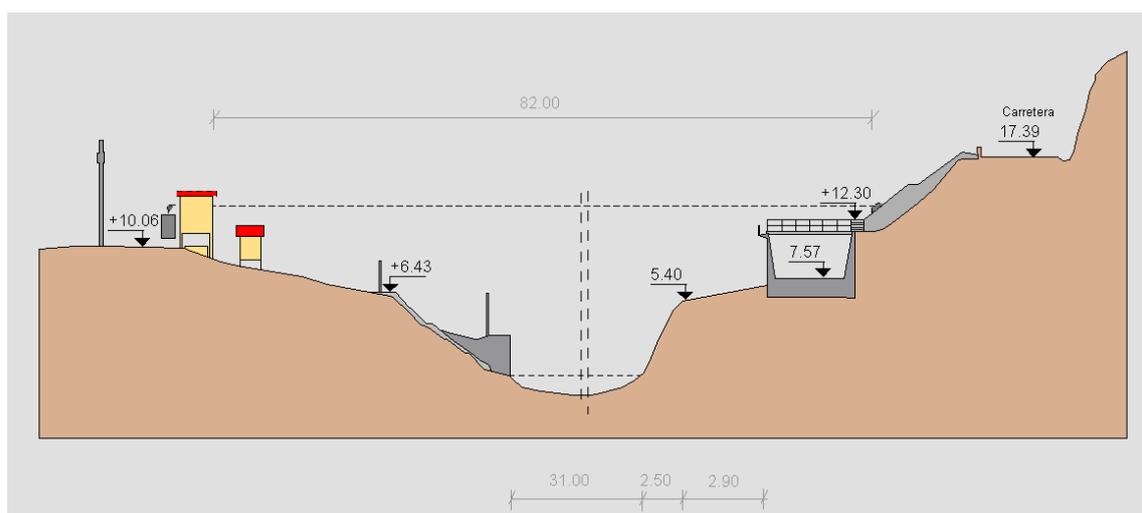


Figura 34. Esquema del SAIH A161. Fuente: CHE.

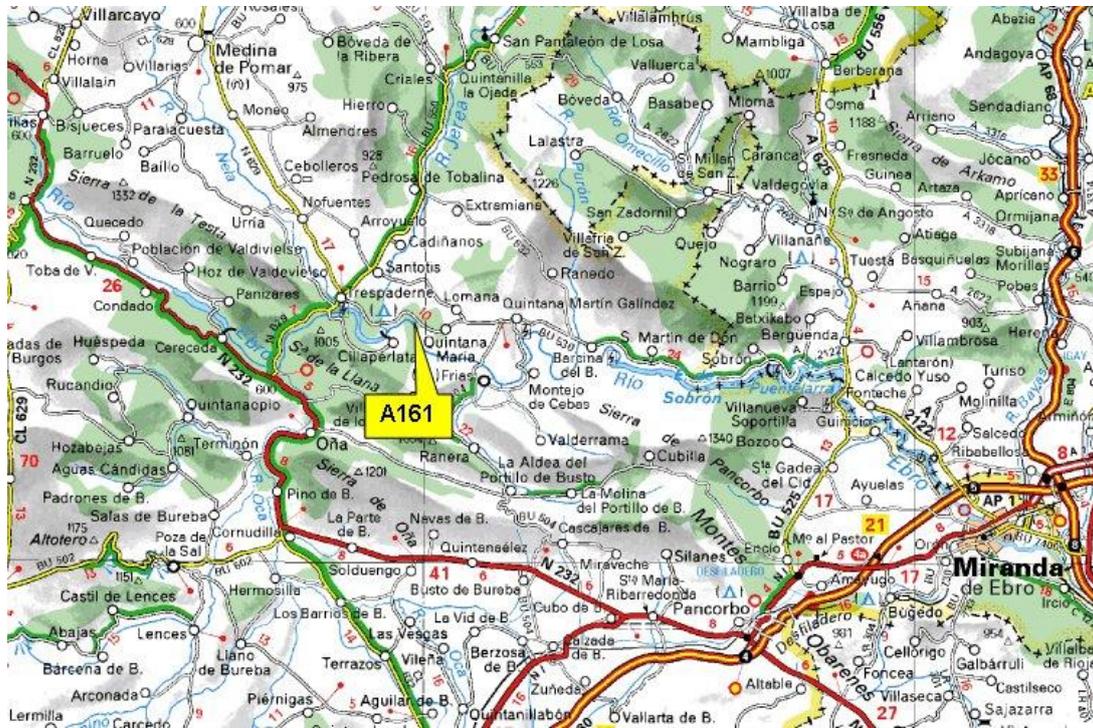


Figura 35. Situación del SAIH A161. Fuente: CHE.

## 11.7. Resumen de los programas de medidas.

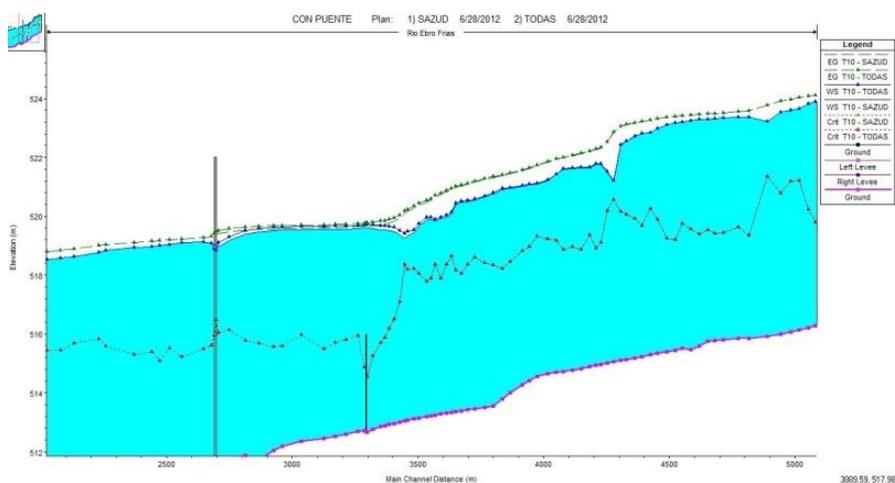
### 11.7.1. Medidas de restauración fluvial, enfocadas a la recuperación del comportamiento natural de la zona inundable, así como de sus valores ambientales.

Según la DMA se recomienda que se produzca la eliminación de barreras transversales obsoletas existentes en el cauce para recuperar la continuidad longitudinal, evitando la fragmentación de los hábitats fluviales y la destrucción de la biodiversidad que producen este tipo de estructuras debido a la imposibilidad de las migraciones.

El antiguo molino que aprovechaba las aguas retenidas por el azud está actualmente en desuso, por lo que ya no tiene sentido seguir manteniendo una infraestructura que no produce ningún beneficio económico, social o medioambiental.

Al realizar el estudio hidráulico del tramo se ha podido observar una formación geológica correspondiente a calizas, que evitaría que se produzcan fenómenos de incisión en el cauce que pusieran en peligro las infraestructuras adyacentes al mismo.

Si bien la demolición del azud viene aconsejada por la DMA, este no tiene ningún tipo de repercusión en la gestión de inundaciones, ya que tras los estudios hidráulicos realizados con el programa HecRas se ha podido comprobar que tan solo lamina caudales más bajos que la media que circula por el tramo, por lo que no tiene repercusión en caudales medios y altos. Por tanto si bien desde el presente documento se aconseja su demolición, no es competencia de este plan de gestión y por lo tanto no se destinarán recursos a su demolición.



**Figura 36.** Detalles del software HEC-RAS en el que se demuestra que no se aprecian diferencias significativas en la modelización con o sin azud. Fuente: elaboración propia.

### 11.7.2. Medidas de mejora del drenaje de la infraestructura transversal.

En los estudios hidráulicos que se han elaborado con la ayuda del programa de simulación HEC-RAS, se ha podido constatar que el puente situado en el río Ebro sobre la zona de estudio, tenga afección alguna en lo referente al drenaje de las inundaciones. Por tanto, no se contempla ni la mejora, ni la construcción de un nuevo puente en el carretera BU-520, al no producirse cambios significativos sobre la línea de energía, ni sobre la lámina de agua, en los resultados arrojados por la simulación en los dos escenarios que se han contemplado; uno teniendo en cuenta el puente y otro en el que se prescindía de él para la realización de los cálculos, como se muestra en el perfil del gráfico inferior.

### 11.7.3. Medidas de predicción de avenidas.

#### 11.7.3.1. Las medidas adoptadas para el desarrollo o mejora de herramientas para predicción o de ayuda a las decisiones relativas a avenidas.

Como se ha plasmado en el apartado referente a la descripción de los sistemas y medios disponibles en la cuenca para la obtención de información hidrológica en tiempo real durante los episodios de avenida en este plan, existe una estación de aforos SAIH a unos 8,5 kilómetros de distancia por el cauce. Esta estación es la A161 que realiza las mediciones en el río Ebro, y se sitúa en Palazuelos de Cuesta-Urría, en el municipio de Cillaperlata (Burgos), en la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Debido a la proximidad con Montejo de Cebas y Montejo de San Miguel, esta estación no sería la indicada para realizar una predicción con tiempo suficiente para poner en marcha los protocolos y actuaciones dedicados a mitigar el riesgo que conlleva una inundación de los dos núcleo poblacionales mencionados.

Por ello se propone la construcción de una estación de aforos, de bajo coste, que se incluiría en el SAIH del Ebro, aguas arriba del término municipal de Frías para poder realizar la predicción de las avenidas con un periodo de tiempo suficiente para evitar los posibles daños que puedan producirse por la inundación. La estación se construirá en Condado de Valdivieso, en la Merindad de Valdivieso (Burgos), en la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Esta medida tendrá un coste de implantación de 3.000 € y de mantenimiento anual por valor de 1.000 €.

