



Trabajo Fin de Grado

Funcionamiento hidrológico y respuesta
fluvial en cursos efímeros de la cuenca del
Ebro.

Hydrology and fluvial response in
ephemeral rivers of Ebro's basin.

Autor/es

Marcos Alquézar Bescós

Director/es

Alfredo Ollero Ojeda

Geografía y Ordenación del Territorio

Facultad de Filosofía y
Letras 2018/2019

Agradecimientos

Antes de entrar en el proyecto como tal, me gustaría dar las gracias a todas las personas que durante estos intensos meses han contribuido de manera directa o indirecta a la realización del presente documento:

Al personal de la Confederación Hidrográfica del Ebro en especial a José Ángel Losada y a José Ramón Sánchez por el trato recibido durante la realización de las prácticas externas y por toda la información proporcionada que es parte fundamental del presente documento.

A mis familiares por aguantarme durante estos meses y ayudarme en la medida de lo posible facilitándome las cosas.

A mis amigos geógrafos por todos los días en la facultad de matemáticas aguantándonos los unos a los otros y por el apoyo que han supuesto para poder sacar adelante este trabajo.

También una parte importante de este trabajo se la debo a mis compañeros durante la realización de los trabajos de campo (Yilena y Sergio) con los que ha habido un ambiente de trabajo muy bueno y que han facilitado mucho las cosas a la hora de la organización para el trabajo.

Por último, no podía olvidarme de Alfredo, tutor de este Trabajo de Fin de Grado y persona muy implicada en él. Tus conocimientos y tu buen hacer han facilitado mucho el camino para llegar hasta aquí y sin esta labor no habría sido posible presentar este documento.

Resumen

Los ríos efímeros son cursos fluviales que en contadas ocasiones llevan agua superficialmente. Su conocimiento es poco amplio y son ríos en general poco trabajados en el ámbito científico. Representan un interés importante en cuanto a su comportamiento y son un riesgo real para la población debido a sus crecidas súbitas por eventos importantes de precipitación. En el presente documento se analiza el comportamiento hidrológico y de precipitaciones de siete cuencas efímeras de la cuenca del Ebro y se sientan las bases para determinar si el cambio climático actual está afectando de alguna manera al funcionamiento de estos sistemas naturales.

Palabras clave: ríos efímeros, hidrología, precipitaciones, caudales, cambio climático.

Abstract

Ephemeral rivers are watercourse that rarely carry water superficially. Their knowledge is not wide and they are rivers a little worked in scientific studies. They represent an important interest in terms of their behavior and they are a real danger to people due to their sudden floods for important events of precipitation. In this text is analyzed the hidrological behaviour and the precipitations of seven ephemeral rivers of Ebro's basin and they are established the basis to decide if climate change affects somehow the operation of this natural systems.

Key words: ephemeral rivers, hydrology, precipitations, flows, climate change.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Justificación.....	6
1.2. Marco de trabajo.....	6
1.3. Antecedentes	7
1.4. Objetivos	7
1.5. Plan de trabajo	8
2. ÁREA DE ESTUDIO	8
2.1. Identificación de cursos efímeros en la cuenca del Ebro.....	8
2.2. Selección de casos de estudio	9
2.2.1. Localización específica de las cuencas	10
2.3. Caracterización básica de las cuencas estudiadas.....	14
3. METODOLOGÍA	16
3.1. Identificación y selección de casos de estudio.....	16
3.2. Fuentes y tratamiento de datos de precipitación y de caudal.....	16
3.3. Trabajos de campo	17
3.4. Trabajos de análisis e interpretación.....	17
4. RESULTADOS.....	17
4.1. Análisis de precipitaciones.....	19
4.1.1. Análisis de periodos de retorno de las precipitaciones	23
4.2. Análisis hidrológico.....	30
4.3. Eventos extremos	38
4.3.1. Análisis del periodo de retorno de crecidas	38
4.3.2. Crecidas históricas	40
4.4. Funcionamiento hidrológico de las diferentes cuencas	44
4.5. Respuesta fluvial de las diferentes cuencas.....	51
4.6. Valoración de la peligrosidad	52
4.6.1. Número de casos que superan los 50 mm/día	52
4.6.2. Factor topográfico (pendientes).....	55
4.7. Evolución y tendencias	59
4.7.1. Precipitaciones.....	59
4.7.2. Eventos de crecidas.....	73

