

Trabajo Fin de Grado

Características hidrológicas de la cuenca del río Martín: análisis de los eventos de crecida

Autor

Teresa Tapia Álvarez

Director

Miguel Sánchez Fabre

Facultad de Filosofía y Letras
2016

Índice

1. Introducción.....	Pág. 1
1.1. Justificación del proyecto	Pág. 2
2. Antecedentes y estado de la cuestión.....	Pág. 2
2.1. Antecedentes	Pág. 2
2.2. Estado de la cuestión	Pág. 4
3. Objetivos y metodología.....	Pág. 6
3.1. Objetivos	Pág. 6
3.2. Metodología	Pág. 7
4. Resultados y discusión	Pág. 9
4.1. Factores del comportamiento hidrológico del río Martín	Pág. 9
4.1.1. La pendiente	Pág. 9
4.1.2. La litología	Pág. 11
4.1.3. El aprovechamiento y los usos del suelo	Pág. 13
4.1.4. El clima	Pág. 15
4.2. Elementos del comportamiento hidrológico del río Martín	Pág. 18
4.2.1. La abundancia de caudal o caudaloidad	Pág. 18
4.2.2. La variación estacional de caudal	Pág. 19
4.2.3. La irregularidad interanual	Pág. 21
4.2.4. Los fenómenos extremos	Pág. 25
4.2.4.1. Riesgo de crecidas y periodos de retorno	Pág. 25
4.2.4.2. Magnitud de crecidas y distribución	Pág. 26
4.2.4.3. Análisis de hidrogramas de crecida	Pág. 38
4.2.4.4. Catálogo de Protección	Pág. 45
4.2.4.5. Cartografía INCZI	Pág. 48
5. Conclusión	Pág. 57
6. Relación de fuentes, bibliografía y recursos utilizados	Pág. 61
7. Anexos	Pág. 63

RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad analizar el comportamiento hidrológico del río Martín, localizado en la margen derecha del río Ebro y atravesando las provincias de Teruel y Zaragoza, y fundamentalmente sus eventos de crecida. Para ello, han sido estudiados los principales componentes del medio natural y cómo actúan sobre dicho comportamiento hidrológico. Para visualizarlo más fácilmente, se han elaborado y adjuntado al proyecto los mapas correspondientes a nivel de pendientes, litología, usos de suelo y clima.

Un aspecto de gran importancia en el trabajo es el análisis de los eventos de crecida, que tiene gran importancia en cuanto a riesgos de inundación sobre los núcleos de población cercanos al cauce. Después de analizar hidrogramas de crecida de diferente magnitud, se han mostrado los núcleos de población susceptibles de sufrir una inundación.

Por último, se exponen una serie de conclusiones que definen el comportamiento hidrológico del río Martín y sus tipos de eventos de crecidas, y proponen algunas medidas sencillas para minimizar los daños que estas pueden llegar a provocar.

Palabras clave: Comportamiento hidrológico, cuenca, caudal, evento de crecida, riesgo de inundación y núcleos de población.

ABSTRACT

This project has the objective of explain the hydrologic performance of the Martín's river, which is found in the right part of the river Ebro and cross the provinces of Teruel and Zaragoza, also show with details the principal swollen events. For that, it has been necessary to study and analyze the most important natural factors and how they act on in the hydrologic cycle. To interpret better the information, there have been elaborated and attach to this work the maps that respond to the tittles of; slope, climate, soil uses and litology.

A very important aspect of the document is analyzed the issues that the river might have during his life and itinerary, that affects to the human settlement. When you have all the information and the hydrologic hydrograms with differences values, it shows the places where flood can happen, that is to say, the more sensitive locations.

To end, there are present several conclusions that define the hydrologic behaviour of the river studied, the rise types, and the proposal of easy measures to minimize the issues that the river can cause.

Keywords: Hydrological behavior, basin, flow, flood event, flood risk and core of population

1. Introducción

En este trabajo se aborda el estudio de la cuenca del río Martín, desde una perspectiva hidrológica. La hidrología es la ciencia que estudia el agua en sus diferentes aspectos y que resulta de gran importancia para la planificación y el manejo de cuencas.

El río **Martín** es afluente del río Ebro por su margen derecha, con una longitud de 98 kilómetros y una superficie de cuenca de 2.095 km². Su nacimiento se sitúa a una altitud de 1.550 metros y su desembocadura a 140, salvando un desnivel de más de 1.400 metros en su corto recorrido y discurriendo por parte de las provincias de Teruel y Zaragoza. Esta cuenca limita con: la cuenca de Regallo al noreste, la cuenca de Guadalope al sureste y sur, la cuenca del río Júcar al suroeste, la cuenca de Jiloca al oeste y, por último, la cuenca de Aguas Vivas al oeste y noroeste. A su vez, atraviesa las comarcas de: Ribera Baja del Ebro, Bajo Martín, Campo de Belchite, Andorra-Sierra de Arcos, Cuencas Mineras y Comunidad de Teruel.

En el mapa de localización adjunto (Fig. 1) se observa esa posición con respecto a otras cuencas. Se incluyen también las entidades de población más importantes entre ellas las estaciones de aforo de las que provienen los datos manejados en el trabajo; (señaladas estas últimas en negrita). De la red fluvial se ha incluido exclusivamente el cauce principal del río Martín y alguno de sus principales afluentes, así como el embalse de Cueva Foradada.

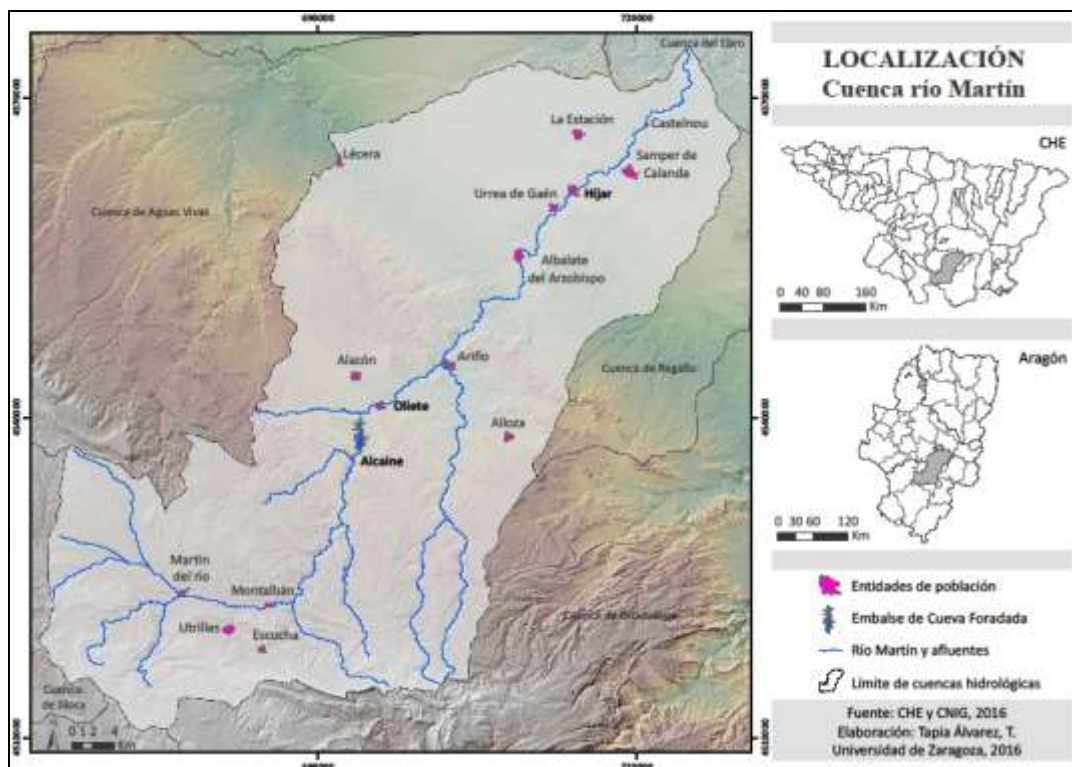


Figura 1. Mapa de localización. Elaboración propia

Como consecuencia de esta localización, el río Martín tiene una clara influencia del clima mediterráneo, como irá confirmándose a lo largo del trabajo. A grandes rasgos, estos son unos ríos con un caudal escaso e irregular como consecuencia de las

diferentes lluvias estacionales que afectan a sus cuencas. Tras veranos con fuertes estiajes es habitual que tormentas estacionales provoquen crecidas e inundaciones.

El comportamiento hidrológico de una cuenca depende de gran cantidad de factores, los cuales deben analizarse por separado con el fin de conocer sus detalles y, seguidamente, ser puestos en relación para determinar la influencia que ejerce cada uno de ellos dentro del ciclo hidrológico de la cuenca. En este caso, los factores más influyentes en el comportamiento del río Martín, y por tanto los factores estudiados en el trabajo han sido la topografía, la litología, el aprovechamiento y los usos del suelo, y el clima.

Seguidamente, se evalúa el comportamiento hidrológico del río. Para ello, se descarga la información de caudales de las fuentes correspondientes y, se muestran y analizan los datos por medio de diferentes tablas, gráficos y mapas para su mejor visualización. Tras establecer las relaciones entre factores y elementos, se abordan las conclusiones que deberán ayudar a conocer mejor el comportamiento del río y poder predecir algo mejor sus eventos de crecida. Todo ello sin pasar por alto la influencia que ejerce el embalse de Cueva Foradada sobre el sistema hidrológico y las consecuencias que estos eventos pueden llegar a provocar sobre los núcleos de población más próximos al cauce.

1.1. Justificación del proyecto

El río Martín es un río con una amplia cuenca, supera los dos mil kilómetros cuadrados, y cuenta con tres estaciones de aforo distribuidas en la zona central de su cuenca en las localidades de Alcaine, Oliete e Híjar. Disponen de registros de datos desde hace un largo periodo de tiempo, superando los 30 años en cada una de ellas; lo que hace pensar que estos datos van a aportar una información relevante y de gran fiabilidad sobre la cuenca en la que se localizan.

Estos datos evidencian que con cierta recurrencia el río Martín experimenta crecidas de gran entidad, por lo que interesa conocer con detalle el funcionamiento de estas crecidas y su frecuencia.

Por último, es importante analizar la influencia y la peligrosidad que estos los episodios de crecida ejercen sobre los asentamientos próximos al cauce y, sobre todo, próximos a las zonas de desbordamiento del río; queriendo sacar ideas para que cada vez se vea afectada una menor parte de la población.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1. Antecedentes

En España, el estudio de riesgos naturales y sus implicaciones catastróficas siempre estuvo aglutinado alrededor de organismos administrativos con funciones de protección y defensa civil. De este modo, había un claro predominio de los análisis encaminados hacia el estudio de tecnologías de defensa ante aquellos caracteres de procesos naturales que se mostrasen como peligrosos para los asentamientos humanos (Calvo, F., 2000).

Sin embargo, esta preocupación por los procesos que implican riesgo, en este caso los eventos de crecida, hizo que este campo de investigación incluyese cada vez más a más disciplinas, involucrando ramas de diversas ciencias. Del mismo modo, los riesgos

precedentes de procesos naturales han sido interpretados y estudiados durante muchos años, desde un campo de análisis en el que los geógrafos han tenido un papel muy importante.

Sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX, España ha luchado contra las inundaciones poniendo gran énfasis en las obras de ingeniería hidráulica, suponiendo que eran mucho más importantes a la hora de reducir los impactos y daños que se producen en las diferentes cuencas. De hecho, han resultado ser unas actuaciones muy efectivas, que han contribuido muy significativamente en la mitigación de los daños provocados por estos eventos. Tanto las presas como los embalses, naturales y artificiales, han resultado ser una medida muy efectiva a la hora de almacenar grandes cantidades de agua, laminando así los eventos y reduciendo en gran medida los caudales punta que provocan esos fuertes impactos en determinadas poblaciones y en sus áreas cercanas. (Berga, L., 2011)

Después de las inundaciones catastróficas ocurridos en los años 80, se realizaron en España grandes esfuerzos técnicos y económicos para la implantación de sistemas de previsión y alarma de avenidas con el plan SAIH, Sistema Automático de Información Hidrológica. Su principal objetivo fue el conocimiento de las situaciones de avenida en tiempo real, y su previsión anticipada para poder reducir los impactos y daños producidos en el intervalo de tiempo ganado entre la predicción y la llegada de la crecida. Señalar en el año 1995 otra actuación de gran importancia para la elaboración y ejecución de planes de emergencia para inundaciones con la aprobación de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, en la cual se establecían las bases y mecanismos de los sistemas de previsión del peligro de inundaciones; para la puesta en disposición de los servicios de emergencias y para avisos y alertas a la población. (Berga, L., 2011).

Cabe mencionar también que, dentro del marco legal y competencial, la Constitución Española junto con la Ley 2/1985 sobre protección civil, además de la propia normativa aragonesa, constituyen un fundamento jurídico clave para justificar la intervención de los poderes públicos ante situaciones de grave riesgo colectivo, calamidad pública o catástrofe extraordinaria, en los cuales deben garantizarse derechos fundamentales como el derecho a la vida y a la integridad física.

En este punto, cabe hacer hincapié en la evolución del número de víctimas causadas por inundaciones en el periodo de 1950 y 2010, ya que se aprecia un constante y significativo descenso a lo largo de los años, sobre todo desde la década de 1980. En el periodo de 1950-1970 se contabilizaron 1359 víctimas, entre 1970 y 1990 se redujeron a 416 y entre 1990 y 2010 fueron 109 víctimas. Estos datos demuestran la efectividad de las actuaciones y medidas desarrolladas e implementadas para disminuir estos impactos que generan los eventos de crecida sobre la vida humana (Berga, L., 2011).

Por último señalar que, a comienzos del siglo XXI, la Directiva de Inundaciones estableció la necesidad de coordinación e intercambio de información en cuanto a las demarcaciones hidrográficas de cuencas compartidas por varios estados. En el caso de España, este intercambio y coordinación de información se realiza en mayor parte con Francia y Andorra con los que se han establecido una serie de acuerdos. Con Francia los más importantes llevados a cabo son:

- La Comisión mixta del control del aprovechamiento del Lago Lanós en 1958.

- La Comisión mixta Hispano-Francesa del alto Garona, a la que se suscribió España en 1963.
- La Comisión mixta Hispano-Francesa de aguas fronterizas en 1976.
- El Acuerdo de Toulouse en 2006, que coordina las cuencas hidrográficas situadas a los dos lados de la frontera.

Destacar también en el caso francés que, derivado del Convenio de Helsinki firmado en 1992, se estableció en 1999 el Protocolo sobre Agua y Salud, el cual fue el primer acuerdo internacional que unió cuestiones en materia de aguas y salud (Plan de Gestión del Riesgo de Inundación, septiembre 2015).

En el caso de Andorra, aunque el acuerdo de cooperación entre los dos países está firmado, todavía no existen acuerdos específicos en materia de aguas.

2.2. Estado de la cuestión

Según datos oficiales del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, las inundaciones son la catástrofe natural que más daños genera en España estimándose, según el Consorcio y Compensación de Seguros y el Instituto Geológico y Minero, en una media de 800 millones de euros anuales.

Actualmente, es este ministerio el que regula estos procesos de coordinación y gestión ante los efectos adversos de las inundaciones. Las competencias de la gestión de los riesgos de inundación afectan a todas las administraciones:

- Local: en labores de planeamiento urbanístico y protección civil.
- Autonómica: en material de ordenación del territorio, protección civil y la gestión del dominio público hidráulico en las cuencas intracomunitarias.
- Estatal: en relación con protección civil, la gestión del dominio público hidráulico en las cuencas intercomunitarias y la gestión del dominio público marítimo terrestre en las inundaciones causadas en las zonas de transición y las debidas a la elevación del nivel del mar.

La clasificación de las zonas inundables y sus usos, que se había querido llevar a cabo de forma definitiva y comprometida durante muchos años, se vio muy reforzada cuando en octubre de 2007 el Parlamento Europeo aprobó la Directiva 2007/60/CE sobre la evaluación y gestión de las inundaciones; y es que entre 1998 y 2004 Europa sufrió más de cien inundaciones graves que causaron el desplazamiento de aproximadamente medio millón de personas y unas pérdidas económicas de al menos 25.000 millones de euros. (Página web oficial del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Última consulta: 10 de noviembre de 2016).

Dicha Directiva fue trasladada a la legislación española mediante el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación. (Página web oficial del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Última consulta: 10 de noviembre de 2016).

Esta nueva normativa conlleva una serie de tareas que se exponen en el documento de Plan de Gestión del Riesgo de Inundación creado en septiembre de 2015 y se resumen a continuación:

- 1) Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) e identificación de las Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs).

Considerando la información disponible sobre inundaciones históricas, los estudios de zonas inundables, los planes de protección civil o la ocupación actual del suelo, se determinan las zonas para las cuales existe un riesgo potencial de inundación significativo. Seguidamente, se establecen una serie de baremos de riesgo por peligrosidad y exposición que permiten valorar los daños y establecer unos umbrales que definen el concepto de "significativo", con el fin de identificar las áreas que planteen ese riesgo significativo de inundación o ARPSIs.

- 2) Mapas de peligrosidad y mapas de riesgo de inundación. Para las áreas de riesgo potencial seleccionadas en el punto anterior es necesario elaborar mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación que delimitan las zonas inundables. También indican los daños potenciales que una inundación puede provocar a la población, a las actividades económicas y al medio ambiente; todo ello para los escenarios de probabilidad establecidos por el Real Decreto 903/2010: probabilidad alta (cuando proceda), probabilidad media (periodo de retorno mayor o igual a 100 años y probabilidad baja (periodo de retorno igual a 500 años).
- 3) Planes de Gestión de Riesgo de Inundación. Son elaborados en el ámbito de las demarcaciones hidrográficas y las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación, y tienen el objetivo de lograr una actuación lo más coordinada posible por parte de todas las administraciones públicas que reduzca las consecuencias negativas de las inundaciones. Cada una de las administraciones debe aplicar en el ámbito de sus competencias los planes de medidas alcanzados para obtener los principios de solidaridad, coordinación y cooperación interadministrativa, y respeto al medio ambiente que se han acordado. (Plan de Gestión de Riesgos de Inundación, CHE 2015)

A través de este plan de gestión, queda claro que la necesidad de colaboración y coordinación entre los diferentes organismos oficiales y, además, entre los diferentes niveles legislativos y administrativos es esencial para que los objetivos de estos compromisos lleguen a cumplirse y los riesgos de crecidas, o riesgos de daños sobre la población queden reducidos.

Estas medidas para reducir el riesgo de inundación deben ir enfocadas a disminuir la vulnerabilidad de los bienes que están expuestos a las inundaciones como viviendas, infraestructuras agrícolas y ganaderas, infraestructuras de transporte, infraestructuras hidráulicas o industrias, entre otras. Por otro lado, nunca se debe olvidar el hecho de que las inundaciones son fenómenos naturales inevitables, por lo que en las diferentes cuencas y áreas más o menos susceptibles de padecerlas se debe aprender a convivir con ellas y sus posibles consecuencias. (Berga, L., 2011)

Finalmente, remarcar esa coordinación y cooperación internacional europea que actualmente España lleva a cabo estableciendo acuerdos bilaterales o multilaterales específicos. De esta forma, se establece un marco jurídico sólido para la cooperación en materia de recursos hídricos compartidos, sobre todo, como es lógico, con Francia y Andorra.

En este marco, durante las últimas décadas se vienen desarrollando abundantes trabajos de investigación referidos a las inundaciones y sus efectos. En el marco europeo, aumenta su atención a partir de las inundaciones ocurridas durante el verano de

2002 en la República Checa (río Moldava, río Danubio), años después en Alemania (río Elba); y muy recientemente, en 2013, en Austria, Alemania, República Checa y Polonia. (Lehner et al., 2006; Gaume et al., 2009; Marchi et al., 2010; Kundzewicz et al., 2012).

En todas las grandes cuencas de la Península Ibérica se ha prestado atención a este tema de las crecidas fluviales. Pero tanto el ámbito mediterráneo (Camarasa y Mateu, 2000; Chastagnaret y Gil Olcina, 2006; Tarolli et al., 2012) como en la cuenca del Ebro son dos de los ámbitos donde los estudios sobre las inundaciones y sus daños han sido más numerosos. (García Ruiz et al., 1983 y 2001; Berguería et al., 2003; Ollero et al., 2004; López-Moreno et al., 2006; Espejo et al., 2008; Acín et al., 2012; Marquínez et al., 2014; Sánchez-Fabre et al., 2015).

3. Objetos y metodología

En este tercer apartado, se delimitan los objetos clave de estudio que van a ser abordados y se analiza la metodología empleada para conseguirlos.

3.1. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es analizar el comportamiento hidrológico del río Martín y especialmente sus eventos de crecida. Para ello, el estudio se ha basado en los factores y elementos fundamentales que rigen el comportamiento del caudal: pendiente, litología, usos del suelo y clima en primer lugar; y abundancia de caudal, variación estacional de caudal, irregularidad interanual y fenómenos extremos en segundo lugar.

Como objetivos parciales van a diferenciarse los más importantes. En primer lugar, estudiar los principales componentes del medio natural que actúan como factores condicionando el comportamiento hidrológico del río Martín a lo largo de su cuenca.

En segundo lugar, enumerar y considerar las afecciones que las diferentes crecidas históricas han provocado sobre diferentes núcleos de población de la cuenca del río Martín. Para ello, hacer un recuento de estos eventos históricos y explicar las consecuencias que provocaron.

Seguidamente, mostrar el riesgo de inundación que existe actualmente en la llanura de inundación del río Martín, según la cartografía del Sistema Nacional de Cartografía de zonas inundables. A su vez, determinar aquellos núcleos de población donde se puede valorar, con toda la información disponible, un mayor riesgo de inundaciones dentro de la cuenca del río Martín.

Por último, y en menor medida aunque cabe señalarlo, determinar el tipo de influencia que llega a ejercer la gestión del embalse de Cueva Foradada a partir de su localización en la cuenca, es decir, atendiendo sobre todo a los datos procedentes de las estaciones de aforo dispuestas aguas abajo de dicho embalse.

3.2. Metodología

En este punto, se lleva a cabo la explicación de los diferentes métodos que han integrado la realización de este trabajo.

En primer lugar, se han empleado diferentes bases cartográficas para elaborar los mapas de la distribución de la cuenca de los distintos factores del medio natural que condicionan el comportamiento hidrológico del río Martín y sus afluentes. Sobre la base cartográfica existente se han hecho las correspondientes transformaciones para adaptar la información a los objetivos del trabajo. Esa tarea se ha realizado con la ayuda del Sistema de Información Geográfica ArcGIS, ya que toda la cartografía se ha trabajado en soporte digital, el habitual en la actualidad.

Para hacer el mapa de pendientes, se ha procedido a descargar, del Centro Nacional de Información Geográfica del Instituto Nacional los diferentes cuadrantes de las hojas: 439, 440, 441, 466, 467, 468, 492, 493, 494, 514, 518 y 519 de la Base Topográfica Nacional a escala 1:25.000 (BTN25). En base a ella se han utilizado, no sólo para este mapa de pendientes, sino como apoyo en la elaboración del resto de la cartografía, diferentes capas (shapefiles) como las correspondientes a curvas de nivel, ríos, núcleos de población, etc. También se ha llevado a cabo la descarga de esas mismas hojas del Modelo Digital del Terreno (MDT25) con las que se ha operado directamente en ArcGIS, tras la construcción de un mosaico de imágenes, para elaborar el correspondiente mapa de pendientes.

Por otro lado, se ha realizado una capa de sombras a partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE), con la herramienta Hillshade para dar una mayor sensación de volumen al mapa de pendientes.

Una vez dispuesta toda esta base, únicamente cabe añadir la información relevante a los factores analizados.

En cuanto al mapa litológico, decir que la información procede del Instituto Geológico y Minero de España; más en concreto del Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, serie Magna. Todas las hojas de dicho mapa, las consignadas para el anterior, serán editadas en soporte digital y compatible con ArcGIS. La principal tarea ha consistido en transformar y clasificar las diferentes leyendas de todas estas hojas, agrupando las muy numerosas formaciones en una serie de dieciséis unidades.

Cada una de ellas agrupa formaciones cuya composición litológica y edad determina un comportamiento hidrológico similar. Es decir, se ha adaptado la información original al objetivo de cartografiar sectores de la cuenca cuya composición litológica favorezca el funcionamiento prioritario de unos u otros procesos del ciclo hidrológico.

En cuanto al mapa de aprovechamiento y usos de suelo, la información proviene del Centro Nacional de Información Geográfica, concretamente de Corine Land Cover. Este documento ofrece una información que requiere de una reclasificación muy simple para establecer los tipos de cubierta vegetal y usos del suelo que cubren la superficie de la cuenca del Martín, y cuya distribución territorial condiciona el comportamiento de los diferentes procesos del ciclo del agua y, finalmente, la disponibilidad de caudal del río principal.

En los referente a los mapas referidos al clima, de balance hídrico anual y de precipitación total anual, se han elaborado a partir de los mapas que proporciona el Atlas Climático de Aragón. Dichos mapas fueron introducidos en ArcGIS como

imágenes, que debieron ser georreferenciadas para poder delimitar en ellos la zona de estudio y apreciar la información relativa a los elementos climáticos que les son propios. A partir de aquí y para cada una de las imágenes (con formato Tiff), se recortó el territorio de la cuenca y en una nueva capa se digitalizó la información referida a los distintos valores de balance hídrico anual, por un lado, y a los diferentes valores de precipitación total anual, por otro.

En segundo lugar, decir que las tablas y los gráficos se han elaborado a partir de una amplia serie de datos descargados de la página oficial del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. En ella se puede acceder al Sistema del Anuario de Aforos, donde aparecen recopilados los datos históricos de disponibilidad de caudal de todas las estaciones de aforo de la Red Nacional de Estaciones de Aforo (ROEA).

En dicho Sistema del Anuario de Aforos, se realizó un seguimiento de diferentes cuencas para comprobar la existencia de información suficiente para abordar el estudio de una cuenca hidrográfica. Finalmente, fue elegido el río Martín, en la Cuenca Hidrográfica del Ebro, que dispone de tres de aforo con más de 30 años de registros en cada una de ellas:

- Código de estación: 9127. En el término municipal de Alcaine, con 42 años de resultados completos, entre 1962 y 2012.
- Código de estación: 9118. En el término municipal de Oliete, con 63 años de resultados completos, entre 1946 y 2012.
- Código de estación: 9014. En el término municipal de Híjar, con 61 años de resultados completos, entre 1912 y 2012.