De acuerdo con esto se implantará en la nueva estación de aforos un sistema automatizado de alerta a la Confederación del Ebro, que deberá tener en cuenta tres niveles de la peligrosidad de inundación que se corresponderán con los calados y caudales correspondientes a los periodos de retorno de 10 y 100 años, trasladados aguas arriba de los puntos a los que se desea alertar. Para ello se ha tenido también en cuenta la velocidad del agua en la simulación con el programa HEC-RAS. Se contemplan dos escenarios posibles que son los de alerta y emergencia, en consonancia con el Plan de Protección Civil frente a Inundaciones de Castilla y León.

Estación SAIH	Escenario	Caudal Umbral (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo aprox. llegada avenida (h)
Palazuelos	Prealerta	991	1,2
	Emergencia	1563	1,6
Condado de Valdivieso	Prealerta	510	4,2
	Emergencia	825	5,8

Tabla 13. Escenarios de alerta y emergencia y sus parámetros principales. Fuente: elaboración propia.

La Confederación Hidrográfica del Ebro deberá dar un aviso de la predicción hidrológica, en el momento en que se dé la situación de alerta o emergencia, a Protección Civil para que se puedan poner en marcha los protocolos de actuación frente a las inundaciones descritos en el INUNcyl, con tiempo suficiente para que los Grupos de Acción puedan llevar a cabo la ejecución de las actuaciones previstas en el Plan

#### **11.7.3.2. Las normas de gestión de los embalses durante las avenidas.**

Los embalses que se encuentran aguas arriba del ARPSI de Frías, como ya se ha comentado, no tienen incidencia en el proceso de la avenida. La existencia del Embalse del Ebro, que representa menos de un 10% en la cuenca vertiente a la zona de estudio, no produce una laminación significativa para las inundaciones producidas por los caudales correspondientes a los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años, por lo que la afección a la zona de estudio será despreciable.



**Ficha técnica de la presa: EBRO**

**1. DATOS ADMINISTRATIVOS**

Nombre de la presa:	EBRO
Otro Nombre:	—
Fase vida presa:	Explotación
Titular de la presa:	ESTADO
Proyectista:	MLORENZO PARDO
Categoría en función del riesgo potencial:	A
Aprobación de las normas de explotación:	23-10-2009
Aprobación del plan de emergencia:	—
Fecha de finalización de las obras:	31-12-1945

**2. DATOS GEOGRÁFICOS**



Río en el que se encuentra la presa:	EBRO
Municipio:	ROZAS DE VALDEARROLLO, LAS
Cuenca hidrográfica:	EBRO
Provincia:	CANTABRIA
Coordenadas UTM 30 - ED 50:	414326 - 4758227

**3. USOS DEL EMBALSE**

Usuarios:	Canales de Lodosa, Tauste, Imperial Aragón y Otros, Canales de Lodosa, Tauste, Imperial Aragón y Otros, Canales de Lodosa, Tauste, Imperial Aragón y Otros
Tipos:	Abastecimiento, Hidroeléctrico, Riego

**4. DATOS HIDROLÓGICOS**

Superficie de la cuenca hidrográfica (km <sup>2</sup> ):	466,000
Aportación media anual (hm <sup>3</sup> ):	300,000
Precipitación media anual (mm):	1.244,000
Caudal punta avenida de proyecto (m <sup>3</sup> /s):	588,000

**6. DATOS DE LA PRESA**

Tipo de presa:	Gravedad
Cota coronación (m):	840
Altura desde cimientos (m):	34,140
Longitud de coronación (m):	216
Cota cimentación (m):	805,860
Cota del cauce en la presa (m):	814,000
Volumen del cuerpo presa (1000 m <sup>3</sup> ):	63,000

**5. DATOS DEL EMBALSE**

Superficie del embalse a NMN (ha):	6.253,000
Capacidad a NMN (hm <sup>3</sup> ):	540,000
Cota del NMN (m):	839,000

**7. DATOS DEL ALIVIADERO**

Número total de aliviaderos en la presa:	1
Regulación:	Compuerta vertical.
Capacidad (m <sup>3</sup> /s):	560,000

**8. DATOS DEL DESAGÜE**

Número total de desagües en la presa:	2
Capacidad (m <sup>3</sup> /s):	108,150

**9. FOTOGRAFÍAS**



Figura 37. Ficha del embalse del Ebro. Fuente: MAGRAMA.

Asimismo, las centrales hidroeléctricas de Cereceda y Cillaperlata, tienen pequeños embalses que apenas producen laminación, aunque se encuentren más cerca de los núcleos de población afectados por la inundación. Por tanto, tampoco estos dos embalses se han tenido en consideración en la elaboración del presente Plan.



Embalse	
Nombre del embalse	CILLAPERLATA
Id. Hoja 1:50.000	136
Coord. X UTM ED50	470.706
Coord. Y UTM ED50	4.737.018
Volumen útil (Hm <sup>3</sup> )	0,40
Volumen total (Hm <sup>3</sup> )	0,60
Superficie del embalse (has)	35
Escala de digitalización del vaso	25.000
Máximo nivel de avenida (m)	535
Máximo nivel normal del embalse (m)	553,30
Cauce	EBRO
Destino del embalse	ENERGIA
Titular del embalse	PARTICULAR
Municipio	TRESPADERNE


Embalse	
Nombre del embalse	CERECEDA
Id. Hoja 1:50.000	136
Coord. X UTM ED50	461.733
Coord. Y UTM ED50	4.737.280
Volumen útil (Hm <sup>3</sup> )	1,10
Volumen total (Hm <sup>3</sup> )	2,20
Superficie del embalse (has)	35
Escala de digitalización del vaso	25.000
Máximo nivel de avenida (m)	566,90
Máximo nivel normal del embalse (m)	566,40
Cauce	EBRO
Destino del embalse	ENERGIA
Titular del embalse	PARTICULAR
Municipio	ONA

Figura 38. Fichas de los embalses hidroeléctricos de Cillaperlata y Cereceda. Fuente: MAGRAMA.

#### **11.7.4. Medidas de coordinación con los planes de protección civil.**

El Plan de Actuación Municipal ante el Riesgo de Inundaciones tiene la finalidad de conseguir la máxima protección para las personas, los bienes y el medio ambiente que puedan resultar afectados por las consecuencias de las inundaciones.

El Plan será de aplicación en cualquier situación de alerta o emergencia por inundaciones que tenga lugar dentro del término municipal. Los Planes de Actuación Municipal son elaborados y aprobados por el órgano de gobierno municipal y se integrarán en el INUNcyl.

La comunicación de la información hidrológica por parte del Aemet y la Confederación Hidrográfica del Ebro deberá ser comunicada a la Junta de Castilla y León, o en caso de que la avenida no se produzca en horario de oficina, se comunicará directamente a la Dirección del Plan de Protección Civil frente a Inundaciones de la Comunidad de Castilla y León que deberá estar operativa durante las 24 horas del día. A su vez, con carácter inmediato, Protección Civil comunicará la situación de alerta o emergencia al órgano de gobierno municipal del Valle de la Tobalina, y se coordinará con éste último para movilizar a los Grupos de Acción dirigidos por el Puesto de Mando Avanzado. El PMA, deberá comunicar al cuartel de la Guardia Civil del municipio para garantizar la seguridad ciudadana y el control de los accesos para la evacuación de la población y el corte de las vías de comunicación que se encuentren en peligro de ser inundadas. También se desplazarán a la zona los Grupos de Atención Sanitaria obligatoriamente para dar cobertura a los posibles incidentes que se puedan producir. Por último, en caso de que sea necesario, se movilizará el Grupo Intervención para solucionar situaciones de alto riesgo en las que se pueda encontrar la población.

#### **11.7.5. Medidas de ordenación territorial y urbanismo.**

##### **11.7.5.1. Criterios para las limitaciones a los usos del suelo planteadas para la zona inundable en sus diferentes escenarios de peligrosidad, los criterios empleados para considerar el territorio como no urbanizable, y los criterios constructivos exigidos a las edificaciones situadas en zona inundable.**

El Valle de Tobalina está compuesto por 34 pueblos, de los cuales dos se encuentran dentro de la zona de estudio, Frías y Montejo de Cebas. Como puede observarse en la figura 39, sacadas del Sistema de Información Urbanística de Castilla y León (SIUCyL), la mayor parte del territorio se encuentra actualmente sin un Planeamiento Urbanístico.

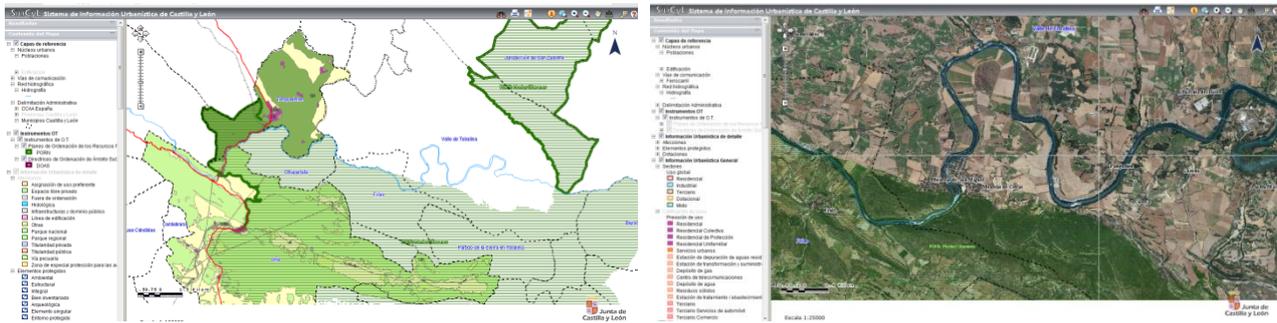


Figura 39. Planeamiento urbanístico de la zona de estudio. Fuente SIUcyl.

Se exceptúa parte del territorio que pertenece al Espacio Natural Montes Obarenes, y por tanto se encuentra bajo su Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN). El *DECRETO 83/2005, de 3 de noviembre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Espacio Natural Montes Obarenes (Burgos)* delimita el territorio del mismo, quedando así englobada parte del ARPSI, como se describe: “Al norte, partiendo del punto de confluencia del río Nela con el límite del término municipal de Trespaderne, el límite lo constituye el río Nela hasta su confluencia con el río Ebro, para seguir por el río Ebro hasta su confluencia en la localidad de Frías con la carretera BU-522. A partir de aquí el límite prosigue por la carretera que desde el puente conduce a la localidad de Montejo de San Miguel, desde allí sigue en dirección este por la senda que conduce al río Ebro y lo atraviesa por la presa del antiguo molino de Montejo de Cebas”.