5. DISCUSIÓN	74
5.1. Valoración de la metodología	74
5.2. Comprobación de hipótesis y valoración de los resultados.....	74
5.3. Propuestas de seguimiento y desarrollo de la línea de trabajo	74
6. CONCLUSIONES.....	75
7. REFERENCIAS	76
8. ÍNDICE DE FIGURAS	77
9. ÍNDICE DE TABLAS	80

1. Introducción

El presente documento pretende analizar los efectos que ha tenido el cambio climático en diversos cursos catalogados como efímeros de toda la cuenca del Ebro. Por medio de la hidrología, geomorfología e impactos y calidad fluvial de los diferentes cursos se va a proceder a realizar el pertinente estudio.

1.1. Justificación

En primer lugar es importante conocer y definir lo que es un río efímero y diferenciarlo claramente de los ríos temporales y permanentes.

Un río efímero puede quedar definido como aquellos cursos que llevan agua en momentos puntuales ligados a fuertes precipitaciones. Además para su clasificación y diferenciación es necesario conocer características determinadas como que no esté colonizado por vegetación, una anchura de su sección transversal de 20 metros o más, una pendiente determinada y que no presente caudal de agua durante 100 días al año. Estas características permiten diferenciarlo de lo que se entiende por ríos permanentes y temporales.

El principal problema que nos encontramos es la escasez de información acerca de estos cursos fluviales que se extrae de la falta de datos y a su vez teniendo en cuenta el poco protagonismo e interés que generan en la sociedad en líneas generales.

Es por ello necesario que surjan iniciativas como este proyecto para poder dar una mayor visibilidad a estos cursos efímeros y conocer más acerca de su comportamiento y funcionamiento hídrico. Además, estos sistemas fluviales tienen una gran importancia en la gestión de riesgos, ya que estos ríos generan crecidas repentinas y violentas y la falta de datos y conocimiento al respecto genera situaciones de mayor vulnerabilidad

1.2. Marco de trabajo

El presente documento se ha realizado en el marco del proyecto de investigación CGL2017-84625-C2-1-R (CCAMICEM), Subproyecto “*Cambio climático y ajustes morfológicos en cauces efímeros mediterráneos: dinámica y resiliencia geomórfica y propuestas de actuación*”, financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades / Agencia Estatal de Investigación dentro del Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad. El investigador principal del proyecto es Carmelo Conesa, Catedrático de Geografía Física de la Universidad de Murcia. En el proyecto hay tres áreas de trabajo con cursos efímeros, Murcia, Ebro y Calabria (Italia), y en cada uno de ellos un equipo de investigación. En la cuenca del Ebro el estudio se coordina desde las universidades de Zaragoza y del País Vasco (UPV-EHU). Es necesario comentar que una parte del trabajo se ha realizado en equipo, ya que este proyecto requiere la acción de un grupo de personas variado, habiendo colaborado con personal del País Vasco que también están involucrados en este proyecto. Sin este trabajo en equipo no se podría haber abarcado un estudio de las cuencas tan detallado y se hubieran obtenido un menor número de datos de los que se dispone actualmente.

Además buena parte de los datos han sido recopilados en la Confederación Hidrográfica del Ebro aprovechando la realización de prácticas externas en esta entidad obteniéndose información valiosa para la realización del presente documento.

1.3. Antecedentes

Existen ciertas referencias en cuanto a trabajos sobre los cauces efímeros se refiere. Un trabajo que fue pionero en este sentido es el que realizaron Leopold y Miller: Leopold, M.B., Miller, J.P. (1956) *Ephemeral streams: hydraulic factors and their relation to the drainage net*. Geological Survey Professional Paper 282-A, USGS, Washington.

A nivel nacional destacan algunos trabajos pioneros algunos de los cuales hacen referencia a ramblas próximas al río Jiloca (probablemente Valcodo está entre ellas). Destacan los siguientes artículos:

Conesa, C. (1987) Barras de grava en lechos de rambla del Campo de Cartagena (Murcia). *Papeles de Geografía (Física)*, 12: 33-45.

