

TRABAJO DE FIN DE GRADO

ANÁLISIS INTEGRADO DEL RÍO FLUMEN Y SUS RIESGOS DE INUNDACIÓN ESTUDIO DE CASO: POLEÑINO Y LALUEZA

Nelson Subías Sanz

Directores: Alfredo Ollero Ojeda y Miguel Sánchez Fabre

Grado Universitario en
Geografía y Ordenación del Territorio

Junio de 2014



Resumen

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

Palabras Clave: río Flumen, crecidas, inundaciones, Hidrología, gestión fluvial.

Abstract

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

Key Words: Flumen river, natural floods, floods events, Hidrology, flood management.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	9
1.2. OBJETIVOS	10
1.3. ÁREA DE ESTUDIO	11
1.4. METODOLOGÍA.....	13
2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA.....	15
2.1. FACTORES DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO	15
2.2.1. Clima	15
a) <i>Temperaturas</i>	16
b) <i>Precipitaciones</i>	18
c) <i>Evapotranspiración</i>	20
2.1.2. Pendiente	22
2.1.3. Litología	24
2.1.4. Usos del suelo y vegetación.....	27
2.2. LA RED DE DRENAJE.....	29
2.2.1. Jerarquización de la cuenca	30
2.2.2. Morfometría.....	31
a) <i>Variables topológicas</i>	31
b) <i>Variables de longitud de los cauces</i>	32
c) <i>Variables geométricas de la cuenca</i>	33
d) <i>Variables de intensidad fluvial</i>	34
e) <i>Variables de relieve</i>	35
f) <i>Valoración de resultados</i>	36
3. FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO	38
3.1. TRATAMIENTO DE DATOS DE ESTACIONES DE AFOROS.....	38
3.1.1. Caudalosidad	39
3.1.2 Irregularidad interanual	40
a) <i>Cociente de irregularidad interanual</i>	40
b) <i>Histogramas de irregularidad interanual</i>	40

3.1.3. Variación estacional de caudal	42
a) <i>Coeficiente de caudal</i>	42
b) <i>Curva de variación estacional de caudal</i>	43
3.1.4. Fenómenos extremos	44
a) <i>Hidrogramas de crecida</i>	44
b) <i>Hidrogramas de estiaje</i>	46
3.2. CRECIDAS HISTÓRICAS	48
3.3. PROBABILIDAD DE CRECIDA: AJUSTE DE GUMBEL.....	49
4. TRAMIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DEL CAUCE	54
5. EVALUACIÓN DE RIESGOS RELACIONADOS CON EL RÍO	57
5.1. ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POTENCIAL.....	57
5.2. ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD DE CAUDALES EN PUENTES	65
5.2.1. Puente “del Ganado”	66
5.2.2. Puente “de Madera”	66
5.2.3. Puede “de La Estación-Lalueza”	67
5.3. CARACTERIZACIÓN HIDROMÓRFICA DE CAUCES	67
5.3.1. Entrada a Poleñino.....	68
5.3.2. Centro de Poleñino	69
5.3.3. Poleñino-Lalueza	70
6. EVALUACIÓN AMBIENTAL	72
7. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RIESGOS Y MEJORA AMBIENTAL	76
8. CONCLUSIONES	78
9. BIBLIOGRAFÍA	80

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Crecida del río Flumen a su paso por Poleñino (20 octubre de 2012)	9
Ilustración 2. Dique de tierra	10
Ilustración 3. Comparación del puente del ganado en crecida y sin crecida	66
Ilustración 4. Comparación del puente de madera en crecida y sin crecida	66
Ilustración 5. Puente de la estación – Laluezas	67
Ilustración 6. Cauce del río Flumen en su entrada a Poleñino	68
Ilustración 7. Cauce del río Flumen en el centro de Poleñino	69
Ilustración 8. Cauce del río Flumen en el tramo de la estación – Laluezas	70
Ilustración 9. Embalse de Montearagón.	72
Ilustración 10: Río Flumen. (izda) Azud de Poleñino / (dcha) Azud de Laluezas.....	73

Índice de Tablas

Tabla 1. Resultados de la Morfometría fluvial	35
Tabla 2. Resultados del coeficiente de caudal para las tres estaciones de aforo	42
Tabla 3. Estadísticas de crecida en las tres estaciones de aforo	44
Tabla 4. Crecidas históricas registradas en la cuenca del Flumen.....	48
Tabla 5. Cálculo del caudal de crecida permitido en el puente del ganado.....	66
Tabla 6. Cálculo del Caudal Bankfull en el tramo de la estación – Laluezas	66
Tabla 7. Cálculo del caudal de crecida permitido en el puente de madera.....	67
Tabla 8. Cálculo del Caudal Bankfull en la entrada de Poleñino	69
Tabla 9. Cálculo del Caudal Bankfull en el centro de Poleñino.....	70
Tabla 10. Cálculo del caudal de crecida permitido en el puente de la estación – Laluezas.....	71

Índice de Figuras

Figura 1: Histograma de irregularidad interanual (Quicena 1979-2009)	40
Figura 2: Histograma de irregularidad interanual (Barbués; 1979-2009)	41
Figura 3: Histograma de irregularidad interanual (Albalatillo; 1992-2008)	41
Figura 4: Curva de variación estacional de caudal (Quicena; 1978-2010).....	43
Figura 5: Curva de variación estacional de caudal (Barbués; 1978-2009).....	43
Figura 6: Curva de variación estacional de caudal (Albalatillo; 1992-2009).....	43
Figura 7: Mayor crecida registrada en el Río Flumen (Quicena; 1978-2010).....	45
Figura 8: Mayor crecida registrada en el Río Flumen (Barbués; 1992-2009).....	45

Figura 9: Mayor crecida registrada en el río Flumen (Albalatillo; 1992-2009)	45
Figura 10: Mayor estiaje mensual registrado en el río Flumen (Quicena; 1978-2009)...	46
Figura 11: Mayor estiaje mensual registrado en el río Flumen (Barbués; 1978-2009)...	47
Figura 12: Mayor estiaje mensual registrado en el río Flumen (Albalatillo; 1992-2009)	47
Figura 13. Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Quicena (1979-2009)	50
Figura 14. Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Barbués (1979-2009).....	51
Figura 15. Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Albalatillo (1992-2009).....	52
Figura 16. Perfil topográfico del cauce del río Flumen en la entrada a Poleñino	69
Figura 17. Perfil topográfico del cauce del río Flumen en el centro de Poleñino	70
Figura 18. Perfil topográfico del cauce del río Flumen en la estación – Lalueza	71

Índice de Cartografías

Cartografía 1: Localización de la cuenca del río Flumen en la cuenca del Ebro, España	12
Cartografía 2: Temp. máximas, mínimas y medias anuales en la cuenca del río Flumen.....	16
Cartografía 3: Pluviometría media anual en la cuenca del río Flumen	18
Cartografía 4: Evapotranspiración media en la cuenca del río Flumen.....	20
Cartografía 5: % de pendiente en la cuenca del río Flumen.....	22
Cartografía 6: Componentes litológicos de la cuenca del río Flumen.....	24
Cartografía 7: Usos del suelo en la cuenca del río Flumen	27
Cartografía 8: Jerarquización de la red de drenaje de la cuenca del río Flumen.....	30
Cartografía 9. Localización de las estaciones de aforo del río Flumen	38
Cartografía 10. Tramificación del cauce del río Flumen.....	56
Cartografía 11. Espacios inundables entre Poleñino y Lalueza según el PR	58
Cartografía 12. Altitud del terreno y espacios inundables entre municipios según el PR	59
Cartografía 13. Espacios inundables en Poleñino según el PR	60
Cartografía 14. Zonas más vulnerables en Poleñino según el PR (I)	61
Cartografía 15. Zonas más vulnerables en Poleñino según el PR (II).....	62
Cartografía 16. Espacios inundables en Lalueza según el PR	63
Cartografía 17. Zonas más vulnerables en Lalueza según el PR.....	64
Cartografía 18. Localización de los puentes estudiados.....	65

1. INTRODUCCIÓN

La crecida de un río es un proceso natural de respuesta hidromorfológica del sistema ante una determinada situación (un evento de precipitaciones intensas, fusión nival, etc.) (Ollero, A. 1997). Las crecidas también pueden llamarse avenidas o riadas, y tienen asociadas a cada río un umbral de desbordamiento. En el momento en el que en estas crecidas se produce un desbordamiento del caudal sobre el cauce, se produce un fenómeno de inundación. Cuando se supera ese umbral y el caudal alcanza un valor correspondiente a un periodo de retorno de 5 años, se dice que la crecida tiene un carácter extraordinario (Ollero, A. 1996).

Las crecidas más largas y lentas suelen provocar inundaciones más o menos prolongadas en la llanura aluvial. Estos desbordamientos tienen aspectos positivos: regulan el caudal circulante sobre el lecho principal, reduciendo el caudal aguas abajo, dinamizan los procesos geomorfológicos y ecológicos, movilizan los sedimentos creando nuevas morfologías y renovando las microtopografías del lecho, y arrastran troncos y ramas, renovando y enriqueciendo la diversidad de las riberas y los sotos (Ollero et al., 2004).

Por otro lado, si durante una crecida se produce un desbordamiento que puede alcanzar a los núcleos de población, infraestructuras y campos de cultivo, entonces esa crecida en concreto constituye un riesgo porque puede afectar a las personas y sus bienes. Si hay riesgo de inundación quiere decir que al proceso natural de crecida se añaden los conceptos de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. La peligrosidad se refiere a la probabilidad de que ocurra una inundación y a la magnitud que pueda alcanzar durante el episodio. La exposición es la presencia de personas y/o bienes. Y la vulnerabilidad hace referencia al impacto de ese fenómeno sobre la población. El grado de vulnerabilidad o fragilidad de las personas y/o bienes, dependerá de los usos del territorio que estén expuestos (Llasat, M.C., 2008).

Desde la perspectiva de la ordenación territorial, el riesgo se entiende como el resultado de las actuaciones llevadas a cabo por el ser humano en el medio natural y que no han tenido en cuenta el comportamiento de la naturaleza (Olcina, J., 2010). O dicho de otra manera, el proceso se convierte en riesgo cuando el hombre interviene en dicho sistema y ocupa el territorio del río, quedando expuesto a la dinámica fluvial del río,

constrin  endo su cauce a su paso por los núcleos de población, cultivando su llanura de inundación, etc. (Ollero, A., 2007).

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La \'ultima gran crecida del río Flumen a su paso por la Comarca de los Monegros (Huesca), había quedado 50 años atrás, pero el 20 de octubre de 2012 se produjo un evento de las mismas magnitudes, debido a las importantes avenidas que se habían producido en ese mismo fin de semana, registrándose en Grañen en torno a 130 litros, y oficialmente 73,6 m³/s que se repitieron en varias observaciones en el tránsito de los días 20 y 21, así como en la madrugada del día 21 (Ac  n et al., 2012).



Ilustración 1. Crecida del río Flumen a su paso por Pole  nino (20 octubre de 2012). Fuente: Violeta Sanz.

El mayor peligro se concentró en Pole  nino, donde tuvieron que ser desalojadas tres casas habitadas por seis personas, ya que el nivel del caudal del río Flumen aumentó en más de 4 metros. El daño todavía pudo ser mayor puesto que los vecinos del municipio ayudaron a la construcción de un dique de tierra. Al llenarse por completo

el embalse de Valdabra, un importante barranco afluente del río Flumen, provocó que el nivel del caudal aumentara peligrosamente en Poleñino, donde además se inundaba una pasarela de paso peatonal sobre el río y los huertos aledaños, o en Laluez, donde se anegaban por completo algunas parcelas próximas al cauce y se cortó el tráfico en algunos puentes.



Ilustración 2. Dique de tierra. Fuente: (izda) Violeta Sanz, (dcha) Alexis Porta

Debido al evento ocurrido en el 2012, la poca documentación existente sobre la cuenca del río Flumen, y la ausencia de estudios de ordenación territorial de estas características, hacen que me haya resultado de gran interés escoger para este estudio el tramo del río comprendido entre los municipios de Poleñino y Laluez, dado que son los dos pueblos de mi familia y en los que he vivido toda mi vida.

1.2. OBJETIVOS

Tres son los objetivos principales que se han planteado en este trabajo:

- Analizar exhaustivamente las características de la cuenca y del cauce principal, para llegar a comprender cuál es el funcionamiento hidrológico del río.
- Evaluar los riesgos relacionados con la dinámica fluvial del río así como su situación ambiental, para conocer su comportamiento ante los episodios de crecida fluviales, en el tramo entre Poleñino y Laluez.

- Establecer una serie de medidas de mitigación de riesgos y mejora ambiental, para disminuir los posibles daños por inundación perjudicando al río lo menos posible.

1.3. ÁREA DE ESTUDIO

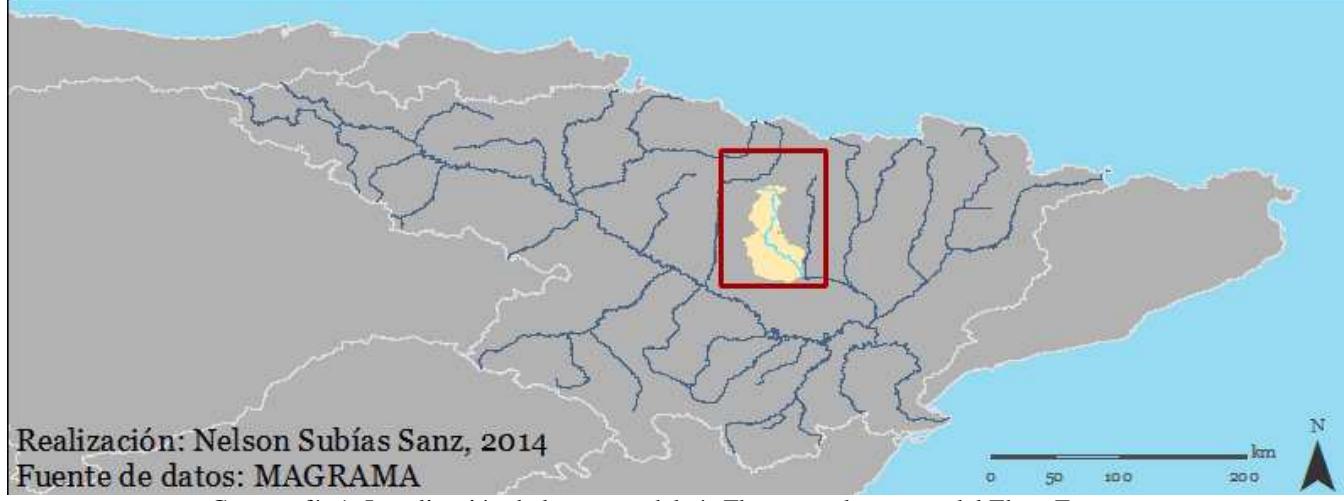
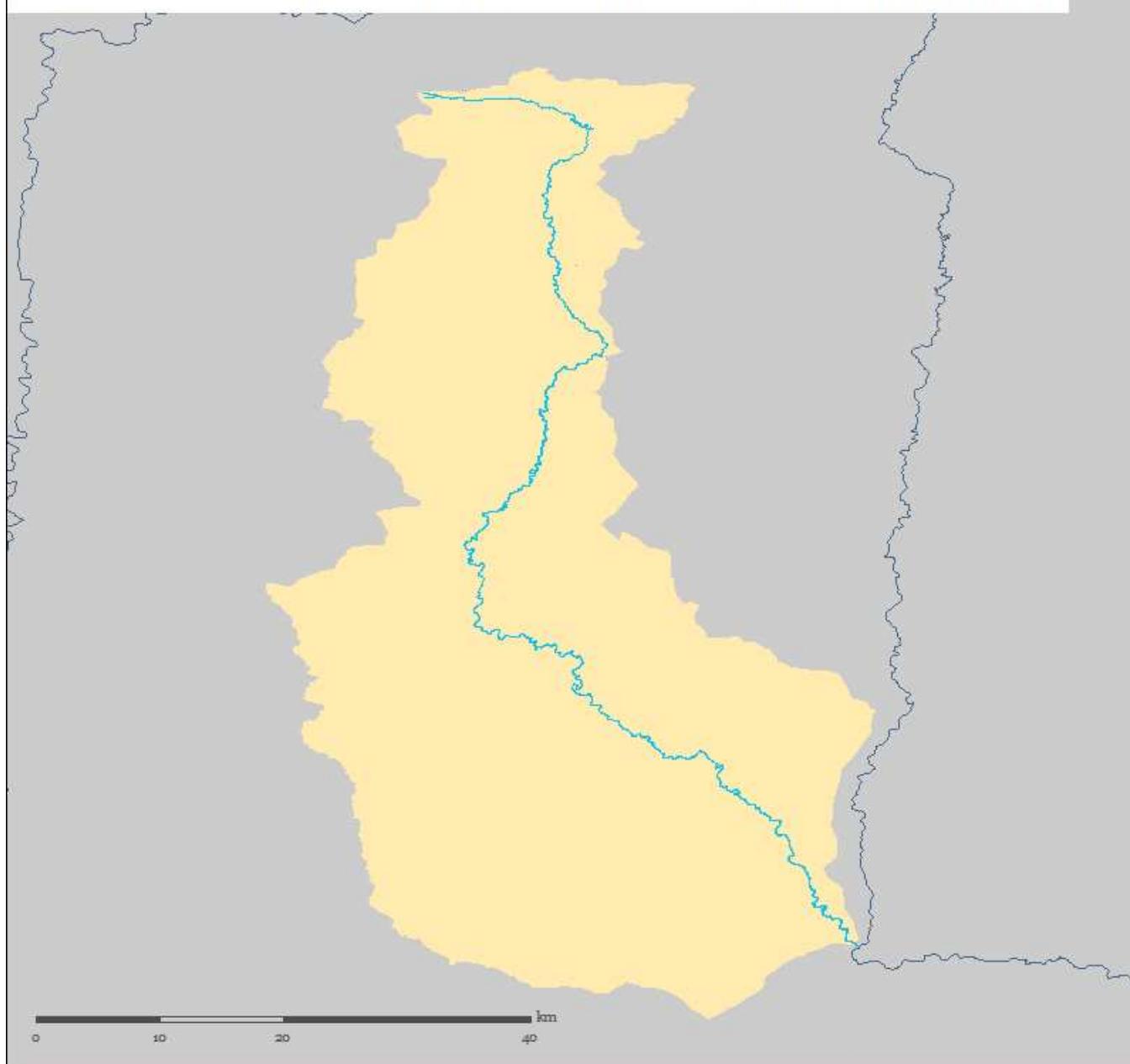
La cuenca del río Flumen se localiza dentro de la cuenca hidrográfica del Ebro, la cual pertenece a la vertiente mediterránea española. Situada al NE de la península Ibérica, y en la parte central de la margen izquierda del río Ebro, esta cuenca se considera una subcuenca de la del río Alcanadre, la que a su vez lo es del río Cinca.

El río Flumen nace en el prepirineo, al NO de Guara y en sus primeros kilómetros tiene un sentido NO-SE hasta que es represado en los embalses de Santa María de Belsué y Cienfuens. Aguas abajo de ellos atraviesa con un fuerte encajamiento las Sierras Exteriores y los mallos conocidos como “Salto de Roldán” e inmediatamente aguas abajo labra el cañón conocido como “Palomeras del Flumen”.

Unos kilómetros más adelante se encuentra el embalse de Montearagón. El río discurre por una zona de gran valor ambiental (dentro del Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara) y la mayor afección producida es la presencia de los dos embalses mencionados y la consiguiente alteración de su régimen. En las proximidades de Huesca entra en una zona de regadíos y recibe por la margen derecha a su principal afluente, el río Isuela.

En su último tramo el río tiene un sentido NO-SE y atraviesa una amplia zona de regadíos que le aportan retornos, hasta que llega a su desembocadura en el río Alcanadre, el cual circula por su margen izquierda (Del Valle et al., 2007).

Localización de la cuenca del Río Flumen



Realización: Nelson Subías Sanz, 2014

Fuente de datos: MAGRAMA

Cartografía 1: Localización de la cuenca del río Flumen en la cuenca del Ebro, España

1.4. METODOLOGÍA

Para la concepción de este trabajo se han seguido seis fases principales:

En primer lugar, se ha hecho una caracterización exhaustiva de la cuenca, mediante unos análisis del clima, pendientes, litología, usos del suelo y vegetación. Además de estos factores, se le presta mucha atención a la red de drenaje, mediante la realización de una jerarquización de la cuenca y un análisis morfométrico de las variables de la misma. Para ello, se han elaborado unos mapas con el programa *ArcGis 10.0*, a partir de capas y datos de distintas fuentes, como el Instituto Geográfico Nacional, la Infraestructura de Datos Espaciales de España, el Instituto Geológico y Minero de España, o el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Se ha comenzando por la delimitación de la cuenca a partir de curvas de nivel, para más tarde continuar en cada apartado con el mapa temático correspondiente. En cuanto al análisis morfométrico, todos los datos que se han usado para hacer los cálculos, están sacados de las múltiples opciones que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica.