Según el plano de límites y zonificación, recogido en el anexo II del *DECRETO 83/2005, de 3 de noviembre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Espacio Natural Montes Obarenes (Burgos)*, la zona de estudio perteneciente al mismo, estaría incluida dentro de Las Zonas de Uso Compatible B. En los artículos 50 y 51 del Decreto se describe los usos permitidos en dicho territorio, previo informe favorable de la Administración del Espacio Natural, las siguientes actuaciones, pudiendo observarse que queda totalmente imposibilitado el desarrollo urbanístico exceptuando algunas construcciones e instalaciones:

1. Construcciones e instalaciones vinculadas a explotaciones agrícolas, ganaderas, forestales y otras análogas vinculadas a la utilización racional de los recursos que guarden relación con la naturaleza y destino de la finca.
2. Construcciones e instalaciones vinculadas a la ejecución, conservación y mantenimiento de obras públicas e infraestructuras en general, cuyo emplazamiento sea insustituible por otro ubicado en suelo urbano o urbanizable.
3. Construcciones e instalaciones propias de asentamientos tradicionales.
4. Obras de rehabilitación, reforma y ampliación de las construcciones e instalaciones existentes que no estén declaradas fuera de ordenación.

5. Excepcionalmente, podrán autorizarse construcciones e instalaciones de interés público que hayan de emplazarse en el suelo rústico, debiendo acompañar a la documentación preceptiva, una memoria justificativa de la adecuación ambiental de la actuación.
6. Las construcciones e instalaciones previstas en los apartados 1, 2, y 5 podrán incorporar una vivienda, siempre que quede suficientemente justificada su necesidad y relación funcional de la actividad principal con la edificación pretendida.

De esta forma queda fuera de la posible clasificación en suelo urbano, evitándose el riesgo ligado a las inundaciones.

Respecto al resto del territorio perteneciente al ARPSI 02 - AEB a su paso por Frías, como se ha dicho, no está recogido en ningún Plan Urbanístico, quedando la zonificación bajo las Normas Urbanísticas Municipales del Valle de Tobalina. En su Capítulo II clasifica los tipos de suelo en tres clases:

- Suelo Urbano: lo constituyen los terrenos a los que las Normas incluyan en esa clase por contar o por poder adquirir fácilmente, acceso rodado integrado en la malla urbana, abastecimiento de agua, evacuación de aguas y suministro de energía eléctrica, debiendo tener estos servicios características adecuadas para servir a la edificación que sobre ellos exista o se haya de construir. También se considerarán urbanos los terrenos que tengan su ordenación consolidada por ocupar la edificación al menos dos terceras partes de los espacios aptos para la misma, según la ordenación que el planeamiento establezca.

Los terrenos que en ejecución del planeamiento lleguen a disponer efectivamente de los mismos elementos de urbanización a que se refiere el párrafo anterior” (Normas Urbanísticas Municipales del Valle de Tobalina)

Esta clasificación por tanto implica que el núcleo urbano de Montejo de Cebas queda clasificado como suelo urbano, lo cual implica que no pueden declararse ilegales las viviendas construidas en la zona de inundación.

- Suelo Urbanizable: el suelo que no tenga la condición de urbano o de rústico, tendrá la consideración de suelo urbanizable, y podrá ser objeto de transformación en los términos establecidos en la legislación urbanística y el planeamiento aplicable”.
- Suelo Rústico: tendrán la condición de suelo rústico los terrenos en que deban ser preservados de su urbanización, entendiéndose como tales los siguientes:
  - a) Los terrenos sometidos a algún régimen especial de protección incompatible con su urbanización, conforme a la legislación del territorio o a la normativa sectorial.

- b) Los terrenos que presenten manifiestos valores naturales, culturales o productivos, entendiéndose incluidos los ecológicos, ambientales, paisajísticos, históricos, arqueológicos, científicos, educativos, recreativos u otros que justifiquen la necesidad de protección o de limitaciones de aprovechamiento, así como los terrenos que, habiendo presentado dichos valores en el pasado, deban protegerse para facilitar su recuperación.
- c) Los terrenos amenazados por riesgos naturales o tecnológicos incompatibles con su urbanización, tales como inundación, erosión, hundimientos, incendio, contaminación o cualquier otro tipo de perturbación del medio ambiente o de la seguridad y salud públicas.
- d) Los terrenos inadecuados para su urbanización, conforme a los criterios señalados en la Ley y en estas Normas.

El territorio no urbanizado de Montejo de Cebas que quede en la zona inundable por los periodos de retorno de 100 y 500 años será declarado suelo rústico para evitar el desarrollo urbanístico en dicha zona, que pone en peligro vidas humanas y puede producir nuevos daños materiales, amparándonos en el apartado c) de la definición de suelo rústico.

**11.7.5.2. Las medidas previstas para adaptar el planeamiento urbanístico vigente a los criterios planteados en el plan de gestión del riesgo de inundación, incluida la posibilidad de retirar construcciones o instalaciones existentes que supongan un grave riesgo, para lo cual su expropiación tendrá la consideración de utilidad pública.**

Dichas Normas en el capítulo 8 de las Normas Urbanísticas Municipales del Valle de Tobalina, en el capítulo 5, apartado 8, se detalla las restricciones a las construcciones en las zonas inundables en el Valle de Tobalina. Las citadas Normas exponen:

Dadas las condiciones orográficas del terreno, en áreas urbanas o urbanizables, la previsible zona inundable queda incluida en la zona de policía del cauce. Se excluye de esta indicación el núcleo urbano de Montejo de Cebas en el que, independientemente de la zona de policía, podrían ser afectados por las inundaciones los terrenos existentes entre la carretera y el río Ebro, y los terrenos entre el río Ebro y el Sector 1, incluido éste (Sector ubicado al este de la localidad, con salidas a la carretera de acceso a la BU-520, la calle Montejo y la carretera a Cuezva) disponiendo en todos los frentes de los servicios urbanos para su posterior desarrollo.

En dicho punto se dice que cualquier actuación en esta zona requerirá el análisis de riesgos, y en función de los mismos, la adopción de medidas adecuadas de acuerdo con la legislación de Protección Civil al efecto. En el presente Plan de Gestión, por tanto, se expone y se representa con cartografía el riesgo

que supone incrementar el desarrollo urbanístico en la zona bajo la influencia del periodo de retorno de 100 y 500 años. Por tanto desde el presente plan, se determina que queda restringido el desarrollo urbanístico y la ampliación de las actuales viviendas si las obras no están destinadas a la disminución de la vulnerabilidad de las viviendas. Dado que el riesgo sobre las personas y los bienes se considera bajo, no se llevarán a cabo medidas para expropiación de viviendas, aunque si se implantará un programa de ayudas para incentivar el cambio de viviendas hacia las zonas fuera de peligro, así como para la reducción de la vulnerabilidad de las viviendas que decidan no optar por el cambio de territorio. Las medidas para reducir se pueden consultar en dichas Normas Urbanísticas y en la memoria del Plan de Gestión.

Para llevar a cabo la reducción de la exposición y la vulnerabilidad, las Normas describen una serie de directrices para el desarrollo de las áreas urbanizables y del Suelo Urbano No Consolidado:

- 1ª.- Las inundaciones en las áreas urbanas tendrán el carácter de excepcionales, lo que en los términos de la Directriz Básica de Protección Civil de 9 de Diciembre de 1.994, equivale a decir que sólo se podrán producir con avenidas superiores a la de 100 años de periodo de retorno.
- 2ª.- Es preceptivo que en esas zonas no haya riesgos de pérdidas de vidas humanas incluso con la avenida máxima, que la Ley de Aguas identifica con la de 500 años. Es decir, no es grave que las crecidas con periodo de retorno entre 100 y 500 años produzcan inundaciones siempre que no supongan pérdidas de vidas humanas.
- 3ª.- En la zona inundable fuera de la vía de intenso desagüe, las limitaciones al suelo que deban establecerse, irán encaminadas a evitar daños importantes. En ese sentido la zona de policía (en algunos casos extensible a una anchura superior a los 100 metros establecidos) puede verse afectada directamente como zona inundable, debiendo cumplir, entre otras una función laminadora del caudal de avenida, por lo que en los casos en que proceda se respetarán las siguientes condiciones particulares:
  - A. Se respetará en las márgenes una anchura libre de 5 m en toda la longitud de la zona colindante con el cauce al objeto de preservar la servidumbre de paso establecida en el RDPH destinada al paso peatonal de vigilancia y de pescadores, entre otras.
  - B. Las futuras edificaciones de carácter residencial deberán tener la planta baja, o el sótano si lo hubiera, a una cota tal que no sean afectadas por la avenida de 100 años, ni se produzca la condición de inundación peligrosa (aquella que puede producir víctimas, interrumpir un servicio imprescindible para la comunidad o dificultar gravemente las actuaciones de emergencia) con la de 500 años.
- 4ª.- Las construcciones no residenciales (industriales, comerciales, etc) deberán situarse a cotas suficientes para evitar que durante la avenida de 100 años se produzcan alturas de inundación

sobre el suelo superiores a 0,50 m., salvo que se hubieran adoptado en todo el entorno medidas impermeabilizadoras hasta el nivel de dicha avenida.

5ª.- Las futuras edificaciones de carácter residencial deben de tener la planta baja, o el sótano, si lo hubiere, a una cota tal que no sean afectadas por la avenida de 100 años, ni se produzca la condición de inundación peligrosa con la de 500 años.