Ferrer, M., Mensua, S. (1956) Las ramblas del valle medio del Jiloca. *Geographica*, 59-85.

Mateu, J.F. (1974) La rambla de la Viuda. Clima e Hidrología. *Cuadernos de Geografía*, 15: 47-68.

Pérez Cueva, A., Calvo, A. (1986) La distribución de las ramblas en el país valenciano: una aproximación cuantitativa. *Cuadernos de Geografía*, 38: 61-74.

Segura, F. (1990) *Las ramblas valencianas. Algunos aspectos de hidrología, geomorfología y sedimentología*. Tesis doctoral, Dpto. de Geografía, Universidad de Valencia.

No hay un amplio abanico de trabajos acerca de los ríos efímeros pero se pueden encontrar ciertos trabajos de fin de grado y de máster que tratan esta temática y además están realizados por estudiantes (NOGUERA,2016 – PEÑO,2017 – SALVADOR,2016 y VIAR,2018) que han cursado previamente los estudios de geografía en la Universidad de Zaragoza cuyos trabajos de fin de grado han sido dirigidos por personal docente perteneciente al grado de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza. A nivel nacional se encuentran algunos trabajos que citan la temática de los ríos efímeros. Uno de ellos es: “*Las avenidas torrenciales en cauces efímeros: ramblas y abanicos aluviales*” (Garzón Heydt, Ortega Becerril y Garrote Revilla,2009). De carácter internacional encontramos pocos estudios pero se puede reseñar uno de 1995 de título: “*Ephemeral rivers and their catchments: sustaining people and development in western Namibia*” (Jacobson, Jacobson y Seely,1995). Por tanto, el presente documento sirve en buena medida para completar y complementar dicha información previa de la que se dispone aunque en cualquier caso no se va a reproducir ni tratar los datos de la misma forma que los trabajos previos sino que se va avanzando sobre la base que han supuesto estos trabajos sobre los ríos efímeros en líneas generales.

1.4. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es comprobar, a partir del análisis hidrológico de varios cursos efímeros de la cuenca del Ebro, si el cambio climático está afectando al comportamiento de dichos cursos planteando la hipótesis inicial de que el cambio climático y global genera modificaciones hidrológicas en los ríos efímeros.

Los objetivos secundarios y más específicos del presente documento son los siguientes:

- Caracterizar el funcionamiento hidrológico de los pocos ríos efímeros de la cuenca que disponen de datos de aforo.
- Comprobar la respuesta hidrológica en forma de crecidas de los eventos de precipitación.

- Identificar crecidas históricas.
- Comparar el comportamiento hidrológico de los diferentes sistemas fluviales estudiados.
- Analizar la respuesta hidromorfológica de los cauces fluviales ante las crecidas.
- Valorar la peligrosidad de cada curso estudiado.
- Detectar posibles cambios evolutivos en el tiempo del funcionamiento estudiado y posibles tendencias, relacionándolo con el cambio climático.

1.5. Plan de trabajo

Para la realización de este proyecto se han seguido diferentes fases diferenciales empezando por una delimitación del área de estudio y las cuencas a seleccionar para su posterior estudio.

El siguiente paso fue localizar información de las diferentes cuencas obteniendo diferentes capas para cada una de las cuencas. También datos sobre precipitaciones e hidrología para ver el comportamiento de las diferentes cuencas estudiados.

A posteriori con toda esta información se hace un tratamiento de los datos y depuración para poder analizar los resultados obtenidos.

Por último destacan las numerosas horas de trabajo de campo realizado para cada una de las siete cuencas estudiadas que son unas 60 y también el trabajo en laboratorio para analizar los datos de campo siendo las horas realizadas estimadas de unas 12. Los días específicos de realización de trabajos de campo se concretan en los siguientes: 8 de febrero, 15 de febrero, 22 de febrero, 25 de marzo, 5 de abril y 12 de abril abarcando de forma completa 5 de las 7 cuencas realizadas en el estudio. A sí mismo, el trabajo de laboratorio de estas 5 cuencas completadas se ha desarrollado en los siguientes días: 7 de marzo, 14 de marzo, 3 de abril y 24 de abril pudiendo cubrir todos los datos y su posterior tratamiento para el desarrollo del proyecto.