Desde el Anuario de Aforos, se exportaron, en formato Excel, los siguientes datos de cada una de las estaciones:

- Diarios: caudal medio diario.
- Mensuales: caudal medio mensual, caudal máximo instantáneo y caudal mínimo medio diario.
- Anual: caudal medio anual y caudal máximo instantáneo del año.

A partir de allí, los datos de cada estación se trabajan en relación a los aspectos que se quieren investigar: abundancia de caudal, variación estacional de caudal, irregularidad interanual y fenómenos extremos.

Por último, también se ha realizado una consulta del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Inicialmente se han buscado los tramos del río Martín y sus afluentes que han sido definidos como zonas con riesgo potencial elevado de inundación. Seguidamente, se han buscado con la herramienta CAUMAX, incluida en dicho sistema, los caudales máximos alcanzados por el río Martín en las zonas donde existen estaciones de aforo, para diferentes periodos de retorno. Finalmente, se ha analizado y recogido gráficamente la extensión de las inundaciones con diferentes periodos de retorno y las poblaciones que son especialmente sensibles a este riesgo hidrológico.

4. Resultados y discusión

En este apartado del trabajo van a incluirse los resultados obtenidos a partir del estudio de los factores del comportamiento hidrológico del río Martín y del análisis de los datos de aforo y otras fuentes, tanto estadísticas como gráficas, que ayudan a conocer y comprender el comportamiento hidrológico de este río ibérico de la margen derecha de la cuenca del Ebro.

4.1. Factores del comportamiento hidrológico del río Martín

Como ya se ha indicado, pendientes topográficas litología, usos del suelo/cubierta vegetal y clima, son los componentes del medio natural que en una cuenca hidrográfica van a condicionar el comportamiento de los procesos del ciclo del agua y, por tanto, el régimen de sus cursos fluviales principales, en este caso del río Martín.

4.1.1. La pendiente

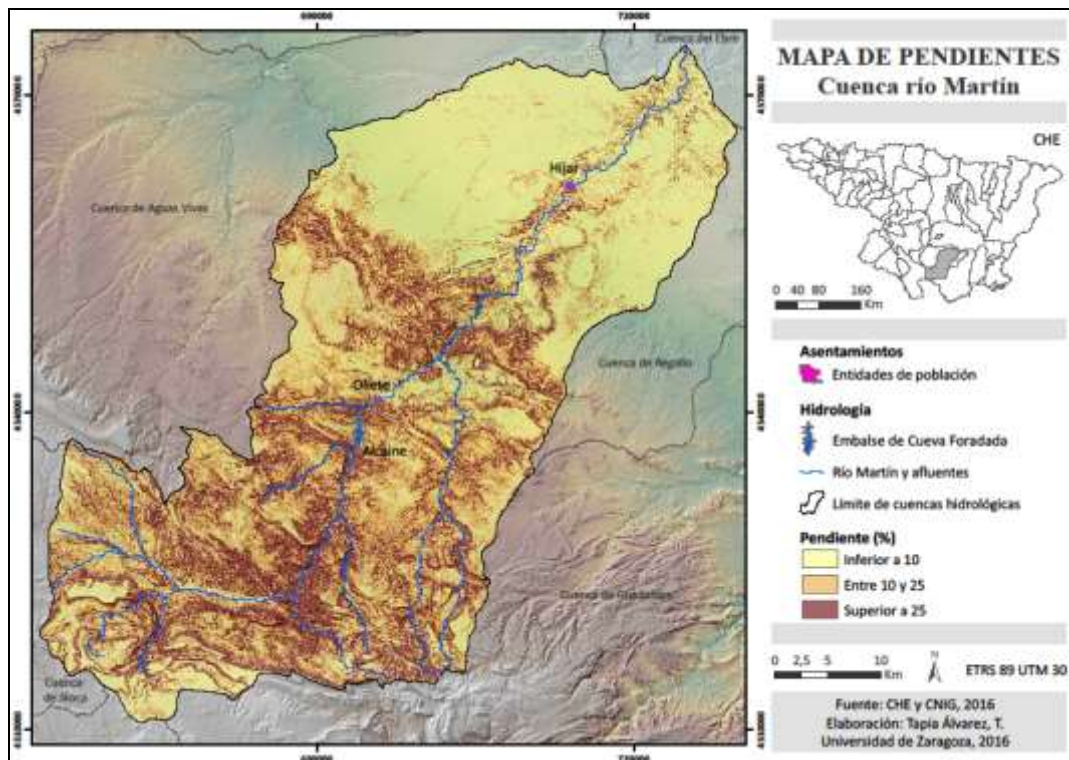


Figura 2. Mapa de pendientes de la cuenca del río Martín. Fuentes: CHE y CNIG. Elaboración propia.

El primer factor por analizar son las pendientes de la cuenca estudiada. Mediante el Sistema de Información Geográfica ArcGIS se ha llevado a cabo, a partir del MDT25 del Instituto Geográfico Nacional una representación cartográfica, de la distribución de diferentes valores de pendiente en la cuenca del río Martín (Fig. 2). Para ello se han establecido unos intervalos que simplifican los contrastes de pendiente reduciéndolos a tres intervalos o categorías:

- Pendiente escasa: entre 0 (0,0007) y 10%
- Pendiente media: entre 10,01 y 25%
- Pendiente abrupta: entre 25,01 y 233,55%

Se debe advertir que la figura 2, así como las posteriores que recogen las cartografía de la litología, la vegetación y usos del suelo y el clima, muestran una imágenes muy reducidas de los mapas. Estos se incluyen en el anexo del trabajo a un tamaño que muestra más detalladamente la información y hace mucho más fácil su consulta.

Tal y como se aprecia en el mapa adjunto y, aunque predomina un terreno con pendiente abrupta, pueden diferenciarse claramente dos partes: al norte, la zona más próxima a la desembocadura en el Ebro, un tercio del territorio de la cuenca en el que la pendiente es media y escasa en algunos puntos; el resto de la cuenca, la parte más al sur y, por tanto, más cercana al Sistema Ibérico, que presenta una pendiente abrupta.

La parte con mayores pendientes coincide con los territorios de la cabecera del río, que nace al oeste de la Sierra de San Just con unas cumbres comprendidas entre los 1.400 y 1.500 metros. En su primer tramo, el río Martín surca la depresión de Montalbán y atraviesa después una sierra al norte de esta localidad. A lo largo de veinte kilómetros, forma un profundo desfiladero en el que se asientan localidades como las de Peñarroyas o Alcaine y desemboca en el embalse de Cueva Foradada, construido en el año 1926.

A partir de aquí, el curso del río prácticamente no varía, avanzando en dirección noreste hacia su desembocadura en el río Ebro. El valle se va abriendo durante los siguientes kilómetros y sólo vuelve a encajarse cuando atraviesa la Sierra de Arcos. En el último tramo, mencionado anteriormente por su menor pendiente (incluso escasa en algunos puntos) y mayor homogeneidad, el río Martín discurre por un valle con fondo plano que ha sido rellenado parcialmente por depósitos aluviales y diversos materiales detríticos depositados por el río Martín.

Finalmente, su desembocadura tiene lugar en el río Ebro, en las cercanías del municipio de Escatrón (Zaragoza), después de haber recorrido 98 kilómetros por territorio aragonés.

De esta forma, se aprecia que el curso del río Martín salva gran cantidad de desniveles, atraviesa diferentes relieves y, como se comprobará más adelante, discurre y erosiona materiales diversos.

En cuanto a municipios, en este mapa únicamente han sido representados, para que sirvan de referencia de localización, los que cuentan con estación de aforo: Alcaine, Oliete e Híjar. El más encajado en el relieve y rodeado de las mayores pendientes es Alcaine, localizado justo antes del embalse.

A partir de aquí, cabe señalar los procesos hidrológicos que predominan en cada uno de los diferentes sectores de la cuenca.

En primer lugar, en la zona más al sur de la cuenca y que presenta, con diferencia, unas mayores pendientes cabe destacar el proceso dominante de escorrentía superficial. En segundo lugar, en la zona central de la cuenca del río Martín se perciben ya algunas zonas con menor pendiente por lo que esta escorrentía superficial anteriormente explicada compartirá importancia con procesos de infiltración de ciertas

cantidades del agua.

Por último, en el tramo bajo de la cuenca predominará el proceso de infiltración, ya que la pendiente es mucho menor que en el resto de la cuenca: inferior al 10%. Esto hará posible que en los periodos de precipitación el agua no se movilice sobre la superficie tan fácilmente, sino que al menos una parte de ella quede retenida temporalmente sobre el suelo, de manera que la infiltración se mantenga activa incluso tras finalizar la lluvia.

4.1.2. La litología

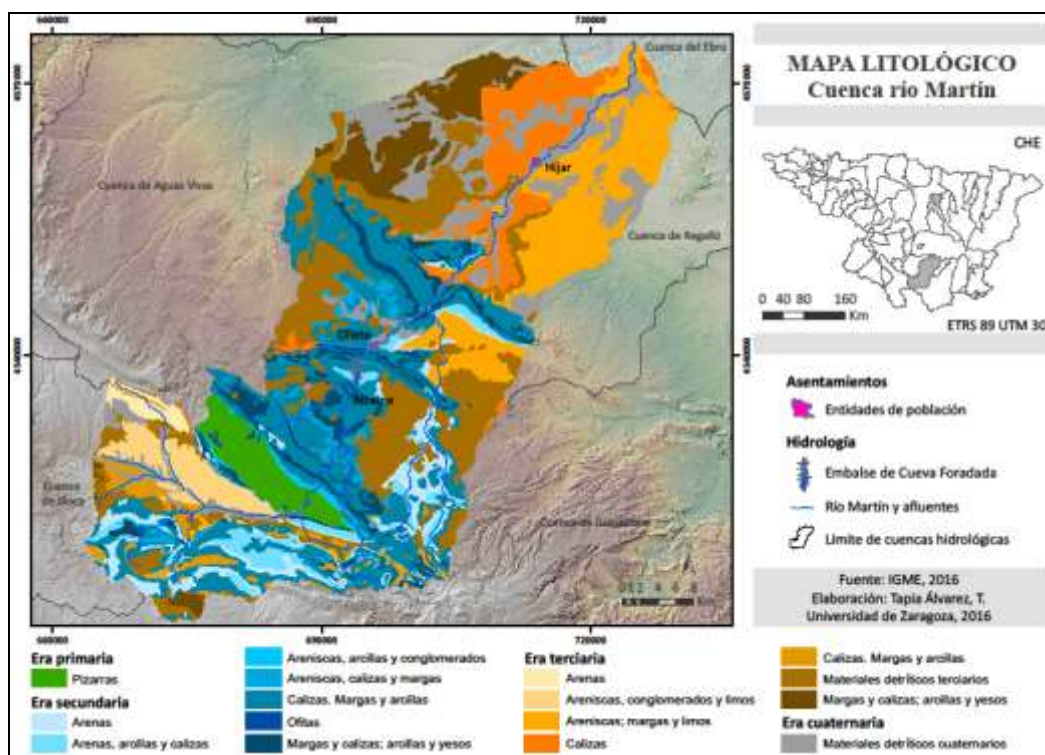


Figura 3: Mapa litológico de la cuenca del río Martín. Fuente: IGME. Elaboración propia.

El segundo factor a analizar es la litología de la cuenca del río Martín. Para ello se ha elaborado un segundo mapa que ayuda a visualizar la distribución de los diferentes tipos de rocas sobre el territorio e indica la clase a la que pertenecen, proporcionando una imagen sistemática y ordenada del reparto de las litologías a lo largo de la cuenca.

El conocimiento de los aspectos litológicos de la cuenca tiene gran importancia a la hora de abordar el funcionamiento de diversos procesos hidrológicos, ya que dependiendo de la distribución de los diferentes afloramientos a lo largo de la misma puede determinar el comportamiento del caudal del río.

Del mismo modo, la combinación del agua con las diferentes litologías también aporta gran importancia a la activación de determinados riesgos ambientales tales como deslizamientos, desprendimientos, erosión y, sobre todo, inundaciones en zonas próximas a núcleos de población o zonas de cultivos, que son los que más conciernen a

este trabajo.

Para la realización del mapa (Figura 3), los diferentes materiales han sido clasificados en función a dos criterios: en primer lugar el tipo de unidad litológica, para unificar las formaciones que tienen un mismo comportamiento hidrológico; y en segundo lugar la separación por eras geológicas, ya que en función de su cronología las distintas formaciones litológicas presentan un distinto grado de compactación y afección de los movimientos tectónicos, lo que también condiciona su capacidad de absorción de agua y de dejar que esta discurra por las formaciones rocosas.

De este modo, y según su edad, las diferentes litologías se clasifican en: era primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. En esta cuenca, las era primaria y cuaternaria tan solo cuentan con un tipo de litología cada una: pizarras y materiales detríticos, respectivamente; siendo de mayor variedad las litologías de las eras secundaria y terciaria, siete cada una.

Las pizarras de la era primaria se encuentran localizadas (color verde), en una única área bien diferenciada en la cabecera de la cuenca. Sus afloramientos presentan una disposición alargada e inclinada en dirección noroeste-sureste y que acaban atravesando el curso del río Martín para mezclarse con materiales secundarios que también predominan en esa zona.

En segundo lugar, los materiales de la era secundaria, cuyos afloramientos se encuentran mucho más disgregados y presentan una mayor variedad en cuanto a su composición. La cantidad de arenas y mezcla de arenas del secundario es bastante elevada sobre todo en la parte sur y sureste de la cuenca, por lo que en estas zonas existirá una elevada permeabilidad al agua y, a su vez, una capacidad de retención muy escasa. Las areniscas se reparten en el mismo tramo aunque en una proporción mucho menor y, nuevamente, de forma muy aleatoria; al ser de nuevo un material poroso, el suelo va a ser permeable, aunque no tanto como donde se ubican las formaciones de arena.

En cuanto a las calizas secundarias, ocupan gran parte de la zona central de la cuenca del río Martín, sobre todo la cercana a su curso. Son rocas bastante porosas, por lo que el embalse registrará grandes pérdidas por el fondo debido a la capacidad de absorción de este tipo de roca. Por otro lado, las margas y arcillas secundarias que también afloran de forma disgregada en la zona presentan gran impermeabilidad. Y por último, en los extremos de esta zona central de la cuenca, los materiales que predominan son los detríticos terciarios.

A partir de la localidad de Albalate del Arzobispo es donde se aprecia un gran cambio en el tipo de afloramiento rocoso, tanto en el tipo de material como en su antigüedad. En esta zona norte de la cuenca, son los materiales terciarios los que predominan: calizas, materiales detríticos y areniscas; alternándose entre sí, por lo que vuelve a ser una zona con cierta permeabilidad. Únicamente afloran arenas terciarias (y también secundarias) en la cabecera del río, al suroeste de la cuenca, haciendo de esa zona la más permeable.

Por último, cabe señalar la localización de los materiales detríticos cuaternarios. Están representados en color gris y se localizan de forma muy salteada a lo largo de la cuenca: en el sur, algunas zonas cercanas al curso del río; en la zona centro, puntos cercanos al municipio de Oliete (de nuevo, en el transcurso del río); y en la zona norte, que es con diferencia donde mayor cantidad se aprecia. Todos ellos son materiales de

era cuaternaria, asociados al depósito de sedimentos del río a lo largo de su recorrido.

4.1.3. El aprovechamiento y los usos de suelo

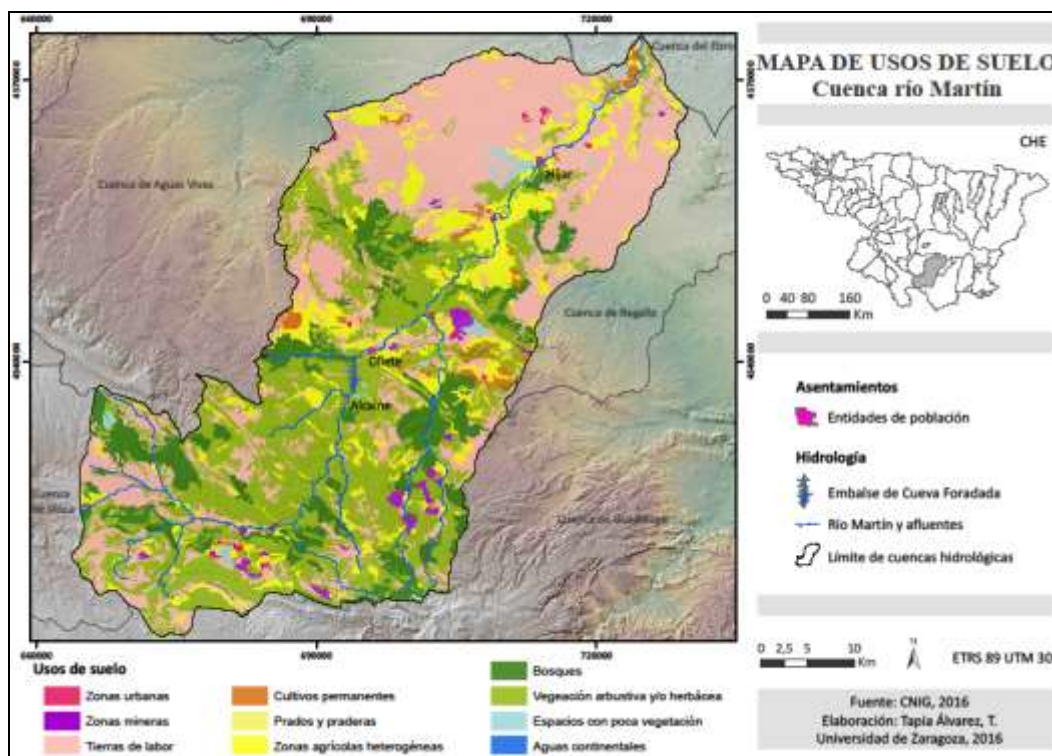


Figura 4. Mapa de aprovechamiento y usos del suelo. Fuente: CNIG, Corine Land Cover. Elaboración propia.

El tercer componente analizado es la cubierta vegetal dispuesta a lo largo de la cuenca del río Martín y los principales usos del suelo incluidos en ella. Para su mejor estudio y observación se ha elaborado la cartografía correspondiente, haciendo referencia a los distintos usos del suelo y los diversos tipos de cubierta vegetal que afloran en la cuenca tomando como base los datos del Corine Land Cover.

A simple vista, los colores predominantes son el verde, claro sobre todo, y el rosa: correspondientes a vegetación arbustiva y/o herbácea y tierras de labor respectivamente. Los suelos cubiertos de vegetación herbácea y/o arbustiva abundan al sur de la cuenca, coincidiendo en gran medida con los afloramientos de calizas secundarias señalados en el apartado anterior. En cambio, las tierras de labor, aunque repartidas por toda la cuenca: zona central o suroeste en la cabecera de la cuenca; predominan con mayor abundancia a partir, aproximadamente, de la localidad de Albalate del Arzobispo y en las zonas más alejadas del curso del río, coincidiendo con los materiales terciarios y cuaternarios.

De forma más secundaria, los colores verde oscuro y amarillo también aparecen repartidos a lo largo de toda la cuenca correspondiéndose, respectivamente, con bosques y zonas de agricultura heterogénea.

Aparecen determinadas zonas con poca vegetación pero son muy pocas y tienen poca relevancia. Del mismo modo, el color marrón muestra las zonas de cultivos

permanentes, pero como puede observarse también cubren muy poco territorio.

Por último, cabría mencionar las zonas urbanas y las zonas mineras, en rosa y morado respectivamente; que son zonas muy concretas y bien delimitadas, y que, por tanto, vuelven a sumar poco territorio. Por supuesto, el curso actual del río y el embalse de Cueva Foradada son señalados como aguas continentales de color azul oscuro.

Como conclusión, decir que el mapa ha resultado muy simple y típico en cuanto a tipos de usos de suelo. Puede destacarse también la influencia que ejerce la presencia o ausencia de cubierta vegetal. En áreas de suelo desnudo el grado de compactación de los materiales será elevado y, por tanto, habrá una movilización rápida del agua en la superficie. Si existe cubierta vegetal esta, además de frenar el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, genera vías por las que el agua penetra fácilmente en el interior del suelo y, por tanto, se favorece el proceso de infiltración.

De este modo, se aprecia en el mapa que los espacios con poca vegetación se localizan únicamente en puntos muy concretos, sin aparecer ninguna zona de suelo desnudo. El color que predomina en el mapa es verde, claro en primer lugar y oscuro en segundo, que se corresponden con zonas de vegetación arbustiva y/o herbácea y bosques, respectivamente. Seguidamente, predominan los diferentes tipos de zonas de cultivo y tierras de labor; y por último, las zonas urbanas y mineras. De esto se deduce que no es un terreno de especial rapidez en cuanto a movilización de agua de lluvia en la superficie, por lo que la escorrentía superficial compartirá protagonismo con el proceso de infiltración. Además, la vegetación arbustiva y arbórea interceptarán una parte, no muy considerable, de las precipitaciones que entran en la cuenca hidrográfica.

Para facilitar la mejor apreciación en cuanto a la proporción de los diferentes espacios y usos de suelo a lo largo de la cuenca, se adjunta una tabla con la cantidad de hectáreas ocupadas por cada uno de los usos:

Tabla 1. Tipos de usos de suelo y porcentaje de suelo que ocupan. Fuente: Corine Land Cover. Elaboración propia

Tipos de Usos de suelo	Porcentaje de ocupación del suelo (%)
Zonas urbanas	0,18
Zonas mineras	0,53
Tierras de labor	60,64
Cultivos permanentes	0,84
Prados y praderas	0,01
Zonas agrícolas heterogéneas	6,75
Bosques	7,07
Vegetación arbustiva y/o herbácea	21,68
Espacios con poca vegetación	0,42
Aguas continentales	1,88
TOTAL	100

4.1.4. El clima

Por último, el tipo de clima también se ha considerado un componente clave para justificar el comportamiento hidrológico del río Martín a lo largo de su cuenca, ya que dependiendo del clima al que esté sometido el terreno, las precipitaciones serán más o menos abundantes y, por tanto, el curso del río llevará más o menos cantidad de agua.

A la vez que la cantidad de precipitación, el balance hídrico también es un perfecto indicador de la cantidad de caudal que debería transcurrir por el río, ya que este hace referencia a la estrecha relación que existe entre la evapotranspiración potencial (pérdida de la humedad en una superficie teniendo en cuenta la evaporación directa y la producida por la transpiración de la vegetación de la zona) y los aportes de agua derivados de las precipitaciones.

De este modo, se aportan dos mapas: cantidad de precipitación anual y balance hídrico de la cuenca.

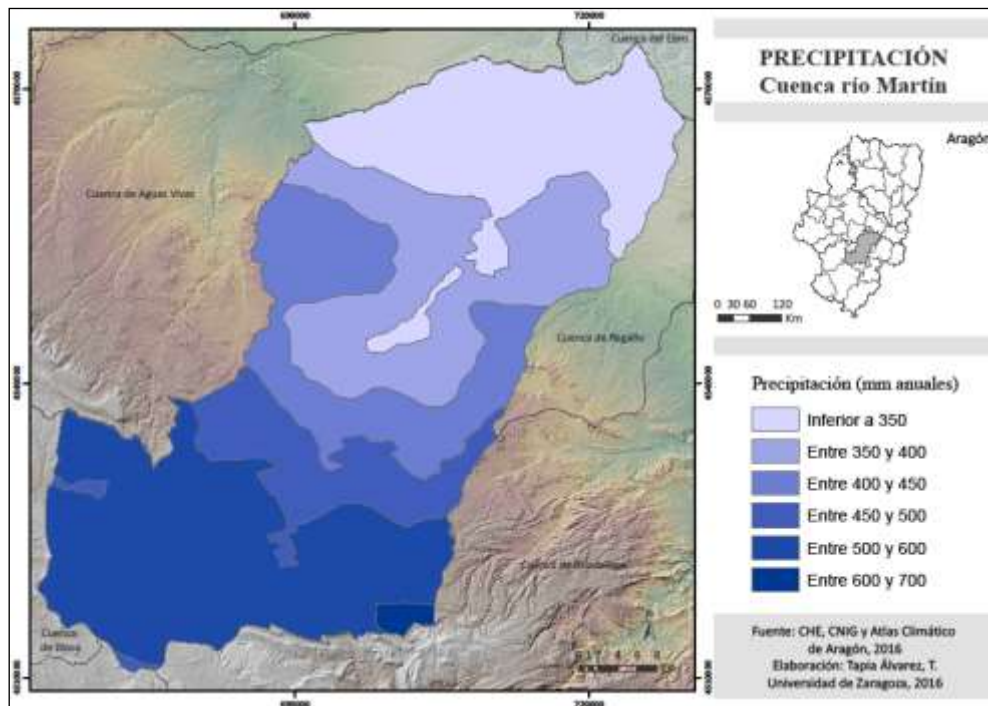


Figura 5. Mapa de distribución de las precipitaciones en la cuenca del río Martín.
Fuentes: CHE, CNIG y Atlas Climático de Aragón. Elaboración propia.

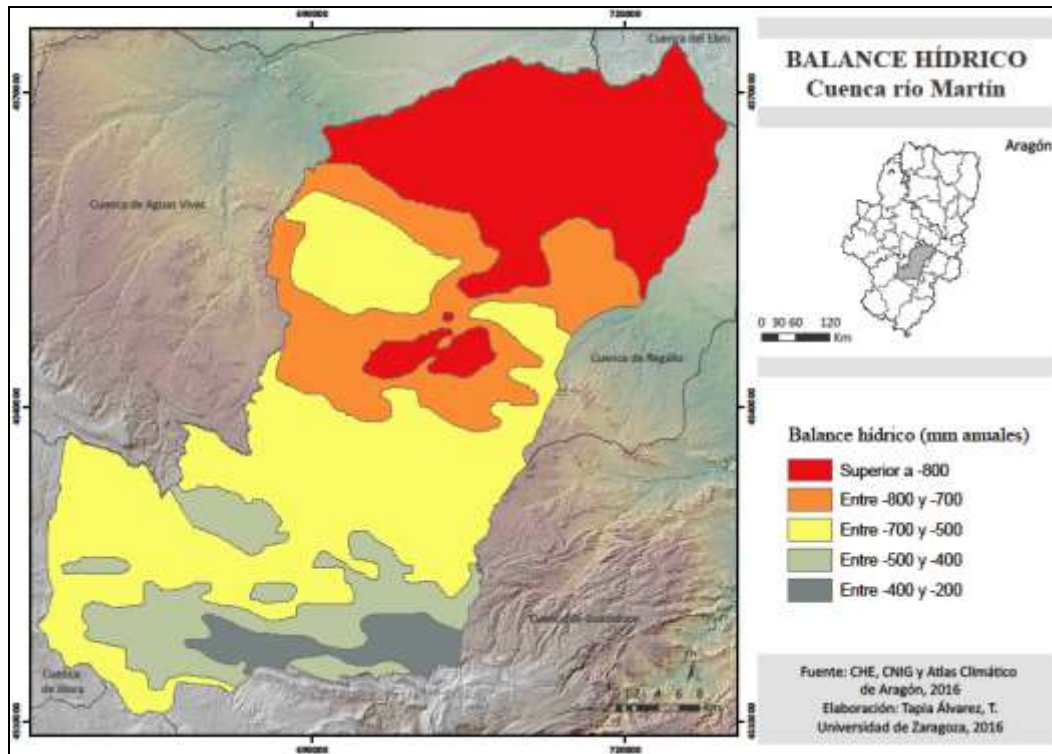


Figura 6. Mapa de distribución del balance hídrico en la cuenca del río Martín.
Fuentes: CHE, CNIG y Atlas Climático de Aragón. Elaboración propia.