En segundo lugar, a partir de los datos de caudal de las tres estaciones de aforo que tiene la cuenca, y que se han descargado desde el Anuario de Aforos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, se ha estudiado el funcionamiento hidrológico del río Flumen. Para ello, se han analizado con gráficos y cálculos su caudalosidad, su irregularidad interanual, su variación estacional de caudal, sus fenómenos extremos, y la probabilidad de crecida con la ayuda del *ajuste de Gumbel* y el programa *Microsoft Office Excel 2003*. Además de esto, también se ha hecho una búsqueda por los archivos históricos de las inundaciones en la cuenca del Ebro, y se han extraído las correspondientes al río Flumen y a su principal afluente, el río Isuela, desde el año 1697.

Continuando con la caracterización de la cuenca, en tercer lugar, el trabajo se centra en el cauce principal, mediante una tramificación del mismo reflejado en un mapa elaborado con *ArcGis 10.0*, y una tipificación explicada con texto. El criterio que se ha seguido ha atendido a los aspectos de sinuosidad, pendiente, aparición de embalses, y aportes de caudal. Además de esto, en la descripción de cada tramo

clasificado también se han añadido elementos geomorfológicos de interés, y lugares de ZEPAs, LICs, y ENPs, que previamente se han consultado en fuentes como la Infraestructura de Datos Espaciales de España o el Atlas de los ríos de Aragón.

En el cuarto apartado, el trabajo se centra en la evaluación de los riesgos relacionados con el río para el estudio de caso, correspondiente al tramo entre los municipios de Poleñino y Lalueza.

El análisis cartográfico del riesgo de inundación potencial se ha hecho con el programa *ArcGis 10.0*, a partir de las Ortofotos del PNOA del año 2009 del Sistema Territorial de Aragón, un Modelo Digital del Terreno elaborado a partir de las curvas de nivel del Instituto Geográfico Nacional, y una capa del periodo de retorno de 500 años obtenido desde el Sistema Territorial del Ebro.

El trabajo de campo se ha realizado sobre los tres puentes existentes con más peligrosidad en este tramo, en eventos de crecida, mediante una medición de los mismos, y sobre los tres perfiles del cauce anteriores a estos puentes, una medición longitudinal y de profundidad con un teodolito topográfico. Con todos estos datos de campo, relacionados a través de una serie de cálculos con otros datos de caudal de las estaciones de aforo y el programa *Microsoft Office Excel 2003*, se han evaluado los riesgos relacionados con el río.

Para finalizar, los dos últimos apartados corresponden a la evaluación ambiental, realizada a partir de información de diversas fuentes y la aplicación del *Índice para la Evaluación de la Calidad Hidrogeomorfológica de Sistemas Fluviales (IHG)*, de la Universidad de Zaragoza, y a la propuesta de una serie de medidas de mitigación de riesgos y mejora ambiental.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

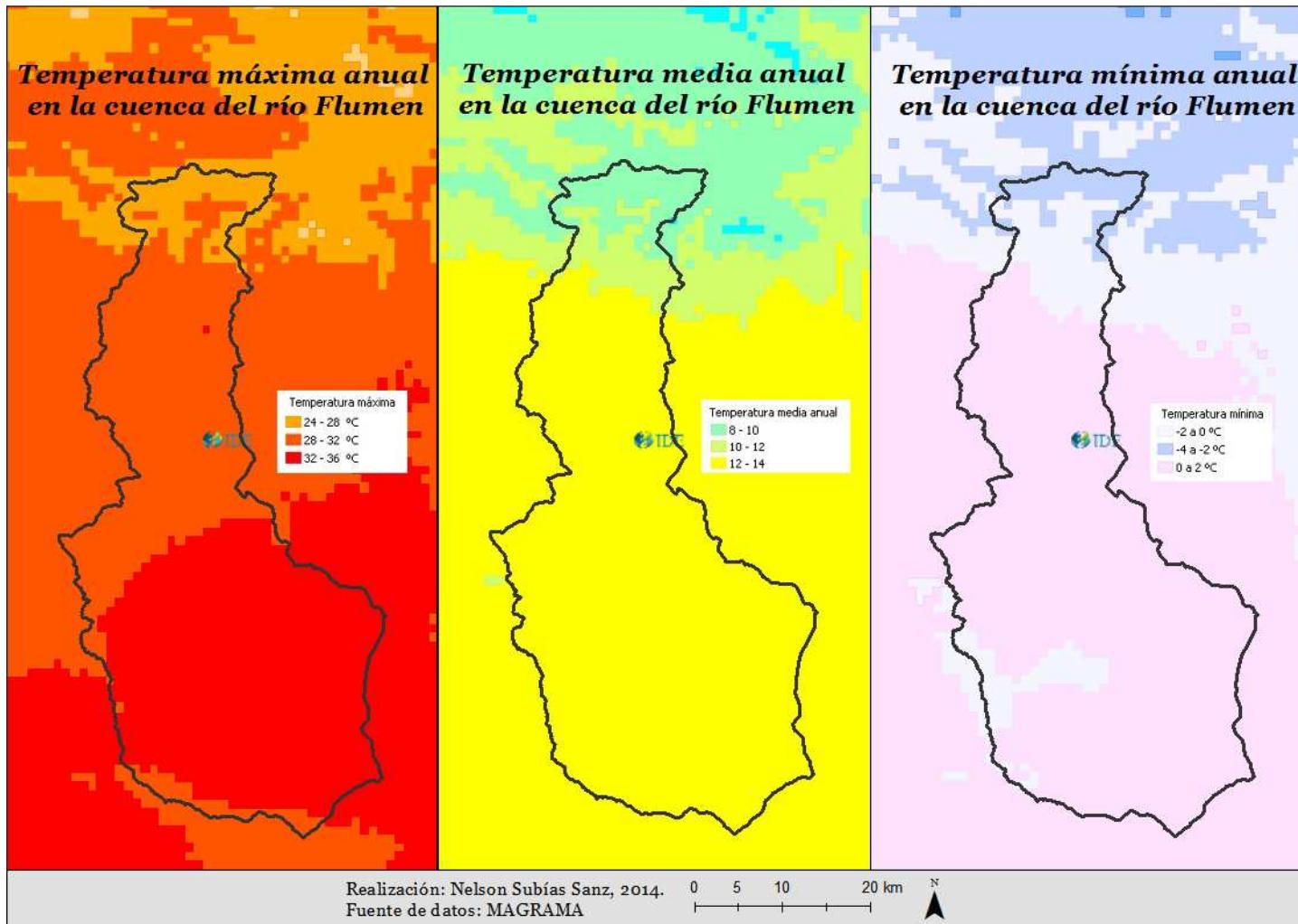
2.1. FACTORES DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO

La distribución de las crecidas, tanto en tiempo como en el espacio, así como su tendencia reciente contribuye a definir mejor el comportamiento hidrológico de los ríos. Es bien conocido el hecho de que las crecidas responden sobre todo a la intensidad de las precipitaciones, pero su frecuencia e intensidad están en parte relacionadas con las características de cada cuenca, especialmente la pendiente, la forma de la cuenca, la litología e incluso los usos del suelo. (García Ruiz et al., 2001).

2.1.1 Clima

El clima es un factor fundamental de comportamiento hidrológico, ya que interviene mediante los aportes de agua que suministra a la cuenca y las distintas temperaturas que, junto con la turbulencia del aire, afectan a la evapotranspiración. Esto se va a traducir en cursos de agua con mayor o menor caudal, dependiendo de los valores que tenga cada zona climática. Sin embargo, no hay que olvidar que existen otros procesos que intervienen en el ciclo del agua, los cuales son la interceptación, la infiltración, la percolación, y la escorrentía.

A) Temperaturas



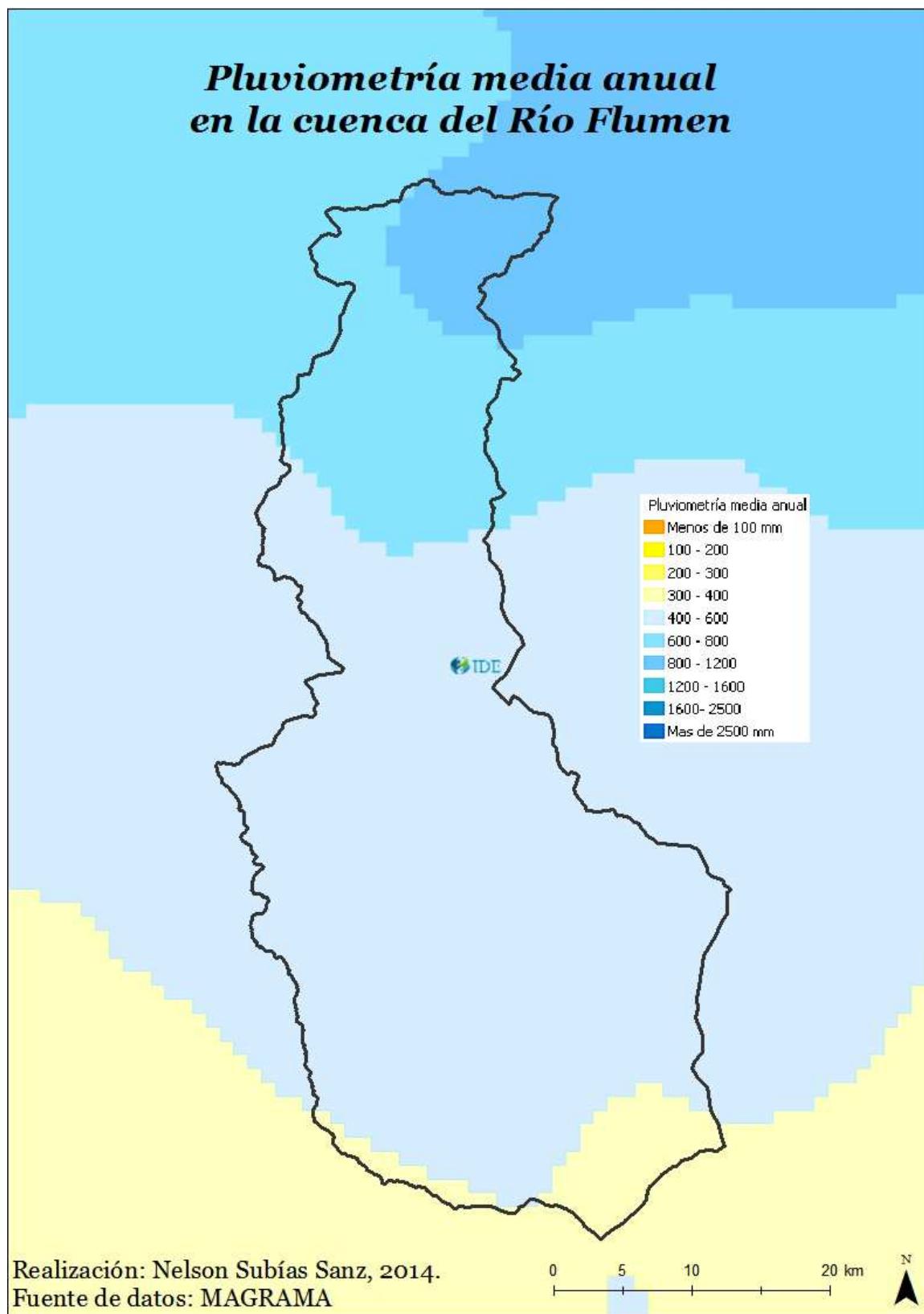
Cartografía 2: Temperaturas, máximas, mínimas y medias anuales en la cuenca del Río Flumen

Esta cartografía muestra la distribución de temperaturas anuales en la cuenca del río Flumen. Fijándonos en las temperaturas medias, podemos distinguir principalmente tres sectores, dos de ellos situados en la parte N de la cuenca, con valores entre 8-10°C y 10-12°C. Por la extensión que ocupan podrían unirse en uno solo, ya que se trata del sector más frío de la cuenca. El resto, que ocupa casi toda el área, es de temperaturas entre 12-14°C. Las temperaturas mínimas y máximas sacan a la luz algunas zonas diferentes que no se pueden ver mediante las temperaturas medias.

Por un lado, las temperaturas mínimas enseñan la Sierra de Alcubierre, que es un terreno más elevado y cuenta con temperaturas más frías que el interior, llegando a los -2°C como máximo, igualmente que la mayor parte de la zona fría de la cuenca, aunque la parte situada más al norte llega hasta los -4°C. Esto va a afectar al comportamiento hidrológico reteniendo agua en superficie durante más tiempo durante las heladas invernales, aunque también habrá mayores precipitaciones.

Por otro lado, las temperaturas máximas mantienen la zona norte como zona más fría pero parten en dos la cuenca, por el sector donde comienza a ensancharse. De esta manera, deja más al norte temperaturas máximas entre 24-28°C y más al sur temperaturas máximas entre 32-36°C. La evapotranspiración será mayor en la parte sur y por lo tanto habrá más aridez.

B) Precipitaciones

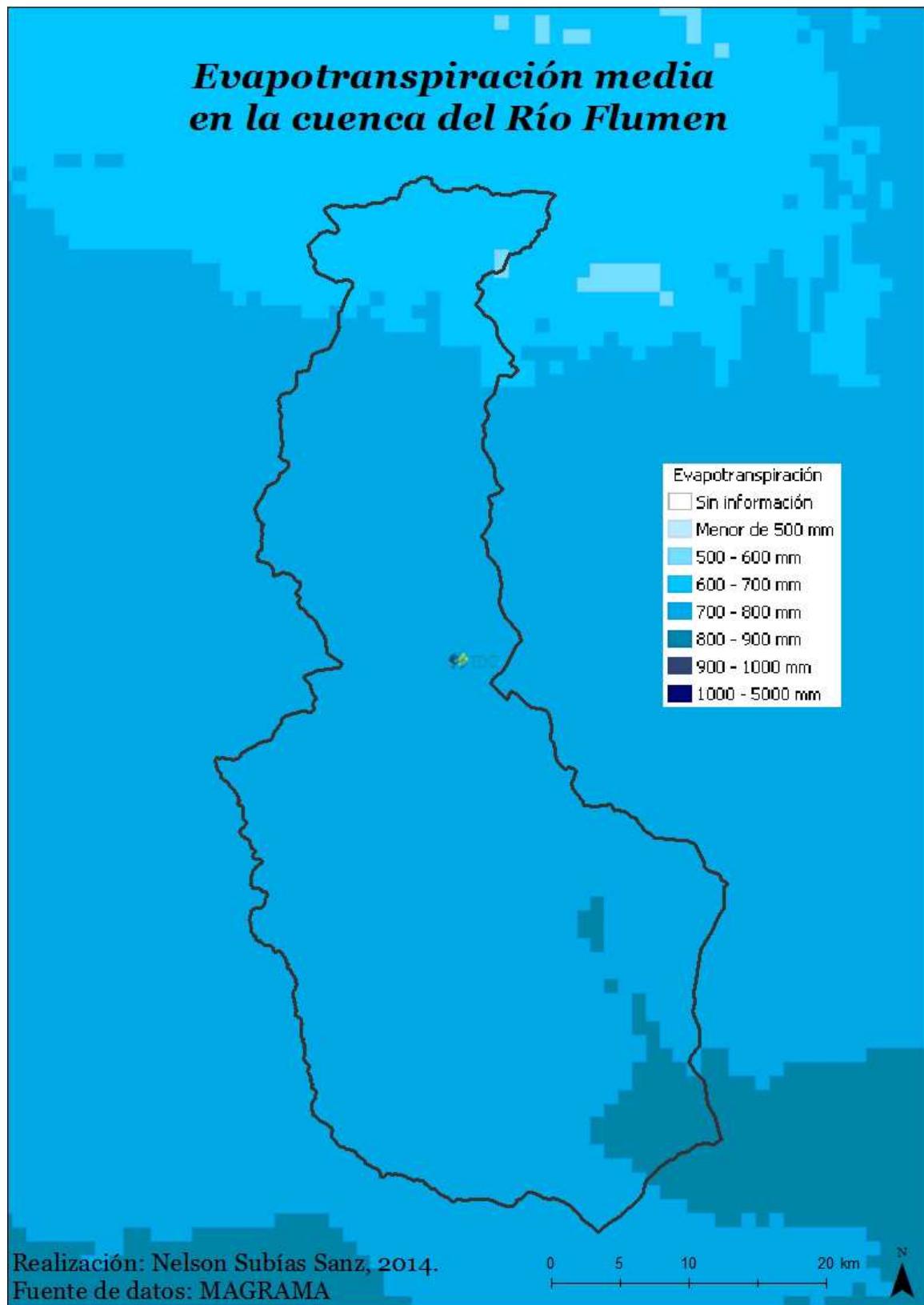


Las precipitaciones responden más o menos a los datos aportados por las temperaturas. La parte norte, que es la más fría, y el lugar donde nace el río, está dividida en dos por una línea vertical que separa el lado oriental del occidental, teniendo el primero entre 800-1200mm y el segundo entre 600-800mm anuales. Esta segunda parte se extiende unos kilómetros más hacia el sur que las temperaturas frías. Esta parte va a estar caracterizada por poseer un número mayor de barrancos, y por tanto de número de aportes al río que el resto de la cuenca, aunque de menor longitud y caudal.

La Sierra de Alcubierre no alcanza estos valores de precipitación, ya que tampoco llega a la misma altitud que esta zona, pero también es una parte importante de formación de barrancos, los cuales son de menor número que los del norte, pero al tener mayor terreno para recorrer y por tanto mayor longitud, alcanzan un nivel jerárquico más alto y suponen un aporte más importante al río.

El resto de la cuenca posee valores de precipitación entre 400-600mm anuales, excepto la parte de la desembocadura al río Alcanadre, la cual es todavía más seca y llega a valores de entre 300-400mm anuales.

C) Evapotranspiración



Cartografía 4: Evapotranspiración media en la cuenca del río Flumen

Podemos comprobar como la relación entre la distribución de las temperaturas y de las precipitaciones coincide con la distribución de la evapotranspiración. Esta relación no es completamente exacta, ya que en la evapotranspiración intervienen otros elementos como las características del suelo, las características de vegetación, el viento, y la humedad, pero si que se diferencian tres niveles de evapotranspiración que van de menor a mayor desde el norte hasta la desembocadura del río.

El primer nivel, tiene una evapotranspiración potencial de 600-700mm, el segundo de 700-800mm, y el tercero de 800-900mm anuales. Como estableció Thornthwaite, hay que diferenciar entre los dos conceptos de evapotranspiración potencial y real; El primero, que es el que se refleja en la cartografía, es un concepto teórico, equivale a la cantidad de agua que podría llegar a evapotranspirarse si siempre tuviéramos suficiente disponibilidad de agua, y el otro, la evapotranspiración real, es la evapotranspiración que se materializa en un lugar concreto. La relación entre las dos nos da una idea del balance hídrico, que en este caso posiblemente tenga unos valores de superávit hídricos muy bajos. En conjunto, este clima proporcionará a priori caudales bajos en el río.