#### **11.7.6. Medidas consideradas para promocionar los seguros frente a inundación sobre personas y bienes y, en especial, los seguros agrarios.**

En materia de seguros, el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) se ocupa de la cobertura de los riesgos extraordinarios. Se promocionará en la población con viviendas en la zona inundable que queden bajo la zona de influencia de la inundación de periodo de retorno de 500 años. Se explicará a la población que solo recibirán compensaciones económicas por parte del CCS cuándo se encuentren al corriente del pago de la prima por pérdidas por inundación tanto con el CCS o con otra aseguradora si esta no puede hacer frente a sus obligaciones indemnizatorias por encontrarse en quiebra, suspensión de pagos o proceso de liquidación.

De la misma manera se procederá para la actividad agrícola, promocionándose los seguros agrícolas a través del Plan Anual de Seguros Agrarios, elaborados por la Entidad Estatal de Seguros Agrarios (ENESA), que colabora en la concesión de subvenciones a los agricultores y ganaderos para atender al pago de una parte del coste del seguro.

Dichas medidas se llevarán a cabo por personal de los organismos promocionados con visitas a la zona y elaboración y distribución de folletos donde se explique el funcionamiento de las entidades aseguradores y enumeren las ventajas de adquirir las primas frente al riesgo de no asegurarse.

#### **11.7.7. Medidas estructurales planteadas y los estudios coste-beneficio que las justifican, así como las posibles medidas de inundación controlada de terrenos.**

Son las consistentes en la realización de obras de infraestructura que actúan sobre los mecanismos de generación, acción y propagación de las avenidas alterando sus características hidrológicas o hidráulicas, así como del oleaje, de las mareas o de la erosión en las zonas costeras. En el presente plan de gestión no se propone este tipo de medidas ya que no tendrían mayor efectividad que las ya propuestas y el análisis coste-beneficio sería desproporcionado.

### 11.7.8. Medidas propuestas y Administración responsable, prioridad y estimación del coste.

En la tabla siguiente se refleja los costes asociados a cada medida propuesta en el plan de gestión:

MEDIDA	COSTE (€)	FECHA FINALIZACIÓN	ORGANISMO	Prioridad
Cambio normas urbanísticas (Objetivo principal)	14,000	31 de junio de 2012	Ayto. Valle de Tobalina y Junta de Castilla y León	Alta
Construcción estación SAIH bajo coste (Objetivo secundario)	3,000 + 1,000/año	31 de diciembre de 2015	CHE	Media
Campaña de promoción de seguros (Objetivo secundario)	2,000	31 de diciembre de 2012	CCS y ENESA	Alta
Ayudas a la reducción de la vulnerabilidad y la exposición (Objetivo secundario)	2,000/vivienda	31 de diciembre de 2017	Ayto. Valle de Tobalina y Junta de Castilla y León	Media

Tabla 14. Costes asociados a las medidas propuestas en el Plan de Gestión. Fuente: elaboración propia.

## 11. 8. Descripción de la ejecución del plan de gestión del riesgo de inundación.

### 11.8. 1. Prioridades, los indicadores del cumplimiento y avance del plan de gestión del riesgo de inundación y supervisión de los progresos en la ejecución del mismo.

La dirección del presente trabajo supervisará el cumplimiento de las medidas del Plan de Gestión de los Riesgo de Inundación a través de los siguientes indicadores con la finalidad de evaluar la concreción del plan.

Para la construcción de la estación SAIH de bajo coste se realizará un informe tras la implantación de la misma, quedando la revisión supeditada a su buen funcionamiento.

En cuanto a la evaluación del estado de la masa de agua estará supeditado a los resultados de la toma de datos que serán supervisados por la CHE para su registro y posterior evaluación.

Respecto a la campaña de promoción de seguros, se presentará en el plazo de dos meses desde la aprobación del presente plan de gestión, la propuesta del folleto informativo. Tras las visitas se detallará un informe por parte del personal desplazado a la zona, en el que se verá reflejada la aceptación del programa.

El cambio en las normas urbanísticas, busca evitar el desarrollo urbanístico en las zonas de riesgo, y por tanto el ayuntamiento debe ser el encargado de desarrollar el Plan Urbanístico en el plazo citado con los medios propuestos, debiendo presentar los avances en forma de informe con fecha máxima 31 de diciembre de 2012, y la propuesta de Plan antes de la fecha final.

Por último la consecución de la reducción de la exposición de la peligrosidad y la vulnerabilidad tendrá que ser revisada por los técnicos del CCS que deben verificar la correcta implantación de las ayudas económicas.

#### **11.8.2. Lista de las autoridades competentes.**

- Confederación Hidrográfica del Ebro
- Ayuntamiento del Valle de Tobalina
- Protección Civil de Castilla y León
- Comunidad Autónoma de Castilla y León
- Ministerio del Interior (Subdelegación del Gobierno de España)
- UME
- Guardia Civil del Valle de Tobalina
- Consorcio de Compensación de Seguros

## 12. Bibliografía.

- Proyecto fin de máster MAGUA 2010/2011. *Implantación de la directiva 2007/60 de evaluación y gestión de los riesgos de inundación en tres tramos de dos ARPSIs de la Cuenca Hidrográfica del Duero.*
- [www.chebro.es](http://www.chebro.es)
- [www.ign.es](http://www.ign.es)
- [www.igme.es/internet/default.asp](http://www.igme.es/internet/default.asp)
- Consorcio de Compensación de seguros.
  - La cobertura aseguradora de las catástrofes naturales. Serie 1971 - 2010. Consorcio de Compensación de seguros.
  - La cobertura aseguradora de las catástrofes naturales. Diversidad de sistemas. Consorcio de Compensación de Seguros.
- [www.conorseguros.es/web/guest/i](http://www.conorseguros.es/web/guest/i)
- [www.magrama.gob.es/es/](http://www.magrama.gob.es/es/)
- Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. MAGRAMA
- Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH) Cuencas del Ebro y Guadalquivir. Dirección General de Protección Civil y Emergencias
- SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO, EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIÓN
- Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Estudios Históricos y geomorfológicos (Borrador v6). *Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino;*
- Hec-GeoRAS GIS Tools for support of HEC-RAS using ArcGIS USER`s Manual Version 4.2 Septiembre 2009. US Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineering Center) [http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-GeoRAS42\\_UsersManual.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-GeoRAS42_UsersManual.pdf)
- Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de los Montes Obarenes.
- [www.ine.es](http://www.ine.es)
- [www.wikipedia.es](http://www.wikipedia.es)
- [www.valledetobalina.es](http://www.valledetobalina.es)
- <http://www.diccionariomadoz.org/historia-MONTEJO%20de%20CEBAS-1-16745.html>
- <http://www.burgos.es/node/1223/view/jv>
- Inocencio Cadiñanos Bardeci, *El valle de Tobalina*, 1986. EXCMO. AYUNTAMIENTO DEL VALLE DE TOBALINA.

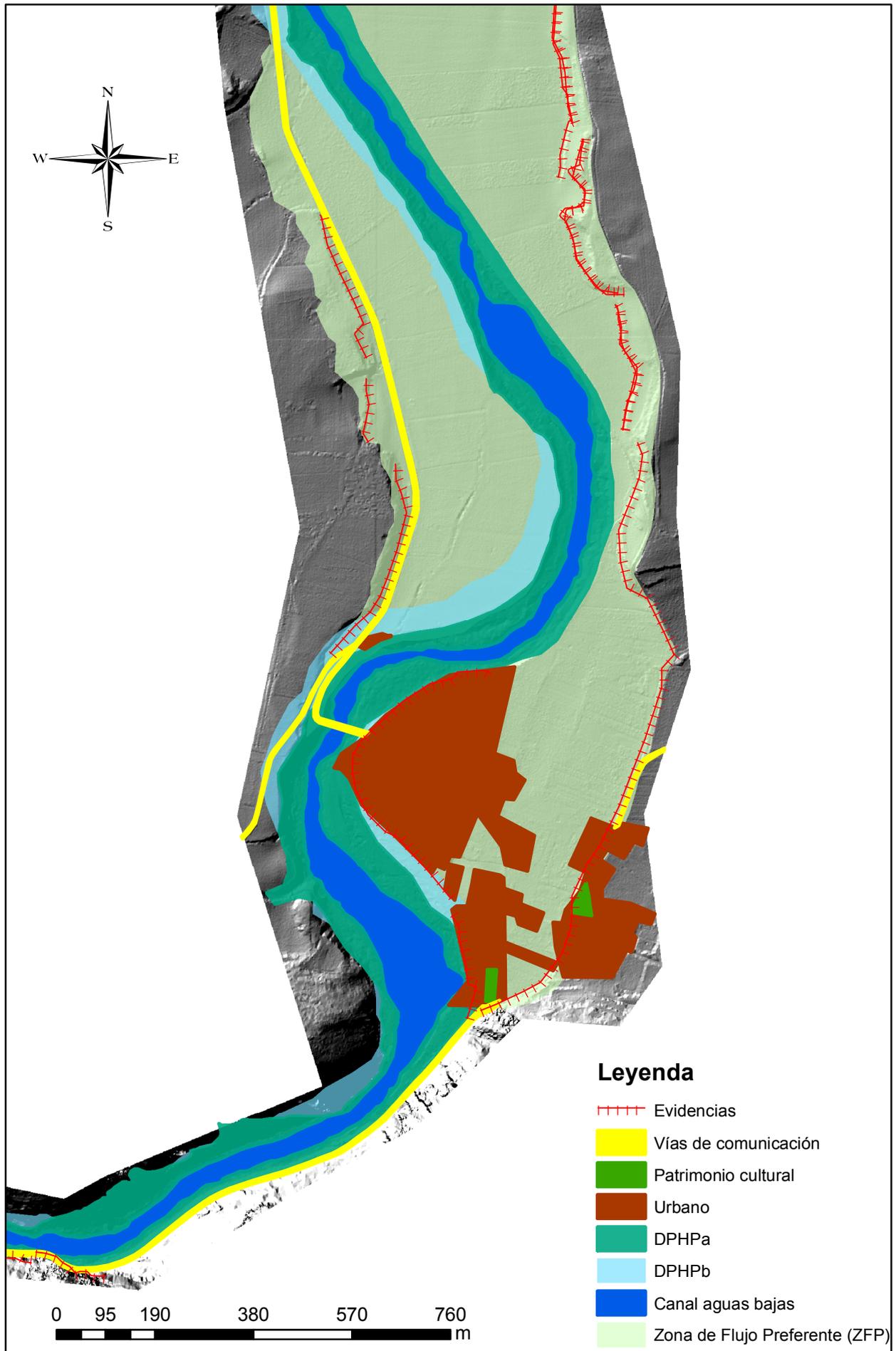
- [www.conorseguros.es](http://www.conorseguros.es)
- [www.ign.es](http://www.ign.es)
- [www.jcy.es](http://www.jcy.es)
- [www.mapas-for-free.es](http://www.mapas-for-free.es)
- Iber. Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Manual de Referencia Hidráulica. Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente de Medio Rural y Marino, CIMNE, Flumen, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. CEDEX. Madrid 2010.
- Iber. Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Manual Básico de Usuario. Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente de Medio Rural y Marino, CIMNE, Flumen, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. CEDEX. Madrid 2010.
- [www.grafcan.es](http://www.grafcan.es).
- *Propuesta metodológica para la elaboración de los mapas de riesgo. MAGRAMA.*