Se aprecia que la zona de menor cantidad de precipitación anual se corresponde con la zona en la que el balance hídrico alcanza su valor negativo más alto: al norte de la cuenca. Conforme se desciende en latitud el valor de la precipitación anual va aumentando y, por tanto, también aumenta (aunque sigue manteniendo valores negativos) el valor del balance hídrico.

Cabe destacar que incluso la zona más al sur de la cuenca, que es la que registra mayor volumen de precipitación anual, mantiene todos los valores del balance hídrico en negativo; aunque cabe decir que termina por acercarse al valor 0.

Por último, decir que queda muy justificada esa escasez de caudal en la cuenca del río Martín ya que las precipitaciones a lo largo del año son escasas e irregulares. Además el balance hídrico es negativo en toda la superficie de la cuenca, llegando a alcanzar valores negativos muy elevados, que superan los 800 milímetros.

Para justificar mejor esa escasez de caudal se aporta a continuación una tabla de precipitaciones registradas en el embalse de Cueva Foradada que, aunque sea una localización concreta, sirve de patrón para el resto de la cuenca:

Tabla 2. Precipitación total anual recogida en la estación de aforo de Cueva Foradada.
Fuente: Atlas Climático de Aragón. Elaboración propia.

	Precipitación anual (mm)		Precipitación anual (mm)
1950-1951	545	1980-1981	339,6
1951-1952	169	1981-1982	324,9
1952-1953	164	1982-1983	247,9
1953-1954	210,7	1983-1984	318,8
1954-1955	67	1984-1985	298
1955-1956	313	1985-1986	332,2
1956-1957	226	1986-1987	414,7
1957-1958	261	1987-1988	578,2
1958-1959	402	1988-1989	386,4
1959-1960	276	1989-1990	288,2
1960-1961	280	1990-1991	544,6
1961-1962	279,2	1991-1992	380,4
1962-1963	310	1992-1993	318,2
1963-1964	129,9	1993-1994	267,4
1964-1965	215	1994-1995	255,9
1965-1966	357	1995-1996	320,1
1966-1967	200	1996-1997	469,8
1967-1968	374	1997-1998	327
1968-1969	509	1998-1999	476,7
1969-1970	266	1999-2000	301,4
1970-1971	487	2000-2001	344,3
1971-1972	617,3	2001-2002	328,8
1972-1973	364,1	2002-2003	
1973-1974	475,6	2003-2004	
1974-1975	383,3	2004-2005	
1975-1976	368,6	2005-2006	
1976-1977	602,3	2006-2007	
1977-1978	346,3	2007-2008	
1978-1979	311,7	2008-2009	
1979-1980	361	2009-2010	

Los últimos años carecen de registros pero con esta serie de años es suficiente para poder apreciar esa irregularidad que caracteriza al clima mediterráneo, habiendo años que superan los 600 mm anuales (1971-1972 o 1976-1977) y habiendo años que no alcanzan los 100 mm anuales o simplemente se sobrepasaron ligeramente (1954-1955 o 1963-1964).

Señalar también que, la respuesta hidrológica ante las precipitaciones en la cuenca del río Martín sería todavía menor si la cuenca contase con una densa cubierta vegetal que interceptase la lluvia, y es que una gran cantidad de agua no llegaría al suelo o sería absorbida por las especies arbóreas. En este caso, las zonas de bosque tan solo ascienden a un 7.07% del total de la superficie de la cuenca, por lo que no pueden ejercer gran influencia en este aspecto.

Por último, destacar brevemente dos aspectos importantes. Comentar que en la zona de localización del embalse predominará el proceso de infiltración, el cual provocará pérdidas de agua ya que está localizado en un zona de calizas, de rocas carbonatadas. Por otro lado, la zona de desembocadura, a partir de Albalate del Arzobispo, será una zona con predominio de impermeabilidad debido a la abundancia de calizas, materiales detríticos y areniscas; ello sumado a la escasez de pendiente.

Por último, en la cabecera de la cuenca, a pesar de ser una de las zonas más permeables, el proceso hidrológico predominante será el de erosión ya que también se trata del tramo que mayores pendientes presenta y, por tanto, las tormentas repentinas y esporádicas se convertirán rápidamente en caudal del río al poder filtrarse muy poca cantidad de precipitación.

4.2. Elementos del comportamiento hidrológico del río Martín

Para el estudio del comportamiento hidrológico del río Martín se manejan los datos correspondientes, como ya se ha comentado anteriormente, a estas tres estaciones de aforo: Alcaine (código de estación: 9127), Oliete (código de estación: 9118) e Híjar (código de estación: 9014). En Alcaine la serie de datos disponibles abarca de 1962 a 2012, en Oliete de 1946 a 2012 y en Híjar de 1912-2012.

En la primera de las tres estaciones de aforo, los registros corresponden a un régimen fluvial natural, en tanto que aguas abajo del embalse de Cueva Foradada y, por tanto, en los aforos de Oliete e Híjar el régimen del río está alterado por la gestión del embalse.

4.2.1. La abundancia de caudal o caudaloidad

Atendiendo al comportamiento hidrológico del río Martín, se comienza con la exposición del primer elemento: la *abundancia de caudal*. Para clasificar la intensidad de las crecidas, deben analizarse los caudales específicos: cantidad de agua que discurre por un río en un lugar y periodo de tiempo determinado, puesta en relación con la extensión superficial de la cuenca y expresada en litros por kilómetro cuadrado por segundo ($l/km^2/s$). De este modo, la clasificación de caudaloidad según los valores de caudal específico medio anual es la siguiente:

- Débil: inferiores a $5 l/km^2/s$.
- Media: entre 5 y $15 l/km^2/s$.
- Fuerte: entre 15 y $40 l/km^2/s$.
- Muy fuerte: superiores a $40 l/km^2/s$.

En Aragón, la mayor parte de los ríos presentan caudales específicos débiles, inferiores a 5 litros por kilómetro cuadrado por segundo. Únicamente son los ríos de origen pirenaico los que recogen una cantidad media o incluso elevada de agua por kilómetro cuadrado de cuenca. Las cifras más destacables se recogen en las cabeceras de estos ríos, como por ejemplo: el río Veral en Zuriza que alcanza los $40 l/km^2/s$., el río Cinqueta en Molino en Gistaín que supera los $36 l/km^2/s$. o el río Gállego en Santa Eulalia que sobrepasa los $15 l/km^2/s$. Sin embargo, el volumen de estos caudales cambia significativamente al tomar datos de los afluentes de la margen derecha del río Ebro: el río Aguasvivas con tan solo $0,5 l/km^2/s$. en Moneva, el río Guadalupe con $0,52 l/km^2/s$.

en Caspe y 2,43 l/km²/s. en Santolea, o el río Jiloca con 1,42 l/km²/s. en la localidad de Morata (Sánchez Fabre, Ollero y del Valle; 2004).

En cuanto al caudal específico medio anual en las diferentes estaciones de aforo, en Alcaine es de 1,46 l/km²/s., en Oliete 1,79 l/km²/s. y en Híjar 0.71 l/km²/s. Todos estos caudales están lejos de alcanzar un caudal de nivel medio, sobre todo en la estación de aforo de Híjar que ni si quiera llega a 1. Esto indica que el río Martín es un río con poca e incluso muy poca disponibilidad de agua a lo largo de su cuenca, por lo que cabe incluirlo en el nivel de caudal específico débil.

El principal factor que explica esta escasez de caudal en el río Martín es la escasa precipitación. Aunque parte de la cuenca se encuentra en área montañosa, las precipitaciones medias son escasas, inferiores a 600 mm anuales en todo su territorio e inferiores a 400 mm anuales en toda la mitad norte; por lo que no se puede hablar ni de precipitaciones abundantes, ni de un río caudaloso.

Por otro lado, el suelo que predomina en la cuenca es de litología carbonatada: calizas, junto a margas o algunos conglomerados de las eras secundaria y terciaria; lo que acentúa todavía más la escasez de caudal, ya que el nivel de permeabilidad de estos materiales hace que una parte del agua que entra en la cuenca se infiltre, percole y circule a través de conductos subterráneos, sin llegar a formar parte del caudal del río Martín.

Por último, mencionar que la escasez de caudal tiene lugar durante todos los meses del año, por lo que ni siquiera durante los dos cortos periodos de lluvias, primavera y otoño, el río Martín lleva una cantidad abundante de caudal. A pesar de que parte de su cuenca está localizada en la zona de transición hacia el borde montañoso del Sistema Ibérico, el aumento de la pluviometría es muy moderado a lo largo de todo el año.

4.2.2. La variación estacional de caudal

En este punto para analizar la variación estacional de caudal se ha calculado el coeficiente de caudal, resultado de dividir el caudal medio mensual entre el módulo o caudal medio anual, teniendo en cuenta los datos de todos los años registrados.

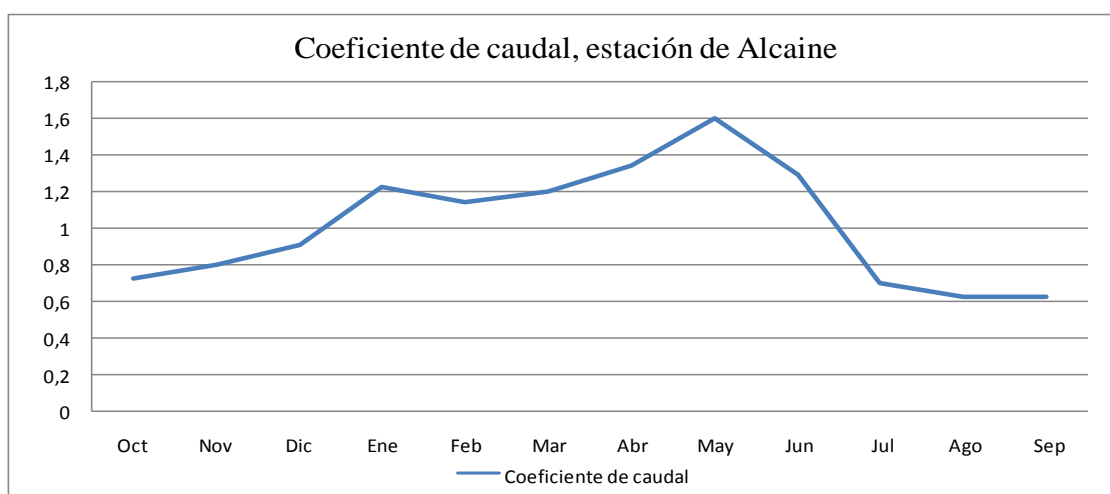


Figura 7. Coeficiente de caudal estación de Alcaine. Fuente: M.A.P.A.M.A.
Elaboración propia

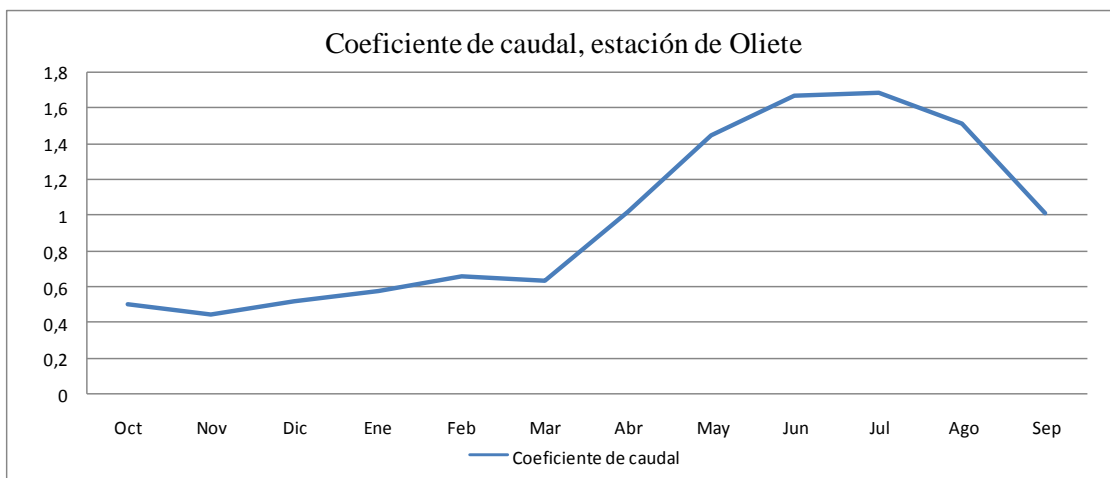


Figura 8. Coeficiente de caudal en la estación de Oliete. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia

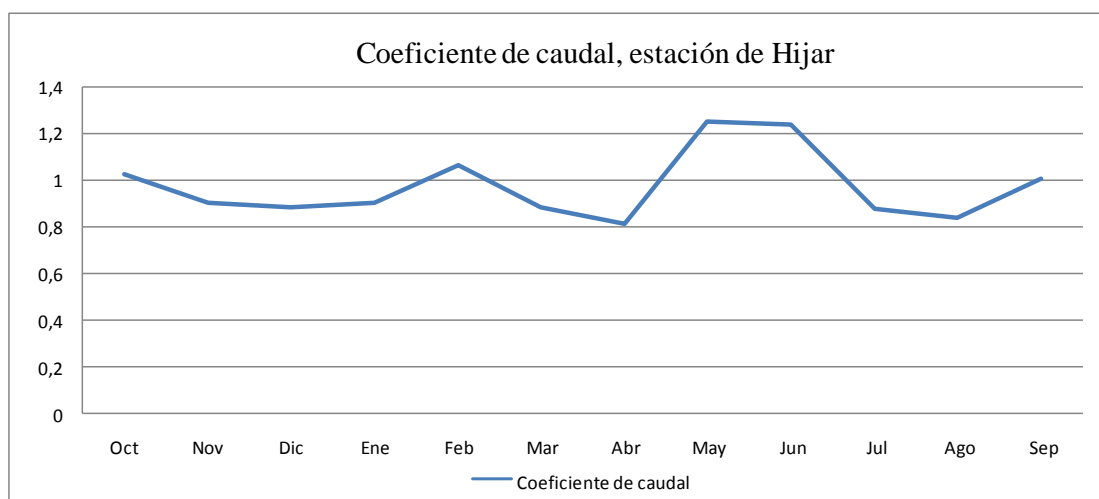


Figura 9. Coeficiente de caudal en la estación de Híjar. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia

En términos generales, ninguna de las tres estaciones muestra una variación estacional de caudal muy significativa. Sin embargo, cabe destacar la estación de aforo de Oliete (Fig. 8) con una mayor variación estacional: en los meses de octubre y noviembre el valor del coeficiente es aproximadamente de 0,5, y en junio y julio el coeficiente alcanza un valor superior a 1,6; es decir, el río Martín lleva en verano tres veces más caudal que en los meses de otoño, algo que no parece muy razonable ya que es durante esos meses de verano cuando el río debería atravesar su mayor estiaje. Esto se debe al desembalse de agua para riego realizado en los meses de verano.

Por otro lado, la estación de Híjar (Fig. 9) es la que presenta una menor variación estacional de caudal a lo largo del año. El coeficiente mínimo presenta en abril un valor de 0,81 y el coeficiente máximo un valor de 1,25 en los meses de mayo y junio.

A partir de aquí y debido a su situación con respecto al embalse de Cueva Foradada, la estación de aforo que ofrece unos datos más naturalizados es la de Alcaine (Fig. 7). La forma que presenta muestra dos periodos de aguas altas, uno principal en primavera y otro secundario en otoño; y otros dos periodos de aguas bajas, uno más acentuado durante los meses de verano y otro secundario, a final del invierno.

Según lo anterior, se trata de un régimen hidrográfico pluvial de tipo mediterráneo. Los máximos de caudal coinciden con los máximos de precipitación que se dan en primavera, máximo principal, y en invierno, máximo secundario; al igual que el mínimo que coincide con el verano seco que caracteriza al clima mediterráneo. Destacar que es un régimen hidrográfico irregular como consecuencia de esa irregular distribución de las precipitaciones que tiene lugar en el clima mediterráneo.

Las otras dos gráficas presentan importantes diferencias, que en gran medida están asociadas a la gestión del embalse de Cueva Foradada. En Oliete, como ya se ha señalado anteriormente, el mayor valor de caudal se registra en los meses de junio y julio, meses de verano en los que el río debería atravesar su mayor estiaje teniendo en cuenta que presenta un régimen pluvial mediterráneo. Por el contrario, en los meses de otoño e invierno el coeficiente de caudal casi no presenta variaciones, y debería apreciarse un máximo secundario.

En cuanto a la estación de aforo de Híjar, su línea de coeficiente del caudal muestra que la variación anual es muy débil, mucho más que en las dos estaciones anteriores; lo que indica que en este punto el volumen de caudal está mucho más controlado por la gestión del embalse y por el consumo de agua para riego agrícola.

4.2.3. La irregularidad interanual

El tercer elemento a tener en cuenta es la *irregularidad interanual*, que permite conocer la variabilidad del caudal de un río a lo largo de diferentes años y que puede ser estudiada por medio del coeficiente de irregularidad interanual. Este se obtiene dividiendo el caudal medio anual máximo y el caudal medio anual mínimo, expresado en metros cúbicos por segundo, de una larga serie de años.

La mejor forma de percibir esta variabilidad es representar los datos en un gráfico de columnas, ya que permite ver qué año sobrepasa el dato del módulo y qué año queda por debajo. El módulo es la cantidad de agua que discurriría por el río si este siempre llevase el mismo caudal y se obtiene a partir de los datos medios correspondientes, como mínimo, a 30 años; o lo que es lo mismo, el módulo es la media de los caudales registrados en un determinado periodo.

En primer lugar, el gráfico correspondiente a la estación de aforo de la localidad de **Alcaine** (Fig. 10):

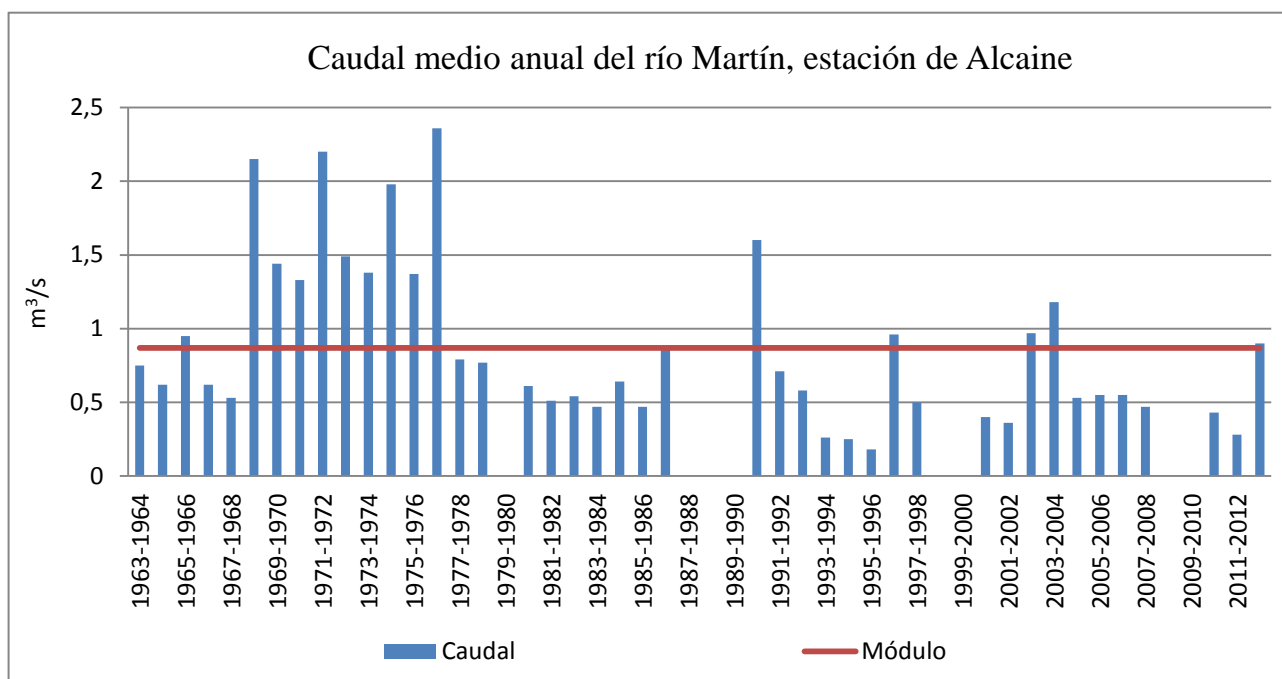


Figura 10. Irregularidad interanual en la estación de aforo de Alcaine. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

Para empezar, cabe señalar que Alcaine es la estación en la que más tarde comienza el registro de datos, 1963, por lo que no podrá compararse con años anteriores en las otras dos estaciones. Por otro lado, decir que la serie dispone ya de 43 años con registros, por lo que permite analizar la irregularidad del río en ese régimen natural con el que llega el río hasta este aforo.

Los años en los que el caudal medio anual ha superado al módulo en esta estación son pocos: menos de un tercio de los periodos anuales están por encima de la línea roja que lo representa. Así, cabe destacar el periodo entre 1968-1969 y 1976-1977, en el que todos los años superan holgadamente este dato, que en esta estación es de $0,86905 \text{ m}^3/\text{s}$. A partir de 1977-1978, el caudal medio anual supera al módulo únicamente en 5 ocasiones de los 34 años posteriores con registro.

Además de la marcada irregularidad que presenta el caudal en este tramo del río, no parece que estas variaciones sigan ningún patrón, pero puede confirmarse la irregularidad aportando el coeficiente de irregularidad: 13,1, que indica que el río transportó 13 veces más agua el año que más caudal tuvo que el año que menos.

Por último, añadir que en esta estación de aforo, como se comentará en las siguientes, aparecen 8 años sin registro de datos.

En segundo lugar, el gráfico corresponde al segundo aforo, en **Oliete** (Fig. 11):

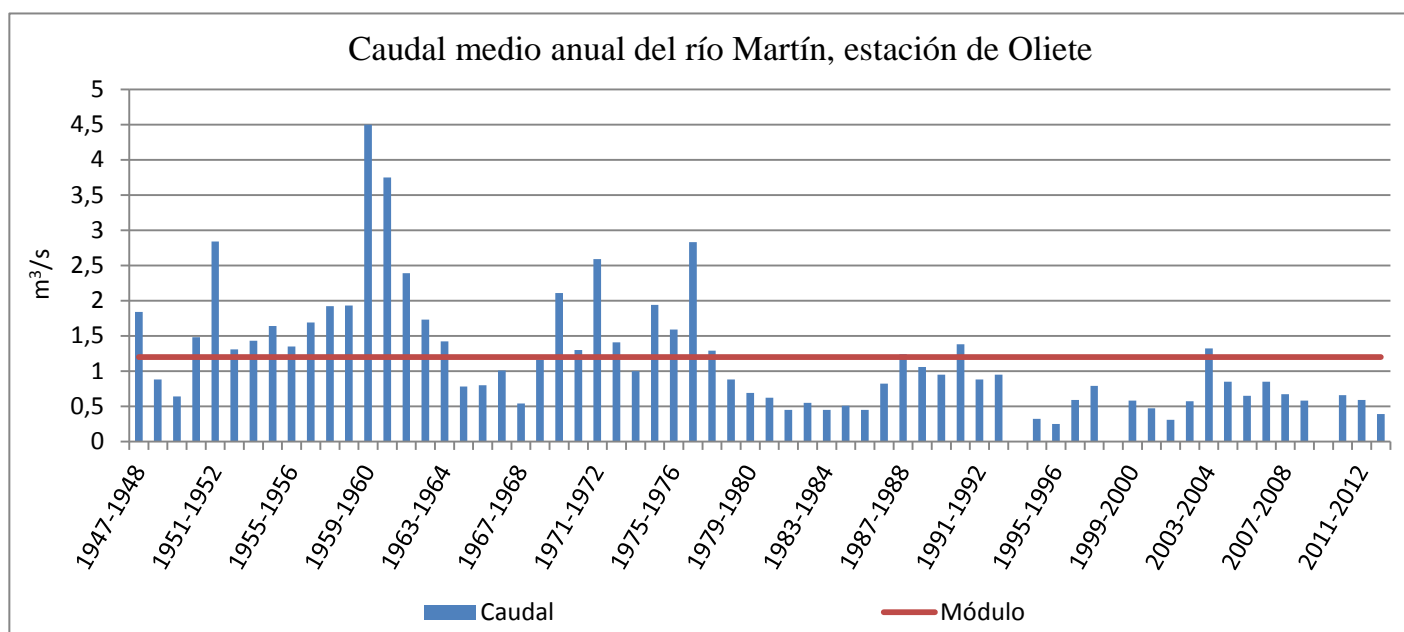


Figura 11. Irregularidad interanual en la estación de aforo de Oliete. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

En esta estación el registro de datos comenzó en 1947, aunque vuelven a aparecer una serie de años, concretamente tres: 1993-1994, 1998-1999 y 2009-2010, con carencia de los mismos. Esto significa que se dispone de 63 años con datos, por tanto, de una serie amplia que ayuda a definir las variaciones interanuales de caudal en el río Martín.

En este caso, el número de años en los que el caudal medio anual ha sobrepasado esa línea roja como expresión del módulo es mayor, concretamente veintiséis. Vuelve a destacar un periodo continuo de catorce años, entre 1950-1951 y 1963-1964, en el que el caudal medio anual es más elevado que el módulo; periodo que no vuelve a repetirse en toda la serie al igual que en la estación anterior, no obstante el periodo que abarca desde 1969-1970 hasta 1977-1978 también presenta una mayor disponibilidad de caudal de la habitual.