2.1.2 Pendiente

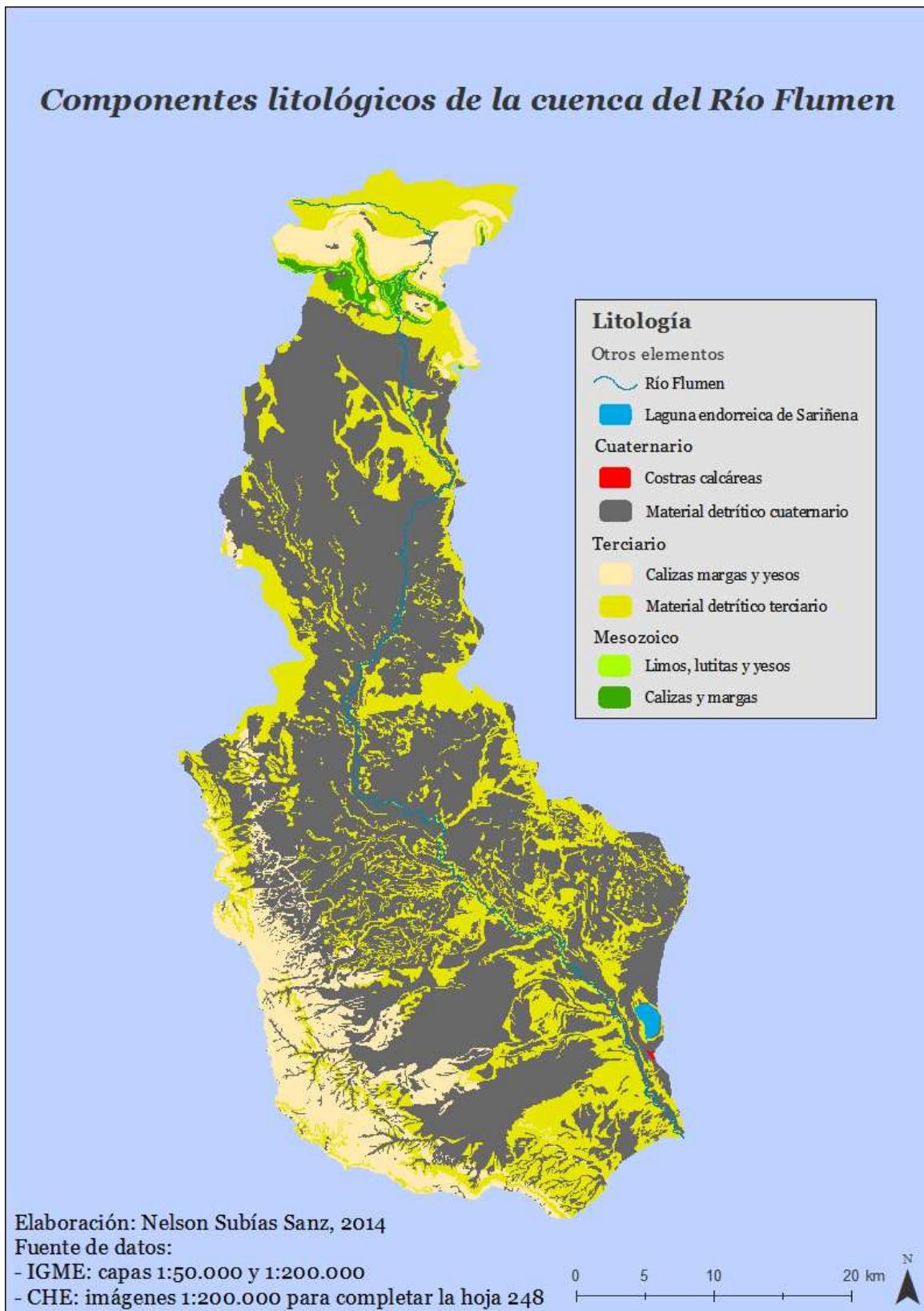


La cartografía de pendientes muestra los diferentes cambios de altitud en el terreno. Este factor topográfico es el que más incide en el comportamiento hidrológico en la cuenca hidrográfica. La variación de pendientes hace que los procesos que se generan a lo largo de la red de drenaje se vayan alternando.

En este caso, se establecen tres niveles distintos de pendientes; la pendiente más fuerte, con valores que van desde el 15,1% en adelante, se encuentra al norte de la cuenca en las cotas más altas, donde se localiza parte de la Sierra de Guara. Alrededor de zona, por las Sierras Exteriores y en torno a los márgenes de la cuenca se establece un nivel entre en 5,1% y el 15%. El resto y casi toda el área de la cuenca tienen los valores bajos de la pendiente, entre el 0 y el 5%.

Las pendientes fuertes van a favorecer el movimiento del agua, la formación de barrancos, la erosión, y el aumento de la escorrentía. En las pendientes medias van a predominar factores intermedios entre el límite más alto y el más bajo de los niveles de pendiente. Por el contrario a las pendientes fuertes, en las pendientes bajas va a predominar la infiltración y el depósito de sedimentos, por la topografía del terreno y el movimiento lento del agua.

2.1.3. Litología



Cartografía 6: Componentes litológicos de la cuenca del río Flumen

Sobre la cartografía de la litología, es necesario comentar los problemas que ha habido a la hora de elaborarla, ya que el resultado ha sido correcto pero puede haber confusiones a la hora de entenderla, ya que aparecen algunos cambios bruscos de colores.

Las fuentes para crear este mapa han sido diversas ya que la información necesaria estaba incompleta. Los datos principales con los que se tenía que trabajar, que eran las bases de datos georreferenciados del geológico a escala 1:50.000, del Instituto Geológico y Minero de España, estaban incompletos, ya que faltaban algunas hojas por realizar. Para solucionar este problema, y aunque tuviera menor precisión, se recurrió al uso de las bases de datos georreferenciadas del geológico 1:200.000, homogeneizando todo lo posible la leyenda de este con la del anterior. Aun así, quedaba una hoja por completar en las dos escalas, y hubo que acudir a los mapas en papel de la Confederación Hidrográfica del Ebro, las cuales ilustraban la información que se necesitaba. Mediante esta ilustración, se digitalizó las zonas que faltaban por completar y se incluyó en su correspondiente parte de la leyenda.

En cuanto al comentario de este mapa, hay que decir que la litología también afecta a los procesos hidrológicos, ya que según el tipo de materiales que afloran durante el recorrido de los cursos fluviales, se darán unos u otros procesos por la porosidad y la permeabilidad de las rocas.

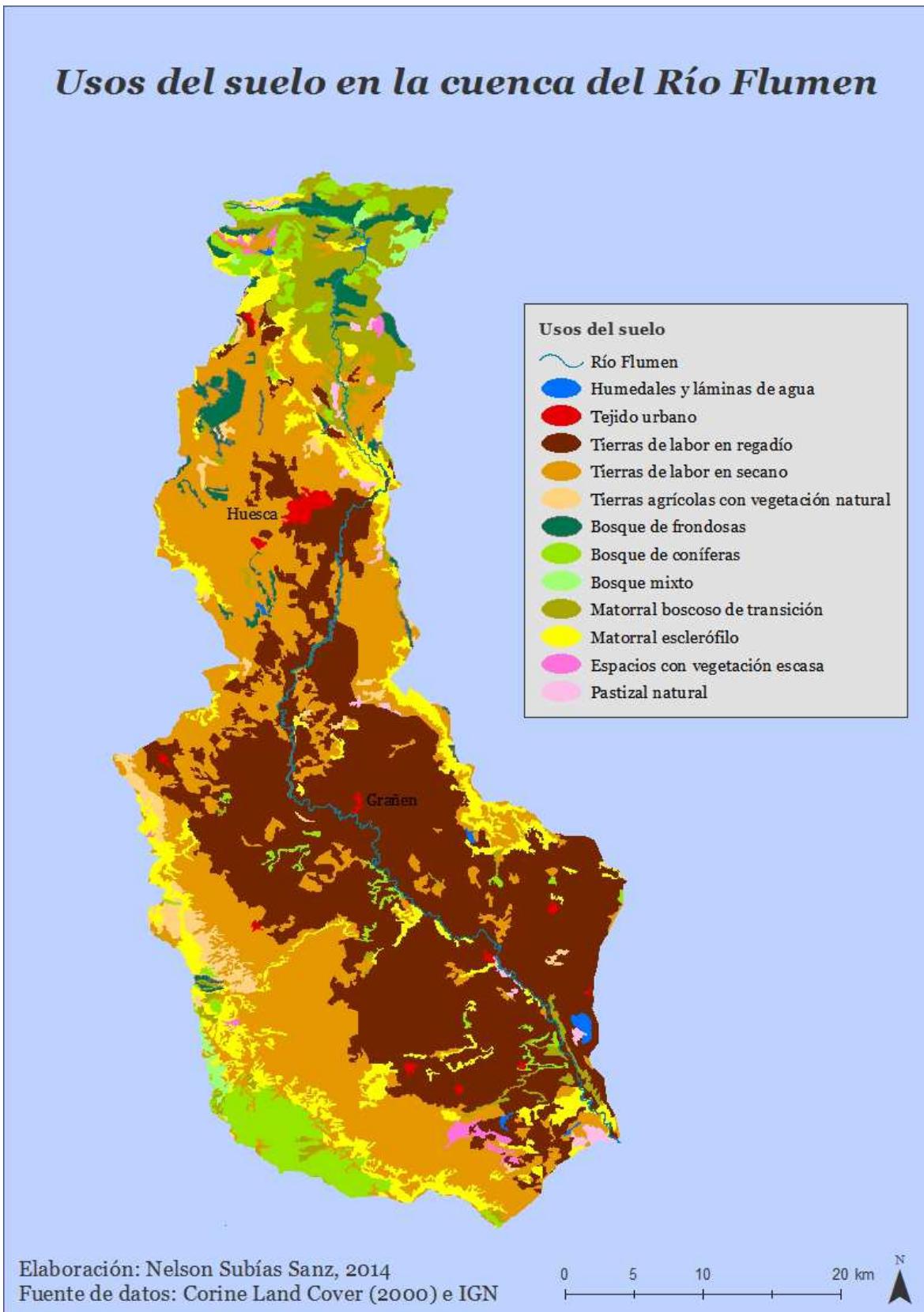
La leyenda de esta cartografía indica que en la cuenca del río Flumen afloran materiales de tres épocas diferentes. En primer lugar, las rocas más antiguas se localizan en un espacio muy pequeño al norte de la cuenca, en el mismo lugar donde las cotas son más altas. Pertenecen al Mesozoico y son por un lado, lutitas con limos y yesos, y por otro lado calizas y margas. En segundo lugar, es significativo señalar que la mayor parte de la extensión de esta cuenca está formada por material detrítico, ya sea terciario o cuaternario. Calizas, margas y yesos terciarios los vamos a encontrar en la parte norte de la cuenca, pero la gran parte de estos materiales forman la Sierra de Alcubierre, en la parte SO de la cuenca, y adentrándose un poco hacia el interior. Por último, y ya sin

demasiada importancia por la diminuta extensión, tenemos costras calcáreas y la laguna endorreica de Sariñena, ambas cerca de la desembocadura del río.

Las lutitas con limos mesozoicos y el material detrítico, tanto terciario como cuaternario, que posiblemente estarán formados en su mayor parte por arcillas y limos, son materiales bastante impermeables que van a reducir la posibilidad de infiltración y percolación, y que harán que la escorrentía y la velocidad del agua aumenten.

No ocurrirá lo mismo con las partes que contengan yesos miocenos o materiales detríticos con areniscas. Además de estos, también afloran calizas, de las cuales una de sus características es su gran porosidad y la facilidad de infiltración y percolación. En el caso de las margas, al estar formadas por arcillas y calizas, su porosidad dependerá del porcentaje que posea de un componente o de otro.

2.1.4. Usos del suelo y vegetación



La importancia que tiene el mapa de usos de suelo está en que nos va a mostrar como se distribuye la vegetación en el territorio, un factor clave en el comportamiento hidrológico en cuanto a la escorrentía, la interceptación y la infiltración. Además, la existencia de un tipo u otro de vegetación vuelve a poner en relación otros factores ambientales anteriores como el clima, la altitud o la litología.

La inexistencia de vegetación favorece la escorrentía, y la presencia de ella favorece la interceptación y la infiltración. Sea cual sea la litología que aflore, si hay presencia de vegetación, la capacidad de infiltración va a ser el doble que sin ella.

En el caso de la cuenca del río Flumen, la vegetación arbórea, que es la que más intercepta, se encuentra al norte en las cotas más altas, con pequeñas partes de bosque de frondosas y otras de bosque de coníferas. La mayor zona de bosque de coníferas se encuentra en la parte más al SO de la cuenca, la más meridional de la Sierra de Alcubierre. También en la margen derecha del río, por la zona baja, existen algunos pequeños trozos de bosque de coníferas, que son el tipo de bosque arbóreo predominante en esta cuenca.

Alrededor principalmente de las formaciones boscosas del norte, pero también acompañando a los bosques de coníferas del SO y por la desembocadura, tenemos un matorral boscoso de transición. En cuanto a los matorrales, estos no son los que mayor importancia tienen, sino el matorral esclerófilo por la extensión que abarca, situado por los límites de la cuenca y algunas zonas del interior. Este tipo de vegetación tiene como característica principal que se adapta a los climas secos. Por lo tanto, la densidad de vegetación no va a ser muy grande y sus raíces van a aprovechar cualquier oportunidad para retener y absorber el agua, por lo que el proceso que va a predominar según la vegetación será el de la infiltración.

Que esta cuenca tiene un clima seco y el terreno está marcado por la aridez, principalmente en la parte más al sur, también podemos comprobarlo fijándonos en la gran extensión que abarcan las tierras de regadío. Este regadío está puesto en marcha en esta zona porque las tierras de secano que se desarrollan en la cuenca, con las pocas

precipitaciones que reciben, apenas son rentables, y se necesita mucha área de tierra para poder producir en ellas. Las poblaciones del sur, al dedicarse en su mayoría a la agricultura, necesitan este regadío, ya que sin él, la tierra tendría que ser trabajada por menos personas, y muchas poblaciones quedarían despobladas.

Las fuentes de agua que utilizan las canalizaciones destinadas al regadío llegan desde el Canal de Monegros y el Canal del Cinca, pero también del río Flumen. Si contamos con los embalses de Santa María de Belsué, Cienfuegos y Montearagón, sumado a los azudes y las acequias para la extracción de agua destinada al regadío que más tarde le aportará retornos, vemos como el régimen de caudal del río Flumen esta modificado por el hombre.

2.2. LA RED DE DRENAJE

Una red de drenaje es el conjunto de cauces o cursos fluviales que se encuentran dentro de una cuenca, a través de los cuales se produce el drenaje de ésta. Están incluidas aquellas redes que disponen de caudal de forma esporádica.

Su estudio se puede llevar a cabo a través de un análisis descriptivo mediante el dibujo de la red jerárquica y otro cuantitativo mediante la morfometría fluvial. De esta manera podremos estudiar las relaciones entre propiedades morfológicas de la cuenca de drenaje, examinar las relaciones entre la morfometría de la cuenca y otras características ambientales, encontrar una agrupación objetiva de cuencas con características similares, y establecer relaciones con el modelado de las cuencas y su funcionamiento hídrico.

2.2.1 Jerarquización de la cuenca



Cartografía 8: Jerarquización de la red de drenaje de la cuenca del río Flumen

Para la realización de la jerarquización de la red de drenaje de la cuenca del río Flumen, se ha utilizado el método de Strahler, que utiliza los mismos principios que el método de Horton, pero obvia la parte de la reclasificación.

El resultado es una red con 5 niveles de jerarquización. La parte septentrional, que es la más alta, posee mayor número de cauces de nivel 1, pero son todos de pequeño tamaño, ya que son barrancos de pendiente pronunciada.

El principal afluente del río Flumen es el río Isuela, de nivel 4, pero además de este, también llegan hasta el cauce principal, tres barrancos de nivel 4, todos por la margen derecha del río. Estos afluentes principales se llaman, de norte a sur, “barranco de Valdabra”, “arroyo del Reguero”, “barranco de las Filadas”, y “barranco de las Paúles del Moscallón”.

2.2.2. Morfometría

A) Variables topológicas

a) (N1, N2, N3, N4, N5) Número de tramos de cauce de un orden determinado:

$$N1 = 602$$

$$N2 = 152$$

$$N3 = 36$$

$$N4 = 7$$

$$N5 = 1$$

b) (NT) Total de tramos de cauce: 798

b) (Rb) Relación de bifurcación:

$$Rb = N1/N2, N2/N3, N3/N4, N4/N5$$

$$N1 / N2$$

$$602 / 152 = 3,96$$

$$N2 / N3$$

$$152 / 36 = 4,2$$

$$N3 / N4$$

$$36 / 7 = 5,14$$

$$N4 / N5$$

$$7 / 1 = 7$$

B) Variables de longitud de los cauces

a) (L1, L2, L3, L4, L5) Longitud de los tramos de cauce de un orden determinado:

$$L1 = 795759 \text{ m}$$

$$L2 = 334825 \text{ m}$$

$$L3 = 148886 \text{ m}$$

$$L4 = 94207 \text{ m}$$

$$L5 = 120217 \text{ m}$$

b) (Lu) Longitud media de los cauces:

$$Lu = LT / NT$$

$$Lu = 1493894 / 798$$

$$Lu = 1872 \text{ m}$$

$$Lu1; 795759 / 602 = 1322 \text{ m}$$

$$Lu2; 334825 / 152 = 2203 \text{ m}$$

$$Lu3; 148886 / 36 = 4136 \text{ m}$$

$$Lu4; 94207 / 7 = 13458 \text{ m}$$

$$Lu5; 120217 / 1 = 120217 \text{ m}$$

c) (LT) Longitud total de los cauces: 1493894 m

d) (l) Longitud del cauce principal: 133004 m

e) (lcr) Longitud del cauce recto: 73824 m

f) (Rl) Razón de longitud:

$$Rl = LuLn / LuLn-1$$

$$Rl (a) = LuL5 / LuL4; 120217 / 13458 = 8,93$$

$$Rl (b) = LuL4 / LuL3; 13458 / 4136 = 3,25$$

$$Rl (c) = LuL3 / LuL2; 4136 / 2203 = 1,88$$

$$Rl (d) = LuL2 / LuL1; 2203 / 1322 = 1,67$$

g) (IS) Índice de sinuosidad:

$$IS = 1 / lcr \text{ (en 4 tramos)}$$

$$IS = 133004 / 86616$$

$$IS = 1,53$$

C) Variables geométricas de la cuenca

a) (A) Área: 1529581154 m²; 1529,58 km²

b) (P) Perímetro: 245082 m

c) (L) Longitud: 77641 m

d) (W) Anchura: 37724 m

e) (Ic) Índice de compacidad:

$$Ic = 0,28 * (P / \sqrt{A})$$

$$Ic = 0,28 * (245082 / 39111)$$

$$Ic = 1,75$$

f) (Re) Razón de elongación:

$$Re = 1,129 * (\sqrt{A} / L)$$

$$Re = 1,129 * (39111 / 77641)$$

$$Re = 0,59$$

g) (Rc) Razón de circularidad:

$$Rc = 4 * \pi * A / P^2$$

$$Rc = 4 * \pi * 1529581154 / 2450822$$

$$Rc = 0,3200$$

h) (Fo) Forma de la cuenca:

$$Fo = L^2 / A$$

$$Fo = 776412 / 1529581154$$

$$Fo = 3,94$$

D) Variables de intensidad fluvial

a) (Dd) Densidad de drenaje:

$$Dd = \sum LT / A$$

$$Dd = 1493,89 / 1529,58$$

$$Dd = 0,97 \text{ km/km}^2$$

b) (If) Índice de frecuencia:

$$If = NT / A$$

$$If = 798 / 1529,58$$

$$If = 0,52$$

c) (Ct) Coeficiente de torrecialidad:

$$Ct = Dd * (N1 / A)$$

$$Ct = 0,97 * (602 / 1529,58)$$

$$Ct = 0,38$$

d) (Cm) Constante de mantenimiento del cauce:

$$Cm = 1 / Dd$$

$$Cm = 1 / 0,97$$

$$Cm = 1,03$$

e) (LD) Índice de longitud del flujo de escorrentía superficial:

$$LD = 1 / 2 * Dd$$

$$LD = 1 / 2 * 0,97$$

$$LD = 0,48$$

E) Variables de relieve

a) (HM) Altitud máxima de la cuenca: 1690 m

b) (Hm) Altitud mínima de la cuenca: 230 m

c) (Am) Altitud media de la cuenca: 676 m

d) (d) Desnivel absoluto de la cuenca: 1460 m

e) (dc) Desnivel del cauce principal: 1250 m

f) (pca) Pendiente media del cauce principal:

$$pca = (100 * dc) / 1$$

$$pca = 125000 / 132160$$

$$pca = 0,94 \%$$

g) (Rr) Razón de relieve:

$$Rr = d / L$$

$$Rr = 1460 / 77641$$

$$Rr = 0,018$$

g) (Nr) Número de rugosidad:

$$Nr = d * LT$$

$$Nr = 1460 * 1493,89$$

$$Nr = 2179780$$

h) (Ft) Factor topográfico:

$$Ft = 1 / \sqrt{pca}$$

$$Ft = 132160 / \sqrt{0,94}$$

$$Ft = 140595$$

F) Valoración de los resultados

VARIABLES TOPOLÓGICAS										
N1	N2	N3	N4	N5	NT	Rb (N1)	Rb (N2)	Rb (N3)	Rb (N4)	
602	152	36	7	1	798	3,96	4,2	5,14	7	
VARIABLES DE LONGITUD DE LOS CAUCES										
L1	L2	L3	L4	L5	Lu	Lu1	Lu2	Lu3	Lu4	Lu5
795 km	334 km	148 km	94 km	120 km	1,87 km	1,32 km	2,20 km	4,13 km	13,4 km	120,2 km
LT	I	Icr	Rla	Rlb	Rlc	Rld	IS			
1494 km	133 km	74 km	8,93	3,25	1,88	1,67	1,53			
VARIABLES GEOMÉTRICAS DE LA CUENCA										
A	P	L	W	Ic	Re	Rc	Fo			
1529,58 km ²	245 km	78 km	38 km	1,75	0,59	0,32	3,94			
VARIABLES DE INTENSIDAD FLUVIAL										
Dd	If	Ct	Cm	LD						
0,97 km/km ²	0,52	0,38	1,03	0,44						
VARIABLES DE RELIEVE										
HM	Hm	Am	d	dc	pca	Rr	Nr	Ft		
1690 m	230 m	676 m	1460 m	1250 m	0,94%	0,018	2179780	140595		

Tabla 1: Resultados de la Morfometría fluvial

- a) Variables topológicas: En una red de drenaje, lo normal es que por cada cauce de nivel 1, haya entre tres y cinco veces menos de nivel 2, y así sucesivamente. En la cuenca del Río Flumen esto se cumple y podemos situarla dentro de unos valores normales, con 798 cauces diferentes en total.
- b) Variables de longitud de los cauces: El cauce principal, desde que pasa a ser de nivel 5, tiene una longitud de 120 km. En total desde que nace hasta que desemboca, es de 133 km, y en línea recta de 74 km. Esto hace que el índice de sinuosidad, dividiendo las medidas en línea recta en cinco partes, y con un resultado de 1,53, de cómo resultado que es un cauce de tipo meandrizante, pero se encuentra en el límite de la clasificación, por lo que tiende más a ser un cauce sinuoso con claros tramos meandrizantes.
- c) Variables geométricas de la cuenca: Se trata de una cuenca pequeña, con un área de 1530 km², siendo prácticamente el doble de larga que de ancha. Así se puede comprobar en el índice de compacidad que nos da un valor muy alto, lo que significa que es una cuenca muy oblonga. Lo mismo pasa con los índices de la razón de elongación, la razón de circularidad y la forma de la cuenca, los cuales indican que se trata de una cuenca muy alargada y de poca anchura. La jerarquización es claramente arborescente o dendrítica en el sector norte, pero tiene ciertas trazas de red paralela en el sector suroccidental.