## ANEXOS

**ANEXO I:**

**Mapa geomorfológico**

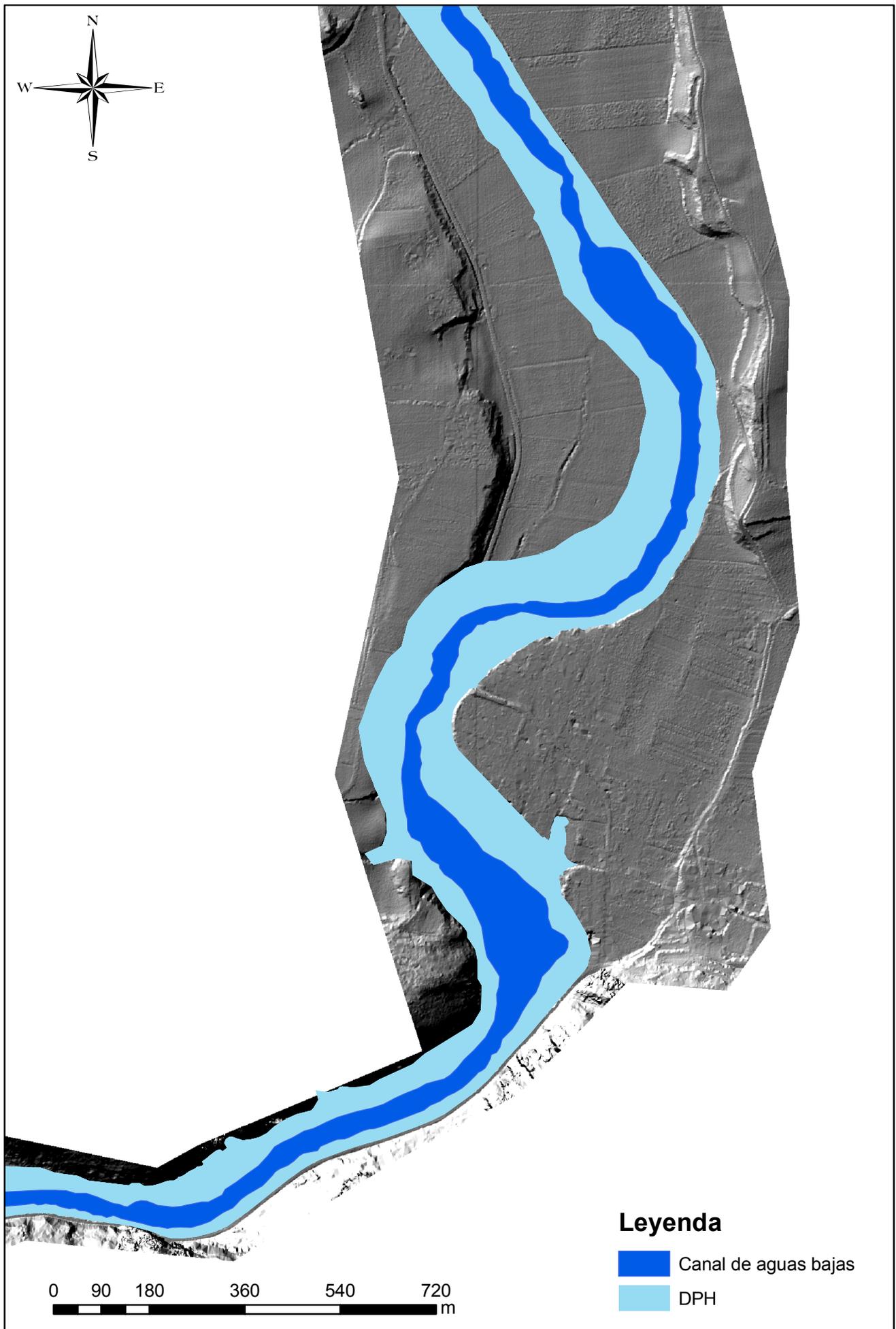
# Mapa geomorfológico



## **ANEXO II:**

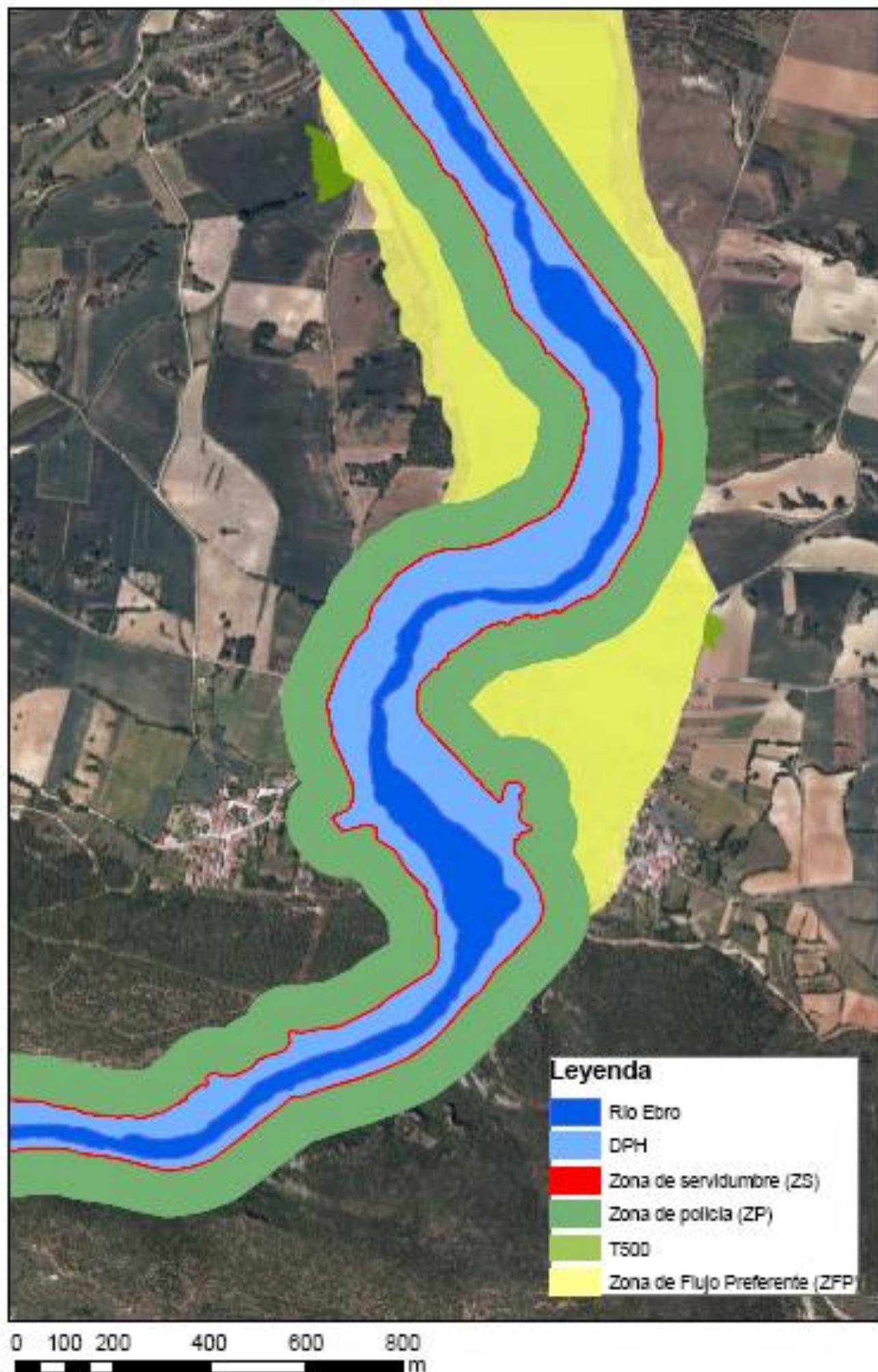
### **Mapa de calibración del DPH**

# Mapa de calibración del DPH



**ANEXO III:**  
**Mapa de zonificación**

# Mapa de zonificación



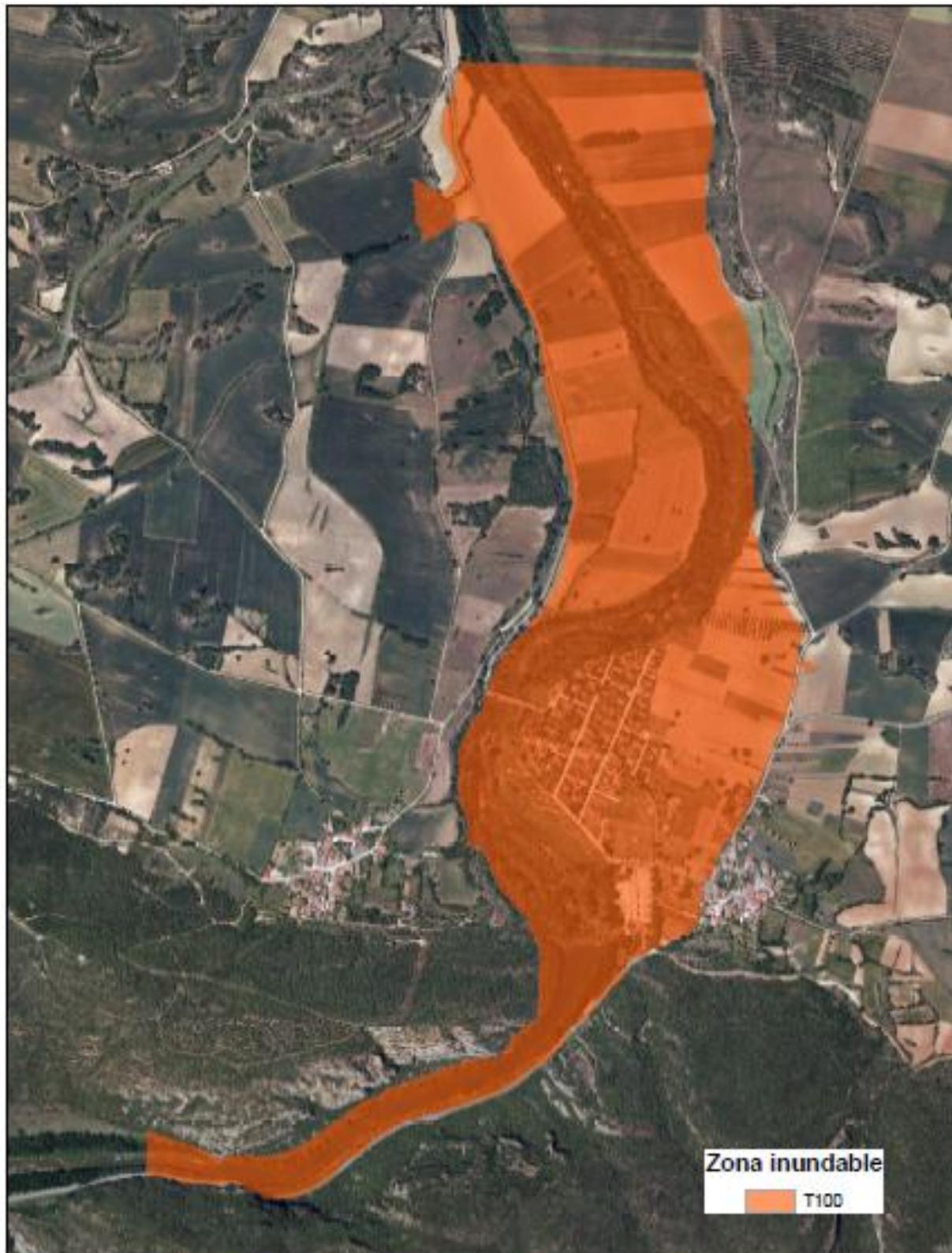
**ANEXO IV:**  
**Mapas de inundabilidad**