Al igual que en la estación de aforo de Alcaine, el caudal medio anual desciende bruscamente a partir del año 1978-1979. Únicamente en 1990-1991 y 2003-2004 el valor supera al módulo, siendo ambos unos caudales medios muy escasos.

Concluir diciendo que al igual que en Alcaine, hay una fuerte irregularidad del caudal confirmada de nuevo con el dato que proporciona el coeficiente de irregularidad: 18. Esto significa que el río llevaba 18 veces más caudal el año que alcanzó su máximo que el año en el que tuvo su mínimo.

Por último, el gráfico correspondiente a la estación de aforo en **Híjar** (Fig. 12):

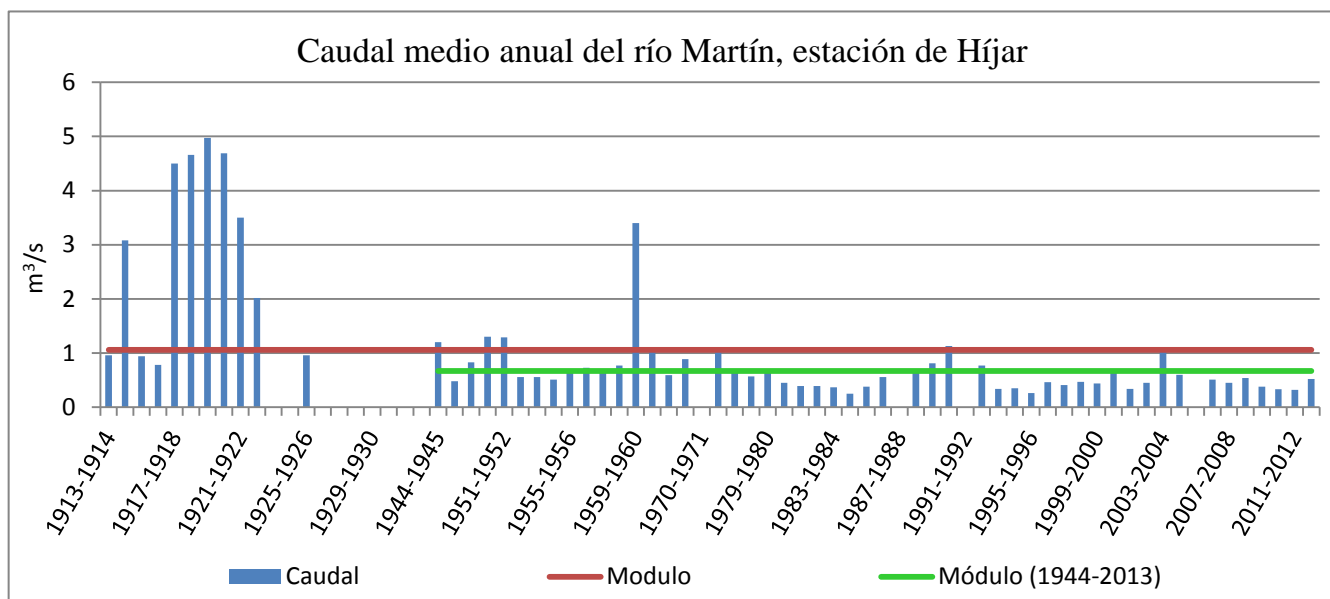


Figura 12. Irregularidad interanual en la estación de aforo de Híjar. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

En este caso, en la estación de aforo de Híjar, el gráfico presenta una variación con respecto a los dos anteriores. Se consideró razonable para un mejor análisis calcular un segundo módulo con los datos hidrológicos a partir del año 1944-1945, año en el que el caudal medio anual desciende considerablemente, quedando este representado por medio de la línea verde.

En cuanto al primer módulo calculado, lo más relevante es que vuelve a aparecer ese periodo de tiempo continuo, entre 1917-1918 y 1922-1923, con un caudal medio anual bastante superior a la media y que incluye el año de máximo caudal de toda la serie. Los siguientes años, ocho en total, carecen de datos y, a partir de allí, la aportación de caudal es bastante menor a ese periodo señalado. Hay que apuntar que es en esas fechas en las que se empieza a recuperar la existencia de datos en el Anuario de Aforos, y es que suelen entrar en funcionamiento la remodelación de las estaciones de aforo con la cementación de un sector del cauce y, por tanto, una variación en las tablas de datos, frente al funcionamiento anterior con el cauce natural y, en muchos casos, simplemente una escala limnimétrica como único instrumento de medición (Mateu et al., 2012).

A partir de entonces, sí se toma como referencia ese primer valor del módulo no se detecta prácticamente ninguna variación en cuanto al caudal medio anual de los siguientes años (casi todos quedan por debajo), por lo que cabe seguir comentando el gráfico tomando como referencia un segundo valor del módulo calculado tomando los datos desde el año hidrológico 1944-1945 hasta el final de la serie, 2012-2013.

De este modo, se aprecia claramente un año de mayor caudal en 1959-1960 y otros, que aunque no son muchos ni muy destacados, no se apreciaban comparando la serie desde el primer módulo. El caudal medio anual ha ido descendiendo progresivamente a lo largo de toda la serie.

En esta estación el coeficiente de irregularidad interanual es el mayor: 19,88, lo que significa que el año que se registró un mayor caudal el río llevaba 19,8 veces más que el año que se registró el menor.

De nuevo, concluir diciendo que en esta estación de aforo, aunque la serie abarca un periodo de tiempo mayor también presenta una mayor carencia de datos: entre 1923-1924 y 1933-1934, salvo 1925-1926 que aporta datos; entre 1933-1934 y 1943-1944, periodo que directamente no aparece en el anuario de aforos; entre 1962-1963 y 1969-1970, periodo que vuelve a desaparecer del anuario; y por último, cuatro años puntuales 1970-1971, 1987-1988, 1991-1992 y 2005-2006. Aunque, lo esencial es que se dispone de 61 años con registros, lo que supone una serie suficientemente prolongada como para poder caracterizar de forma adecuada el comportamiento de este río y su red de drenaje.

A través de la representación gráfica de los datos de caudales medios anuales en las tres estaciones de aforo, se aprecia que el río Martín presenta un régimen muy irregular a lo largo de toda su cuenca.

Para concluir, cabe remarcar de nuevo que los tres valores de coeficiente de irregularidad proporcionados por las estaciones (Alcaine: 13,1, Oliete: 18 e Híjar: 19,88) son muy propios del ámbito mediterráneo, por lo que vuelve a ser evidente esa gran irregularidad interanual que aporta este clima a la cuenca del río Martín.

4.2.4. Los fenómenos extremos

Como último elemento están los *fenómenos extremos*. Por un lado, los sistemas fluviales muestran un comportamiento hidrológico habitual, debido al régimen estacional y a la irregularidad espacio-temporal; y por otro, evidencian casos extremos por su volumen de caudal: crecidas y estiajes, más o menos excepcionales por su frecuencia. Para la ordenación del territorio, aunque sobre todo para definir y prevenir riesgos hidrológicos, es fundamental conocer estos casos.

4.2.4.1. Definición de crecida. Valores históricos

Una crecida es un aumento repentino y muy acentuado del caudal que lleva un río, y que una vez que desborda el cauce de los cursos fluviales puede provocar grandes consecuencias ambientales y socioeconómicas. Cabría distinguir entre *crecidas naturales*, como las provocadas por precipitaciones intensas, el deshielo, la ruptura de arcos morrénicos, bloques o muros de hielo o el desprendimientos de laderas; y *crecidas antrópicas*, es decir, que tienen lugar por la acción humana: deforestación y prácticas agrícolas, canalización de cauces o ruptura de presas entre otros.

Aunque tradicionalmente se ha estimado que para poder hablar de crecida debe superarse al menos en 2 veces el módulo anual, actualmente no existe un único criterio para establecer el umbral y clasificar el evento como crecida. Aquí se trabajará con el sistema más habitual en la actualidad, que es considerar el número de días o veces que los caudales medios diarios han superado el módulo en distintos números de veces: tres, cinco, diez, veinticinco... Eso sirve para determinar crecidas con diferente magnitud.

Aunque no hayan sido estudiadas en profundidad, en diferentes publicaciones se ha hecho referencia a la presencia de crecidas en el río Martín como uno de los rasgos que definen su comportamiento (Sánchez Fabre y Ollero, 2007; Del Valle, Ollero y Sánchez Fabre, 2007; Sánchez Fabre et al., 2013). Puntualmente estas crecidas han

hecho que el río Martín dispusiera, durante unas horas o pocos días, de caudales elevados que nada tienen que ver con la disponibilidad habitual de agua en el cauce del río.

Para llevar a cabo el seguimiento de esas crecidas, un primer paso en este trabajo es detectar y recoger algunas avenidas o crecidas extraordinarias dentro de la cuenca del río Martín que quedaron registradas en las fichas de inundaciones históricas dentro de la cuenca del Ebro, en la Dirección General de Obras Hidráulicas, perteneciente al del antiguo Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (Ingeniería 75, 1985).

Ha quedado constancia de la existencia de varias de estas crecidas a lo largo del siglo XIX. Así, en 1879, el 14 de marzo de 19885 y el 22 de agosto de 1887 se recogen tres crecidas que producen daños en las poblaciones de Oliete, Albalate y Samper de Calanda. Sólo existe registro de caudal de una de ellas, la de 1885, en la que se alcanzó un pico de crecida de $108,9 \text{ m}^3/\text{s}$. No fueron las únicas de este siglo ya que en dos años seguidos, 1897 y 1898, se constatan dos crecidas de similares características ya que se prolongaron mucho en el tiempo, hasta 8 días, tuvieron afecciones en las riberas, pero no pasaron del carácter de crecidas ordinarias. Finalmente, casi en el tránsito entre los siglos XIX y XX, concretamente el 19 de septiembre de 1900, se tiene registrada una destacada crecida del río Martín que en Oliete alcanzó los $156 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ya dentro del siglo XX, el primer registro es el 8 de julio de 1915, fecha en la que el Martín, a su paso por Híjar, aforó $76 \text{ m}^3/\text{s}$. El segundo registro, el día 10 de junio de 1929 cuando alcanzó en la misma localidad una altura de 2,60 metros por encima del nivel ordinario, superior en un metro a la anterior

El 30 de junio de 1945 se midió en Híjar un caudal de $600 \text{ m}^3/\text{s}$. que debía provenir en su mayor parte del río Seco que, en su confluencia con el Martín en Oliete aportó $650 \text{ m}^3/\text{s}$.

Un año después, el 12 de mayo llegó a alcanzarse un caudal semejante al máximo vertido posible para el aliviadero de su embalse, Cueva Foradada. Fue superado y produjo averías en la cascada de amortiguación pese a estar abiertos todos los desagües. En Oliete registró un caudal de $250 \text{ m}^3/\text{s}$.

En septiembre de 1947, se produjo una avenida extraordinaria que afectó a la población de Híjar.

La última avenida que consta en estos registros fue en septiembre de 1963. Una fuerte crecida que en Híjar rebasó el puente por encima de la carretera, inundando viviendas y almacenes cercanos al puente.

Queda confirmado, aunque no sean demasiados registros históricos disponibles, que aunque el río Martín es un curso fluvial que normalmente transporta poco caudal, puede llegar a experimentar crecidas importantes con posibilidad de afectar a las poblaciones cercanas o atravesadas por el cauce. Todo ello incluso después de la construcción del embalse de Cueva Foradada que, en principio, puede ayudar a amortiguar el impacto de esas grandes avenidas en el río.

4.2.4.2. Magnitud de las crecidas

En este punto y para clasificar la intensidad de las crecidas es necesario analizar los caudales máximos instantáneos mensuales.

Durante los últimos años, la práctica más habitual utilizada para definir la presencia de crecidas y la magnitud de las mismas es analizar los días o la serie de días en los que el caudal máximo instantáneo mensual ha superado al módulo en al menos en tres veces, en al menos en cinco veces, en al menos en diez veces o en al menos en veinticinco veces. Afortunadamente, el aforo del río Martín cuenta con estos registros aunque, de no ser así, también hubiese podido calcularse con el caudal medio diario.

Sabiendo los días que superaron esos umbrales de tres, cinco, diez y veinticinco, podrá intuirse cuando son más frecuentes las grandes crecidas del río Martín.

Para ello, cabe mostrar gráficamente estos fenómenos ya que su comprensión será más fácil y rápida. En primer lugar, la estación de **Alcaine**:

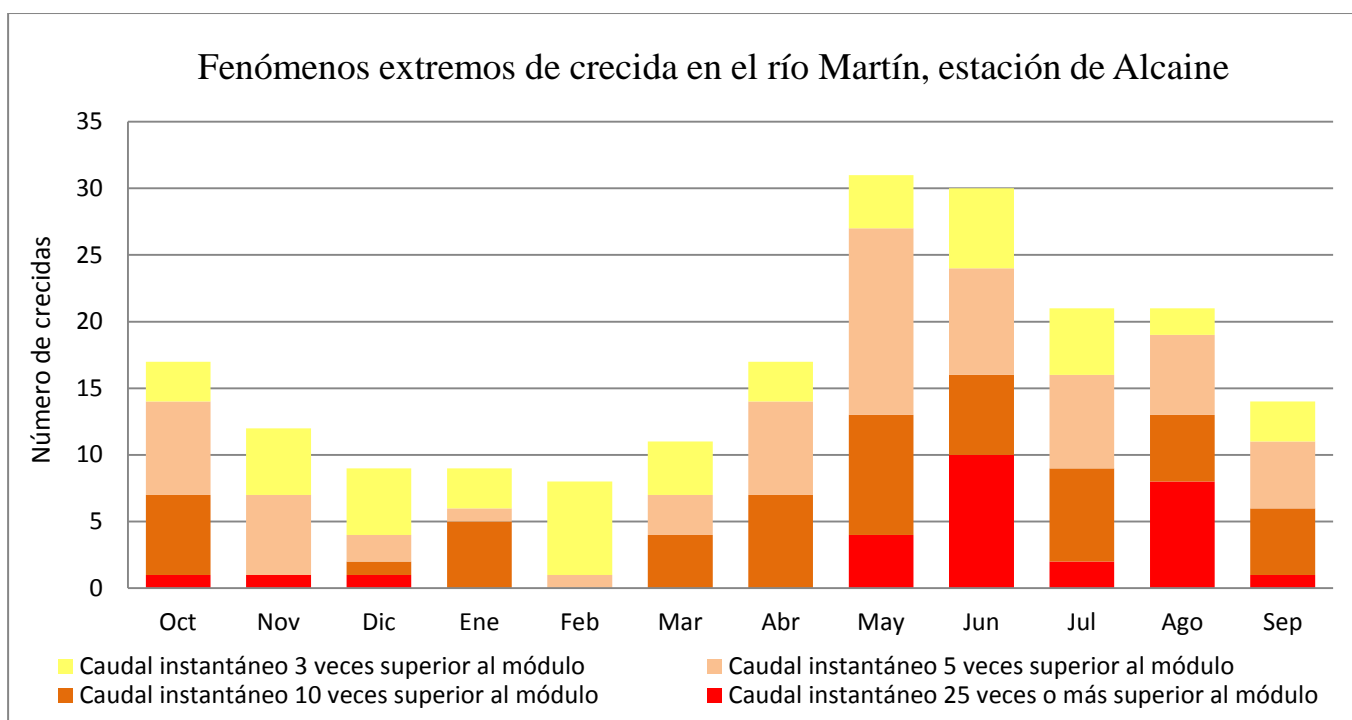


Figura 13. Gráfico de fenómenos extremos de crecida en la estación de aforo de Alcaine. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

Tabla 3. Fenómenos extremos de crecida en la estación de aforo de Alcaine. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces
x3	17	12	9	9	8	11	17	31	30	21	21	14
x5	14	7	4	6	1	7	14	27	24	16	19	11
x10	7	1	2	5	0	4	7	13	16	9	13	6
x25	1	1	1	0	0	0	0	4	10	2	8	1

En cuanto a las crecidas con un caudal instantáneo 3 veces superior al normal (Fig. 13 y Tabla 3), el gráfico muestra que tienen lugar todos los meses del año ya que estas se suceden, principalmente, por lluvias abundantes. La tabla muestra que febrero fue el mes con mayor número de eventos de crecida con un caudal instantáneo 3 veces superior.

Las siguientes crecidas, con caudal instantáneo 5 veces superior, son las más frecuentes en la estación de aforo de Alcaine y también tienen lugar todos los meses del año; sobre todo en mayo. En cambio, los meses de enero y febrero tan solo presentan una crecida cada uno.

En noviembre y febrero no se suceden crecidas con caudal 10 veces superior, pero se percibe en el gráfico que mayo vuelve a ser el mes que más presenta; lo que queda confirmado en la tabla. Por último, las crecidas con mayor caudal instantáneo descienden en número a lo largo de todo el año pero se mantienen en los meses más cálidos; siendo esta vez el mes de junio el que presenta mayor cantidad de crecidas, 10 concretamente. Estos fenómenos están ligados a grandes tormentas de verano.

En términos generales, los meses de mayo y junio con 31 y 30 crecidas respectivamente son los que presentan un mayor número de eventos.

Por último, cabe aportar una última tabla para visualizar simplemente cómo se distribuyen anualmente estos fenómenos de crecida y sus diferentes intensidades en la estación de Alcaine:

Tabla 4. Distribución anual de los fenómenos de crecida en la estación de aforo de Alcaine. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1964-1965												
1965-1966												
1966-1967												
1967-1968												
1968-1969												
1969-1970												
1970-1971												
1971-1972												
1972-1973												
1973-1974												
1974-1975												
1975-1976												
1976-1977												
1977-1978												
1978-1979												
1979-1980												
1980-1981												
1981-1982												
1982-1983												
1983-1984												
1984-1985												
1985-1986												
1986-1987												
1987-1988												
1988-1989												
1989-1990												
1990-1991												
1991-1992												
1992-1993												
1993-1994												
1994-1995												
1995-1996												
1996-1997												
1997-1998												
1998-1999												
1999-2000												
2000-2001												
2001-2002												
2002-2003												
2003-2004												
2004-2005												
2005-2006												
2006-2007												
2007-2008												
2008-2009												
2009-2010												
2010-2011												
2011-2012												
2012-2013												

En primer lugar, señalar esta estación como la que presenta un régimen de eventos de crecidas más natural, sin la influencia que puede conferir el embalse de Cueva Foradada en las siguientes estaciones.

A lo largo de toda la serie (Tabla 4) y sin hacer excepción de los eventos de ninguna magnitud, las crecidas son bastante abundantes sobre todo en los meses de verano y excepcionalmente numerosas durante los trece primeros años del registro. Es durante esos meses más cálidos de verano, incluyendo mayo, cuando se producen las crecidas de mayor magnitud, con caudales instantáneos que en muchas ocasiones superan en 25 y/o 10 veces el módulo de la serie. Cabe apuntar que estos eventos son provocados por las fuertes y rápidas tormentas veraniegas.

Las crecidas más suaves, con caudal instantáneo que tan solo superan en 3 o 5 veces al módulo, se encuentran mucho más repartidas a lo largo de todos los meses y también a lo largo de todos los años de la serie. Apuntar que únicamente es el año 1993-1994 el que carece de eventos de crecida en alguno de sus meses.

Es en esta serie de datos, en la que se contabiliza el mayor número de crecidas con un caudal instantáneo igual o superior en 25 veces al módulo, (Alcaine: 28, Oliete: 8, e Híjar: 18), y no sólo en los periodos de tiempo más alejados como ocurre en las siguientes estaciones, sino que siguen produciéndose en la actualidad y, de nuevo, durante los meses de verano. Esto hace que la irregularidad que otorga el clima mediterráneo quede confirmada, al mismo tiempo que se aprecia una influencia mucho mayor del régimen natural en esta estación de aforo de Alcaine.

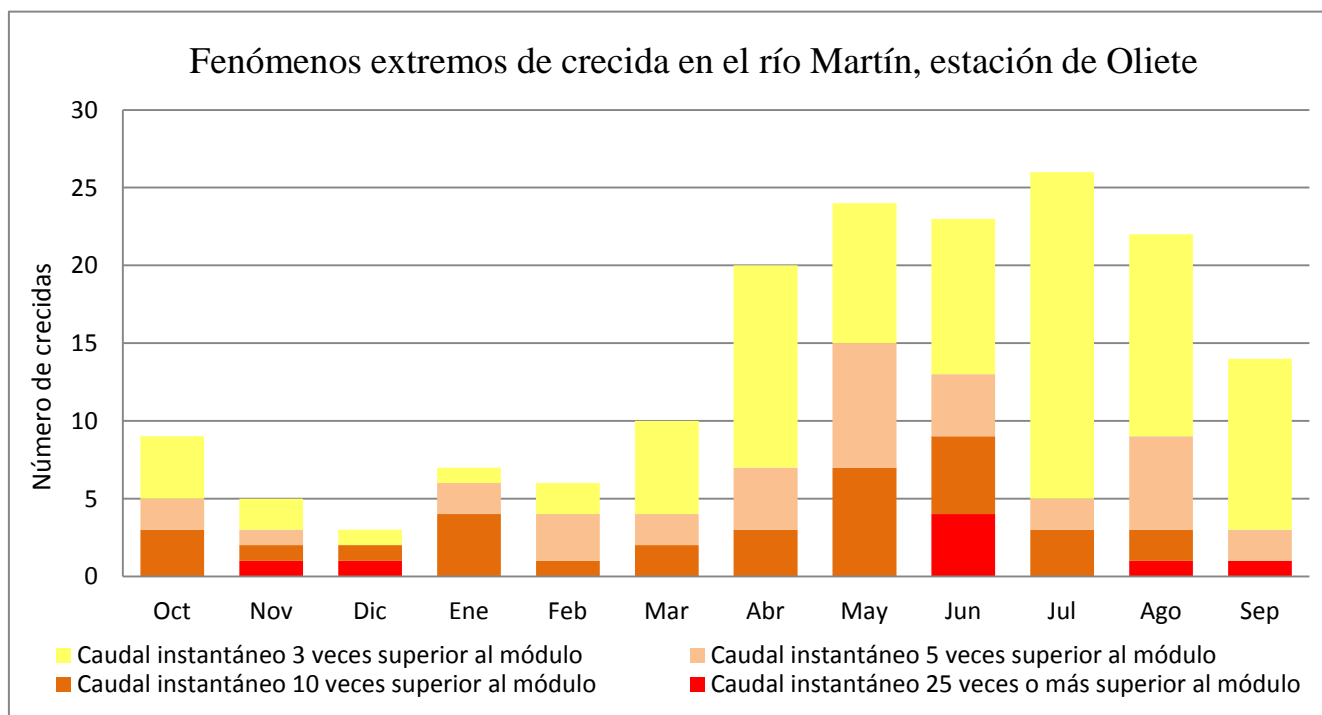


Figura 14. Gráfico de fenómenos extremos de crecida en la estación de aforo de Oliete.
 Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

Tabla 5. Fenómenos extremos de crecida en la estación de aforo de Oliete. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces
x3	9	5	3	7	6	10	20	24	23	26	22	14
x5	5	3	2	6	4	4	7	15	13	5	9	3
x10	3	2	2	4	1	2	3	7	9	3	3	1
x25	0	1	1	0	0	0	0	0	4	0	1	1

En Oliete (Fig. 15 y Tabla 5), los fenómenos de crecida más frecuentes son claramente los de menor aumento de caudal, por 3, y en los meses más cálidos del año: abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre. El mes de julio es claramente el que más crecidas de este tipo acumula: 21. Cabe relacionar este hecho con la localización del embalse, ya que este capta todas las grandes crecidas y en este punto de la cuenca se dejan pasar casi únicamente las de menor caudal. Pueden ser de origen natural o de origen antrópico debido al desembalse de agua para riego, ya que además son los meses más cálidos los que más crecidas de este tipo acumulan.

Las crecidas con caudal instantáneo 5 veces superior también presentan relativa frecuencia en el gráfico, exceptuando el mes de diciembre que carece de crecidas de este tipo. Mayo es el mes en el que más se suceden.

Las crecidas que multiplican por 10 siguen un modelo muy parecido, siendo septiembre el único mes que no las presenta. Mayo y junio vuelven a ser los meses con mayor número de crecidas, ya que se localizan en la época del año con mayor imprevisibilidad e inestabilidad atmosférica. En cambio, los meses de julio y agosto que, por norma general, suelen disfrutar de pocas precipitaciones son unos de los que más episodios presentan: julio el que más con 26.

Por último, decir que las crecidas con mayor caudal instantáneo son poco abundantes, mucho menos que en la estación de Alcaine. Vuelve a plantearse que sea debido al embalse, que retiene el agua de esas crecidas con tanto caudal. El mes de junio vuelve a ser el que mayor número de crecidas de este tamaño recoge: 4.

Los meses de junio, julio y agosto son los que mayor número total de crecidas presentan y, especificando, las que aumentan 3 veces su caudal instantáneo. Estos fenómenos de crecida en pleno verano están ligados a grandes tormentas.

Se aporta de nuevo una tabla para visualizar la distribución en los diferentes años de estos fenómenos de crecida y sus diferentes intensidades en la estación de Oliete (Tabla 6):

Tabla 6. Distribución anual de los fenómenos de crecida en la estación de aforo de Oliete. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1946-1947												
1948-1949												
1949-1950												
1950-1951												
1951-1952												
1952-1953												
1953-1954												
1954-1955												
1955-1956												
1956-1957												
1957-1958												
1958-1959												
1959-1960												
1960-1961												
1961-1962												
1962-1963												
1963-1964												
1964-1965												
1965-1966												
1966-1967												
1967-1968												
1968-1969												
1969-1970												
1970-1971												
1971-1972												
1972-1973												
1973-1974												
1974-1975												
1975-1976												
1976-1977												
1977-1978												
1978-1979												
1979-1980												
1980-1981												
1981-1982												
1982-1983												
1983-1984												
1984-1985												
1985-1986												
1986-1987												
1987-1988												
1988-1989												
1989-1990												
1990-1991												
1991-1992												
1992-1993												
1993-1994												
1994-1995												
1995-1996												
1996-1997												
1997-1998												
1998-1999												
1999-2000												
2000-2001												
2001-2002												
2002-2003												
2003-2004												
2004-2005												
2005-2006												
2006-2007												
2007-2008												
2008-2009												
2009-2010												
2010-2011												
2011-2012												
2012-2013												

Esta estación de aforo es la que menor número de crecidas presenta, sobre todo las que alcanzan un mayor caudal instantáneo (25 veces superior al módulo).