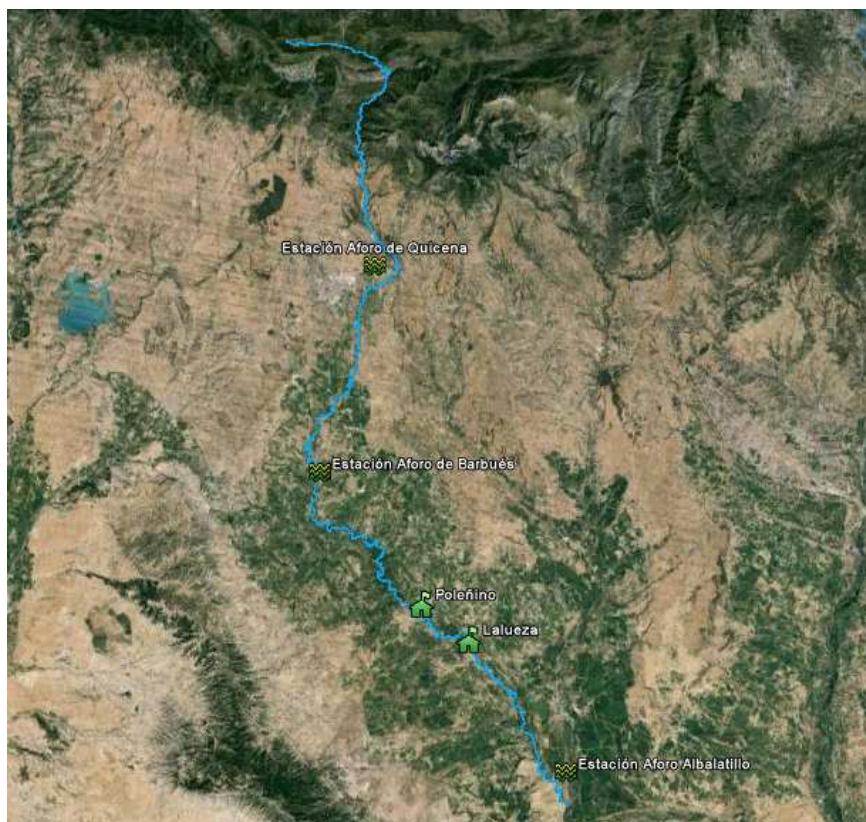
d) Variables de intensidad fluvial: Mediante el índice de la densidad de drenaje y la clasificación de Strahler (1957), vemos que la textura de la densidad de drenaje es muy gruesa, estando por debajo de los 5 km/km^2 con un valor de $0,97 \text{ km/km}^2$.

e) Variables de relieve: La altitud media de la cuenca es de 676m, con un desnivel absoluto de 1460m. Por otro lado el desnivel del cauce principal es menor, con valor de 1250m y con una pendiente media del 0,94%. Tanto los valores de desnivel como los de pendiente son bajos, ya que como se ha dicho anteriormente, la mayor parte de la cuenca es una gran llanura sedimentaria.

3. FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO

3.1. TRATAMIENTO DE DATOS DE ESTACIONES DE AFOROS

La fuente de los datos que se ha utilizado, ha sido la página web del Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, que a través de las descargas gratuitas que proporciona su Sistema de Información del Anuario de Aforos, ha proporcionado la información necesaria de la Cuenca Hidrográfica del Flumen y sus tres estaciones de aforo, objeto de estudio del trabajo.



Cartografía 9. Localización de las estaciones de aforo del río Flumen. Fuente: Google Earth

- Quicena (estación de aforo I):

La estación de aforo de Quicena se encuentra en el tramo alto del cauce, a 466m sobre el nivel del mar y a unos pocos kilómetros de la ciudad de Huesca. Esta estación comenzó a recoger datos en el periodo de 1978-79 hasta la actualidad. El régimen de caudal está alterado. La tipología de esta estación de aforo es de encauzamiento con

canal de aguas bajas y tiene un sensor de boyas y contrapeso/lignígrafo. Mide 12m de ancho.

- Barbués (estación de aforo II):

La estación de aforo de Barbués se encuentra en el tramo medio del cauce, a una cota de 336m y cercana a la localidad de Grañen. La estación comenzó a recoger datos en el periodo de 1978-79 hasta la actualidad. El régimen de caudal está alterado. La tipología de la estación es la misma que la de Quicena, pero con la diferencia de que mide 0,2m más de ancho.

- Albalatillo: (estación de aforo III):

Esta estación es más nueva que las dos anteriores, y por eso el inicio de registro de datos se produce en 1992-1993. Se encuentra en el tramo bajo del cauce, casi en su desembocadura, a una altura de 245m y se localiza cercana a la localidad de Sariñena. El régimen de caudal sigue alterado. La tipología de la estación sigue siendo la misma que las dos anteriores, pero es bastante más ancha, ya que mide 32,4m.

3.1.1. Caudalosidad

Caudal esp.= Módulo anual (l/s) / Área de la cuenca (km²)

$$\text{Quicena: } 740 / 160 = 4,62 \text{ l/s/km}^2$$

$$\text{Barbués: } 1410 / 534 = 2,64 \text{ l/s/km}^2$$

$$\text{Albalatillo: } 6210 / 1330 = 4,66 \text{ l/s/km}^2$$

El caudal específico permite evaluar aproximadamente la capacidad de aporte en diferentes secciones de la misma cuenca, ya que tiene en cuenta el caudal del río pero lo relaciona con la superficie de cuenca que utiliza. En la cuenca del Río Flumen, tanto en Quicena como en Albalatillo, el caudal específico es muy similar, con un valor de 4,6 l/s/km², pero en Barbués, el caudal que llega a la estación de aforo y que permite

calcular el caudal específico, es menor del que sería en unas condiciones normales en las que no se produjera una regulación del río, y por ello tiene un valor de $2,6 \text{ l/s/km}^2$, significativamente más bajo que las otras dos estaciones.

Estos valores de caudal específico definen al río como poco caudaloso, quedando incluido en el grupo inferior, de caudalosidad débil, de las clasificaciones más utilizadas.

3.1.2 Irregularidad interanual.

A) Cociente de irregularidad interanual

$C_i = \text{Valor medio anual máximo} / \text{Valor medio anual mínimo}$

$$\text{Quicena: } 1,94 / 0,1 = 19,4$$

$$\text{Barbués: } 3,12 / 0,31 = 10,06$$

$$\text{Albalatillo: } 10,2 / 2,71 = 3,76$$

B) Histogramas de irregularidad interanual

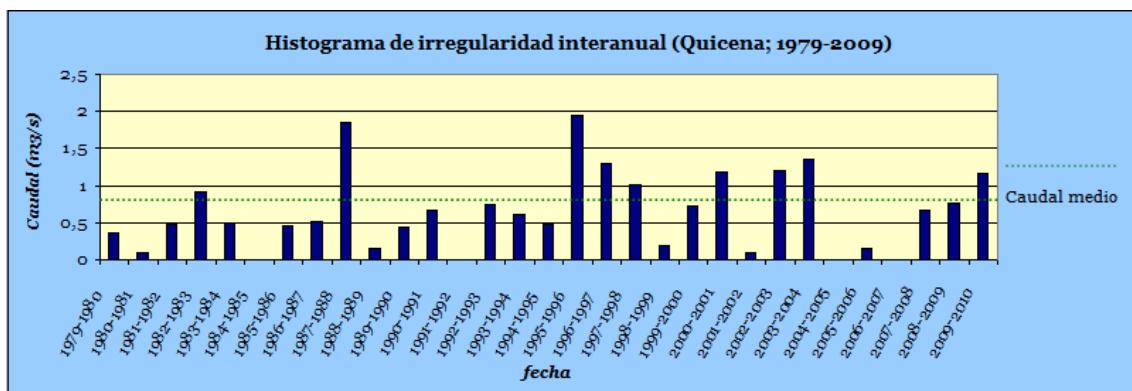


Figura 1: Histograma de irregularidad interanual (Quicena 1979-2009)

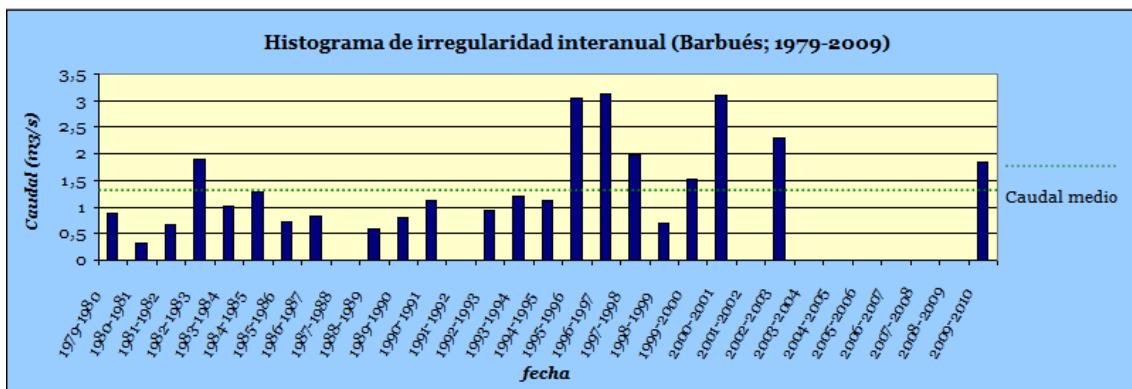


Figura 2: Histograma de irregularidad interanual (Barbués; 1979-2009)

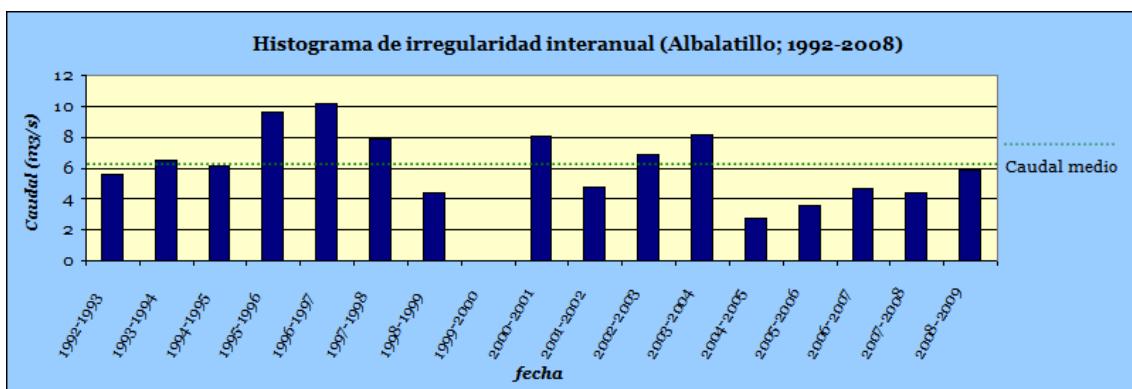


Figura 3: Histograma de irregularidad interanual (Albalatillo; 1992-2008)

El cociente de irregularidad interanual, da como resultados valores de 19,4 en Quicena, 10,06 en Barbués y 3,76 en Albalatillo. Los valores tanto de Quicena como de Barbués nos hablan de un río con un comportamiento muy irregular en diferentes años, condicionado por la irregularidad del volumen anual de las precipitaciones anuales en la zona. Cuanto más descendemos en altura y nos acercamos más a la desembocadura, el resultado del cociente más se reduce, aunque los valores de registro de caudal tanto máximos como mínimos cada vez son más altos. Posiblemente la reducción del valor del coeficiente de irregularidad se debe a la mayor alteración del funcionamiento del río debido al uso para riego de sus aguas.

Los Histogramas de irregularidad interanual se han calculado entre los períodos en los que hay datos disponibles. Los datos necesarios han sido los caudales medios anuales.

Desde 1979 hasta 1996 los valores de caudal son bastante más bajos que en el periodo final, desde 1997 hasta 2009. Antes de 1996, solo supera la media en una o dos ocasiones, mientras que a partir de esta fecha, la media se supera seis o siete veces en las tres estaciones en general.

Podemos decir pues, que a partir de 1996, el río Flumen ve aumentado su caudal significativamente en la media anual de caudal hasta la actualidad. Esto puede deberse a un aumento de las precipitaciones en este periodo, o a un cambio en los aportes del retorno del agua para uso agrícola, ya que la modernización de las técnicas de regadío en los últimos años, cambiando el riego a manta por el de aspersión, puede que haya modificado el origen de donde proviene el agua, pero haya seguido drenando el sobrante hasta el río.

3.1.3 Variación estacional de caudal

A) Coeficiente de caudal

Ca = Caudal medio de cada mes / Módulo anual

Quicena											
Módulo	0,74										
Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abnl	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
0,34	0,74	1,09	1,28	1,29	1,14	0,87	0,79	0,59	0,24	0,13	0,08
Barbués											
Módulo	1,41										
Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abnl	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
0,97	1,49	1,78	2,19	1,86	1,69	1,01	1,23	1,13	0,44	0,46	0,6
Albalatillo											
Módulo	6,21										
Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abnl	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
5,29	4,72	4,61	5,49	4,92	4,87	6	7,09	7,26	6,98	8,01	8,4
RESULTADO		RESULTADO		RESULTADO							
Quicena		Barbués		Albalatillo							
Octubre	0,46	Octubre	0,69	Octubre	0,85						
Noviembre	1,00	Noviembre	1,06	Noviembre	0,76						
Diciembre	1,47	Diciembre	1,26	Diciembre	0,74						
Enero	1,73	Enero	1,55	Enero	0,88						
Febrero	1,74	Febrero	1,32	Febrero	0,79						
Marzo	1,54	Marzo	1,20	Marzo	0,78						
Abnl	1,18	Abnl	0,72	Abnl	0,97						
Mayo	0,79	Mayo	0,87	Mayo	1,14						
Junio	0,80	Junio	0,80	Junio	1,17						
Julio	0,32	Julio	0,31	Julio	1,12						
Agosto	0,18	Agosto	0,33	Agosto	1,29						
Septiembre	0,11	Septiembre	0,43	Septiembre	1,35						

Tabla 2: Resultados del coeficiente de caudal para las tres estaciones de aforo.

B) Curva de variación estacional de caudal

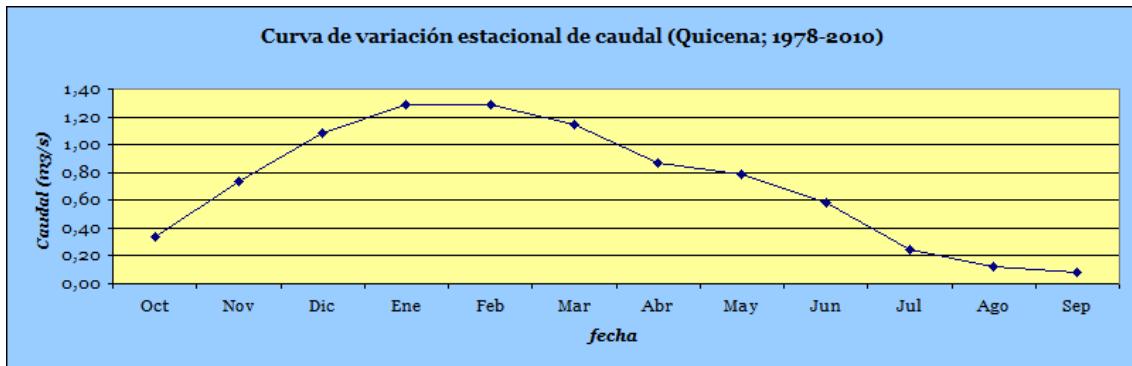


Figura 4. Curva de variación estacional de caudal (Quicena; 1978-2010)

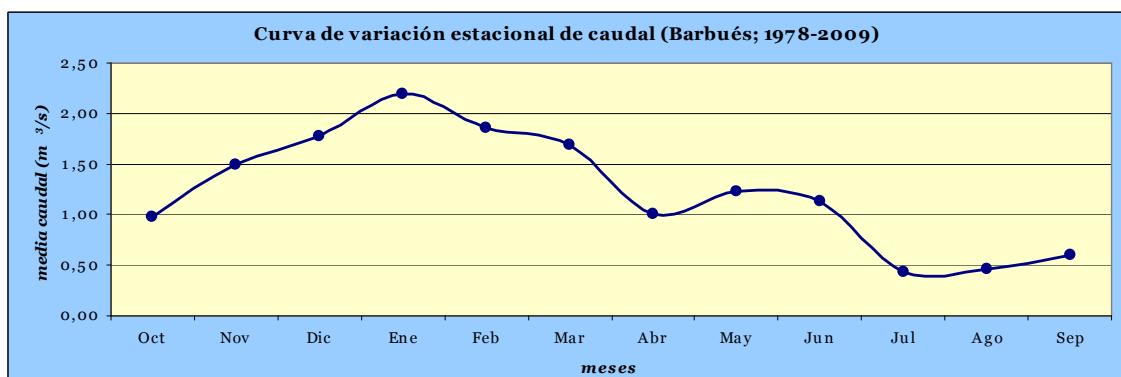


Figura 5: Curva de variación estacional de caudal (Barbués; 1978-2009)



Figura 6: Curva de variación estacional de caudal (Albalatillo; 1992-2009)

Las variaciones estacionales de caudal sirven para definir el régimen de los ríos. Se trata de un reflejo directo de las variaciones climáticas, pero están influenciadas por otros factores como el relieve, suelo, vegetación y modificaciones antrópicas.

En teoría este régimen estacional de caudal debería ser simple y pluvial, según la clasificación de PARDE, con un periodo de aguas altas en invierno y otro de bajas en verano. Aunque el régimen este modificado por la existencia de los embalses de Santa María de Belsué, Cienfuegos y Montearagón, esto se cumple en las estaciones de aforo de Quicena y de Barbués, que además el periodo de aguas bajas se ve acentuado por las extracciones de agua para uso agrícola.