# MAPA DE INUNDABILIDAD T10



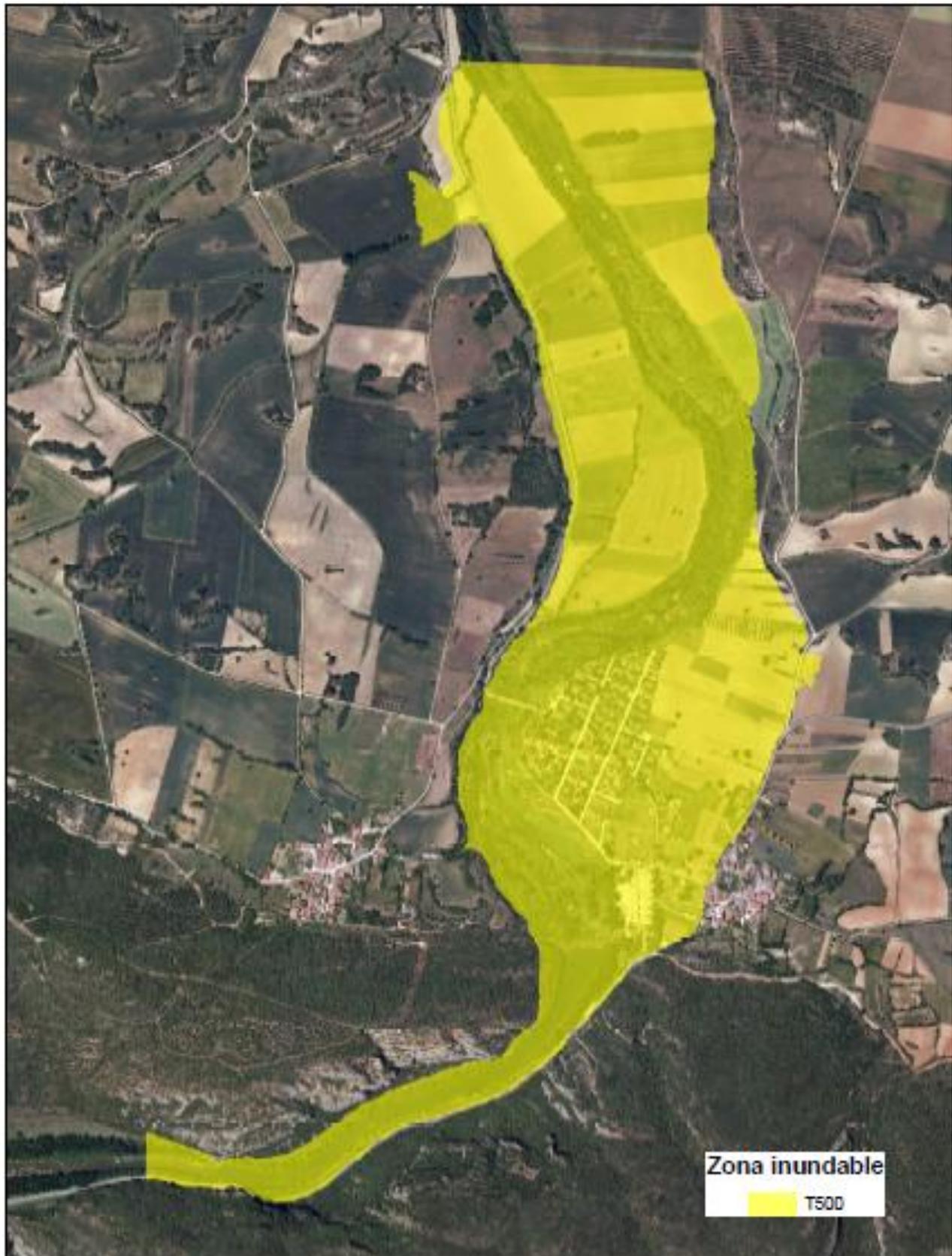
0 75 150 300 450 600  
Meters

# MAPA DE INUNDABILIDAD T100



0 75 150 300 450 600  
Meters

# MAPA DE INUNDABILIDAD T500

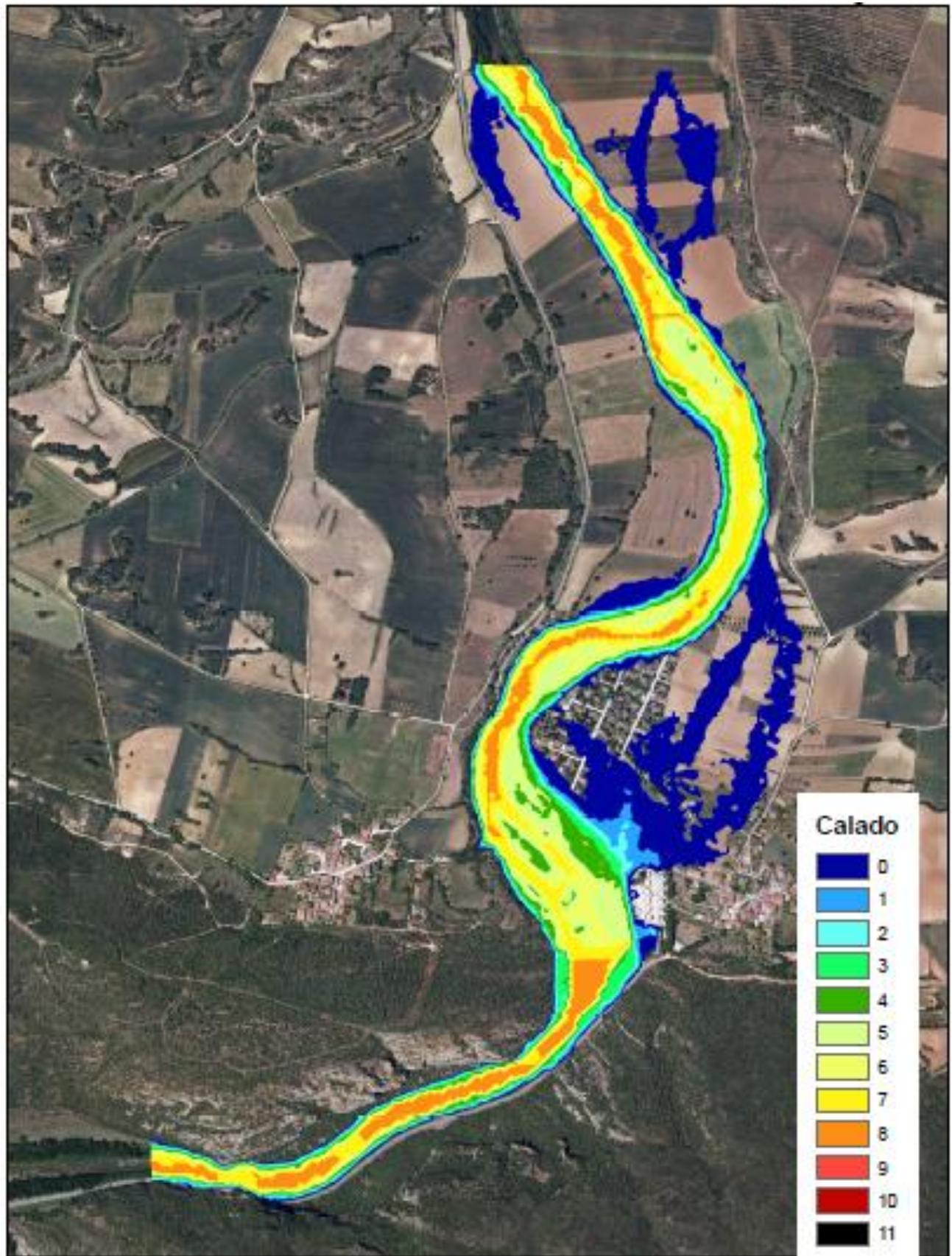


0 75 150 300 450 600  
Meters