Las más repetidas a lo largo de toda la serie de años son las que alcanzan un caudal instantáneo 3 veces superior y 5 veces superior al módulo, sobre todo las que sólo superan en 3 veces al módulo.

Las grandes crecidas tienen lugar, en mayor medida, en el mes de junio y entre los años 1950-1951 y 1976-1977. A partir de este último año, el número de crecidas de todas las magnitudes ha ido descendiendo notablemente.

La mayor cantidad de fenómenos de crecida se concentra en los primeros años de toma de datos, desde 1950-1951 hasta 1963-1964; destacando el año 1959-1960 en el que se produjeron crecidas de caudal todos los meses del año.

Finalmente, destacar un último periodo de tiempo en el que las crecidas volvieron a ser abundantes, sin distinguir sus intensidades: entre 1968-1969 y 1976-1977, año ya señalado por el descenso general de todos los fenómenos, tanto en número como en intensidad. De este modo, llegan a aparecer periodos de 4, 5 y 6 años seguidos, 1999-2000 a 2002-2003, 2007-2008 a 2011-2012 y 1978-1979 a 1983-1984 respectivamente, en los que no se registra ninguna crecida.

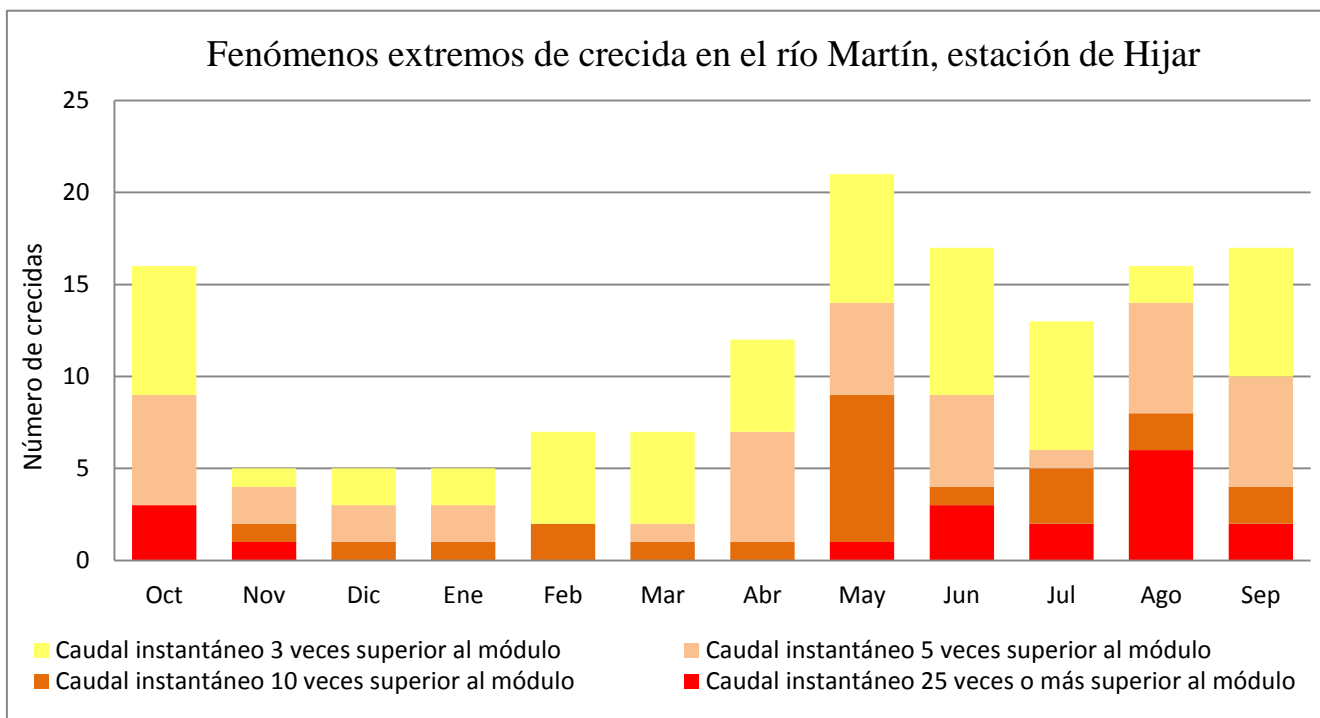


Figura 15. Gráfico de fenómenos extremos de crecida en la estación de aforo de Híjar.
 Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

Tabla 7. Fenómenos extremos de crecida en la estación de aforo de Híjar. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces	nº de veces
x3	16	5	5	5	7	7	12	21	17	13	16	17
x5	9	4	3	3	2	2	7	14	9	6	14	10
x10	3	2	1	1	2	1	1	9	4	5	8	4
x25	3	1	0	0	0	0	0	1	3	2	6	2

En el caso de Híjar (Fig. 16 y Tabla 7), los fenómenos más frecuentes vuelven a ser los de menor aumento de caudal y los meses con más crecidas Mayo y Junio, aunque cabe decir que el número total de crecidas de este nivel ha ido aumentando desde Alcaine (parte alta de la cuenca) hasta aquí, Híjar (parte baja de la cuenca).

Los fenómenos superiores en 5 veces al caudal también son relativamente frecuentes, todos los meses excepto febrero presentan episodios de aumento del caudal.

Lo más llamativo del siguiente nivel de caudal instantáneo, 10 veces superior, es que la mayoría se concentran en el mes de mayo, con 8; el resto de meses, salvo julio que presenta 3, tienen 0, 1 o 2 crecidas.

Los caudales instantáneos 25 veces superiores al módulo son bastante escasos en esta estación, excepto en el mes de agosto que alcanza 6 crecidas. De hecho, se observa que 5 de los meses no presentan ninguna.

En líneas generales, en esta estación de aforo el ritmo irregular de lluvias y tormentas repentinas y esporádicas, está matizado por el ritmo de desembalse y los riegos.

En la tabla siguiente se puede visualizar la distribución interanual de estos fenómenos de crecida y de sus diferentes intensidades en la estación de Híjar (Tabla 8):

Tabla 8. Distribución anual de los fenómenos de crecida en la estación de aforo de Híjar. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1944-1945									Red	Brown	Red	
1948-1949			Light Brown									
1949-1950	Yellow			Light Brown								
1950-1951						Yellow	Brown	Brown	Red	Red	Red	Red
1951-1952	Red	Yellow			Yellow	Yellow	Light Brown			Red		Light Brown
1952-1953												
1953-1954	Light Brown							Yellow				Light Brown
1954-1955										Yellow	Light Brown	Brown
1955-1956	Yellow							Brown			Light Brown	
1956-1957								Brown	Brown			
1957-1958	Brown				Yellow					Yellow		
1958-1959								Brown			Red	Light Brown
1959-1960	Yellow	Red	Brown	Brown	Brown	Brown	Light Brown	Brown	Light Brown	Brown	Light Brown	Light Brown
1960-1961	Yellow			Yellow	Yellow	Yellow		Brown	Light Brown	Yellow	Red	
1961-1962	Light Brown	Light Brown		Light Brown				Light Brown	Light Brown	Brown		
1962-1963	Brown				Brown			Yellow			Light Brown	Brown
1976-1977	Yellow							Brown	Red			
1977-1978			Yellow									
1978-1979	Yellow						Yellow	Light Brown	Yellow			
1979-1980	Brown											
1980-1981							Light Brown		Yellow		Brown	
1981-1982									Yellow	Light Brown	Brown	
1982-1983	Light Brown											
1983-1984		Light Brown										
1984-1985												
1985-1986								Yellow				
1986-1987	Yellow			Yellow								
1987-1988							Yellow	Yellow	Yellow			
1988-1989						Yellow	Yellow		Yellow			
1989-1990												
1990-1991					Yellow	Yellow	Light Brown	Light Brown				Light Brown
1991-1992			Yellow									
1992-1993					Yellow		Yellow	Yellow	Yellow			
1993-1994										Yellow		
1994-1995												
1995-1996										Yellow		
1996-1997			Light Brown						Yellow		Light Brown	Light Brown
1997-1998									Light Brown		Light Brown	
1998-1999			Yellow							Yellow	Yellow	
1999-2000								Light Brown	Light Brown		Yellow	
2000-2001	Red											
2001-2002								Brown			Red	
2002-2003							Yellow	Light Brown				
2003-2004						Light Brown	Light Brown	Red	Yellow	Yellow		
2004-2005												
2005-2006	Red	Brown										Red
2006-2007							Light Brown	Yellow				
2007-2008								Yellow				
2008-2009												
2009-2010												
2010-2011												
2011-2012												
2012-2013											Red	

En esta estación de aforo, el número de eventos de crecida vuelve a ser más reducido que los contabilizados en la estación de Alcaine, sobre todo en el caso de las grandes crecidas, aquellas que superan cuyo caudal instantáneo supera en 25 veces al módulo.

Dentro de la tabla (Tabla 8), se diferencian dos bloques en cuanto a cantidad de crecidas. El primero que abarcaría desde el primer año de toma de datos hasta el año 1981-1982 y que concentra la mayor parte de los eventos de crecida, sobre todo los que presentan un caudal instantáneo superior en 25 y/o en 10 veces al módulo. El segundo bloque abarcaría, por tanto, desde 1982-1983 hasta 2012-2013 que es el último año hidrológico con datos publicados en el Anuario de Aforos. En este segundo bloque los eventos de crecida que más predominan son los más suaves, es decir, los que tan solo alcanzan un caudal instantáneo 5 veces y/o 3 veces superior al módulo del río Martín.

Destacar que durante los últimos 12 años vuelven a aparecer crecidas con un caudal instantáneo superior en 25 veces al módulo, siendo que no se producían desde el año hidrológico 1976-1977.

Por último, en las tablas 9, 10 y 11 se recogen los caudales máximos instantáneos anuales para cada estación de aforo:

Tabla 9. Distribución temporal de los caudales máximos instantáneos en la estación de aforo de Alcaine. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

ALCAINE			
Fecha	Caudal m ³ /s	Fecha	Caudal m ³ /s
/ 12/ 1964	3,47	/ 06/ 1989	53,95
27/ 07/ 1966	23,94	/ 08/ 1990	26,15
25/ 08/ 1967	18,9	25/ 03/ 1991	12,42
23/ 10/ 1967	8,16	20/ 05/ 1992	6,75
09/ 08/ 1969	25,09	13/ 05/ 1993	5,9
05/ 01/ 1970	19,45	28/ 10/ 1993	2,46
13/ 08/ 1971	23,92	05/ 10/ 1994	10,22
06/ 08/ 1972	88,25	05/ 09/ 1996	18,1
07/ 06/ 1973	67,55	22/ 08/ 1997	23,95
20/ 04/ 1974	14,13	06/ 06/ 1998	58,51
16/ 06/ 1975	81,68	18/ 06/ 1999	9,34
30/ 05/ 1976	14,58	10/ 06/ 2000	6,02
29/ 05/ 1977	37,6	24/ 10/ 2000	7,34
24/ 05/ 1978	6,8	24/ 08/ 2002	23,4
28/ 06/ 1979	8,06	07/ 05/ 2003	66,97
27/ 10/ 1979	12,92	04/ 05/ 2004	22,5
23/ 04/ 1981	9,34	01/ 08/ 2005	34,5
04/ 06/ 1982	22,34	12/ 09/ 2006	56,6
/ 06/ 1983	50,95	02/ 04/ 2007	13,05
07/ 11/ 1983	5,47	11/ 06/ 2008	32
14/ 11/ 1984	5,9	02/ 11/ 2008	4,59
/ 05/ 1986	5,64	04/ 05/ 2010	10,30
/ 10/ 1986	23,4	30/ 05/ 2011	11,65
/ 05/ 1988	23,95	23/ 11/ 2011	3,27
		04/ 08/ 2013	10

Tabla 10. Distribución temporal de los caudales máximos instantáneos en la estación de aforo de Oliete. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

OLIETE			
Fecha	Caudal m ³ /s	Fecha	Caudal m ³ /s
/ 08/ 1949	4,67	08/ 06/ 1981	2,76
10/ 05/ 1950	4,6	11/ 05/ 1982	2,51
09/ 09/ 1951	34	18/ 04/ 1983	2,76
04/ 10/ 1951	29,5	13/ 05/ 1984	2,26
02/ 08/ 1953	8,3	18/ 04/ 1985	4,56
22/ 06/ 1954	5,79	/ 05/ 1986	3,58
02/ 09/ 1955	6,3	/ 04/ 1987	3,26
01/ 09/ 1956	5,9	/ 05/ 1988	19
18/ 06/ 1957	38	/ 06/ 1989	29,25
30/ 07/ 1958	5,1	/ 07/ 1990	3,58
21/ 08/ 1959	36	17/ 04/ 1991	19,75
21/ 11/ 1959	101	19/ 05/ 1992	6,75
27/ 01/ 1961	8,75	12/ 07/ 1993	4,56
25/ 06/ 1962	8,24	19/ 06/ 1994	3,01
12/ 02/ 1963	11,62	15/ 06/ 1995	3,91
29/ 10/ 1963	16,01	17/ 04/ 1996	3,91
12/ 05/ 1965	4,73	15/ 01/ 1997	15,55
30/ 04/ 1966	2,51	08/ 06/ 1998	25,85
06/ 09/ 1967	5,95	04/ 11/ 1998	9,2
25/ 10/ 1967	27,5	08/ 03/ 2000	2,56
06/ 05/ 1969	13,65	14/ 04/ 2001	2,99
21/ 10/ 1969	10,5	11/ 04/ 2002	2,12
21/ 05/ 1971	28,4	05/ 07/ 2003	2,7
07/ 12/ 1971	60,7	04/ 05/ 2004	16,78
08/ 06/ 1973	52,5	09/ 06/ 2005	2,85
01/ 05/ 1974	13,63	16/ 07/ 2006	2,99
13/ 06/ 1975	80,5	02/ 04/ 2007	7,2
09/ 06/ 1976	3,9	21/ 05/ 2008	3,43
02/ 06/ 1977	34,4	02/ 03/ 2009	3,13
14/ 07/ 1978	3,9	08/ 04/ 2010	2,99
01/ 05/ 1979	3,58	03/ 03/ 2011	2,27
23/ 07/ 1980	3,26	05/ 03/ 2012	2,23
		03/ 08/ 2013	24,7

Tabla 11. Distribución temporal de los caudales máximos instantáneos en la estación de aforo de Híjar. Fuente: M.A.P.A.M.A. Elaboración propia.

HÍJAR			
Fecha	Caudal m ³ /s	Fecha	Caudal m ³ /s
/ 06/ 1945	600	/ 06/ 1988	4,96
24/ 01/ 1950	8	/ 03/ 1989	4,55
02/ 08/ 1951	107	/ 01/ 1990	2,76
04/ 10/ 1951	76	11/ 09/ 1991	6,8
14/ 08/ 1953	2,37	02/ 12/ 1991	3,66
14/ 10/ 1953	7	21/ 06/ 1993	4,19
08/ 09/ 1955	16	31/ 07/ 1994	3,73
25/ 05/ 1956	19,5	12/ 01/ 1995	1,99
21/ 05/ 1957	22,5	27/ 07/ 1996	4,14
14/ 10/ 1957	20	21/ 09/ 1997	7,97
29/ 08/ 1959	48	18/ 08/ 1998	8,21
21/ 11/ 1959	140	19/ 07/ 1999	4,35
11/ 08/ 1961	60	10/ 05/ 2000	8,21
08/ 07/ 1962	16,00	24/ 10/ 2000	72,9
15/ 10/ 1962	23,5	24/ 08/ 2002	126,11
02/ 06/ 1977	58	07/ 05/ 2003	9,57
21/ 05/ 1978	2,82	04/ 05/ 2004	37,24
07/ 05/ 1979	5,87	08/ 09/ 2005	3,17
27/ 10/ 1979	11,68	23/ 09/ 2006	108,72
02/ 08/ 1981	21,7	29/ 04/ 2007	5,77
31/ 08/ 1982	19,5	10/ 05/ 2008	3,31
23/ 10/ 1982	8,39	02/ 11/ 2008	2,34
10/ 11/ 1983	7,58	03/ 01/ 2010	1,76
21/ 05/ 1985	1,92	16/ 03/ 2011	1,56
/ 09/ 1986	4,19	20/ 06/ 2012	2,15
/ 10/ 1986	4,19	04/ 08/ 2013	158,01

De esta forma, se comprueba que realmente han llegado a producirse grandes avenidas en la cuenca del río Martín.

En la estación de Híjar (Tabla 9), llama la atención ese valor tan elevado de 600 m³/s. que llegaron a alcanzarse en junio de 1945. También destaca por ser la estación en la que el caudal máximo instantáneo ha sobrepasado en mayor número de ocasiones los 100 m³/s., concretamente en 6 ocasiones: 1945, 1951, 1959, 2002, 2006 y 2013. Estos mayores volúmenes de caudal registrados se deben a que es la estación más cercana a la desembocadura en el Ebro, habiendo recogido gran volumen a lo largo de toda la cuenca.

En el caso de Oliete (Tabla 10), los 100 m³/s. solo se superaron una vez en el año 1959 con un caudal de 101 m³/s., durante el mismo evento de crecida el 21 de noviembre que provocó en Híjar uno de esos caudales máximos instantáneos señalados, de 140 m³/s.

Por último, en la estación de Alcaine (Tabla 11) no se han superado los 100 m³/s. pero se registraron caudales máximos instantáneos muy elevados: 88,25 m³/s. en 1972, 81,68 m³/s. en 1975, 67,55 m³/s. en 1973 o 66,97 m³/s. en 2003.

4.2.4.3. Análisis de hidrogramas de crecida

Para analizar las características y la evolución de las crecidas del río Martín se han elaborado una serie de hidrogramas de crecida seleccionando eventos de diferente rango. Esto es posible a partir de la existencia de los datos de caudales máximos instantáneos utilizados para detectar crecidas y, según ya se ha expuesto, determinar su magnitud, y al mismo tiempo de la disponibilidad de registros de caudal medio diario. Con esos datos de caudal medio diario es con los que se han elaborado los hidrogramas de crecida. Estos son un tipo de gráfico que ayuda a visualizar las variaciones de caudal que ha sufrido el río durante esos episodios de incremento del caudal.

De forma breve, los componentes más importantes para entender un hidrograma de crecidas son la curva de ascenso, que comienza cuando se inicia el aumento de caudal en el río hasta que llega el momento de máximo caudal, denominado cresta o pico de crecida. La curva de descenso, que se inicia pasado el pico cuando comienza a descender el caudal del río. Por último, la curva de agotamiento que representa el tramo final del hidrograma en el que las aportaciones al cauce son debidas únicamente a las aguas subterráneas.

De este modo, al disponer de datos de tres estaciones de aforo diferentes, van a compararse las variaciones que sufre el caudal del río a su paso por cada una de ellas. Esto ayudará a comprobar si el embalse de Cueva Foradada ejerce esa gran influencia en el funcionamiento del río Martín.

Se muestran a continuación, ordenados desde menores a mayores caudales diarios, diferentes hidrogramas que sirven de patrón para los similar intensidad:

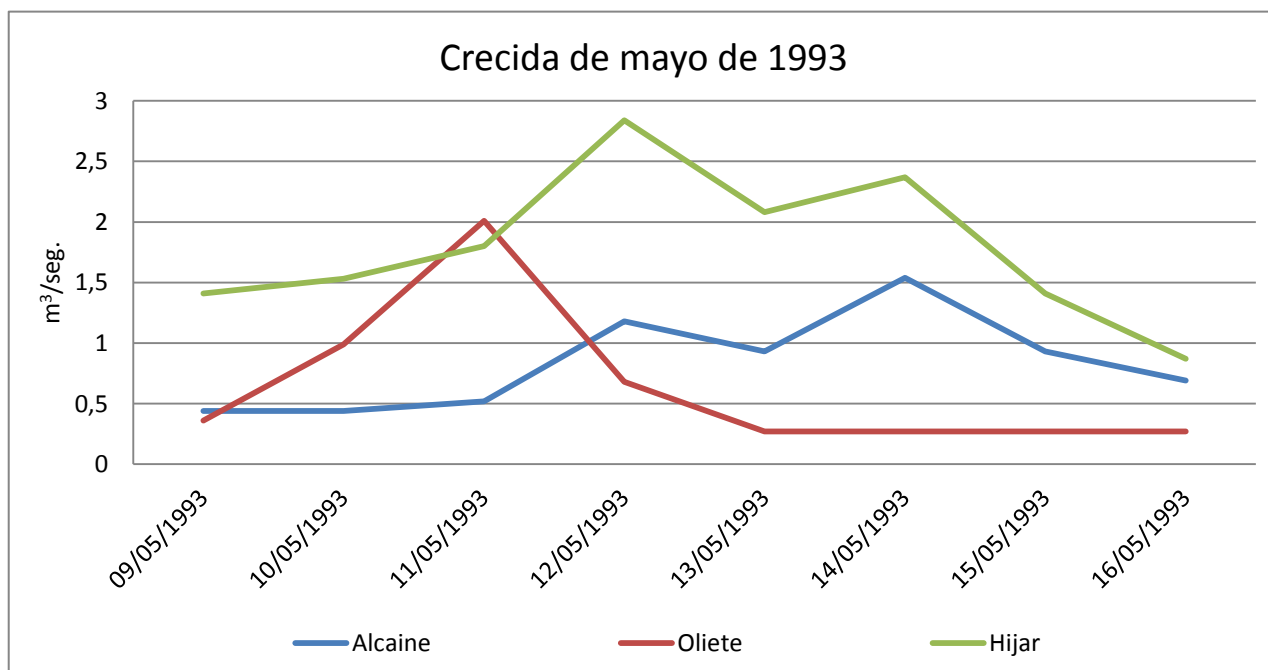


Figura 16. Hidrograma de crecida de mayo de 1993. Fuente: Sistema del Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Este primer hidrograma de crecidas pertenece a una crecida que alcanza un caudal medio diario superior en tres veces al módulo (Fig.16).

La estación de aforo en la localidad de Oliete presenta un comportamiento diferente a las otras dos en cuanto a la variación del caudal. Mientras que en Alcaine e Híjar se observan dos picos los días 12 y 14 de mayo, la estación de Oliete tan solo presenta una el día 11. Mi interpretación es que ante la probabilidad de tormenta y con el embalse próximo a alcanzar su máximo se inició el desembalse dada la imposibilidad de seguir almacenando agua con la crecida que se avecinaba.

El caudal máximo producido por el vertido de agua será menor al caudal máximo que hubiera provocado la crecida. En este caso, el pico generado en Oliete fue mayor que el provocado por la crecida en Alcaine el día siguiente. Fue Híjar la estación de aforo que registró un caudal de crecida mayor.

Este evento de crecida tuvo una duración de 8 días y en Alcaine, que presenta el régimen más natural, el pico máximo se alcanzó tres días después de que comenzase la curva de ascenso. En el caso de Híjar, la curva de ascenso fue más progresiva, aunque también alcanzó el pico máximo tres días después de que comenzase el ascenso. Un aspecto a destacar es que Oliete es la única de las tres estaciones que tan solo presenta un pico de crecida, debido al vertido de aguas realizado en el embalse, que tan solo duró un día; el anterior a la crecida natural. Por otro lado, Alcaine e Híjar presentan dos picos de caudal, principal y secundario; ocurridos los mismos días aunque con el nivel de intensidad intercambiado, es decir, cuando en Híjar se produce el pico máximo en Alcaine tiene lugar el secundario y viceversa.

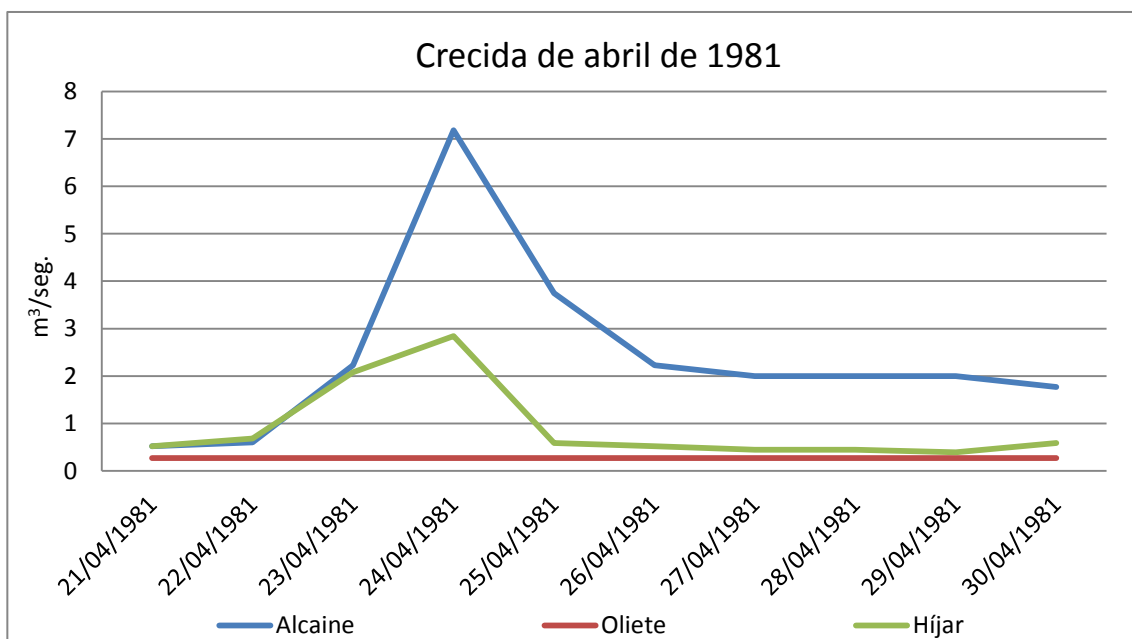


Figura 17. Hidrograma de crecida de abril de 1981. Fuente: Sistema del Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Este segundo hidrograma corresponde a un episodio de crecida que alcanzó un caudal medio diario superior en 5 veces al módulo (Fig. 17).

De nuevo se aprecia que la estación de aforo de Oliete tiene un comportamiento muy diferente a las otras dos, de hecho no presenta ninguna variación de caudal. Esto se debe seguramente a que el embalse de Cueva Foradada, localizado justo antes de la localidad de Oliete, almacenó completamente el volumen de agua transportado por la

crecida.