En Albalatillo en cambio, la cantidad de caudal que tiene en invierno, como es normal, es más alta que en sus estaciones kilómetros arriba, pero mientras estas tienen un periodo de aguas bajas en verano, en Albalatillo todavía se registran caudales más altos que en invierno, debido a los retornos que produce la actividad agrícola. Debido a estas anomalías que produce la regulación del río y también que la estación tiene menos años de registro, no es posible establecer una comparación precisa con las otras dos.

Por este motivo también se podría pensar que la clasificación de este régimen de caudal es la de complejos cambiantes, por el cambio que sufre en el último tramo. Sería así si este cambio se debiera a que naturalmente, el río por su longitud atraviesa diferentes zonas climáticas, pero en este caso, como se ha dicho la razón es la modificación antrópica por el uso del agua para la agricultura.

3.1.4. Fenómenos extremos

A) *Hidrogramas de crecida*

Quicena				
Media (m ³ /s)	Media x5 (m ³ /s)	Días que supera x5	Episodios de crecida	Valor máximo (m ³ /s)
0,71	3,57	310	58	27,68
Barbués				
Media (m ³ /s)	Media x5 (m ³ /s)	Días que supera x5	Episodios de crecida	Valor máximo (m ³ /s)
1,38	6,92	253	57	63,42
Albalatillo				
Media (m ³ /s)	Media x5 (m ³ /s)	Días que supera x5	Episodios de crecida	Valor máximo (m ³ /s)
6,22	31,08	26	14	63,6

Tabla 3: Estadísticas de crecida en las tres estaciones de aforo

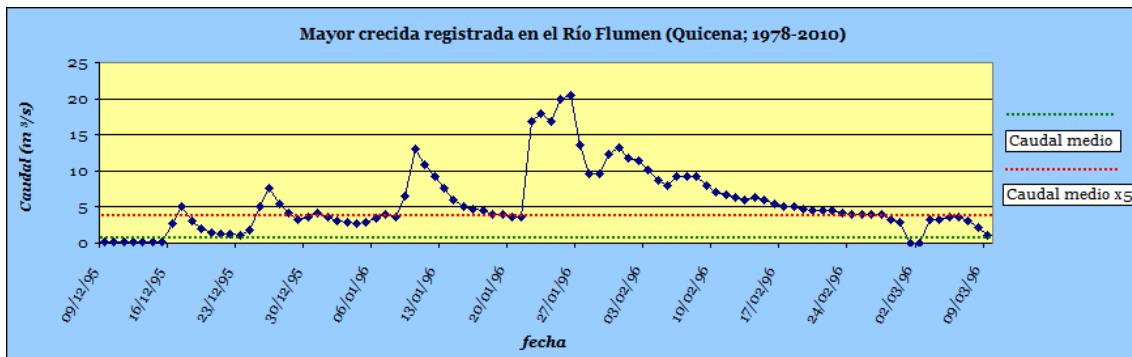


Figura 7: Mayor crecida registrada en el Río Flumen (Quicena; 1978-2010)

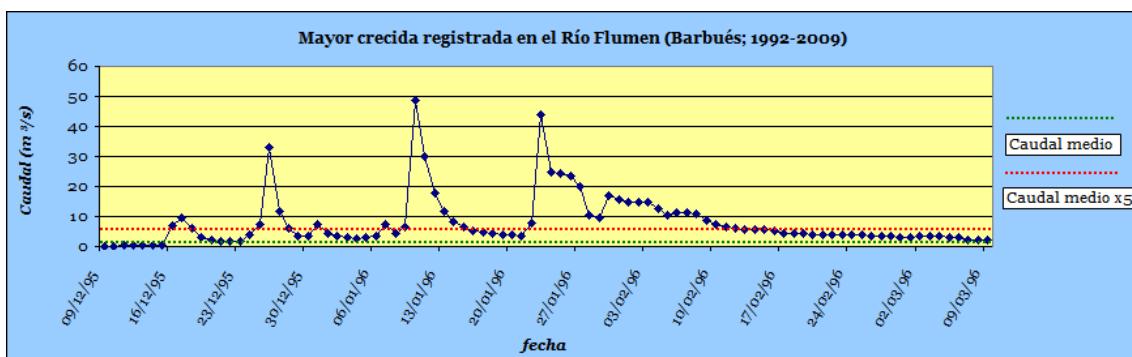


Figura 8: Mayor crecida registrada en el Río Flumen (Barbués; 1992-2009)

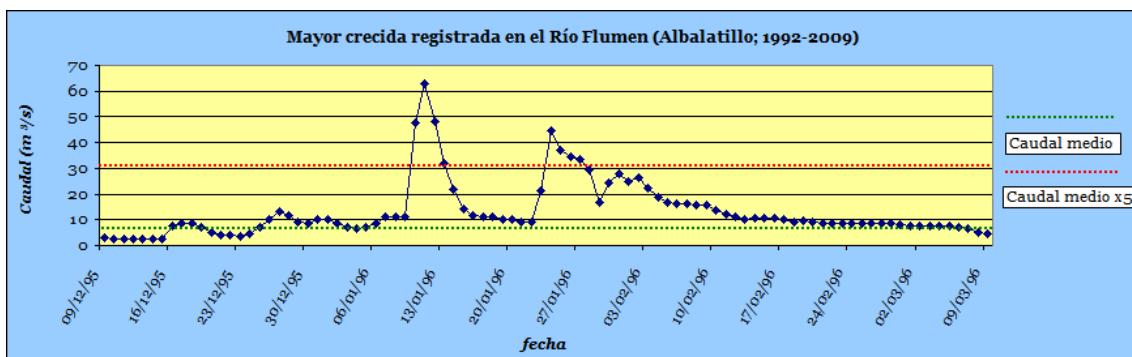


Figura 9: Mayor crecida registrada en el Río Flumen (Albalatillo; 1992-2009)

En el total de datos analizados, cada estación con su periodo, vemos como la media de caudal máximo instantáneo diario va de mayor a menor desde aguas arriba hasta aguas abajo, como se ha visto en comentarios anteriores. Debido a esto, va a ser más normal tener más días en los que se llegue al umbral de crecida (media x5) en los tramos con medias más bajas que en los tramos con medias más altas. En este caso, Quicena tiene 310 días que supera el umbral, Barbués 253 y Albalatillo solo 26.

Los episodios de crecida se calculan mediante la agrupación de días que superan el umbral en el mismo periodo de tiempo. En este caso, los periodos de crecida en

Quicena y Barbués son casi los mismos con 58 y 57 respectivamente mientras que Albalatillo solo tiene 14. El valor máximo por el contrario, se registra en la misma cantidad en Barbués y Albalatillo, con $63 \text{ m}^3/\text{s}$, pero en Quicena solo es de $28 \text{ m}^3/\text{s}$

Para representar los Hidrogramas de crecida, se ha escogido el mayor episodio de crecida registrado en general en la totalidad del cauce, entre las fechas del 09-12-1995 y el 09-03-1996, época en la que la irregularidad interanual comienza a cambiar y a tener valores más altos periódicamente. Con toda seguridad, la crecida del 2012 fue mayor que esta, pero lamentablemente todavía no se dispone de datos publicados en ese año. Esto también afectará a los resultados del periodo de retorno en el ajuste de Gumbel que se calculará más adelante, dando valores algo más bajos de lo que realmente debería dar.

Se observan tres picos de mayor crecida en el episodio de las estaciones de Quicena y Barbués, y dos picos en Albalatillo. El mayor punto de crecida en Quicena es el último de los tres que tiene y se registra el 27-01-1996, con un caudal de $21 \text{ m}^3/\text{s}$. Este punto máximo coincide en la fecha con el último de Barbués, que es el segundo más alto que tiene, con un caudal de $45 \text{ m}^3/\text{s}$, pero siendo el punto más alto el 13-01-1996 con $49 \text{ m}^3/\text{s}$. Por último Albalatillo, tiene dos puntos máximos de caudal, el primero y el más cuantioso, coincide con la fecha del más alto de Barbués, con un caudal de $63 \text{ m}^3/\text{s}$, y el segundo punto más alto coincide en fecha con el más alto de Quicena, con un caudal de $45 \text{ m}^3/\text{s}$.

B) Hidrogramas de estiaje

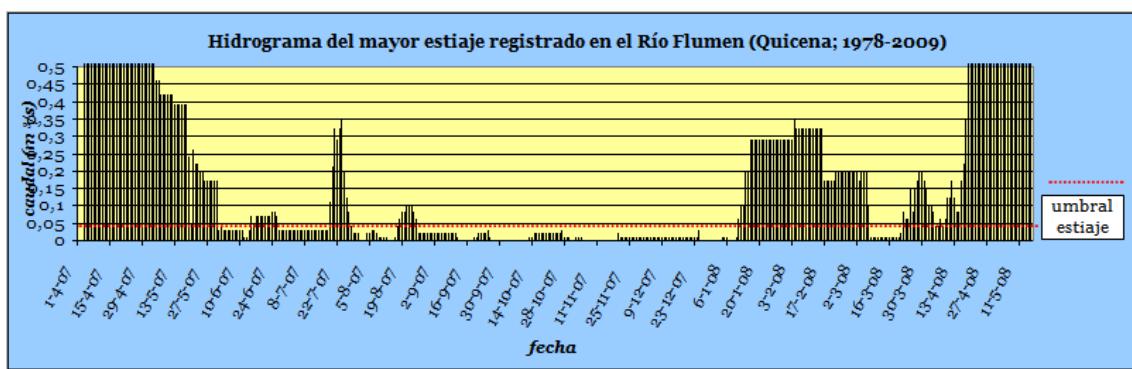


Figura 10: Mayor estiaje mensual registrado en el Río Flumen (Quicena; 1978-2009)

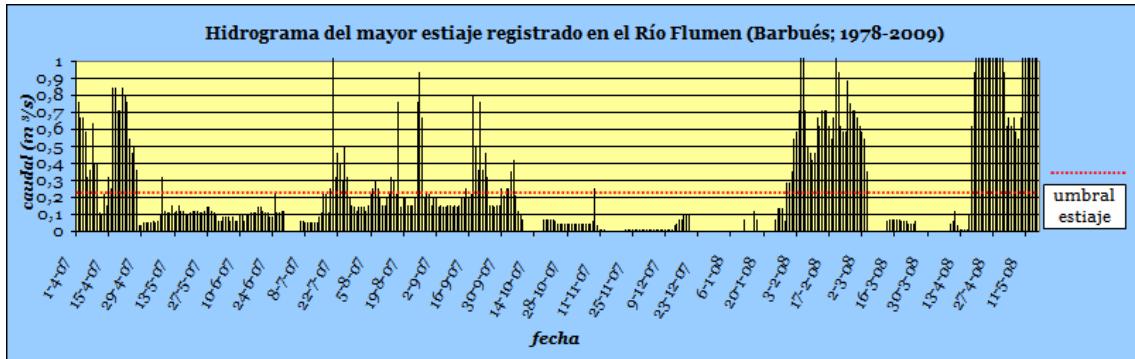


Figura 11: Mayor estiaje mensual registrado en el Río Flumen (Barbués; 1978-2009)

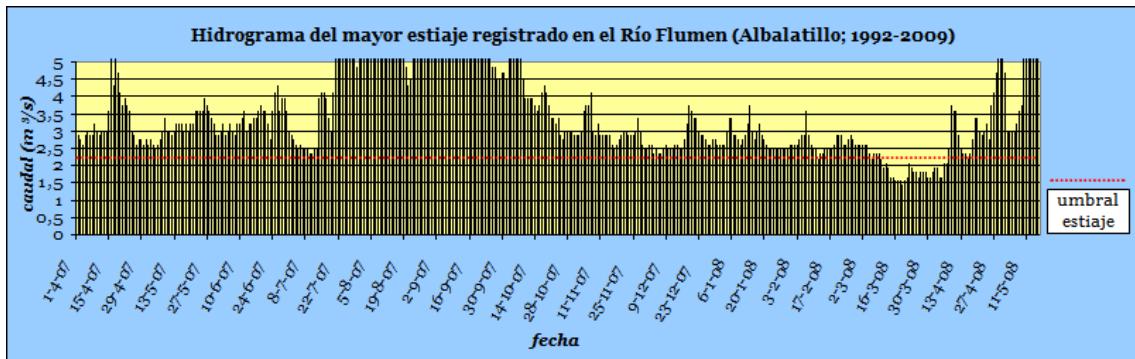


Figura 12: Mayor estiaje mensual registrado en el Río Flumen (Albalatillo; 1992-2009)

Los hidrogramas de estiaje se han calculado entre el periodo que comprende desde el 01/04/07 hasta el 16-05-08. Este periodo de tiempo de aproximadamente un año, desde abril del primer año hasta mayo del segundo año, se produce el mayor estiaje común para las tres estaciones, de mayor sequía y con la mayor duración que se registra desde que es posible obtener datos para las tres estaciones.

En los tres casos se ha reducido la escala del eje Y para poder apreciar visualmente de una mejor manera los valores de estiaje. Esta reducción ha supuesto obviar algunos valores de pequeñas crecidas que no tienen importancia en el análisis del estiaje, ya que los importantes son los que no llegan a superar el umbral de estiaje. Tanto Quicena como Barbués llegan a sobrepasar la barrera del umbral de estiaje en un periodo significativo de tiempo, e incluso tienen una gran cantidad de valores de $0 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo Albalatillo, cuyo umbral de estiaje es $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$, tiene un periodo de estiaje muy reducido, a algo menos de un mes, y además su valor más bajo es de $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Aunque en esta estación no parezca un estiaje muy pronunciado, se trata del periodo de tiempo con mayores mínimos que se registran desde que se tienen datos.

Por último, los periodos de tiempo de mayor estiaje en cada caso son los siguientes; Quicena: 27-05-07 / 20-01-08. Barbués: 14-10-07 / 03-02-08. Albalatillo: 16-03-08 / 13-04-08.

3.2. CRECIDAS HISTÓRICAS

Fecha	Río	Localidad afectada	Características	Daños	Caudal máximo registrado (m ³ /s)
1697, abril	Isuela	Arguis	Crecida	En el antiguo pantano de Arguis, haciendo mal en la obra, donde hubo que arrancar y arreglar la mampostería durante cinco días	
1787, 4 de enero	Flumen		Crecida a causa de fuertes precipitaciones en gran parte de la cuenca	En la acequia y, a consecuencia de ello, hubo una reunión en la Comunidad de Regantes del río Flumen para repararla	
1800, 9 de febrero	Flumen		Crecida	Arruinó la acequia llamada del Flumen y los canales aguas arriba de la misma	
1871, 20 de septiembre	Flumen	Huesca y Grañen	Crecida	En Huesca capital y en la población de Grañen	
1900, 25 de septiembre	Flumen e Isuela	Huesca	Fuerte tormenta sobre Huesca y posterior desbordamiento del río Isuela y río Flumen	Paso interrumpido por la carretera de Zaragoza, llegando a salir el agua por las puertas del antiguo matadero de Huesca	
1982, 6-10 de noviembre	Flumen e Isuela	Nueno	Fuertes crecidas a causa de unas precipitaciones de elevada cuantía e intensidad en los Pirineos Central y Oriental	En la central eléctrica y caminos	Se llegaron a registrar períodos de retorno entre los 200 y 500 años

Tabla 4. Crecidas históricas registradas en la cuenca del Flumen

A partir de diferentes fuentes documentales se ha podido comprobar la existencia de diferentes crecidas de proporciones destacas a lo largo de los últimos

cuatro siglos. Siempre que se ha explicitado, la causa de la crecida son las precipitaciones. Acequias y otras infraestructuras hidráulicas, vías de comunicación y poblaciones son las que sufren las afecciones de estas crecidas.

3.3. PROBABILIDAD DE CRECIDA: AJUSTE DE GUMBEL

En Hidrología los riesgos suelen establecerse a partir de los llamados períodos de retorno o intervalos de recurrencia, que no son sino la inversa de la probabilidad de ocurrencia de los mismos. A un evento con una probabilidad de ocurrencia de, por ejemplo, un año en 100, o 1/100 (0,01) de probabilidad, le corresponde un periodo de retorno de 100 años. A otro con una probabilidad de 0,2 le corresponde un período de retorno de 5 años. Esta aproximación se considera estadístico-frecuencial, porque a partir de los registros de precipitación existentes se hacen las estimaciones de los períodos de retorno. Normalmente se utiliza el máximo caudal instantáneo en 24 horas de cada año, lo cual asegura la independencia de los sucesos, ajustándose la serie resultante mediante una distribución de probabilidad de valores máximos (Parra et al., 2013).

En este estudio, se han elaborado tres gráficas para cada estación de aforo en Quicena, Barbués y Albalatillo. Se han calculado los períodos de retorno relativos a 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, y 500 años. A continuación se explica con detalle cada gráfica, las cuales muestran la curva de Gumbel para cada periodo de retorno de un modo no logarítmico, para que los ejes mantengan el aumento de los datos regularmente y se pueda tener una mejor visualización. Además se ha añadido una barra de puntos que muestra una tendencia de caudal lineal.

Hay que añadir que estamos tratando la probabilidad. Por lo que en cualquier caso, aunque para un determinado periodo de retorno, el cálculo nos de cómo resultado un determinado caudal, como por ejemplo es $141 \text{ m}^3/\text{s}$ para 500 años en Barbués, esto no quiere decir que obligatoriamente cada 500 años tenga que haber una crecida con $141 \text{ m}^3/\text{s}$. Lo que quiere decir es que la probabilidad dice que esto va a pasar cada 500

años, pero podría ocurrir que sucediera en semanas. Esto no es lo normal pero es posible, y en ese caso la probabilidad se modificaría para otros eventos posteriores.

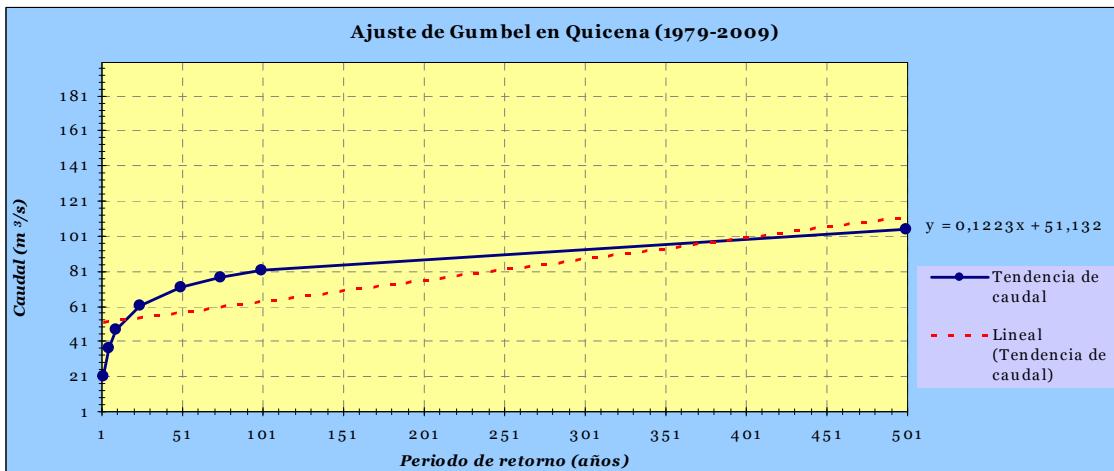


Figura 13. Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Quicena (1979-2009)

Este ajuste de Gumbel se ha calculado para los datos registrados en la estación de aforo de Quicena entre los años 1979 y 2009. Debido a fallos de registro, en ocasiones producido por caudales fuertes, los datos de algunos años están en blanco, por lo que no han sido tenidos en cuenta. Esos años son los siguientes: 1984, 1991, 2004, y 2006.