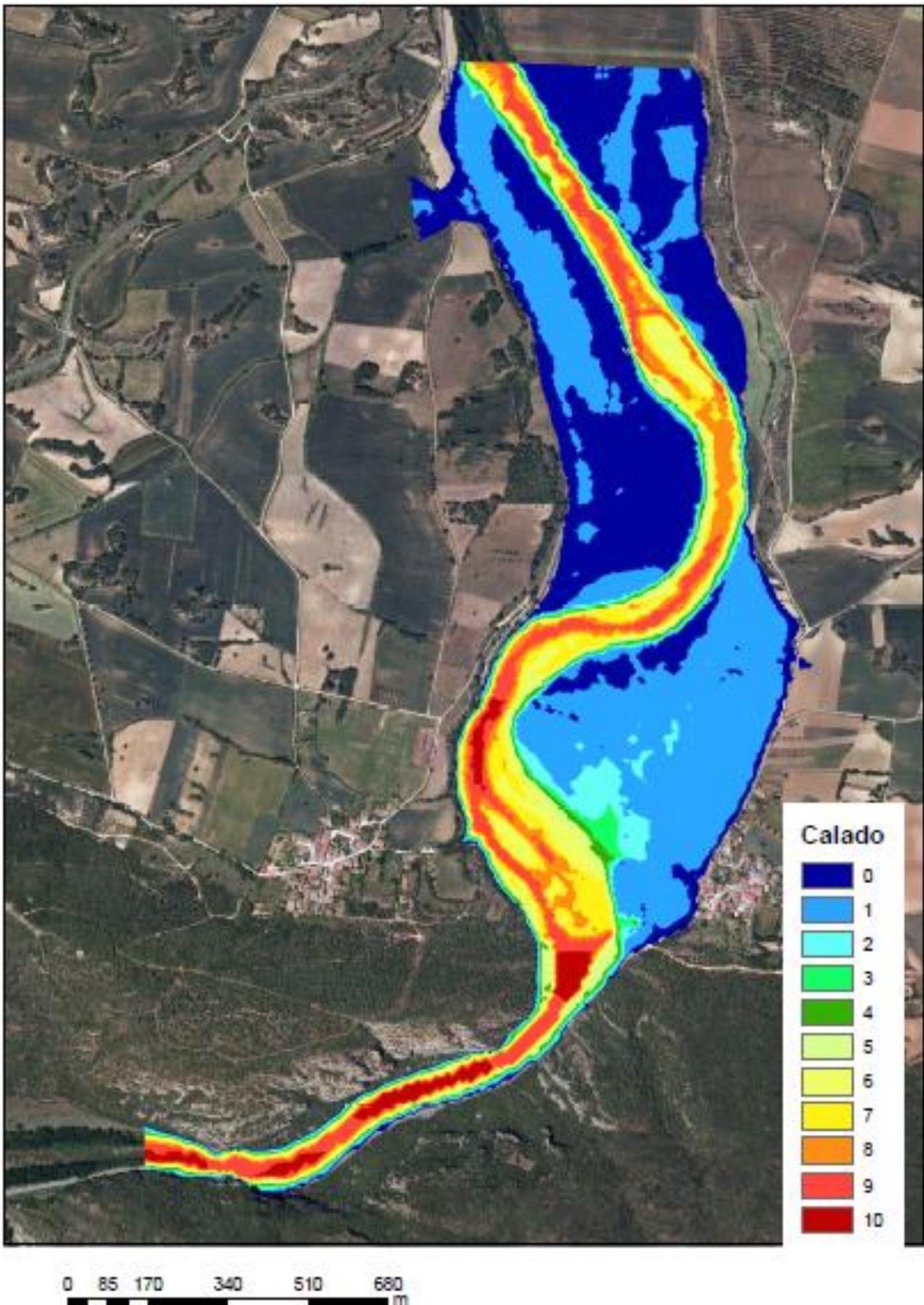
## **ANEXO V:**

### **Mapas de peligrosidad**

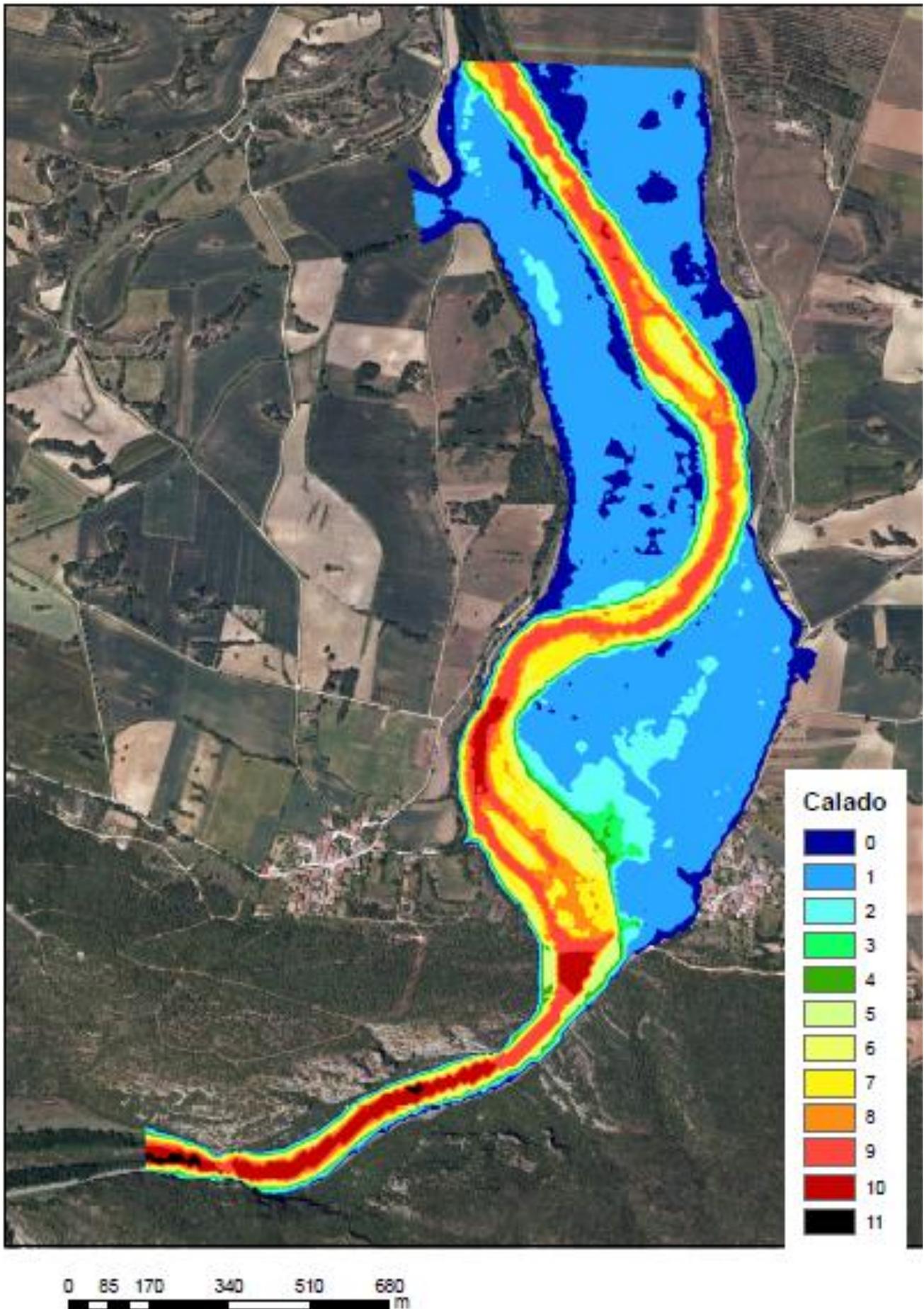
# MAPA DE PELIGROSIDAD T10



# MAPA DE PELIGROSIDAD T100

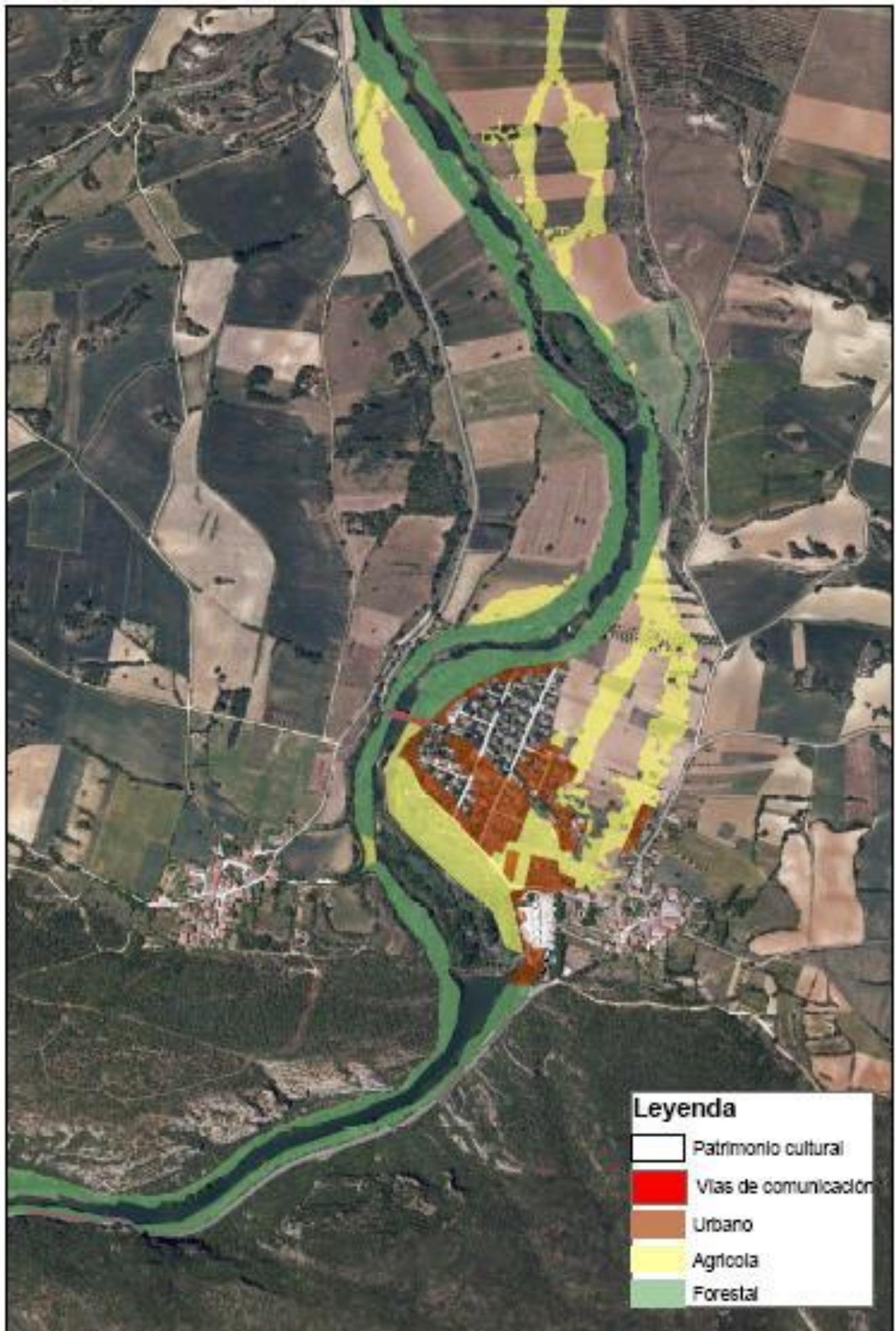