Claramente la estación de Alcaine el día 24 de abril presenta un pico elevado que no se alcanza en ninguna de las otras dos estaciones. Aunque la localidad de Híjar si que recoge la crecida, ese mismo día, no se registra un caudal tan elevado. Decir también que ambas estaciones presentan una crecida progresiva, que sigue el mismo patrón: aumenta un día antes del pico y desciende durante dos días posteriores.

Esta crecida presenta una duración de 10 días y el pico máximo tuvo lugar en la estación de Alcaine, seguramente como consecuencia de una tormenta repentina y del régimen natural que caracteriza a esta estación. La curva de descenso es más progresiva y no vuelve a alcanzarse el caudal medio que el río llevaba antes de la curva de ascenso. La estación de Híjar presenta un pico de caudal el mismo día que la estación de Alcaine, pero es mucho menor ya que no alcanza ni la mitad de caudal que presenta el pico de Alcaine. Por último, destacar que en la estación de Oliete no se aprecia ninguna variación de caudal ya que, cabe pensar, que todo el volumen fue acumulado por el embalse.

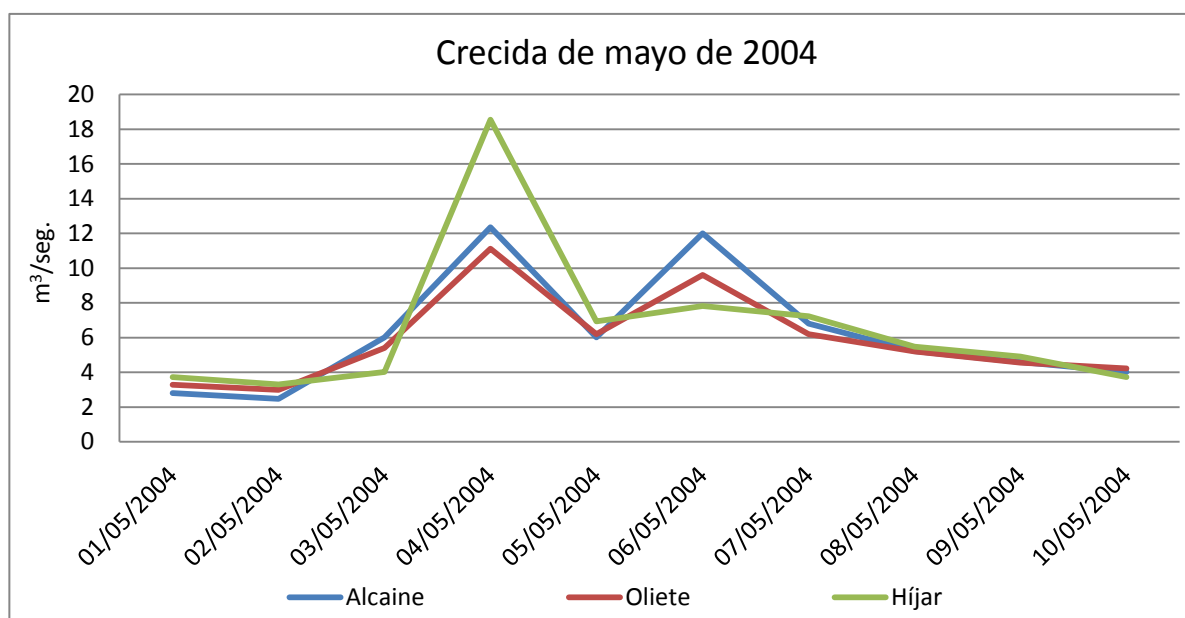


Figura 18. Hidrograma de crecida de mayo de 2004. Fuente: Sistema del Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Este tercer hidrograma representa un evento de crecida que alcanzó un caudal medio diario en 10 veces al módulo (Fig. 18).

Resulta bastante armónico en cuanto al comportamiento del caudal en las tres estaciones de aforo. La estación que alcanzó el pico máximo fue Híjar con un caudal de 18,54 m³/s., bastante más que la estación de Alcaine que siempre suele registrar los máximos caudales; debido, seguramente, a ser el punto de mayor influencia del régimen fluvial natural.

Destacar también que la crecida presenta dos picos máximos, el señalado anteriormente, el día 4 de mayo y, un segundo, el día 6. La estación de Alcaine registra dos picos muy igualados en cuanto a cantidad de caudal, y en la estación de Híjar son más desiguales (más de 10 m³/s. de diferencia entre el primer y el segundo pico). En

cuanto a la estación de Oliete, presenta un comportamiento muy parecido a la de Alcaine; algo diferente en comparación a otros episodios, lo que hace pensar que esta crecida se produjo como consecuencia de una tormenta y el embalse dejó correr una cantidad de agua proporcional a la que le llegaba, sin almacenarla.

De nuevo, esta crecida tuvo una duración de 10 días y cabe destacar que en todas las estaciones se produjeron dos picos de crecidas el mismo día: el 4 y el 6 de mayo. La curva de ascenso es bastante suave ya que alcanza su pico tres días después de que esta haya comenzado. Las estaciones de Alcaine y de Oliete presentan una variación de caudal muy similar a lo largo de todo el hidrograma, sin embargo la estación de Híjar alcanza el pico más alto. Por último, comentar que la curva de descenso tiene un mismo comportamiento en las tres estaciones: un descenso suave y progresivo.

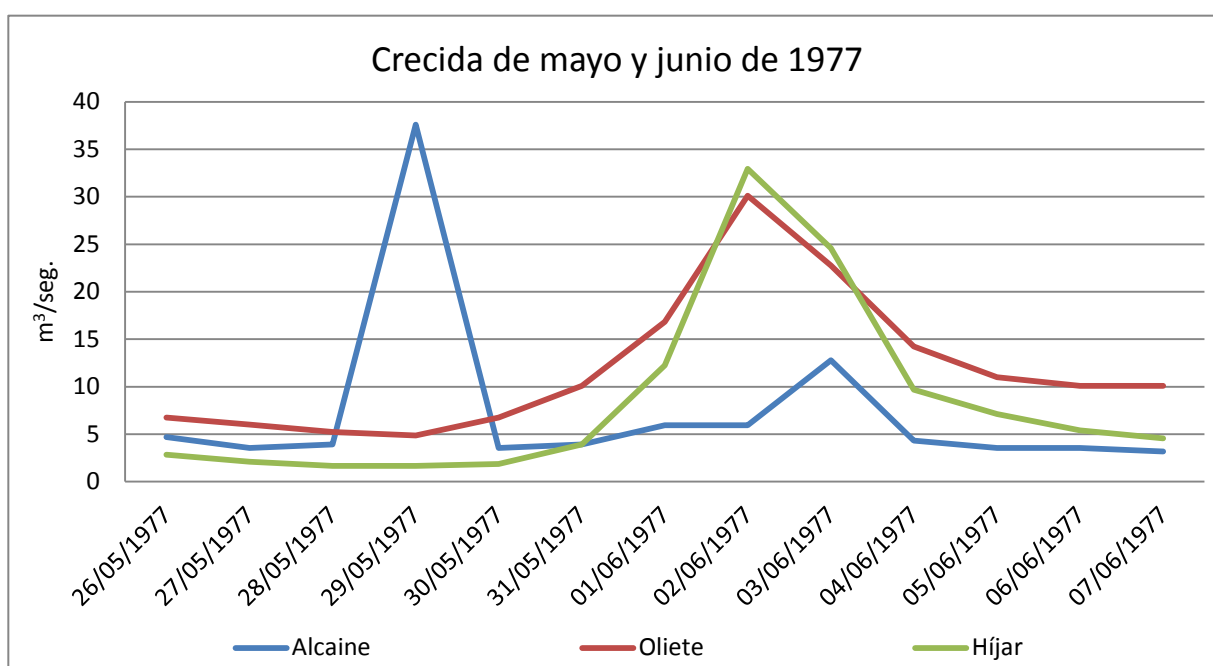


Figura 19. Hidrograma de crecida de mayo y junio de 1977. Fuente: Sistema del Anuario de Aforos. Elaboración propia.

En este gráfico, la crecida alcanzó un caudal medio diario superior en más de 25 veces al módulo (Fig.19).

El dato más destacado es que en la estación de aforo de Alcaine el día 29 de mayo se registró un pico máximo de caudal muy importante, que no se percibió en ninguna de las otras dos estaciones, lo que deja deducir que todo ese aporte de agua se almacenó en el embalse. En cambio durante los días posteriores, el caudal de estas dos estaciones, Oliete e Híjar, fue aumentando progresivamente hasta alcanzar sus respectivos picos el día 2 de junio. Esto fue debido al desembalse de agua realizado ante la posibilidad de una nueva crecida durante los días siguientes, la cual fue registrada en Alcaine pero fue mucho menor que la producida los días anteriores o mucho menor de lo esperado. Aunque también podría ser que la crecida del pico de Oliete e Híjar procediese de algún barranco o rambla que llega al río Martín aguas abajo de Alcaine, por ejemplo el río Seco.

Este hidrograma consta de una serie de 13 días, dentro de los que el pico de crecida se alcanza en la estación de Alcaine el día 29 de mayo; día en el que el caudal de las estaciones de Oliete e Híjar no varía en absoluto. Es a partir de ese pico cuando comienzan las curvas de ascenso de las otras dos estaciones de aforo, aumentando progresivamente de caudal hasta que estas alcanzan su pico, más bajo, el día 2 de junio. La curva de descenso en estas dos estaciones es más progresiva en relación a la de la estación de Alcaine: cuatro días y un día, progresivamente.

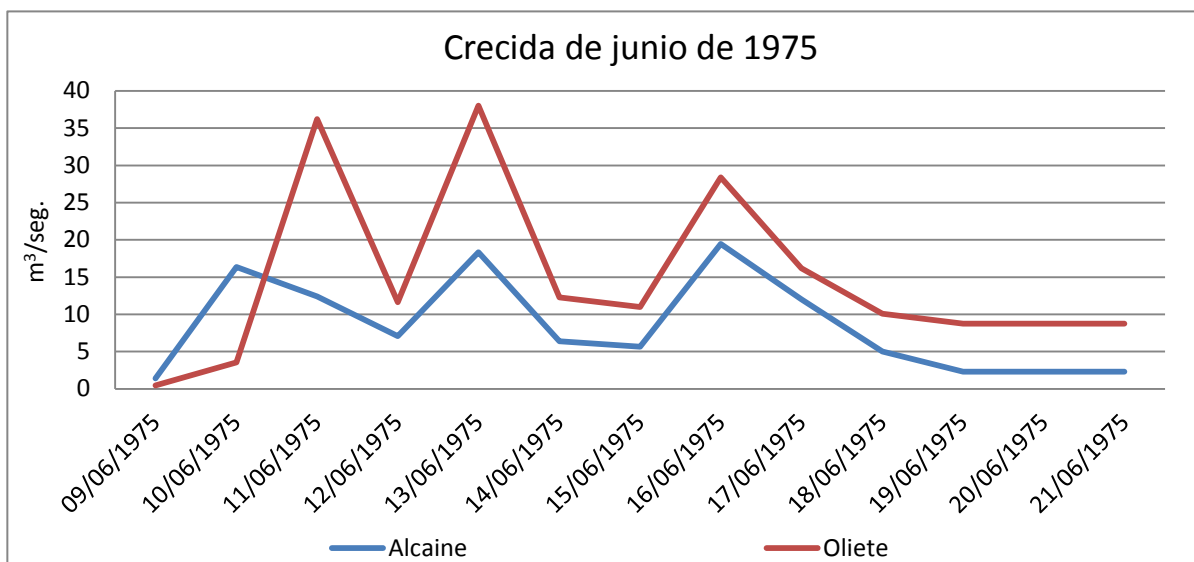


Figura 20. Hidrograma de crecida de junio de 1975. Fuente: Sistema del Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Este gráfico, es de la misma magnitud que el anterior, con caudal medio superior en 25 veces al módulo (Fig. 20).

En cuanto a este hidrograma, el evento de crecida carece de los datos de la estación de Híjar, pero ha sido elegido ya que es un ejemplo que de nuevo vuelve a demostrar que sin la influencia del embalse, que en este caso no se utilizó para laminar la crecida, el caudal del río tiene un comportamiento muy similar en todas las estaciones.

Muestra cómo la crecida alcanzó el pico de máximo de caudal en la estación de Oliete, en lugar de en Alcaine, que es lo que suele ocurrir, aunque lo lógico es lo que sucede en este caso, es decir, que la cantidad de caudal se incremente aguas abajo del río.

En este hidrograma, aunque una de las estaciones no dispone de datos, cabe destacar los diversos picos que se producen en ambas estaciones a lo largo de la serie, concretamente 3 en cada una de ellas. Además, vuelve a destacar la rapidez de las curvas de ascenso, sobre todo en la estación de Oliete en la que se alcanza el mayor caudal en un mismo periodo de crecida: un día. A partir del día 16 comienza un descenso progresivo y ya definitivo en ambas estaciones, que dura más de tres días.

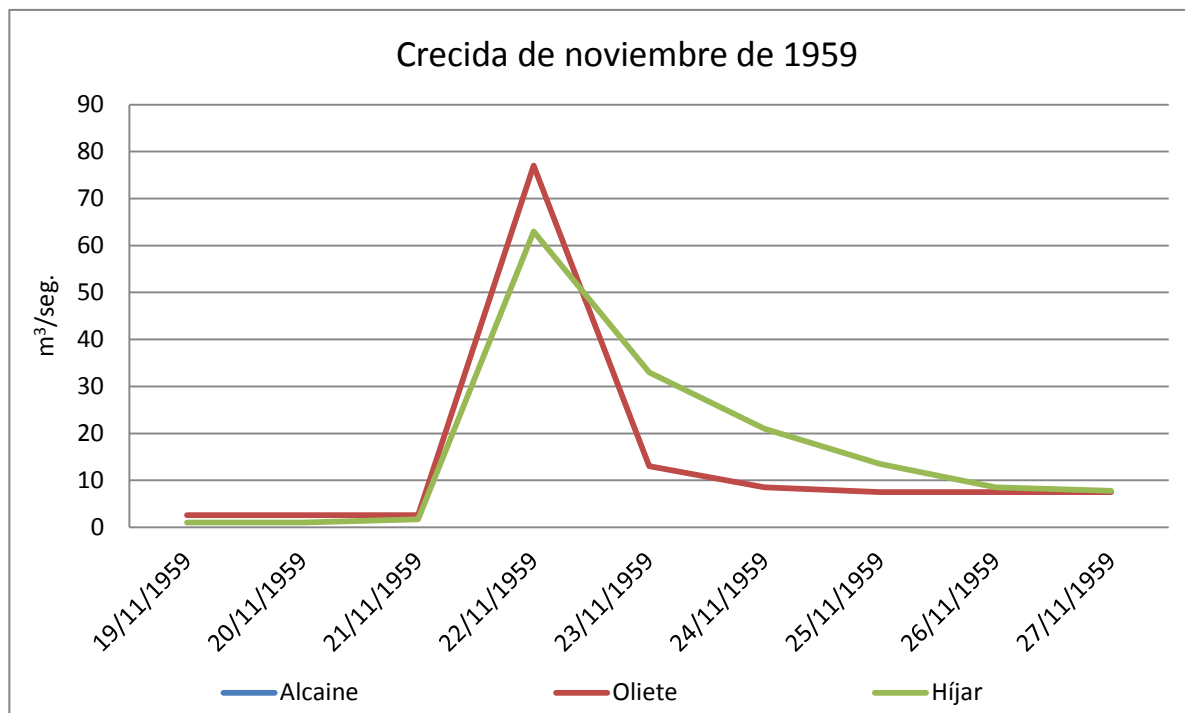


Figura 21. Hidrograma de crecida de noviembre de 1959. Fuente: Sistema del Anuario de Aforos. Elaboración propia.

Por último, un evento de crecida cuyo caudal medio diario superó en más 50 veces al módulo (Fig. 21).

Para empezar, señalar que la estación de aforo de Alcaine no cuenta con registros de datos hasta 1962 por lo que no aparece en el gráfico de líneas.

En Oliete, el caudal medio diario alcanza una magnitud de $77 \text{ m}^3/\text{s}$. pero el caudal máximo instantáneo de ese mismo día llegó a $101 \text{ m}^3/\text{s}$., lo que ayuda a percibir la magnitud del evento. En la estación de Híjar, los datos se asemejan bastante ya que el caudal medio diario fue de $63 \text{ m}^3/\text{s}$. y el caudal máximo instantáneo, todavía mayor, llegó a alcanzar un caudal de $140 \text{ m}^3/\text{s}$.

En este caso, el hidrograma consta de una serie de 9 días, de los cuales la curva de ascenso tan solo ocupa uno de ellos, alcanzándose el pico en la estación de Oliete al día siguiente (21 de noviembre). La curva de descenso también se produce con gran rapidez, sobre todo en la estación de Oliete, de nuevo un día; siendo más progresiva en Híjar, en la que presenta una duración de 4 días. Es un buen de una crecida simple y rápida.

Después de analizar estos hidrogramas de crecidas puede decirse que están basados en al menos dos tipologías. En primer lugar, las crecidas más abundantes, que normalmente coinciden con las de menor caudal (superiores en 3 y superiores en 5 al módulo), son eventos rápidos y sencillos, que cuentan únicamente con un solo pico. La curva de ascenso alcanza el pico muy rápidamente, en un solo día; en cambio la curva de descenso tiene un comportamiento más pausado, en el que pueden pasar varios días hasta que río recupere su caudal ordinario.

En segundo lugar, las crecidas más complejas que alcanzan varios picos y una mayor duración. Estos eventos coinciden normalmente con las crecidas de mayor

caudal, en las que las lluvias torrenciales además de ser esporádicas y repentinas deberán ser muy concentradas o tener una duración de varios días para que se alcancen esos caudales tan elevados.

En las estaciones de Oliete e Híjar, posteriores al embalse, es difícil apreciar o definir una tipología concreta de crecida, ya que el embalse ocasiona gran variedad en cuanto al tiempo que ocupan, por ejemplo, las curvas de ascenso y descenso. Del mismo modo, señalar que muchos de los episodios de crecida que sufren estas dos estaciones, sobre todo la Oliete, son ocasionadas por la necesidad de riego en los campos cercanos. Por lo tanto, la estación más fiable para establecer eventos de crecida es la estación de Alcaine.

De esto modo, una vez estudiada la magnitud y evolución de los eventos de crecida del Martín, es momento de indagar acerca de su frecuencia. Para ello se dispone de la herramienta CAUMAX, incluida en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, en la que se recogen los caudales máximos que alcanzaría este río con diferentes periodo de retorno. Estos caudales están calculados para un *régimen natural*, es decir, aquellos niveles de agua que se alcanzarían sin tener en cuenta los efectos de laminación que ejerce, en este caso, el embalse de Cueva Foradada.

En relación al concepto de período de retorno cabe hacer un par de aclaraciones. Está relacionado con la probabilidad de que se presente un caudal de avenida igual o superior a otro dado a lo largo de un periodo de tiempo determinado, T, siendo igual a la inversa. Es decir, existe cierto porcentaje de probabilidad de que en un periodo de tiempo T se supere un determinado valor de caudal.

Así, expresar que hay un 50% de probabilidad de que en un periodo de tiempo T se supere un valor de caudal y otro 50% de que no se supere. Sería equivalente a decir que el caudal correspondiente a un periodo de retorno de 2 años se verá superado, en término medio, una vez cada dos años; y así con todos los periodos planteados.

La siguiente tabla compara los caudales máximos en régimen natural ($m^3/s.$) que se registrarían en las 3 estaciones de aforo (Alcaine, Oliete e Híjar) en determinados periodos de tiempo:

Tabla 12. Caudales máximos en régimen natural para diferentes estaciones de aforo del río Martín. Fuente: Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

	Alcaine	Oliete	Híjar
Caudal máximo en régimen natural (T = 2 años)	18	19	26
Caudal máximo en régimen natural (T = 5 años)	33	38	51
Caudal máximo en régimen natural (T = 10 años)	49	56	76
Caudal máximo en régimen natural (T = 25 años)	77	91	123
Caudal máximo en régimen natural (T = 100 años)	150	181	245
Caudal máximo en régimen natural (T = 500 años)	311	377	513

En base a la tabla anterior (Tabla 12) y de forma general, pueden describirse dos tendencias principales. En primer lugar, algo lógico y es que el caudal máximo va aumentando conforme aumenta el periodo de retorno en las 3 estaciones de aforo, ya que a la vez que crece la probabilidad de aumento de caudal también crece la probabilidad de que ese caudal sea mayor con el paso del tiempo.

En segundo lugar, se aprecia que el caudal va aumentando conforme más próxima se encuentra la desembocadura. La población localizada más aguas arriba (Alcaine) es la que presenta menores caudales máximos y la localizada más aguas abajo (Híjar) es la que presenta los mayores caudales máximos. Esto se debe a la progresiva incorporación de afluentes a lo largo del cauce, que también llevan un mayor caudal de lo normal y van sumando metros cúbicos por segundo al cauce del río Martín. Sin embargo, el análisis de los hidrogramas ha mostrado que en realidad esto en numerosas ocasiones no es así debido a la alteración que produce la gestión del embalse de Cueva Foradada.

Como conclusión, cabe hacer una importante comparación entre estos caudales máximos expuestos en la tabla anterior y los caudales máximos instantáneos anuales recogidos en las tablas 9, 10 y 11, procedentes de registros reales en las estaciones de aforo estudiadas.

Estos datos evidencian que realmente se han producido crecidas de carácter extraordinario cuyos picos quedan comprendidos entre los caudales máximos de periodos de retorno de 25 y 100 años, e incluso los sobrepasan. Por ejemplo, en la localidad de Híjar el caudal máximo en régimen natural para un periodo de 25 años es de $123 \text{ m}^3/\text{s}$., cantidad que ha sido superada holgadamente en tres ocasiones en un periodo de casi 60 años: en 1959 el caudal máximo instantáneo registrado fue de $140 \text{ m}^3/\text{s}$., en 2002 (43 años después) fue de $126,1 \text{ m}^3/\text{s}$. y en 2013 (tan sólo 11 años después) fue de $158 \text{ m}^3/\text{s}$.

En el caso de la localidad de Oliete, el caudal máximo para un periodo de 25 años desciende a $91 \text{ m}^3/\text{s}$. pero vuelve a ser superado en 1959 cuando el caudal máximo instantáneo alcanzó los $101 \text{ m}^3/\text{s}$. Aunque sin volver a superarse ese umbral de caudal máximo para los 25 años, en 1975 (tan sólo 16 años después) otro evento registró una cifra muy cercana de $80,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Por último, en Alcaine ese caudal máximo calculado para periodos de retorno de 25 años se establece en $77 \text{ m}^3/\text{s}$ y vuelve a comprobarse como el umbral queda sobrepasado: en 1972 el caudal máximo instantáneo registrado fue de $88,25 \text{ m}^3/\text{seg}$. y en 1975 (tan sólo tres años después) fue de $81,68 \text{ m}^3/\text{s}$.

Queda confirmado que estos municipios, señalados más en detalle en el apartado 4.2.4.5. Cartografía del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, son realmente susceptibles de sufrir estas inundaciones y, por tanto, la población que los habita puede verse afectada, un total de 4.320 personas.

4.2.4.4. Catálogo de Protección Civil

La legislación relativa a la Protección Civil ante riesgos naturales de diversa índole presenta varios ámbitos jerarquizados. En primer lugar, la legislación de la Unión Europea como conjunto de normas y principios que deberán prevalecer sobre el derecho nacional. En segundo lugar, el derecho nacional; y por último, la normativa autonómica del Estatuto de Autonomía de Aragón.

La normativa autonómica plantea como uno de los objetivos necesarios la elaboración del Plan Territorial de Protección Civil de Aragón (PLATEAR). Es un instrumento organizativo general de respuesta ante situaciones de emergencias o catástrofes en el ámbito territorial de la Comunidad Autónoma de Aragón. Su normativa y legislación únicamente alcanza a esta comunidad pero no plantea ningún perjuicio ante convenios de colaboración que pueden surgir con otras Comunidades Autónomas y con la Administración General del Estado.

A nivel nacional, el organismo encargado de canalizar los estudios y actuaciones necesarias para paliar los efectos de los riesgos es la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, perteneciente al Ministerio del Interior del Gobierno de España. Entre las tareas acometidas por esta Dirección General de Protección Civil y Emergencias, una de las relevantes en relación a las inundaciones es la elaboración de un Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas, cuya actualización en 2014 ha sido manejada en este trabajo.

En este catálogo (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2014) la información se organiza tomando como referencia las distintas demarcaciones hidrológicas. Se hace alusión al número de eventos detectados, al número de municipios afectados en cada uno de ellos, así como las ocasiones en que las afecciones han alcanzado a la agricultura, las infraestructuras agrícolas e hidráulicas, servicios o personas.

Una vez extraída la información relativa a la cuenca del río Martín, se sintetiza en las siguientes tablas:

Tabla 13: Contabilización y distribución temporal de los eventos de crecida. Fuente: Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Ministerio del Interior. Elaboración propia.

	Nº EPISODIOS	Nº MUNICIPIOS	Nº EPISODIOS AGRICULTURA	Nº EPISODIOS INF. TRANSP.	Nº EPISODIOS INF. HIDRAU.	Nº EPISODIOS SERVICIOS
1900-1910	0	0	0	0	0	0
1910-1920	0	0	0	0	0	0
1920-1930	0	0	0	0	0	0
1930-1940	0	0	0	0	0	0
1940-1950	0	0	0	0	0	0
1950-1960	0	0	0	0	0	0
1960-1970	2	2	0	1	0	0
1970-1980	0	0	0	0	0	0
1980-1990	0	0	0	0	0	0
1990-2000	5	5	1	2	1	4
2000-2010	3	3	0	2	1	2
2010-2020	0	0	0	0	0	0

Tabla 14: Estadística de todos eventos de crecida contabilizados. Fuente: Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Ministerio del Interior. Elaboración propia.

	Nº EPISODIOS	Nº MUNICIPIOS	Nº EPISODIOS AGRICULTURA	Nº EPISODIOS INF. TRANSP.	Nº EPISODIOS INF. HIDRAU.	Nº EPISODIOS SERVICIOS
MÍNIMO	0	0	0	0	0	0
MEDIA	0,21	0,21	0,02	0,1	0,04	0,12
MÁXIMO	2	2	1	1	1	2
TOTAL	10	10	1	5	2	6

Tabla 15: Distribución temporal de los municipios afectados por los eventos de crecida.
Fuente: Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Ministerio del Interior.
Elaboración propia.