Los resultados han sido, en primer lugar, que el mayor caudal registrado fue $61,19 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año 1995, y en cuanto a los períodos de retorno, a continuación se muestra cual sería la probabilidad de caudal máximo esperado con el paso de cada período de tiempo:

- 2 años = $21 \text{ m}^3/\text{s}$
- 5 años = $37,2 \text{ m}^3/\text{s}$
- 10 años = $47,9 \text{ m}^3/\text{s}$
- 25 años = $61,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- 50 años = $71,6 \text{ m}^3/\text{s}$
- 75 años = $77,4 \text{ m}^3/\text{s}$
- 100 años = $81,6 \text{ m}^3/\text{s}$
- 500 años = $104,6 \text{ m}^3/\text{s}$

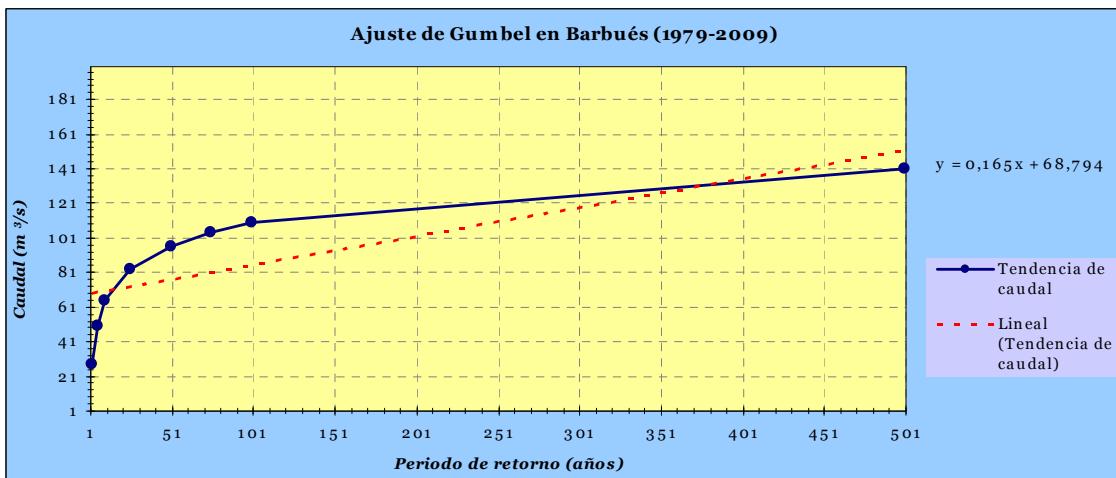


Figura 14. Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Barbués (1979-2009)

Este ajuste de Gumbel se ha calculado para los datos registrados en la estación de aforo de Barbués entre los años 1979 y 2009. Como en el anterior caso, debido a fallos de registro, los datos de algunos años están en blanco, por lo que no han sido tenidos en cuenta. Esos años son los siguientes: 1987, 1991, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008.

Los resultados han sido, en primer lugar, que el mayor caudal registrado fue 83,36 m³/s en el año 1982, y en cuanto a los períodos de retorno, a continuación se muestra cual sería la probabilidad de caudal máximo esperado con el paso de cada periodo de tiempo:

- 2 años = 28,1 m³/s
- 5 años = 50 m³/s
- 10 años = 64,5 m³/s
- 25 años = 82,8 m³/s
- 50 años = 96,4 m³/s
- 75 años = 104,3 m³/s
- 100 años = 109,9 m³/s

- 500 años = $141 \text{ m}^3/\text{s}$

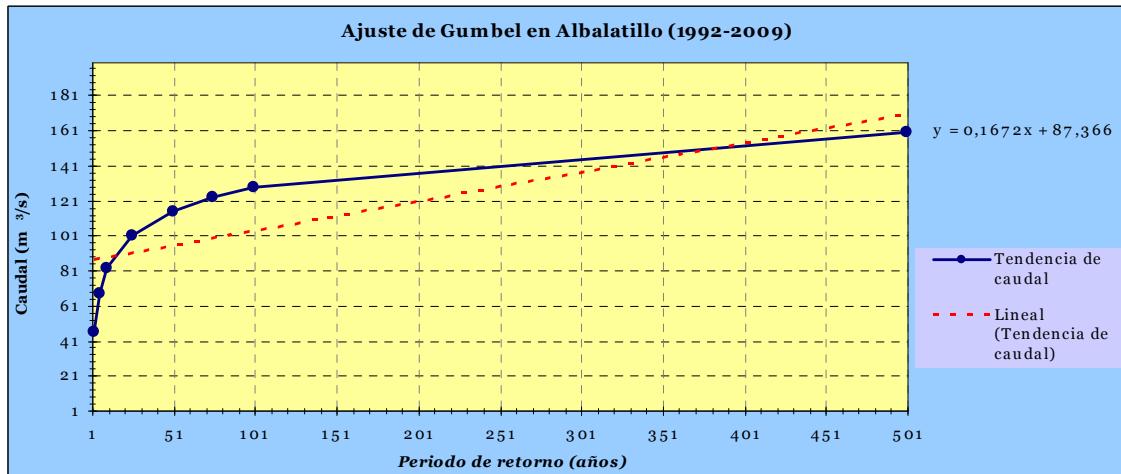


Figura 15. Ajuste de Gumbel para la estación de aforo de Albalatillo (1992-2009)

Este ajuste de Gumbel se ha calculado para los datos registrados en la estación de aforo de Albalatillo entre los años 1992 y 2009. Se trata de un periodo inferior al de las anteriores, ya que como se ha dicho en otros apartados de este trabajo, esta estación de aforo tiene menor antigüedad. En este caso también aparecen algunos datos en blanco por la falta de registro. Esos datos corresponden solamente al año 1996.

Los resultados han sido, en primer lugar, que el mayor caudal registrado fue $85,85 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año 2005. Este valor sería con toda seguridad más alto si se tuviera una periodo mayor de registro, vistos los datos de las otras estaciones de aforo. Por lo tanto, este ajuste no se corresponde de la misma manera a la realidad como en los anteriores casos, aunque esos se analizan desde 1979, y todavía serían más fiables cuantos más años pudieran analizarse. En definitiva, en cuanto a los periodos de retorno, a continuación se muestra cual sería a probabilidad de caudal máximo esperado con el paso de cada periodo de tiempo:

- 2 años = $46,2 \text{ m}^3/\text{s}$
- 5 años = $68,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- 10 años = $83 \text{ m}^3/\text{s}$
- 25 años = $101,6 \text{ m}^3/\text{s}$
- 50 años = $115,3 \text{ m}^3/\text{s}$

- 75 años = 123,3 m³/s
- 100 años = 129 m³/s
- 500 años = 160,5 m³/s

4. TRAMIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DEL CAUCE

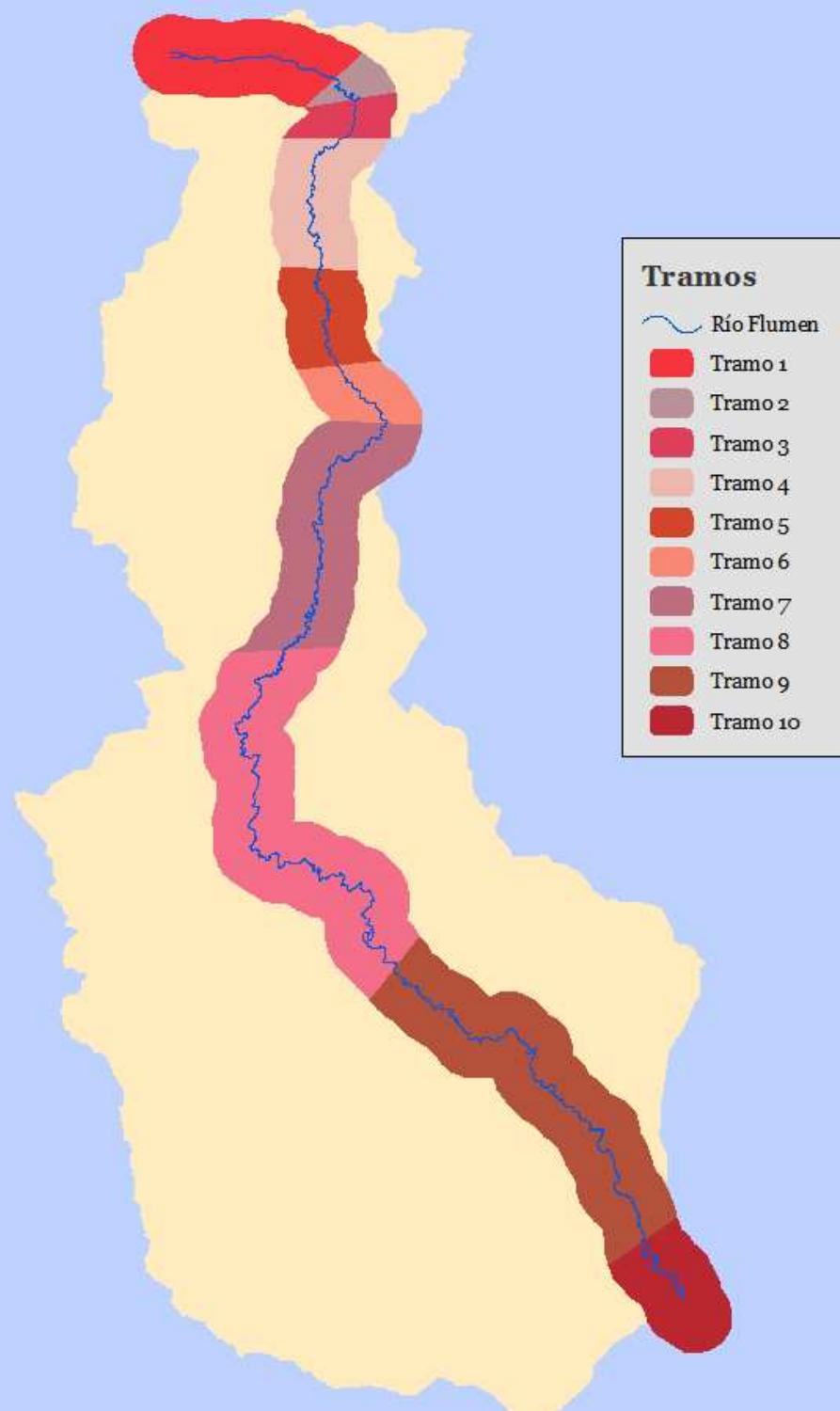
Se ha elaborado una cartografía de tramificación y tipificación. Esta se ha realizado atendiendo a las características principales del río Flumen relativas a sinuosidad, pendiente, aparición de embalses, y aportes de caudal. Además de esto, en la descripción de cada tramo clasificado también se han añadido elementos geomorfológicos de interés, y lugares de ZEPAs, LICs, y ENPs.

El resultado es un cauce dividido en 10 tramos y tipificado de la siguiente manera:

- 1) Nacimiento del río Flumen en la Sierra de Belarra, a unos 1340m en una zona de ZEPA, dirigiéndose hacia el sudoeste con una pendiente de más del 15%. A lo largo de este primer sector define un valle en V a lo largo del flanco meridional del sinclinal del Guarga.
- 2) Momento en el que pasa a ser de grado 5 en la jerarquía por la confluencia de dos cauces de grado 4. Se trata de un tramo algo más sinuoso que el anterior, que sigue teniendo más de un 15% de pendiente, y además de discurrir por una zona de ZEPA, ahora también lo hace por una de LIC y ENP. Es un tramo de corta distancia que termina cuando llega al embalse de Santa María de Belsué.
- 3) A continuación, al llegar a los embalses de Santa María de Belsué y Cienfuens, el río se encaña abriendo un corredor entre las sierras del Águila al oeste y las de Santa Eulalia-Gabardiella al este. Sigue circulando por una zona de ZEPA, LIC y ENP, y teniendo una pendiente mayor a 15%.
- 4) Este tramo se trata del último en el que su pendiente es mayor al 15%. El río se encaja primero y de forma más clara sobre las calizas cretácicas y eocenas, y en segundo lugar abre ligeramente su valle sobre los conglomerados miocenos al borde de la depresión del Ebro en el Salto de Roldán, dejando la peña de San Miguel (1123 m) al oeste y la Peña de Amán (1124 m) al este. Mantiene las zonas de ZEPA, LIC y ENP.

- 5) Aquí el río entra en una zona de pendiente entre el 5 y el 15%, y aparece un nuevo embalse, el de Montearagón.
- 6) A continuación el río atraviesa las areniscas miocenas, abriendo un valle con ribera poco sinuoso. Este es el final de la parte del río con pendiente entre el 5 y el 15%.
- 7) Aguas abajo del anterior tramo, comienza a perder pendiente llegando a valores por debajo del 5%, y aunque la sinuosidad se mantiene, la ribera no alcanza su anchura potencial, ya que ha sido muy invadida. En esta parte es donde comienza a recibir las aportaciones de su principal afluente, el río Isuela.
- 8) Aumento considerable de la sinuosidad. Debido al uso del suelo agrícola, aparecen acequias que reducen el caudal, y se suceden los azudes. El cauce aparece cada vez más constreñido y sufre diversos impactos, incluso extracciones de áridos.
- 9) En esta parte la sinuosidad se reduce considerablemente respecto al anterior tramo. La pendiente media llega a ser del 0,2%. Su corredor ribereño es discontinuo y el cauce ha sido defendido e incluso canalizado en algún tramo.
- 10) Esta es la última parte del río. Unos pocos kilómetros en los que la sinuosidad aumenta notablemente hasta llegar a la desembocadura en el río Alcanadre, después de pasar por la estación de aforo de Albalatillo.

Tramificación del Río Flumen



Elaboración: Nelson Subías Sanz, 2014
Fuente de datos: IGN e IDEE

0 5 10 20 km

N

Cartografía 10. Tramificación del cauce del río Flumen

5. EVALUACIÓN DE RIESGOS DEL RÍO

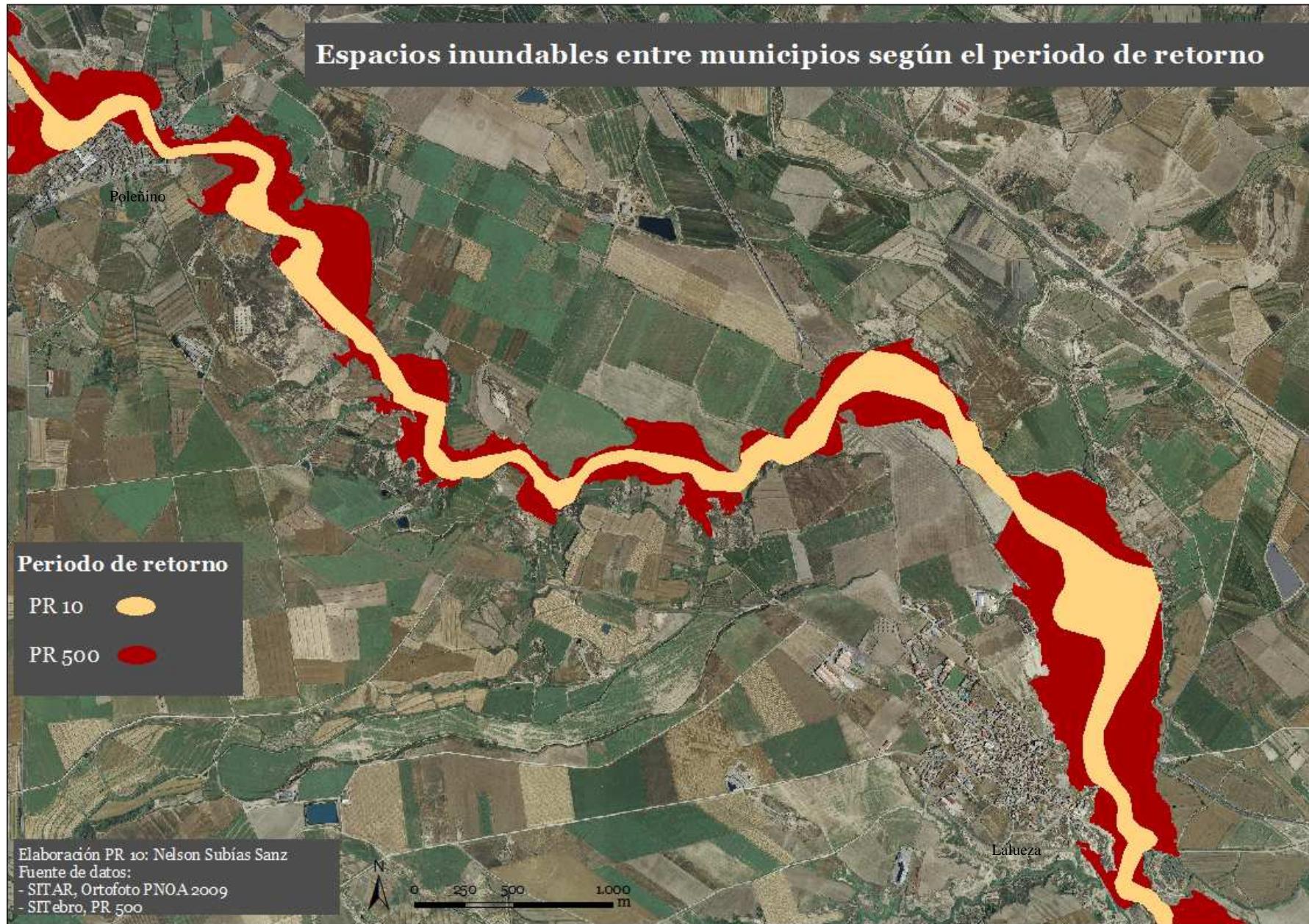
5.1. ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POTENCIAL

Una vez analizada la cuenca hidrográfica del río Flumen, a continuación se presenta una evaluación de los riesgos del río, centrada en el estudio de caso del trabajo. Este corresponde al tramo del río correspondiente a la zona entre los municipios de Laluez y Poleñino.

En este apartado, se muestra un análisis cartográfico de los riesgos de inundación potencial, con períodos de retorno correspondientes a 10 y 500 años. Debido a la falta de datos, los resultados no son totalmente exactos, pero ayudan a hacerse una idea de cuáles son las zonas de inundación.

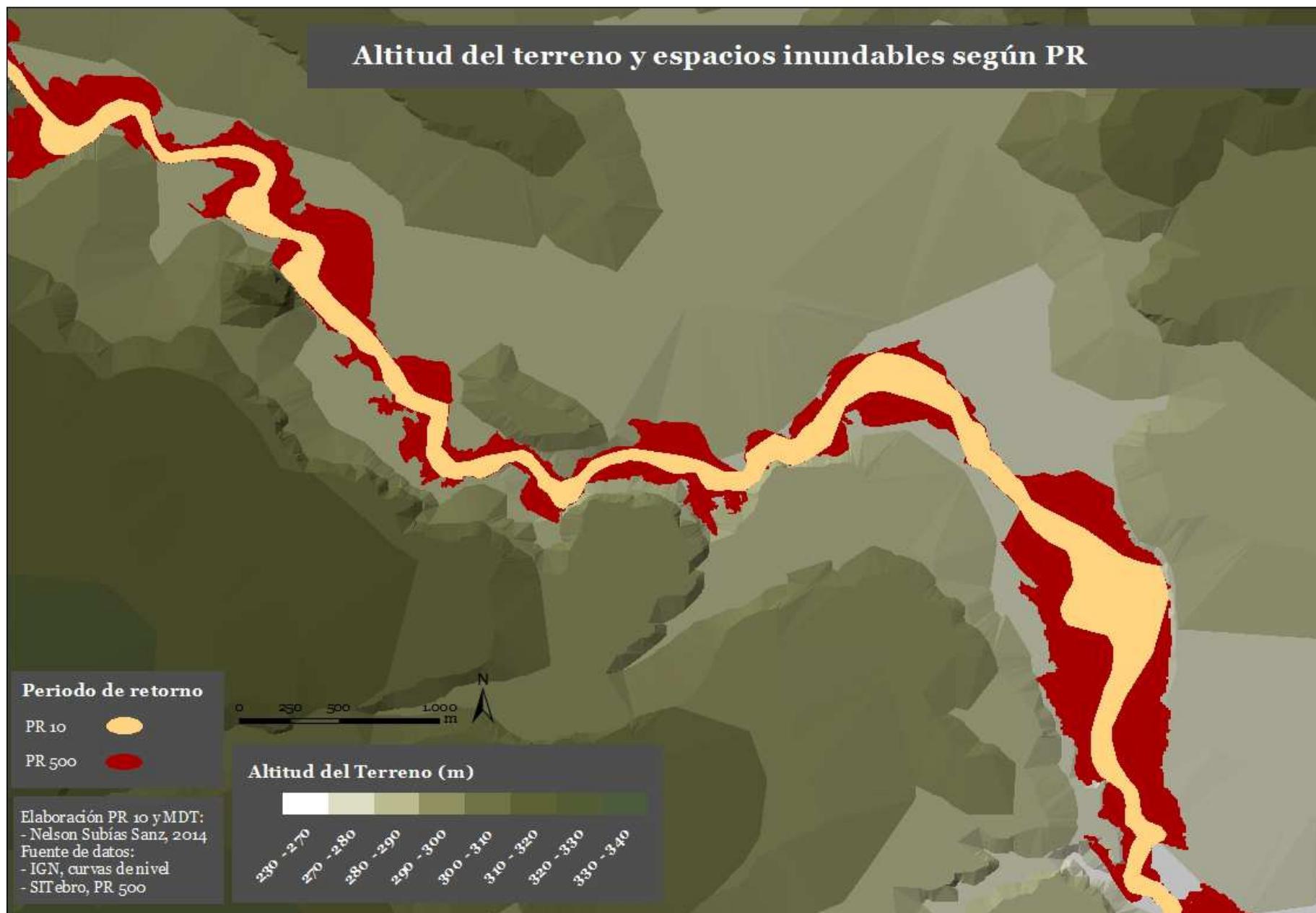
Se han realizado cartografías con una visión general del tramo estudiado, tanto sobre un fondo de ortoimagen para ver qué zonas son las afectadas, como sobre un fondo de Modelo Digital del Terreno que permite ver las distintas alturas del terreno.