# MAPA DE PELIGROSIDAD T500



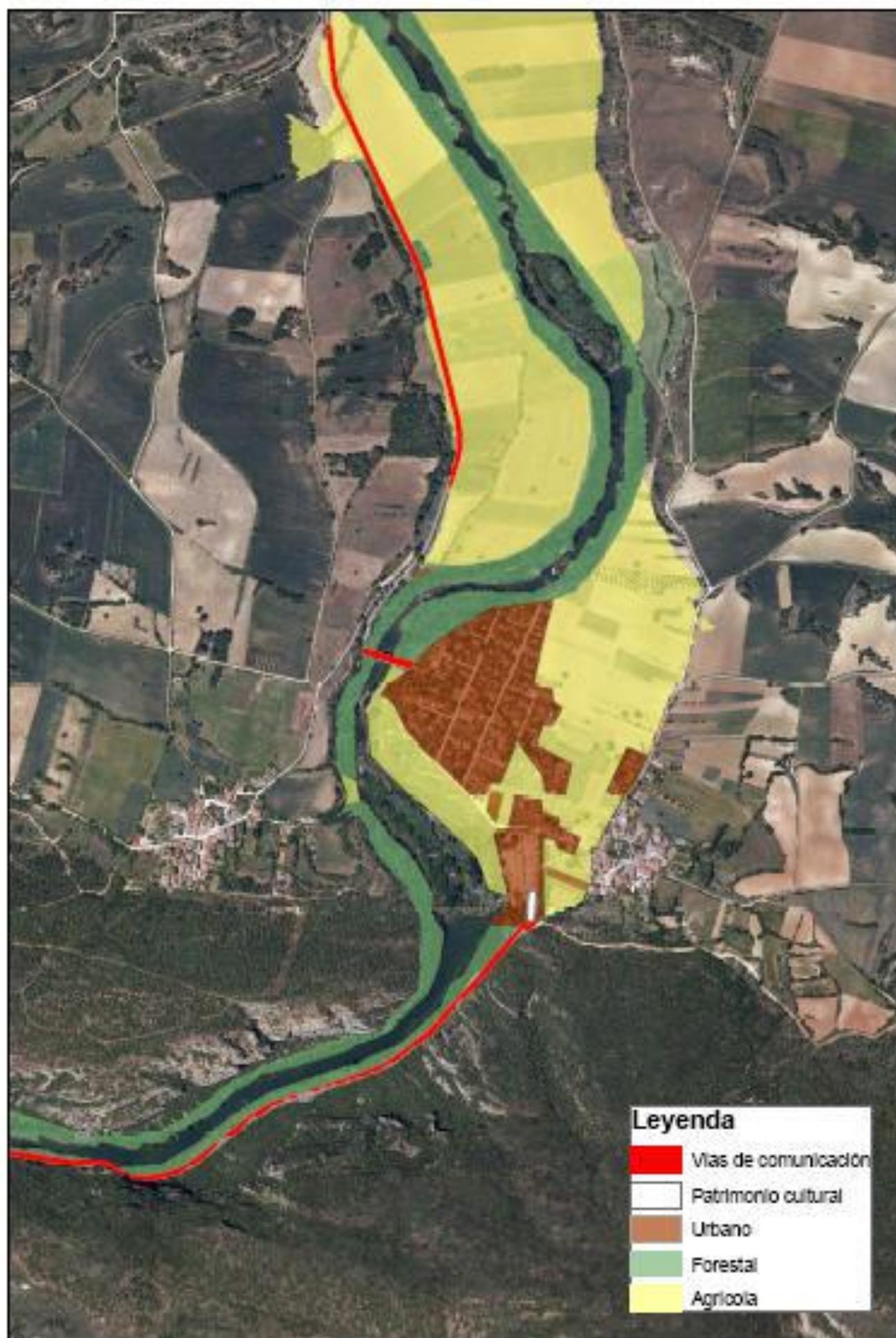
**ANEXO V:**  
**Mapas de riesgo**

# Mapa de riesgo T10



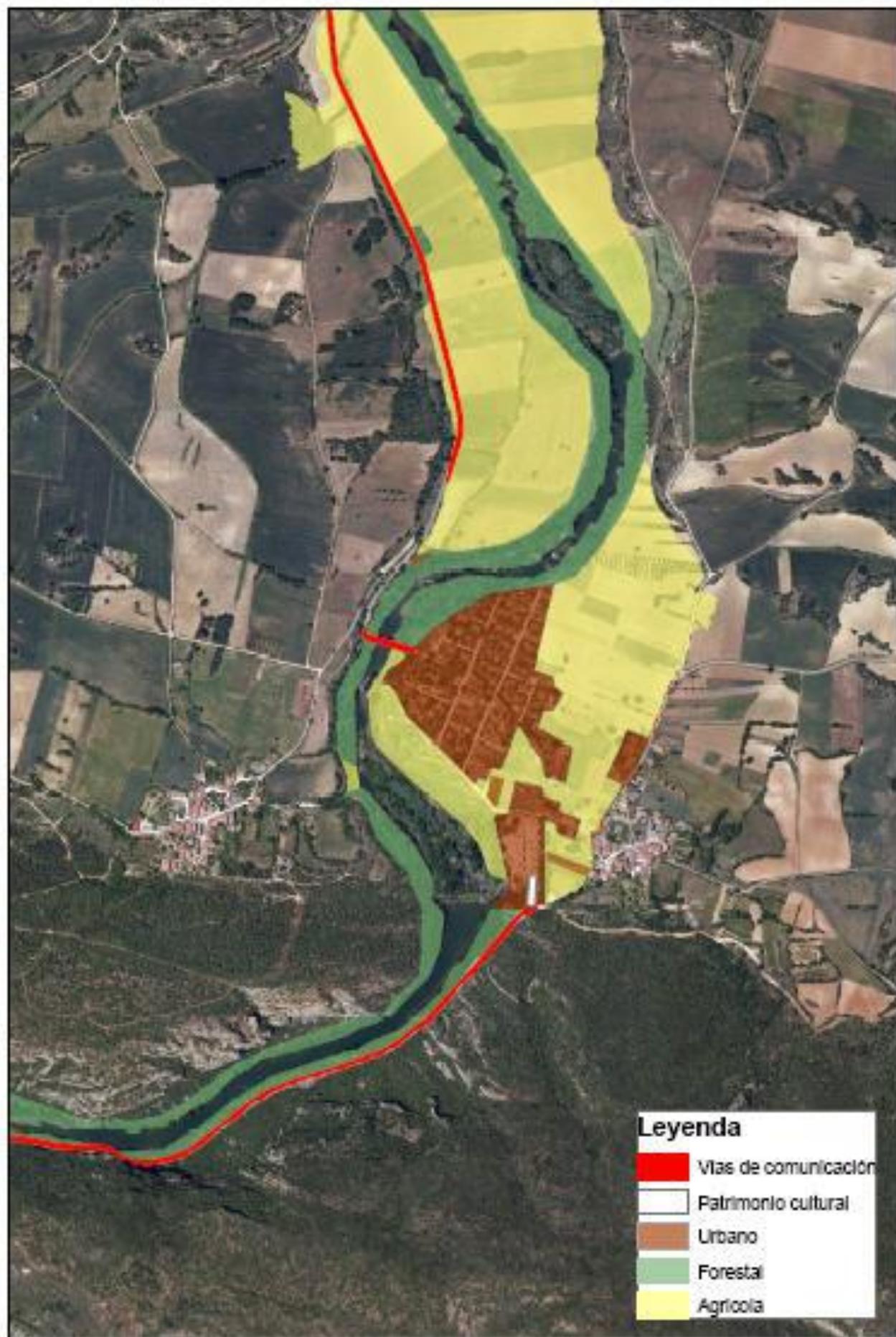
0 95 190 380 570 760  
m

# Mapa de riesgo T100



0 95 190 380 570 760  
m

# Mapa de riesgo T500



0 95 190 380 570 760  
m