	MUNICIPIO	Nº EPISODIOS	Nº MUNICIPIOS	Nº EPISODIOS AGRICULTURA	Nº EPISODIOS INF. TRANSP.	Nº EPISODIOS INF. HIDRAU.	Nº EPISODIOS SERVICIOS
1960-1970	Alcaine	0	0	0	0	0	0
1960-1970	Híjar	2	2	0	1	0	0
1960-1970	Montalbán	0	0	0	0	0	0
1960-1970	Oliete	0	0	0	0	0	0
1990-2000	Alcaine	1	1	1	1	0	0
1990-2000	Híjar	1	1	0	0	0	1
1990-2000	Montalbán	2	2	0	1	1	2
1990-2000	Oliete	1	1	0	0	0	1
2000-2010	Alcaine	1	1	0	1	0	0
2000-2010	Híjar	0	0	0	0	0	0
2000-2010	Montalbán	2	2	0	1	1	2
2000-2010	Oliete	0	0	0	0	0	0

En cuanto a la tabla 13, muestra que las décadas con un mayor número de episodios recogidos en el catálogo fueron: 1990-2000 con 5 crecidas registradas, 2000-2010 con tres y 1960-1970 con dos crecidas. En cuanto al número de municipios afectados, en la década de 1990-2000 todos los municipios susceptibles de sufrir un evento de crecida lo sufrieron, destacando Montalbán que sufrió dos; en la década de 2000-2010 Alcaine sufrió una y Montalbán de nuevo dos; por último, en la década de 1960-1970, fue la localidad de Híjar la que sufrió dos crecidas.

En cuanto al número de episodios de crecida que afectaron a campos de cultivo, tan solo se registró uno entre 1990-2000 y fue en el municipio de Alcaine. Este dato plantea dudas ya que en la llanura de inundación del Martín, como de tanto ríos, los campos de cultivo ocupan la posición más próxima al río, de modo que son los primeros afectados por los desbordamientos. Las infraestructuras de transporte en cambio se han visto afectadas en más ocasiones: en la década de 1960-1970 en el municipio de Híjar, en la década de 1990-2000 en las localidades de Alcaine y Montalbán, y en la década de 2000-2010 de nuevo en las localidades de Alcaine y Montalbán (Fig. 15).

Por último, cabe referirse al número de episodios que afectaron a las infraestructuras hidráulicas y a los servicios disponibles. En primer lugar, las infraestructuras hidráulicas sufrieron daños en dos décadas, 1990-2000 y 2000-2010, pero en la misma localidad, en Montalbán. En segundo lugar, los servicios se vieron más dañados en la década de 1990-2000, en la que se registraron dos episodios en Montalbán, uno en Híjar y otro en Oliete; en cambio durante la década de 2000-2010 tan solo Montalbán se vio afectado aunque fue en dos ocasiones.

En total se aprecia que el número de eventos de crecida alcanza el valor 10, en un periodo de 50 años, resaltando también que las infraestructuras que se vieron más afectadas fueron las infraestructuras de transporte y los servicios.

Con los datos de la última tabla se aprecia que las crecidas no siempre tienen lugar en el mismo municipio, sino que se producen en diferentes puntos del cauce del río Martín. De este modo, las áreas de riesgo potencial significativo de inundación son bastante amplias y se distribuyen por diversos puntos de la cuenca.

Esto último es el objetivo principal perseguido con el uso de este catálogo: confirmar que esas crecidas vistas en apartados anteriores caracterizan el comportamiento del río Martín, que históricamente han producido daños en diversos momentos y en diversos sectores. Esto da valor al estudio del comportamiento hidrológico del río Martín, ya que su conocimiento más profundo debe ayudar a mitigar los daños que produzcan sus crecidas.

4.2.4.5. Cartografía del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)

La directiva marco europea sobre inundaciones (2007/60/CE) s ha marcado la obligatoriedad de realizar una cartografía para definir las zonas con un riesgo potencial elevado de inundaciones y marcar el territorio fluvial inundable con episodios de crecida de diferente magnitud y frecuencia. Hasta el momento, los diferentes organismos de cuenca españoles han realizado una parte de esa cartografía que va recopilando en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI). La página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha creado un visor donde se reúne y se puede consultar dicha información.

Según esos datos oficiales proporcionados por la web del Ministerio Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente existen zonas de riesgo cercanas a núcleos de población próximos al cauce del río Martín.

Esos núcleos de población susceptibles de padecer una crecida serían los siguientes, por orden desde el nacimiento hasta la desembocadura del río: **Oliete** (con 412 habitantes aproximadamente), **Albalate del Arzobispo** (con aproximadamente 2.025 habitantes), **Híjar** (aproximadamente 1.763 habitantes) y **Castelnou** (aproximadamente 120 habitantes).

Se muestran y comentan a continuación las zonas inundables por crecidas con diferentes periodos de retorno en las áreas próximas a las poblaciones de la cuenca del Martín:

Oliete

Zonas inundables con alta probabilidad = 10 años



Figura 22. Cartografía de zona inundable con alta probabilidad en el municipio de Oliete. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Zonas inundables de inundación frecuente = 50 años



Figura 23. Cartografía de zona inundable con probabilidad frecuente en el municipio de Oliete. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Zonas inundables con probabilidad media u ocasional = 100 años



Figura 24. Cartografía de zona inundable con probabilidad media u ocasional en el municipio de Oliete. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Zonas inundables con probabilidad baja o excepcional = 500 años

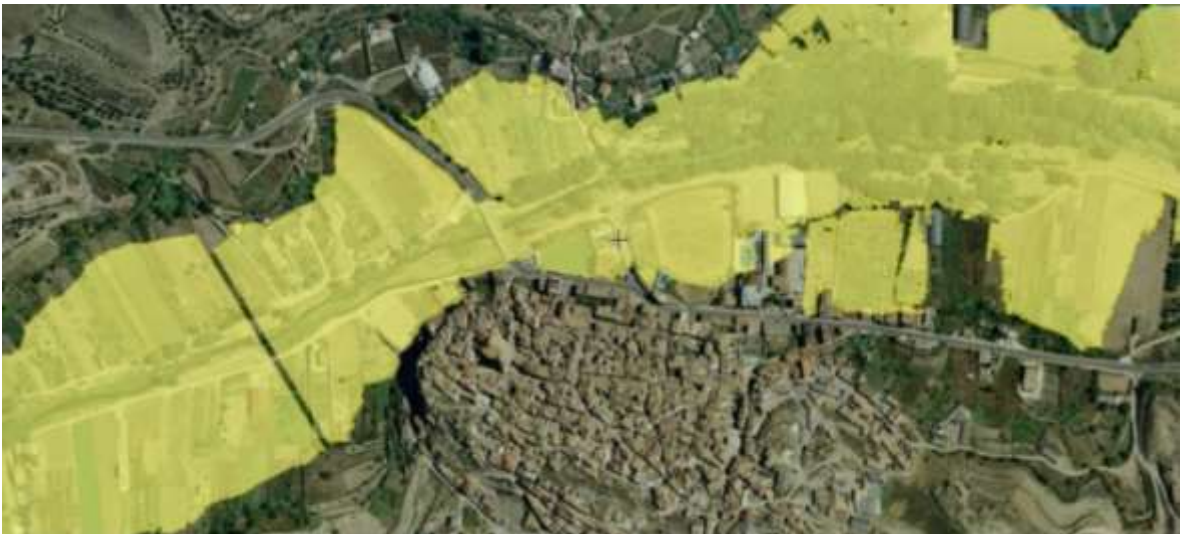


Figura 25: Cartografía de zona inundable con probabilidad baja o excepcional en el municipio de Oliete. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Este es el único municipio que presenta zonas inundables de alta probabilidad, es decir, con un periodo de retorno de 10 años (Fig. 22); están señaladas en color rojo. En la primera imagen, se aprecia como las crecidas afectan al cauce y a las zonas de ribera más cercanas; aunque estas últimas estén localizadas una vez pasado el núcleo de población.

En cuanto a las zonas de inundación frecuente, periodo de retorno de 50 años, aparecen señaladas en color rosa en la segunda imagen (Fig. 23). Se produce un aumento bastante significativo de las zonas inundadas: todas las zonas de ribera próximas a la ciudad quedan cubiertas por el agua, además de una gran zona de campos de cultivo antes del núcleo de población. Después de Oliete también se aprecian campos inundados pero en menor medida.

Las zonas con probabilidad media u ocasional en color mostaza o amarillo claro, periodo de retorno de 100 años (Fig. 24), no presentan un gran aumento del número de metros inundados pero sí llega a apreciarse una zona más amplia, sobretudo en cuanto a campos de cultivo cercanos al cauce; tanto anteriores como posteriores al núcleo. Tanto en estas zonas de probabilidad media u ocasional como en las zonas de inundación frecuente (periodos de retorno de 50 y 100 años), se aprecia que algunas construcciones están dentro de la zona inundada y que probablemente se traten de naves agrícolas o ganaderas.

Por último, las zonas con una probabilidad de inundación excepcional, periodo de retorno de 500 años, aparecen representadas en la última imagen en color amarillo claro (Fig. 25). Lo más significativo es que aquí el caudal del río Martín, claramente, ya inunda zonas del propio núcleo de población: naves de la zona industrial, casas de las zonas más cercanas al cauce e incluso zonas como la piscina municipal de Oliete.

Albalate del Arzobispo

Zonas inundables de inundación frecuente = 50 años



Figura 26: Cartografía de zona inundable con probabilidad frecuente en el municipio de Albalate del Arzobispo. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Zonas inundables con probabilidad media u ocasional = 100 años



Figura 27: Cartografía de zona inundable con probabilidad media u ocasional en el municipio de Albalate del Arzobispo. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Zonas inundables con probabilidad baja o excepcional = 500 años



Figura 28: Cartografía de zona inundable con probabilidad baja o excepcional en el municipio de Albalate del Arzobispo. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Como se aprecia, el municipio de Albalate no presenta ninguna zona con alta posibilidad de inundación pero sí zonas de inundación frecuente, periodos de 50 años (Fig. 26). Es una inundación importante que alcanza algunas zonas de la localidad y abundantes de cultivo, ya que el curso del río plantea un meandro nada más superar Albalate.

En las zonas inundables con probabilidad media (periodo de 100 años) y con probabilidad baja (periodo de 500 años) se aprecia que la inundación sigue el mismo patrón: crece la superficie de cultivos inundada pero en las mismas zonas, aunque no de forma tan notable como en la localidad de Oliete (Figuras 27 y 28 respectivamente).

En esta localidad destaca que, incluso en las crecidas más frecuentes (periodo de retorno de 50 años), unas viviendas asentadas en la margen izquierda del río y que parecen ser de construcción reciente por su localización a las afueras resultarían completamente anegadas.

Híjar:

Zonas inundables de inundación frecuente = 50 años



Figura 29: Cartografía de zona inundable con probabilidad frecuente en el municipio de Híjar. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Zonas inundables con probabilidad media u ocasional = 100 años



Figura 30: Cartografía de zona inundable con probabilidad media u ocasional en el municipio de Híjar. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Zonas inundables con probabilidad baja o excepcional = 500 años



Figura 31: Cartografía de zona inundable con probabilidad baja o excepcional en el municipio de Híjar. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

La localidad de Híjar también carece de zonas inundables con alta probabilidad pero parece ser la que más afectado ve su núcleo urbano durante las crecidas del río Martín. Incluso en las zonas con un periodo de inundación de 50 años la parte más baja del pueblo y cercana al cauce queda afectada, alcanzando el terreno de algunas viviendas (Fig. 29). Destacar de nuevo que muchos terrenos de cultivo quedan anegados.

En la siguiente imagen (Fig. 30), las zonas inundadas vuelven a aumentar en extensión, tanto en el núcleo municipal como en los campos de cultivo colindantes al cauce del río; sobre todo después de salvar los dos meandros.

Por último, en las zonas inundables con menor probabilidad (Fig. 31) lo más destacable es que en ese área baja y cercana al cauce parecen verse afectadas las viviendas localizadas en segunda línea. También las zonas anteriores al primer meandro quedan más afectadas que las posteriores a la localidad, anegándose lo que parece ser la zona de carácter deportivo disponible por Híjar.

Castelnou:

Zonas inundables de inundación frecuente = 50 años



Figura 32: Cartografía de zona inundable con probabilidad frecuente en el municipio de Castelnou. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Zonas inundables con probabilidad media u ocasional = 100 años



Figura 33: Cartografía de zona inundable con probabilidad media u ocasional en el municipio de Castelnou. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Zonas inundables con probabilidad baja o excepcional = 500 años



Figura 34: Cartografía de zona inundable con probabilidad baja o excepcional en el municipio de Castelnou. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Elaboración propia.

Por último, la localidad de Castelnou. Es la que se ve menos afectada por las crecidas del río Martín pero también cabe comentarlas.

En las zonas inundables con probabilidad frecuente (Fig. 32) las zonas más afectadas corresponden a campos de cultivo. Las aguas altas únicamente envuelven lo que parece ser una nave industrial localizada a las afueras.

En las imágenes posteriores (Figuras 33 y 34), probabilidad media (periodo de 100 años) y probabilidad baja de inundación (periodo de 500 años), el modelo es el mismo. Los cultivos en la margen contraria al núcleo de población quedan anegados, en mayor medida con respecto a la primera imagen, pero dicho núcleo de población sigue sin verse afectado.

Esto es debido a que la parte principal del núcleo de población se localiza sobre una elevación del terreno, dificultando que las crecidas alcancen las viviendas. Únicamente se ve afectada una nave industrial, lo que parece ser el recinto de la piscina municipal de Castelnou y, con la menor probabilidad (500 años), las viviendas localizadas en la zona de menor altitud; que seguramente sean de última construcción.

Con lo que esta cartografía muestra, queda confirmada, al comprobar la magnitud y el comportamiento de las crecidas producidas hasta ahora y sus valores registrados en los datos oficiales, la posibilidad de riesgo a la que están expuestas las localidades nombradas según la cartografía del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

5. Conclusión

En la cuenca hidrográfica del río Martín, al igual que otras cuencas hidrográficas próximas, las pendientes, la litología, la vegetación y los usos del suelo y el clima se muestran como factores decisivos en comportamiento hidrológico. Las características de estos componentes evidencian la tendencia a que la escorrentía superficial y la infiltración convivan como procesos dominantes, de forma que el río se ve alimentado tanto por el flujo directo como por el flujo basal. Únicamente en momentos de crecidas intensas el dominio de la escorrentía superficial y el flujo directo es muy claro. La distribución en el interior de la cuenca de estos componentes establece ciertas diferencias entre el funcionamiento de los procesos hidrológicos en los tramos alto y medio con respecto al tramo bajo, esencialmente por la presencia de este último con pendientes más suaves, materiales de buena permeabilidad y terrenos preparados para el cultivo. En los sectores alto y medio la presencia de cubierta vegetal y la litología ofrecen condiciones favorables para que el proceso dominante sea también la infiltración, pero las pendientes más elevadas hacen que una parte importante de las precipitaciones se movilice a través de la escorrentía superficial y subsuperficial.

En el caso del clima, condiciona de forma muy directa el comportamiento del río Martín, especialmente a través de las precipitaciones. Estas no llegan a ser especialmente abundantes ni siquiera en la cabecera de la cuenca, lo que determina que el río Martín y sus afluentes sean poco caudalosos. Además, la irregularidad de estas precipitaciones guarda relación con la fuerte irregularidad interanual que muestran los registros obtenidos en las tres estaciones de aforo situadas a orillas del Martín. Los coeficientes de irregularidad de 13,1 en Alcaine, 18 en Oliete y 19,88 en Híjar son la expresión numérica de dicha irregularidad.

Los claros valores de irregularidad que se han ido mostrando remiten a un ambiente de fuerte influencia mediterránea, evidenciándose claramente en las variaciones estacionales de caudal, con un periodo de aguas altas principal en primavera y otro secundario a finales de invierno, conjugados con un periodo principal de aguas bajas en verano y otro secundario en la primera parte de la primavera. Este ritmo, que se ve matizado en las estaciones de aforo de Oliete e Híjar por la gestión de agua en el embalse de Cueva Foradada, deja ver que se trata de un régimen fluvial de carácter pluvial mediterráneo. Aunque el río no presenta en ninguna época del año unos cuantiosos volúmenes de agua, los caudales durante periodos de aguas altas llegan al menos a duplicar los de las fases de aguas bajas.

Estos escasos caudales pueden crear una sensación de falsa seguridad entre las poblaciones situadas en las orillas. Sin embargo, el río se transforma cuando ocurren episodios de crecidas, incrementándose en grandes proporciones el caudal del río, así como su capacidad erosiva, llegando a desbordarse y a ocupar sectores de la llanura de inundación aparentemente, en el día a día, libres de la posibilidad de que llegue hasta ellos el flujo hídrico. De ahí la importancia de estudiar este fenómeno hidrológico extremo.

Se han dado a conocer los diferentes episodios de crecida en el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX, con daños en poblaciones como Oliete, Albalate y Samper de Calanda. Aunque más importante es la disposición de datos de aforo proporcionados, desde la mitad del siglo XX hasta la actualidad, correspondientes a tres estaciones del río Martín: Alcaine, Oliete e Híjar. A partir de estos registros instrumentales han podido hacerse todos los análisis con detalles de diferentes aspectos de las dinámicas de las crecidas.

En primer lugar, el número total de crecidas va descendiendo respectivamente entre una estación y otra conforme más próxima está la desembocadura; siendo la de Híjar la que menor número de crecidas presenta durante todos los meses, un total de 141. Esto se debe a la influencia del embalse: en la localidad de Alcaine que es anterior tiene lugar el mayor número de crecidas, de todos los umbrales, 200 en total; sobre todo en los meses de mayo y junio que es cuando aumenta la probabilidad y la cantidad de precipitaciones.

El embalse también hace que esas grandes crecidas que pueden llegar a provocar daños en campos y localidades colindantes al río no tengan lugar o sean de muy escasa magnitud, ya que cuando se prevén se deja correr agua los días anteriores. De esta forma, el aumento de caudal del río a partir de la localización del embalse tiene lugar de forma progresiva y más suave, volviendo a recuperar esa cantidad de agua con las precipitaciones que han sido previstas durante los días siguientes.

En segundo lugar, decir que las crecidas más repetidas son las que multiplican por 3 el caudal instantáneo, excepto en la estación de aforo de Alcaine en la que incluso las crecidas que multiplican por 10 el caudal las superan en número. De nuevo, se debe a la influencia del embalse de Cueva Foradada que regula esas crecidas que podrían alcanzar un mayor tamaño y, por tanto, un mayor riesgo para las localidades.

Esas pequeñas crecidas que tan sólo multiplican por 3 el caudal instantáneo no suponen, en principio, ningún peligro para cultivos ni para localidades, pero por el hecho de seguir su curso natural su magnitud puede ser muy variable; las que se prevén más caudalosas son las que realmente se controlan.

Señalar que los meses del año en los que tienen lugar un mayor número de crecidas son los meses de primavera: mayo y junio (julio también aunque, excepcionalmente, en la localidad de Oliete). No obstante a finales de otoño y principios de invierno también se aprecia un aumento, aunque secundario, debido a las precipitaciones equinocciales típicas del clima mediterráneo. En cuanto a los meses que registran un menor número de crecidas, el resultado es más claro ya que son los meses de invierno, con algunas disparidades dependiendo de la estación de aforo.

En cuanto a las crecidas más significativas, destacar las más significativas y sus picos en cada una de las estaciones de aforo. En el caso de Alcaine, el máximo caudal instantáneo alcanzado fue en 1972 con un caudal que superaba los 88 m³/s, en cuanto a Oliete en 1959 ese caudal máximo alcanzó 101 m³/s y en Híjar 1945 llegaron a alcanzarse los 600 m³/s en 1959.

Se han construido una serie de hidrogramas de crecida, lo que permite ver como es su desarrollo y cuales sus principales características. Una vez analizados se puede determinar la existencia de dos tipos de crecidas en la cuenca del río Martín: crecidas cortas y de evolución muy rápida, tanto en la curva de ascenso como en la de descenso, con un solo pico de crecida; frente a crecidas más largas y con la presencia de varios picos o crestas. Eso sí, tanto las unas como otras pueden alcanzar magnitudes similares.

El Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas de la Dirección General de Protección Civil muestra que se han constatado daños provocados por diferentes crecidas, al igual que ya se había comprobado de manera más puntual en las fichas de Inundaciones Históricas de la Demarcación del Ebro. Estos daños han afectado a bienes agrícolas, infraestructuras de comunicación e hidráulicas y diferentes servicios.

Por su parte, la herramienta CAUMAX, del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) permite comprobar, que realmente se alcanzan con cierta frecuencia valores correspondientes a los máximos para periodos de retorno de entre 25 y 100 años.

El propio SNCZI, muestra las zonas inundables para diferentes periodos de retorno. Puesto que hay registros que alcanzan los valores correspondientes a algunos de esos periodos de retorno, inundación frecuente y probabilidad media u ocasional son realmente zonas que ya se han inundado en el pasado y son susceptibles de volver a inundarse en el futuro. Entre esas zonas hay poblaciones como Oliete, Híjar, Albalate del Arzobispo y Castelnou, en las que con gran frecuencia se inundan campos de cultivo próximos al núcleo de población y más ocasionalmente zonas urbanizadas, incluso dentro de los propios núcleos urbanos.

Por ello y como conclusión, constatando el riesgo real de inundaciones, es necesario establecer medidas que ayuden a minimizar los daños por inundación cuando estas tengan lugar:

- Efectuar acciones de ordenación del territorio que impidan la realización de determinados usos en la zona inundable. Especialmente de aquellos usos que supongan exposición de personas. Eso quiere decir, evitar en el futuro la construcción de viviendas en esas zonas inundables, pero también de naves industriales o agrícolas y, por supuesto, de centro de uso colectivo (colegios, pabellones deportivos, centros sanitarios, etc.)

- Concienciar a la población de la existencia del riesgo. La imagen habitual del río y el descenso del número de episodios de crecida durante los últimos años invita a una

sensación de falsa seguridad que hay que evitar. Diferentes charlas, actos y publicaciones divulgativas deben enseñar a la población a vivir sin miedo al río pero con la prudencia necesaria. Esto implica a dejar el espacio correspondiente al río Martín, para que sus crecidas sucedan sin graves consecuencias.

- Finalmente, hay que optimizar la gestión del embalse de Cueva Foradada en su papel de laminación de crecidas. En este sentido el embalse, muy usado para gestionar el agua de riego, viene cumpliendo también un destacado papel desde su puesta en funcionamiento.

6. Relación de fuentes, bibliografía y recursos utilizados

- Acín, V. et al. (2012). "Sobre las precipitaciones de octubre de 2012 en el Pirineo aragonés, su respuesta hidrológica y la gestión de riesgos". *Geographicalia*, 61, pp. 101-108.
- *Atlas Climático de Aragón*. López, F., Cabrera, M. y Cuadrat, J.M. (Coord.). 2007. Servicio de Información y Educación Ambiental, D.L., Gobierno de Aragón.
- Beguería, S. et al. (2003). "Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees". *Ambio*, 32 (4), pp. 283-286.
- Berga, L. (2011). "Las inundaciones en España. La Nueva Directiva Europea de inundaciones". *Revista de Obras Públicas*, 3.520, pp. 7-18.
- Calvo, F. (2000). "Panorama de los estudios sobre riesgos naturales en la geografía española". *Boletín de Asociación de Geógrafos Españoles*, 30, pp. 21-35.
- Camarasa, A.M. y Mateu, J.F. (2000). "Las inundaciones en España en los últimos veinte años: Una perspectiva geográfica". *Serie geográfica*, 9, pp. 11-16.
- Chastagnaret, G. y Gil Olcina, A. (2006). "Riesgo de inundaciones en el Mediterráneo occidental". Casa Velázquez, Universidad de Alicante, Madrid.
- *Cuenca del Ebro Inundaciones Históricas*. Anexo II, fichas de inundaciones históricas. Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Septiembre de 1985.
- *Cuenca del Ebro Inundaciones Históricas*. Anexo III, fichas de inundaciones históricas. Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Septiembre de 1985.
- Espejo, F. et al. (2008). "La crecida del Ebro de 2007: procesos hidrometeorológicos y perspectivas de gestión del riesgo". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 48, pp. 129-154.
- García-Ruiz, J.M., Puigdefábregas, J. y Martín-Ranz, M.C. (1983). "Diferencias espaciales en la respuesta hidrológica a las precipitaciones torrenciales de noviembre de 1982 en el Pirineo Central". *Estudios Geográficos*, 44, pp. 291-310.
- García-Ruiz, J.M. et al. (2001). "Los recursos hídricos superficiales del Pirineo aragonés y su evolución reciente". Geofoma Ediciones.
- Gaume, E. et al. (2009). "A compilation of data on European flash floods". *Journal of Hydrology*, 367, pp. 70-78.

- Kundzewicz, Z.W. et al. (2012). "Flood risk in Europe - setting the stage". *Wallingford: IASH Press*, pp. 11-26.

- Lehner, B. et al. (2006). "Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis". *Climatic Change*, 75 (3), pp. 273-299.

- López-Moreno, J.L., Beguería, S. y García-Ruiz, J.M. (2006). "Trends in high flows in the central Spanish Pyrenees: response to climatic factor or to land-use change?". *Hydrological Sciences Journal*, 51 (6), pp. 1039-1050.

- Marchi, L. et al. (2010). "Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management". *Journal of Hydrology*, 394, pp. 118-133.

- Marquínez, J. et al. (2014). "Reactivación del cauce histórico del río Ésera por la avenida de junio de 2013 (Pirineo Central)". XIII Reunión Nacional de Geomorfología, pp. 115-118.

- Ollero, A., Pellicer, F. y Sánchez Fabre, M. (2004). "La crecida de febrero de 2003 en el curso medio del Ebro: análisis de su evolución espacio-temporal". *M.C. (ed.) Zaragoza*, Universidad de Zaragoza, pp.143-55.

- Ollero, A y Sánchez Fabre, M. (2007). "Función, problemática y restauración de ríos y riberas". *Revista de Andorra*, 7, pp.61-82.

- *Plan de Gestión del Riesgo de Inundación*. [En línea]. Confederación Hidrográfica del Ebro, Ministerios de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2016]. Disponible en: <http://chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=42699&idMenu=4800>

- Sánchez Fabre, M. et al. (2015). "Las crecidas del Ebro medio en el comienzo del siglo XXI". *Asociación de Geógrafos Españoles*, pp. 1853-1862.