Además de esto, con un zoom sobre los municipios estudiados, se puede ver el riesgo general de cada uno, así como las zonas más vulnerables ante un evento de crecida.

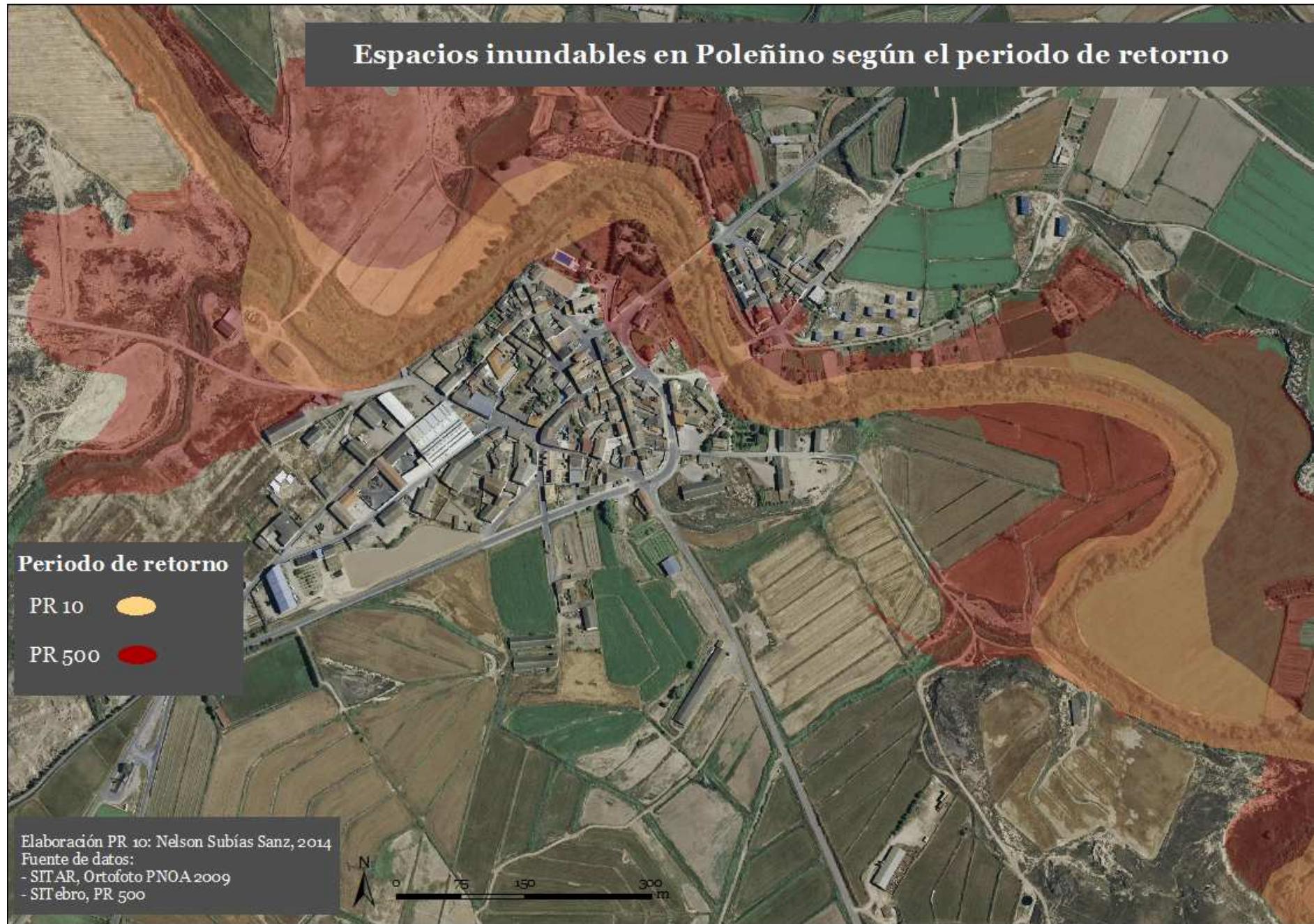


Cartografía 11. Espacios inundables entre Poleñino y Lalúenza según el PR.

Altitud del terreno y espacios inundables según PR



Cartografía 12. Altitud del terreno y espacios inundables entre municipios según el PR



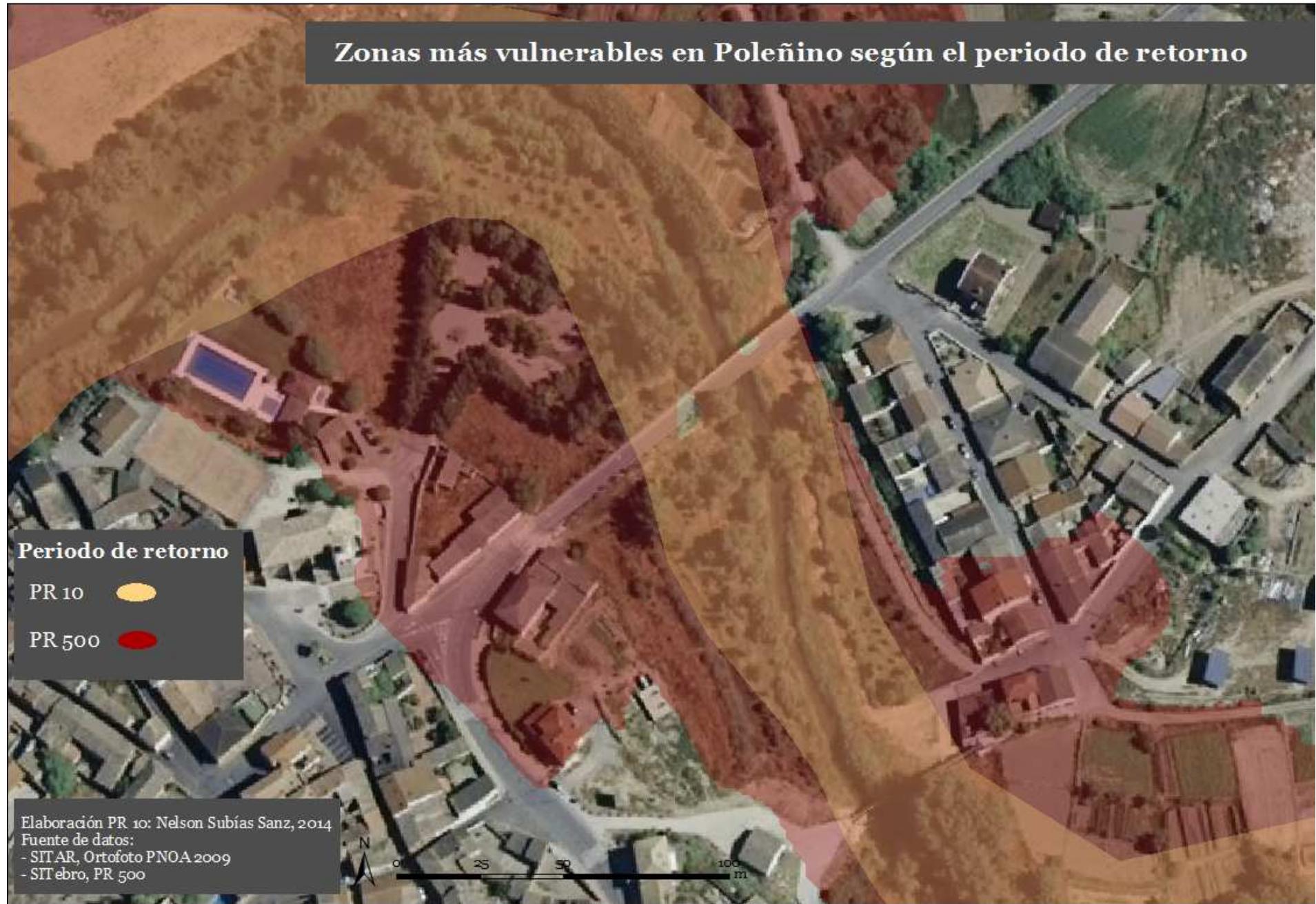
Cartografía 13. Espacios inundables en Poleñino según el PR

Zonas más vulnerables en Poleñino según el periodo de retorno



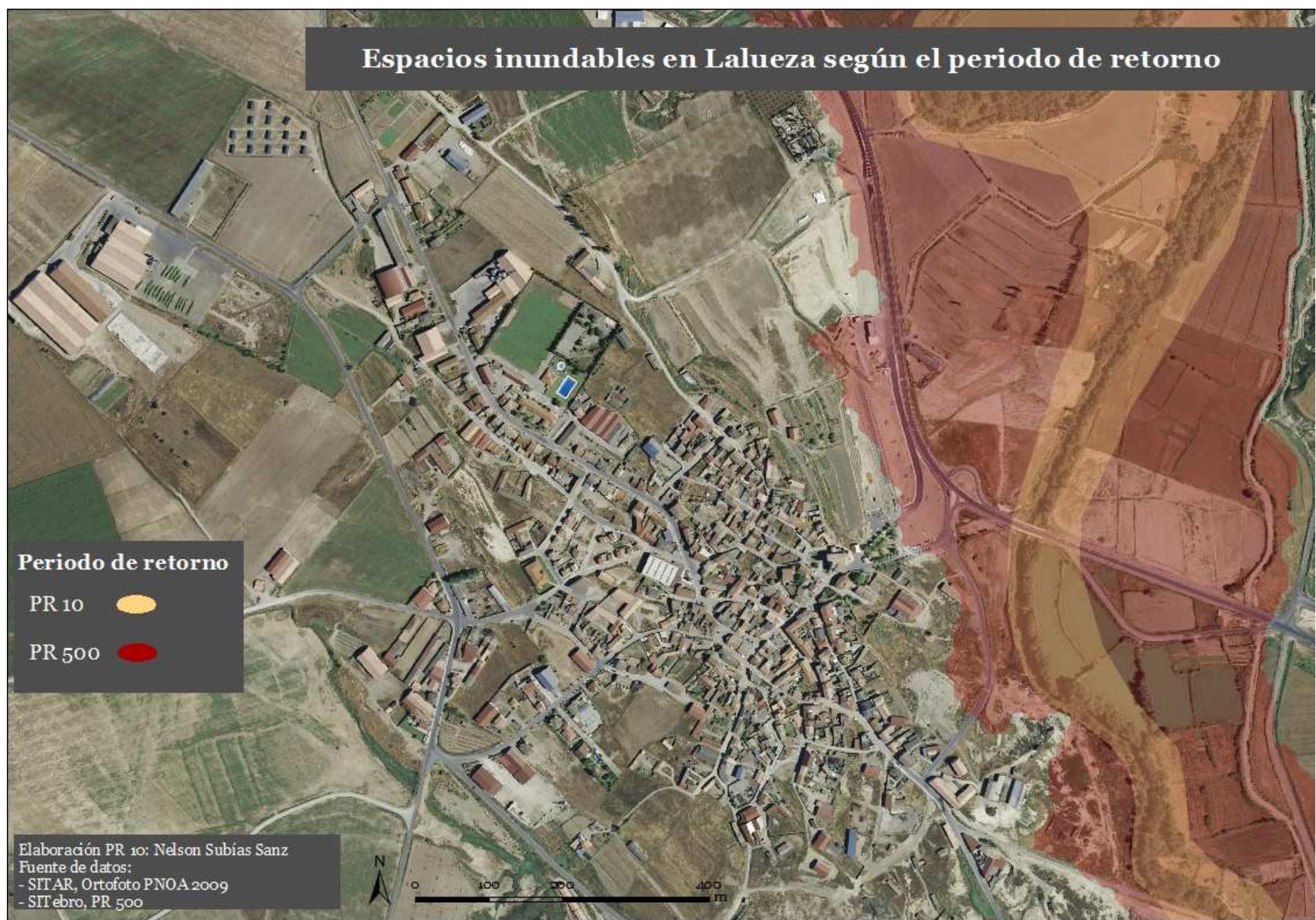
Cartografía 14. Zonas más vulnerables en Poleñino según el PR (I)

Zonas más vulnerables en Poleñino según el periodo de retorno



Cartografía 15. Zonas más vulnerables en Poleñino según el PR (II)

Espacios inundables en Lalueza según el periodo de retorno



Cartografía 16. Espacios inundables en Lalueza según el PR

Espacios más vulnerables en Lalueza según el periodo de retorno



Cartografía 17. Zonas más vulnerables en Lalueza según el PR

5.2. ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD DE CAUDALES EN PUENTES

La fórmula de Manning es utilizada para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías. Mediante la aplicación de esta fórmula a los datos de campo recogidos de los puentes podremos obtener la capacidad de desagüe de caudal que tienen los puentes.



Cartografía 18. Localización de los puentes estudiados

Para el estudio de caso de riesgos de inundación, en el tramo correspondiente a los municipios de Poleñino y Lalueza, se han escogido los tres puentes que mayor riesgo tienen de ser superados por el caudal y por lo tanto de no tener suficiente capacidad de desagüe. Mediante un trabajo de campo de medición, se han medido las partes de los puentes necesarias para aplicar la fórmula de Manning, cuyo resultado final muestra cuál es la capacidad máxima de desagüe que tienen estos puentes. El proceso y los resultados se muestran a continuación. Los puentes representados en la imagen anterior, se analizan en un orden de izquierda a derecha.

5.2.1. Puente “del Ganado”



Ilustración 3. Comparación del puente del ganado en crecida y sin crecida. Fuente: (dcha) J. Luis Alastraúé

1) Cálculo de áreas (A)	Área círculos (radio 52cm)	$3,1416*522 = 8494,8665 \text{ cm}^2 * 4 = 33979,4661 \text{ cm}^2$
	Área rectángulo	$254* 1200 - (61*154) = 295406 \text{ cm}^2$
	Suma de áreas	$A = 33979,4661 + 295406 = 329385,4661 \text{ cm}^2 \rightarrow 32,94 \text{ m}^2$
2) Perímetro mojado (Pm)		$Pm = [(2*3,1416*0,52)*4] + 1,10+0,61+1,54+11,39+2,64+12 = 42,3 \text{ m}$
3) Radio Hidráulico (Rh)	Rh = A/PM	$Rh = 32,94 / 42,3 = 0,7787 \text{ m}$
4) Pendiente (S)		$S = 0,005$
5) Rugosidad (N)		$N = 0,045$
6) Estimación del caudal de crecida permitido (Q)	$Q = A * (Rh^{0,666} * S^{0,5}) / n$	$Q = 32,94 * [(0,7787^{0,666} * 0,005^{0,5}) / 0,045] = 43,81 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabla 5. Cálculo del caudal de crecida permitido en el puente del ganado

5.2.2. Puente “de madera”



Ilustración 4. Comparación del puente de madera en crecida y sin crecida. Fuente (dcha) Rogelio Casaus

1) Cálculo de áreas (A)	Área del rectángulo 1	$(800*145) + (809*55/2) = 138247,5 \text{ cm}^2$
	Área del rectángulo 2	$(1118*282) + (1105*38/2) = 336271 \text{ cm}^2$
	Área del rectángulo 3	$(1346*344) + (1320*116/2) = 539584 \text{ cm}^2$
	Suma de las áreas	$A = 138247,5 + 336271 + 539584 = 1014102,5 \text{ cm}^2 \rightarrow 101,41 \text{ m}^2$
2) Perímetro mojado (Pm)		$Pm = 8+1,45+8,40+2+11,18+2,82+11,20+3,20+3,44+13,46+5+13,25 = 83,4 \text{ m}$
3) Radio Hidráulico (Rh)	Rh = A/PM	$Rh = 101,41 / 83,4 = 1,2159$
4) Pendiente (S)		$S = 0,007$
5) Rugosidad (N)		$N = 0,045$
6) Estimación del caudal de crecida permitido (Q)	$Q = A * (Rh^{0,666} * S^{0,5}) / n$	$Q = 101,41 * [(1,2159^{0,666} * 0,007^{0,5}) / 0,045] = 214,76 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabla 6. Cálculo del caudal de crecida permitido en el puente de madera

5.2.3. Puente de la estación-Lalueza



Ilustración 5. Puente de la estación - Lalueza

1) Cálculo de áreas (A)	Área del rectángulo 1	$(850*540) - (70*160) = 447800 \text{ cm}^2$
	Área del rectángulo 2	$(730*540) - (140*10) = 392800 \text{ cm}^2$
	Área del rectángulo 3	$810*300 = 243000 \text{ cm}^2$
	Suma de las áreas	$A = 447800 + 392800 + 243000 = 1083600 \text{ cm}^2 \rightarrow 108 \text{ m}^2$
2) Perímetro mojado (Pm)	$Pm = 8,50 + 3,80 + 1,6 + 7,8 + 5,40 + 5,40 + 7,30 + 4 + 1,40 + 0,10 + 8,10 + 3 + 8,10 + 3 = 67,5 \text{ m}$	
3) Radio Hidráulico (Rh)	$Rh = A/PM$	$Rh = 108 / 67,5 = 1,6$
4) Pendiente (S)		$S = 0,005$
5) Rugosidad (N)		$N = 0,05$
6) Estimación del caudal de crecida permitido (Q)	$Q = A * (Rh^{0,666} * S^{0,5}) / n$	$Q = 108 * [(1,6^{0,666} * 0,005^{0,5}) / 0,05] = 208,87 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabla 7. Cálculo del caudal de crecida permitido en el puente de la estación - Lalueza

Los resultados muestran que la capacidad de desagüe en el puente del Ganado es mucho menor que en los otros dos, con un valor de $43,81 \text{ m}^3/\text{s}$, y por lo tanto sería superado con un caudal correspondiente a un periodo de retorno de tan solo 5 años. Esto supone un problema en eventos de crecida ya que puede aumentar los daños, ya que provoca que la llanura de inundación sea mayor. Por otro lado, tanto el puente de madera como el de la estación – Lalueza, superan la capacidad de $200 \text{ m}^3/\text{s}$, y por lo tanto serían capaces de desaguar un caudal, de hasta un periodo de retorno de 500 años, ya que en Barbués es de $141 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.3. CARACTERIZACIÓN HIDROMORFOLÓGICA DE CAUCES

En este apartado, se pretende mostrar cuál es nivel de desbordamiento que tiene el cauce del río Flumen en esta zona, o lo que es lo mismo, determinar cuál es el caudal

bankfull. Para ello, se han escogido los tres puntos que se localizan unos metros detrás de los puentes analizados.

En primer lugar, ha sido necesario realizar un trabajo de campo de medición dentro del río, en el que se han tomado los datos necesarios para poder dibujar el perfil topográfico del cauce y su área. De esta manera, con los cálculos necesarios de la fórmula del caudal bankfull, ha sido posible calcular la superficie que podría ocupar el agua hasta desbordarse.

Hay que añadir, que debido a los problemas que el terreno daba en cuanto a maleza y relieve abrupto, solo ha sido posible calcular el caudal bankfull hasta la ladera del río más baja y no hasta la más alta, es decir, para la sección del cauce normal por el que el río discurre con mayor frecuencia, y no más allá de él.