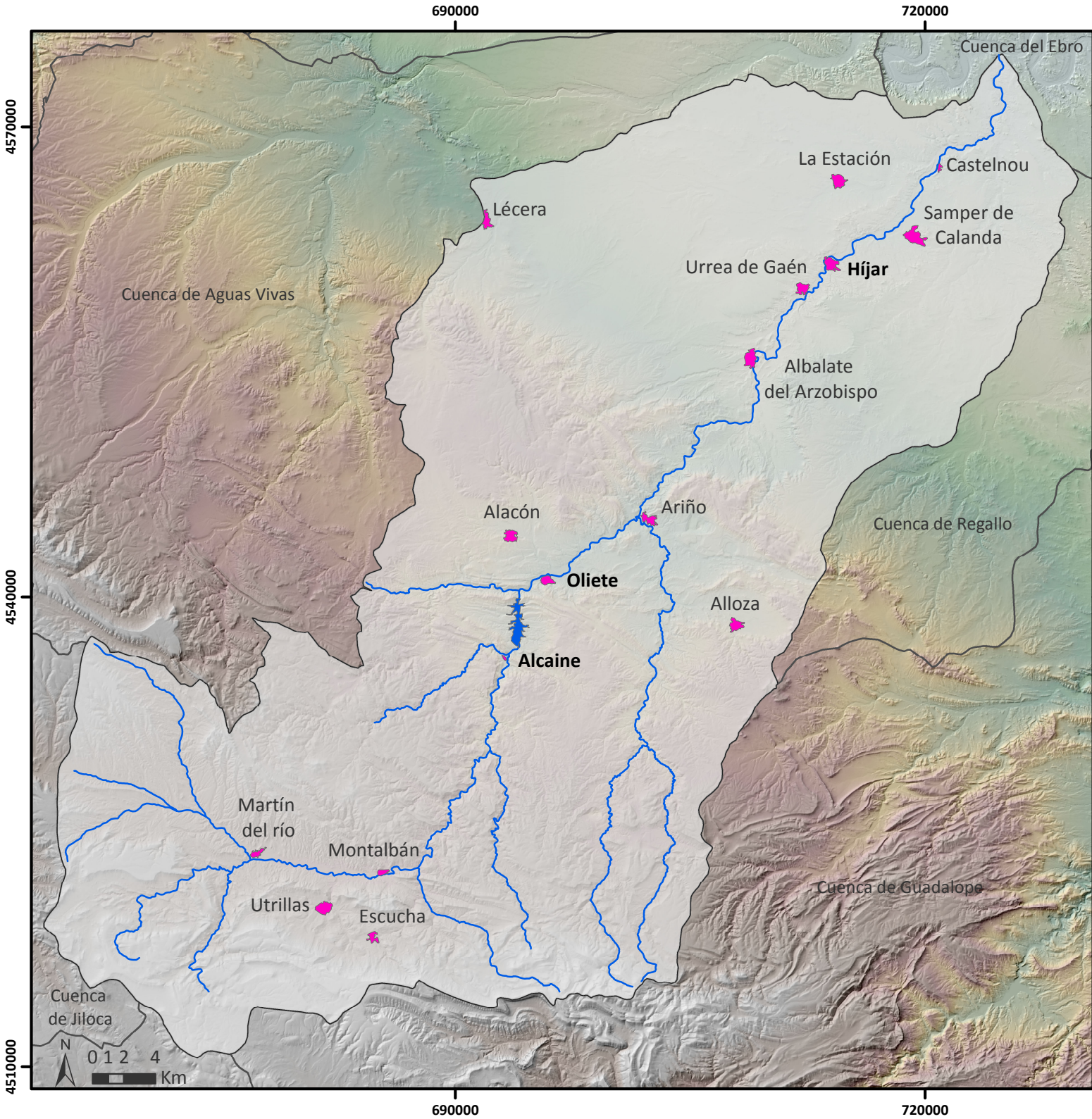
- Sánchez Fabre, M. et al. (2013). "Los ríos de la provincia de Teruel". pp.0-60.

- Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. [En línea]. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. [Fecha de consulta: 5 de noviembre]. Disponible en: <http://sig.mapama.es/snczi/visor.html?herramienta=DPHZI>

- Tarolli, P. et al. (2012). "Analysis of flash flood regimes in the North Western and South Eastern Mediterranean regions". *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 12, pp. 1255-1265.

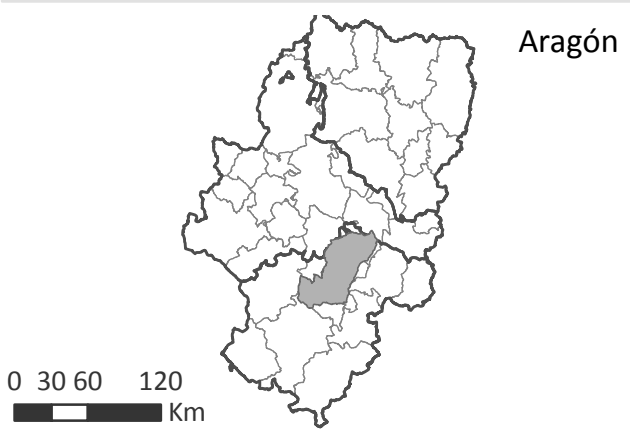
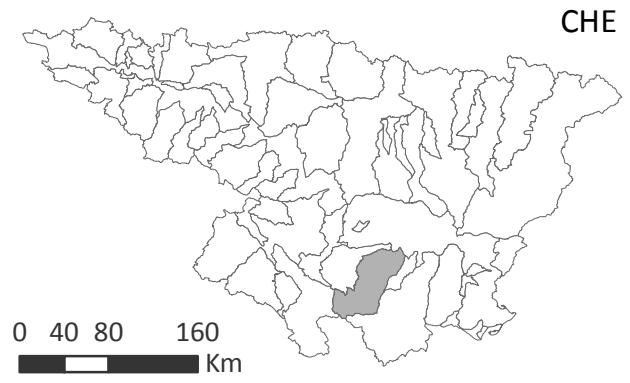
7. Anexos





A continuación, se aportan los mapas que han servido de base para el estudio de la cuenca del río.



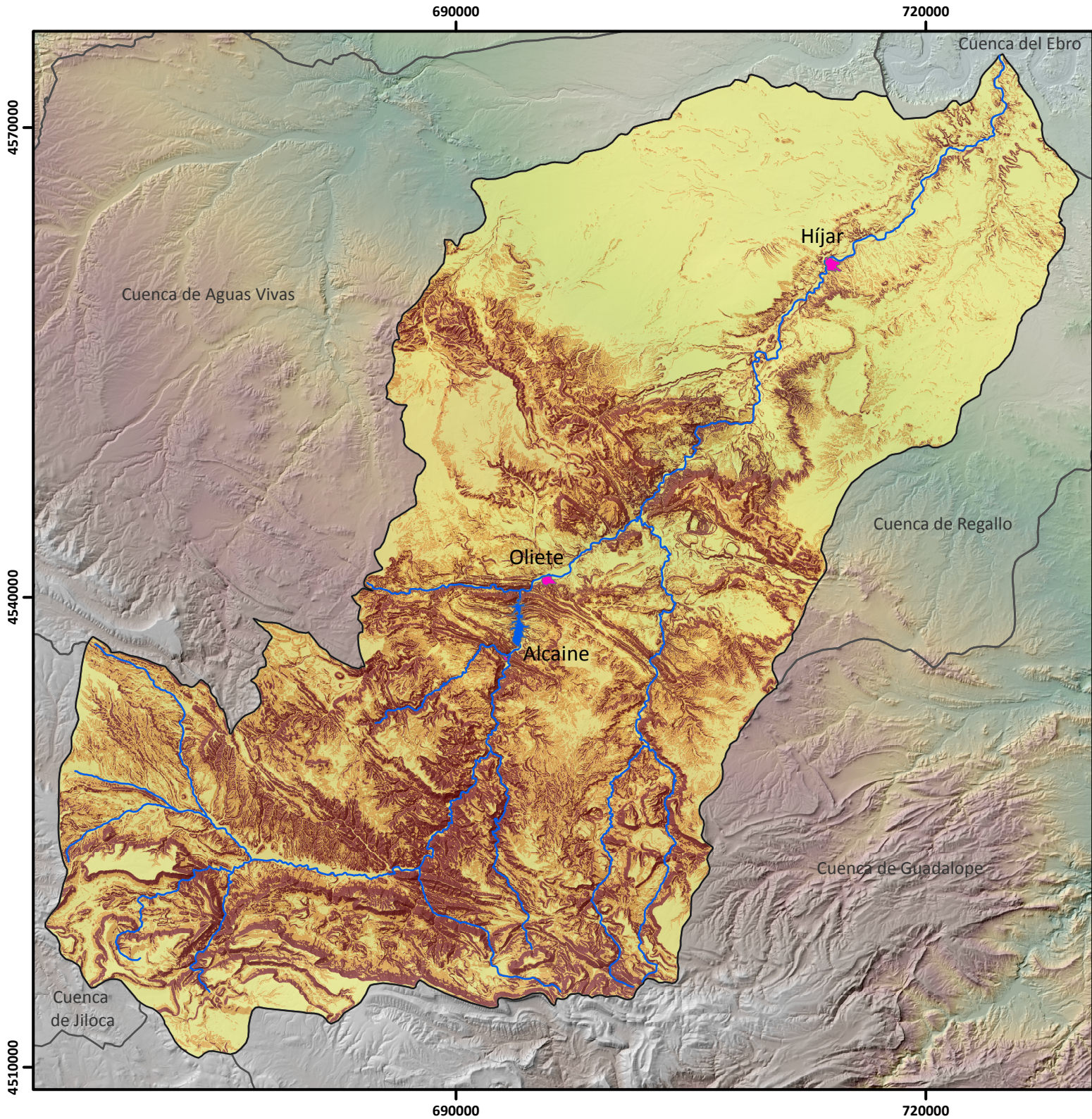
LOCALIZACIÓN

Cuenca río Martín



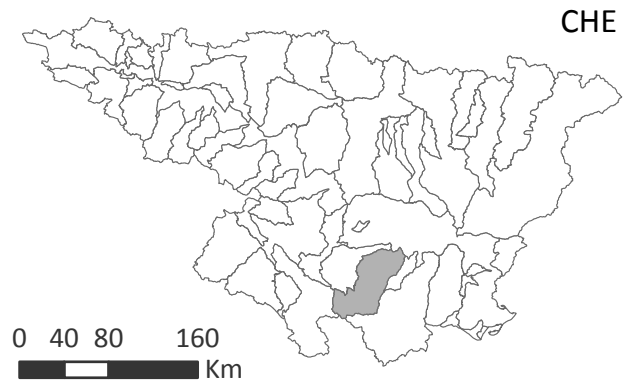
-  Entidades de población
-  Embalse de Cueva Foradada
-  Río Martín y afluentes
-  Límite de cuencas hidrológicas

Fuente: CHE y CNIG, 2016
 Elaboración: Tapia Álvarez, T.
 Universidad de Zaragoza, 2016




MAPA DE PENDIENTES


Cuenca río Martín




Asentamientos

 Entidades de población


Hidrología

 Embalse de Cueva Foradada


 Río Martín y afluentes

 Límite de cuencas hidrológicas

Pendiente (%)

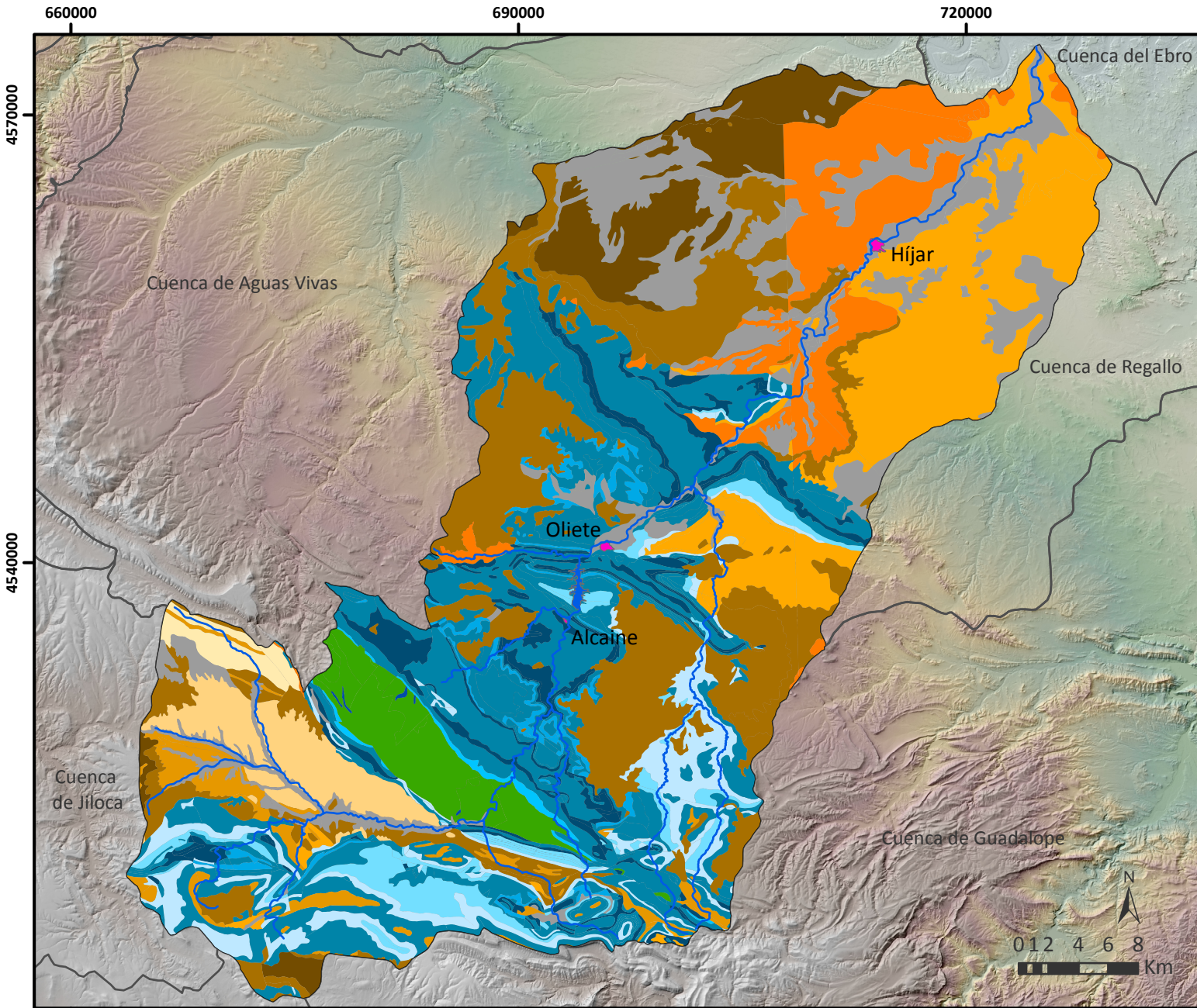
 Inferior a 10

 Entre 10 y 25

 Superior a 25



Fuente: CHE y CNIG, 2016
 Elaboración: Tapia Álvarez, T.
 Universidad de Zaragoza, 2016



MAPA LITOLÓGICO

Cuenca río Martín

CHE



ETRS 89 UTM 30

Asentamientos

- Entidades de población

Hidrología

- Embalse de Cueva Foradada
- Río Martín y afluentes
- Límite de cuencas hidrológicas

Fuente: IGME, 2016

Elaboración: Tapia Álvarez, T.
Universidad de Zaragoza, 2016

Era primaria

- Pizarras

Era secundaria

- Arenas
- Arenas, arcillas y calizas

- Areniscas, arcillas y conglomerados
- Areniscas, calizas y margas
- Calizas. Margas y arcillas
- Ofitas
- Margas y calizas; arcillas y yesos

Era terciaria

- Arenas
- Areniscas, conglomerados y limos
- Areniscas; margas y limos
- Calizas

- Calizas. Margas y arcillas
- Materiales detríticos terciarios
- Margas y calizas; arcillas y yesos
- Era cuaternaria**
- Materiales detríticos cuaternarios

660000

690000

720000

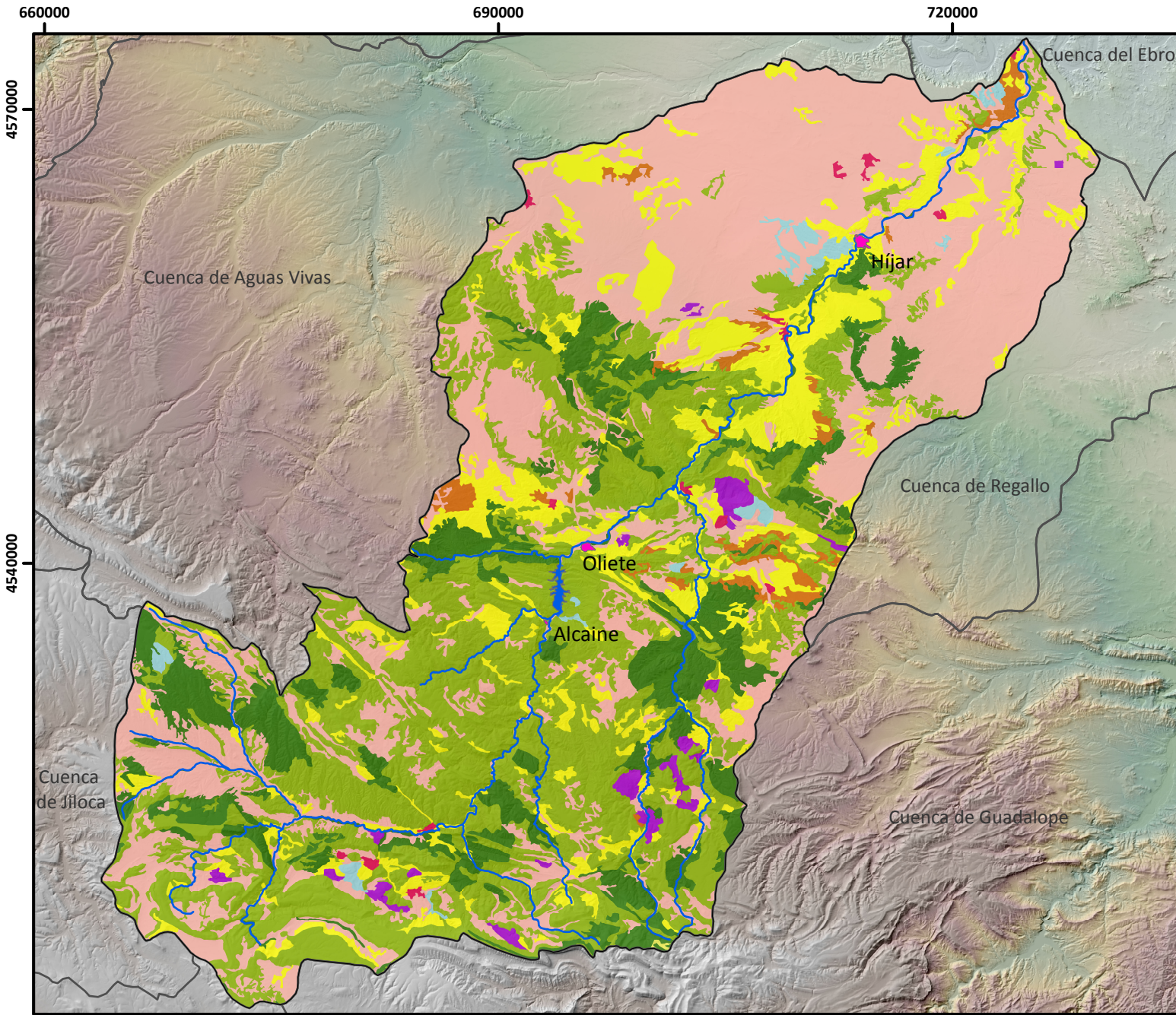
4570000

4540000

4570000

4540000





MAPA DE USOS DE SUELO

Cuenca río Martín

CHE



- Asentamientos**
- Entidades de población
- Hidrología**
- Embalse de Cueva Foradada
 - Río Martín y afluentes
 - Límite de cuencas hidrológicas

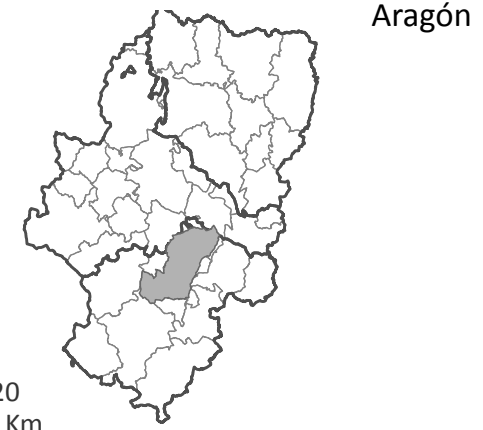


- Usos de suelo**
- Zonas urbanas
 - Zonas mineras
 - Tierras de labor
 - Cultivos permanentes
 - Prados y praderas
 - Zonas agrícolas heterogéneas
 - Bosques
 - Vegeación arbustiva y/o herbácea
 - Espacios con poca vegetación
 - Aguas continentales

Fuente: CNIG, 2016
 Elaboración: Tapia Álvarez, T.
 Universidad de Zaragoza, 2016

PRECIPITACIÓN

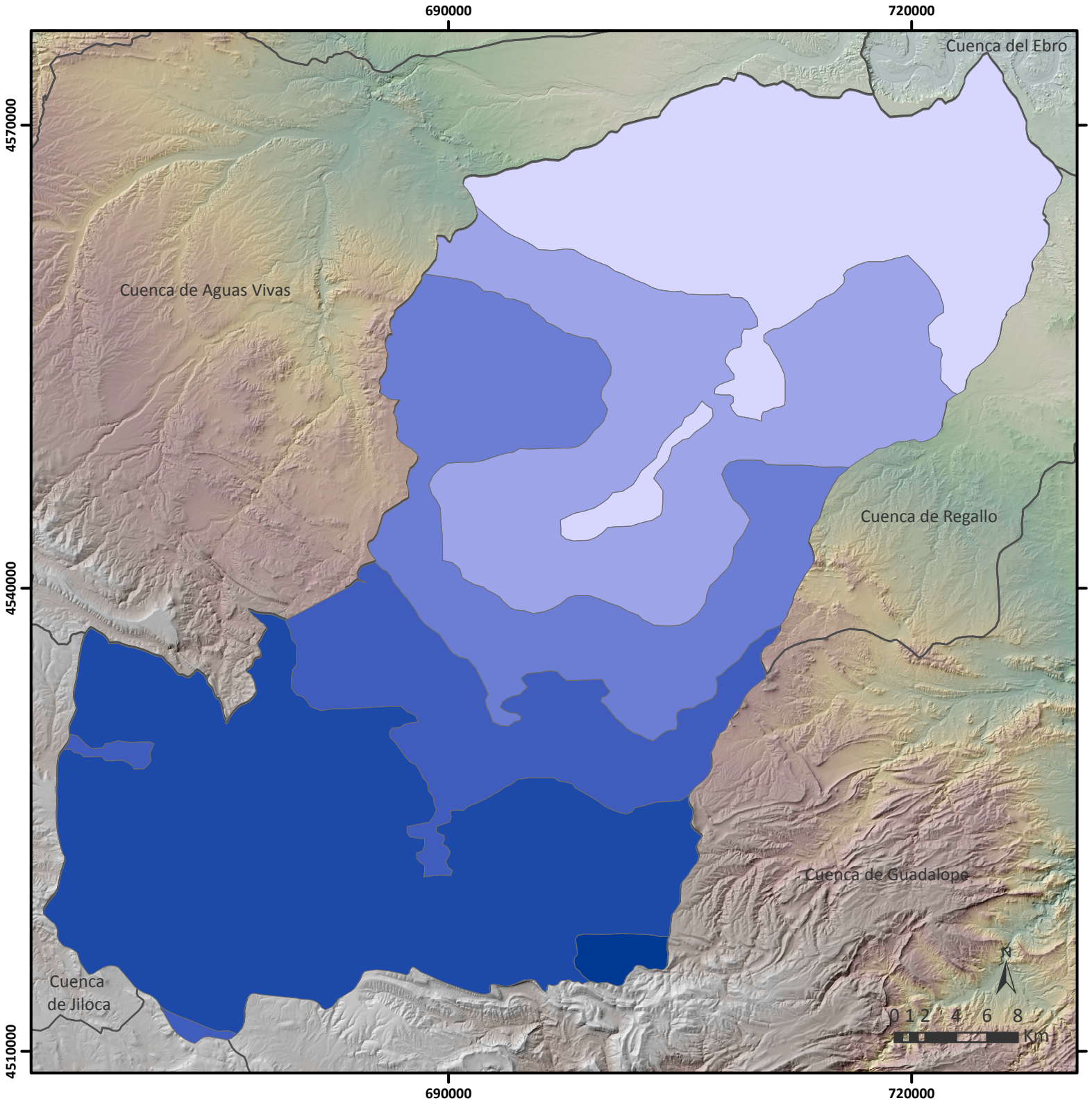
Cuenca río Martín



Precipitación (mm anuales)

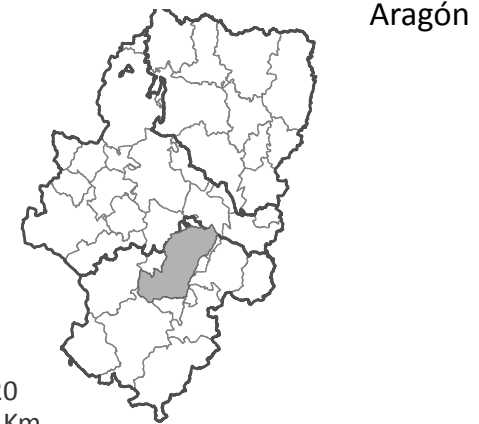


Fuente: CHE, CNIG y Atlas Climático de Aragón, 2016
Elaboración: Tapia Álvarez, T. Universidad de Zaragoza, 2016



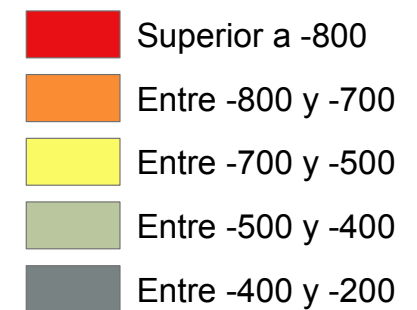
BALANCE HÍDRICO

Cuenca río Martín



0 30 60 120
Km

Balace hídrico (mm anuales)



Fuente: CHE, CNIG y Atlas Climático de Aragón, 2016
Elaboración: Tapia Álvarez, T.
Universidad de Zaragoza, 2016