5.3.1. Entrada a Poleñino, anterior al puente “del Ganado”:



Ilustración 6. Cauce del río Flumen en su entrada a Poleñino

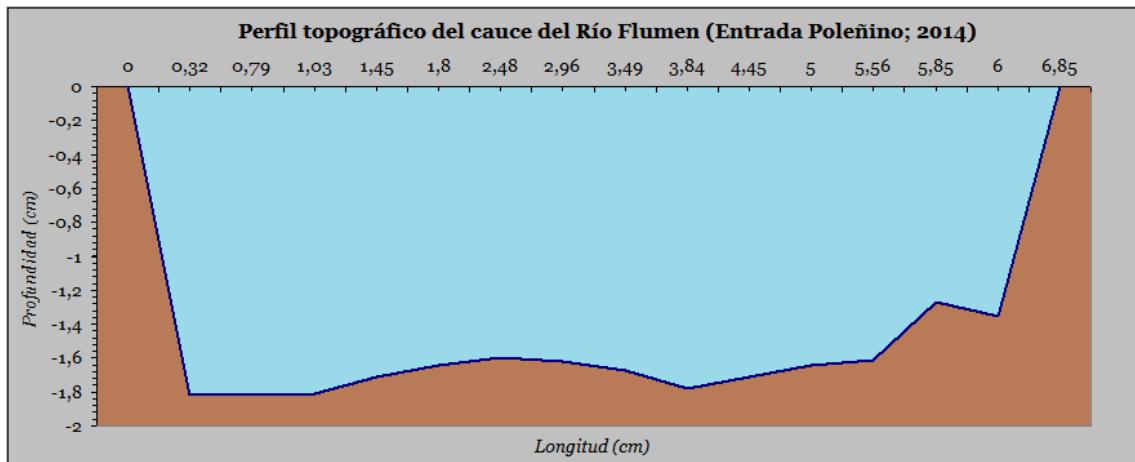


Figura 16. Perfil topográfico del cauce del río Flumen en la entrada a Poleñino

Entrada a Poleñino	
Pendiente	0,005m
Área	10,44m ²
Perímetro mojado	9,34m
Radio hidráulico	1,12m ²
Rugosidad	0,4
Caudal bankfull	1,99m ³ /s
PR 500 años en Barbués	141m ³ /s
Ratio Qt/Qb en 500 años	70,85

Tabla 8. Cálculo del Caudal Bankfull en la entrada de Poleñino

5.3.2. Centro de Poleñino



Ilustración 7. Cauce del río Flumen en el centro de Poleñino

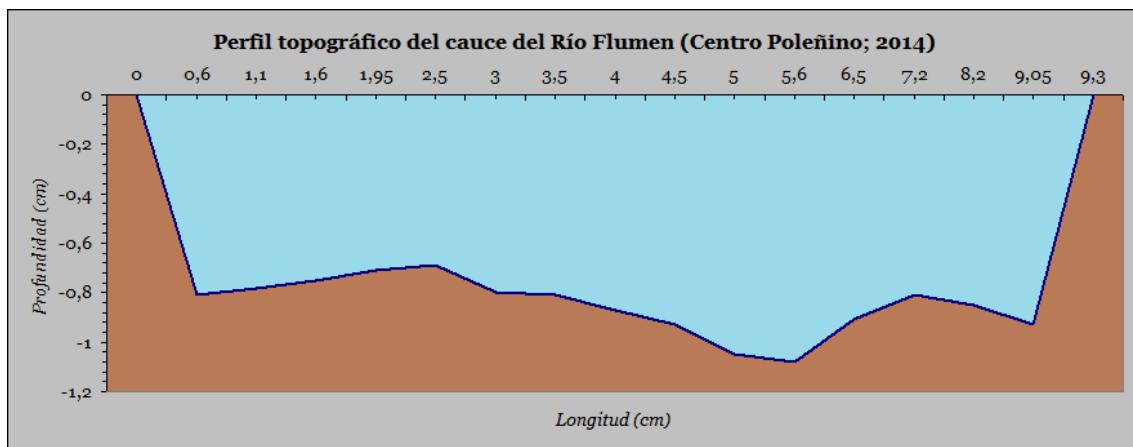


Figura 17. Perfil topográfico del cauce del río Flumen en el centro de Poleñino

Centro de Poleñino	
Pendiente	0,005m
Área	7,65m ²
Perímetro mojado	10,49m
Radio hidráulico	0,73m ²
Rugosidad	0,035
Caudal bankfull	12,53m ³ /s
PR 500 años en Barbués	141m ³ /s
Ratio Qt/Qb en 500 años	11,25

Tabla 9. Cálculo del Caudal Bankfull en el centro de Poleñino

5.3.3. Poleñino-Lalueza



Ilustración 8. Cauce del río Flumen en el tramo de la estación - Lalueza

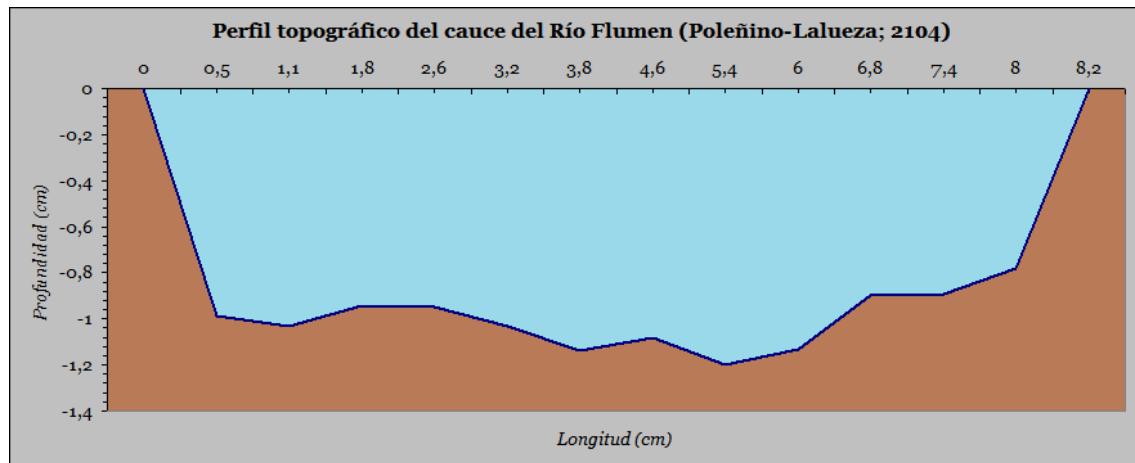


Figura 18. Perfil topográfico del cauce del río Flumen en el tramo de la estación - Lalueza

La estación - Lalueza	
Pendiente	0,005m
Área	12,13m ²
Perímetro mojado	9,96m
Radio hidráulico	1,21m ²
Rugosidad	0,04
Caudal bankfull	24,34m ³ /s
PR 500 años en Barbués	141m ³ /s
Ratio Qt/Qb en 500 años	5,79

Tabla 10. Cálculo del Caudal Bankfull en el tramo de la estación – Lalueza

6. EVALUACIÓN AMBIENTAL

La evaluación ambiental se ha aplicado sobre el tramo del río Flumen correspondiente a los municipios de Poleñino y Laluez, pero para estudiar la calidad funcional del sistema, también ha sido necesario buscar posibles impactos aguas arriba de esta zona.

Estos impactos aguas arriba se han encontrado, con la existencia de tres embalses en el cauce principal, el de Santa María de Belsué, Cienfuegos, y Montearagón, más el de Arguis en el Isuela, así como balsas laterales, como las que hay en el barranco del Valdrabra. Estos embalses tienen una gran influencia sobre los regímenes, ya que derivan y retienen caudales. Al retenerlos, también repercuten sobre la dinámica normal del transporte de sedimentos, y suponen una importante alteración para la llanura de inundación.



Ilustración 9. Embalse de Montearagón. Fuente: Mastergeo

En la zona estudiada se localizan dos municipios, pero son de escasa población, Poleñino con 215 y Laluez con 1.021 (INE, 2013). Lo importante es que la mayor parte del uso del suelo está destinado al uso agrícola, principalmente de regadío, y que condiciona claramente la calidad del cauce, perjudicado por los contaminantes que le llegan desde las aguas freáticas, procedentes de los fertilizantes. La llanura de inundación también presenta abundantes impactos por la ocupación por cultivos que llegan a la orilla del propio cauce.

En algunas zonas, las prácticas agrícolas también hacen uso del agua del río Flumen, por lo que es normal encontrar azudes que detraen y desvían caudal hacia los campos. Además de los azudes, las defensas de margen y los puentes provocan que la naturalidad se reduzca en muchas zonas de la masa de agua.

El corredor ribereño del Flumen presenta en general, una buena calidad y continuidad. Con la comparación de las ortoimágenes del PNOA del vuelo de 1997 y 2009, se puede apreciar como la vegetación ha aumentado y unido considerablemente muchas partes que antes eran claras y discontinuas. Aun así, es necesario añadir que son frecuentes las alteraciones de la estructura interna del corredor por pastoreo y otros usos. También algunas zonas con plantaciones de chopos blancos (*Populus alba*), que alteran la naturalidad de las especies endémicas, y la presencia de especies invasoras como la caña (*Arundo donax*). Por último, en algunos puntos, se han realizado limpiezas del cauce que han eliminado los ambientes naturales y alterado el perfil regularizado por la dinámica del río



Ilustración 10: Río Flumen. Izda, Azud de Poleñino / Dcha, Azud de Lalueza

Se ha aplicado el índice para la evaluación de la calidad hidrogeomorfológica de sistemas fluviales (IHG), y los resultados han sido que la calidad en este tramo del río Flumen es moderada, con un valor de 47.

El principal problema está en la calidad funcional del sistema, la cual tiene un valor deficiente de 10, y no tiene solución lógica, porque aunque las prácticas agrícolas la estén perjudicando, estas son necesarias para la economía de los municipios, en los

que la mayoría de su población se dedica a este sector y es la principal razón de que no se despueblen.

Para mejorar la calidad moderada-alta del cauce, aunque no son frecuentes en esta parte del río, lo mejor sería la prohibición por unos años de dragados y extracciones de gravas. Quizás de esta manera se podría pasar del valor de 18 a 20. Y por último, en cuanto a la calidad de las riberas, que también es moderada-alta con un valor de 19, está rozando el valor de 20, que sería una calidad buena. Para llegar a este valor, una propuesta de actuación rápida sería eliminar las cañas invasoras.

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

sistema fluvial

sector funcional

fecha

CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

Naturalidad del régimen de caudal 4

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

Disponibilidad y movilidad de sedimentos 1

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

Funcionalidad de la llanura de inundación 5

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos	10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	-5
si son defensas continuas	si son discontinuas pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación
-5	-4
-4	-3
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-2
si solo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3
si hay abundantes obstáculos	-2
si hay obstráculos puntuales	-1
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias...) generalmente transversales, que alteran los procesos hidro-geomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida	-1
si los terrenos sobreellevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie	-3
si los terrenos sobreellevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie	-2
si hay terrenos sobreellevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie	-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA 10

CALIDAD DEL CAUCE

Naturalidad del trazado y de la morfología en planta 9

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

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

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

Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral 5

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

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAUCE 18

CALIDAD DE LAS RIBERAS

Continuidad longitudinal 8

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

Anchura del corredor ribereño 6

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

Estructura, naturalidad y conectividad transversal 5

En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orillas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.	10
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo...) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha materializado por desconexión con el freático (cauces con incisión)	-5
si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	-3
si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	-2
si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual	-1
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	-2
si las alteraciones son significativas	-2
si las alteraciones son leves	-1
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos...) que alteran la conectividad transversal del corredor	-4
si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas	-3
si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas	-2
si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas	-1
si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de las riberas	-1
si la Continuidad longitudinal ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10
si la Continuidad longitudinal ha resultado 1	-2
si la Continuidad longitudinal ha resultado 2 ó 3	-1
si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0	

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS 19

VALOR FINAL: CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA 47

7. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RIESGOS Y MEJORA AMBIENTAL

Para reducir los daños por inundación que se puedan producir en los próximos años, se han propuesto una serie de medidas de mitigación de riesgos:

1) Medidas preventivas:

- Elaborar estudios cartográficos de las zonas potencialmente inundables para los diferentes períodos de retorno que no se contemplan todavía, y así poder orientar en la planificación territorial, hidrológica y urbana.
- Adoptar por parte de la Administración, de las iniciativas legislativas necesarias para que la planificación territorial y urbana contemple las restricciones imprescindibles a los usos del suelo, en función del nivel potencial del riesgo de inundaciones, y así poder evitar la construcción en suelos potencialmente inundables con políticas de actuación adecuadas.
- Realizar campañas de concienciación en estas poblaciones y en las cercanas, para evitar la construcción de asentamientos humanos en lugares no aptos para el desarrollo urbano.

2) Medidas estructurales:

- Construir elementos defensivos, como muros de contención en la parte urbana más vulnerable, para evitar así el ingreso de agua en la misma, con materiales que no puedan deteriorarse estructuralmente ante una exposición prolongada del agua.
- Eliminar el puente de madera o aplicar medidas de elevación a su altura teniendo en cuenta los datos históricos de lluvias y avenidas extremas, ya que es el único de los tres puentes que aumenta el daño sobre uso de suelo urbano, dado que los otros solamente tienen implicaciones sobre uso del suelo agrícola. Además, una medida añadida sería modernizar los otros dos puentes dotándoles de mayor capacidad de desagüe.

- Refranquear las motas anteriores a la zona de estudio para devolverle espacio al río en las partes que no haya riesgo de daños.

3) Medidas funcionales:

- Limpiar periódicamente la vegetación en los puentes, o hasta que sea posible la mejora de los mismos.
- Establecer un programa para eliminar la caña (*Arundo donax*), ya que son especies invasoras y en eventos de crecida puede generar tapones.
- Poner en marcha un programa de restauración hidrológico-forestal para la mejora ambiental, con una plantación en determinadas orillas especies autóctonas de ribera o favoreciendo su germinación natural.

8. CONCLUSIONES

La cuenca del río Flumen está dividida en dos zonas con características muy diferentes. La zona más elevada de ellas se encuentra al norte, en el prepirineo, sobre el nacimiento del río. La otra zona, que es la predominante por la extensión que abarca, se sitúa sobre las comarcas de la Hoya de Huesca y los Monegros.

Mediante esta división, se observan diferencias en las precipitaciones y la evapotranspiración, máximas en el norte y mínimas en el resto, provocando un diferente grado de aridez. Lo mismo ocurre con las pendientes, las cuales son altas en el norte, pero pasando por una zona intermedia, llegan a ser de una planitud bastante amplia en toda la cuenca. Esta planitud, sumada al material litológico que aflora, en general material detrítico por la parte llana y que posiblemente sea bastante impermeable, van hacer que la escorrentía aumente, mientras que la infiltración y la percolación se verán reducidos. También hay que tener en cuenta la aridez del terreno, comprobada en las numerosas técnicas de regadío que se practican en las explotaciones agrarias de la parte baja para buscar la rentabilidad y la gran masa de matorral esclerófilo que ocupa la tierra, la cual muestra que este terreno no estará saturado de agua y sumado a las partes que contengan yesos, calizas o areniscas, por el contrario a lo anterior, serán un punto a favor para favorecer la infiltración y reducir la escorrentía. Teniendo en cuenta la suma de ambos conjuntos de factores, la cuenca del Río Flumen se puede clasificar como una cuenca en la que van a producirse procesos tanto de escorrentía como de infiltración.

La red de drenaje da como resultado unos valores normales de jerarquización, y el cauce principal se clasifica como sinuoso-meandrizante según el índice de sinuosidad, debido a la baja pendiente del terreno, ya que la mayor parte de la cuenca es una llanura sedimentaria. Otra característica es que se trata de una cuenca muy alargada y de poca anchura. En cuanto a los aportes de agua, el principal afluente es el Río Isuela, pero en la margen derecha del cauce principal, la mayoría procedentes de la Sierra de Alcubierre, llegan barrancos de un caudal notorio que producen importantes aportes de caudal al Río.

También hay que contar con que el régimen del río está alterado por la acción antrópica, mediante los embalses de Santa María de Belsué, Cienfuentes y Montearagón, sumado a los numerosos azudes y acequias para la extracción de agua destinada al regadío, junto con otras fuentes que más tarde le aportarán retornos y que hacen que en la parte baja de la cuenca, en la parte de Albalatillo, los datos de caudal de la estación de aforo sean más altos y de comportamiento diferente que aguas arriba. Aun así, el régimen estacional de caudal se clasifica como simple y pluvial.

En cuanto al problema de las inundaciones, este radica en que en el 2012, año del que todavía no se disponen datos, los dos puentes que en principio tienen una capacidad de desagüe más que suficiente para el caudal del río Flumen, se vieron superados por el caudal del río. Esto quiere decir que como mínimo este caudal debió ser de $215\text{m}^3/\text{s}$, un valor inédito como mínimo desde 1978, año desde el que se tienen datos fiables.

Este valor supera en $74\text{ m}^3/\text{s}$ el valor de caudal del periodo de retorno de 500 años en Barbués, que es de $141\text{ m}^3/\text{s}$, y si se conociera con exactitud, el ajuste de Gumbel cambiaría ese periodo de retorno por un valor significativamente más alto. Esto haría que la planificación urbana sobre el río y su llanura de inundación fuera diferente.

La inexistencia de eventos de esta magnitud hasta el momento en este tramo, o el desconocimiento de ellas por la falta de datos, ha sido la causa de la ocupación urbana en una zona peligrosa de este municipio ante las crecidas de su río.

Es necesario contar con todos los datos de caudal de los últimos años, especialmente los del año 2012, para poder realizar un estudio exacto de las zonas inundables de estos municipios, y de esta manera planificar como corresponda tanto la construcción urbana, como el remodelamiento de los puentes peligrosos. Hasta entonces, las medidas de mitigación propuestas son necesarias para prevenir posibles daños sobre el municipio, así como para establecer una mejora ambiental en el cauce del río Flumen.

9. BIBLIOGRAFÍA

Acín, V., Ballarín, D., Brufao, P., Domenech, S., Espejo, F., González, J.C., Granado, D., Ibisate, A., Marcén, C., Mora, D., Nadal, M.E., Ollero, A., Sánchez, M., Saz, M.A., Serrano, R., (2012). Sobre las precipitaciones de octubre de 2012 en el Pirineo aragonés, su respuesta hidrológica y la gestión de riesgos. *Geographicalia*, Nº 61, págs. 101-128.

Ávila Parra, K., Martín Vide, J., (2013). Análisis estadístico de eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental, *Cuadernos Geográficos*, Nº 52, págs. 69-83.

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

Fichas de inundaciones históricas. Base documental de la cuenca del Ebro. Capítulo IV, tomos II y III.

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

Llasat, M.C., (2008). *Climatología de Situaciones de Risc*.

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

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

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

Ollero, A., (2007). Territorio fluvial. Diagnóstico y propuesta para la gestión ambiental y de riesgos en el Ebro y los cursos bajos de sus afluentes. *Bilbao, Bakeaz*.

Ollero, A., Sánchez, M., del Valle, J., (2004). Problemática actual del corredor ribereño del Ebro aragonés en su curso de meandros libres. *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico.

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

Aplicación del Índice Hidrogeomorfológico IHG a la cuenca del Ebro. N° 26-Subcuenca del río Flumen. 2010. Disponible [en línea] <www.chebro.es/contenido.streamFichero.do?idBinario=12507>

Capas temáticas del SITebro. 2014. Disponible [en línea] <<http://iber.chebro.es/sitebro/sitebro.aspx>>

Cartografía del Instituto Geológico y Minero de España. 2014. Disponible [en línea] <<http://www.igme.es/infoigme/catalogo/catalogo.aspx?tab=0>>

Cartografía y SIG del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2014. Disponible [en línea] <<http://www.magrama.gob.es/es/cartografia-y-sig/>>

Descargas del Instituto Geográfico Nacional. 2014. Disponible [en línea] <<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busadorCatalogo.do>>

Geoportal Confederación Hidrológica del Ebro. 2014. Disponible [en línea] <<http://iber.chebro.es/geoportal/>>

Geoportal de la Infraestructura de Datos Espaciales de España. 2014. Disponible [en línea] <<http://www.idee.es/web/guest/directorio-de-servicios>>

Ilustraciones de la riada del Flumen a su paso por Poleñino. 2012. Disponible [en línea] <https://www.facebook.com/media/set/?set=a.399276353479243.92464.122635227810025&type=3>

Noticias Radio Huesca. 2012. Disponible [en línea] <<http://www.radiohuesca.com/noticia/476537/La-subida-del-rio-Flumen-pone-en-alerta-a-Polenino>> <<http://www.radiohuesca.com/noticia/476699/Proteccion-Civil-de-la-Comarca-de-Los-Monegros-valora-el-trabajo-del-voluntario-en-las-riadas>>

Instituto Nacional de Estadística. 2014. Disponible [en línea] <http://www.ine.es/inebmenu/mnu_padron.htm>

Ortofotos PNOA del SITAR. 2014. Disponible [en línea] <<http://sitar.aragon.es/descargas/hoja324.htm>>

Visor de Google Earth. 2014. Disponible [en línea] <http://www.google.es/intl/es_es/earth/explore/products/plugin.html>