2. Área de estudio

2.1. Identificación de cursos efímeros en la cuenca del Ebro

En el presente documento nos encontramos con diversidad de cursos efímeros a lo largo de la cuenca del Ebro. Concretamente se contabilizan 206 cursos efímeros traducidos en un total de 286 tramos (más de un tramo en algunos cauces efímeros) con una suma total de longitud de 428 kilómetros. En el mapa x aparecen reflejado en color rojo los diversos cursos efímeros catalogados en toda la extensión de la cuenca del Ebro.

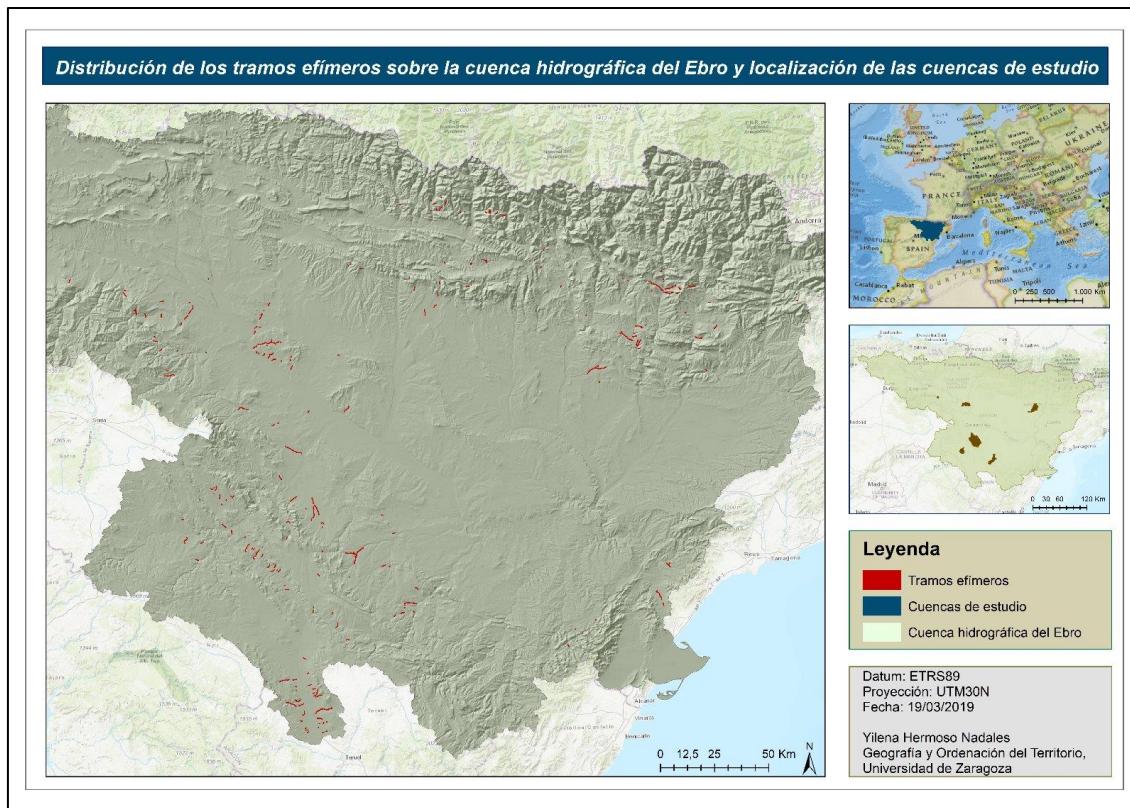


Figura 1: Distribución de los tramos efímeros en la cuenca del Ebro y localización de las siete cuencas estudiadas. Fuente: Yilena Hermoso.

2.2. Selección de casos de estudio

Se han seleccionado siete cursos efímeros de la cuenca del Ebro valorando su representatividad en el conjunto de los 206 cursos efímeros existentes en esta cuenca como se ha detallado en el epígrafe anterior. Los criterios de selección son el periodo de tiempo que permanecen sin caudal, la anchura media del cauce y la presencia en mayor o menor medida de vegetación. A continuación se presenta el mapa de localización de los siete cursos efímeros estudiados (**figura 2**).

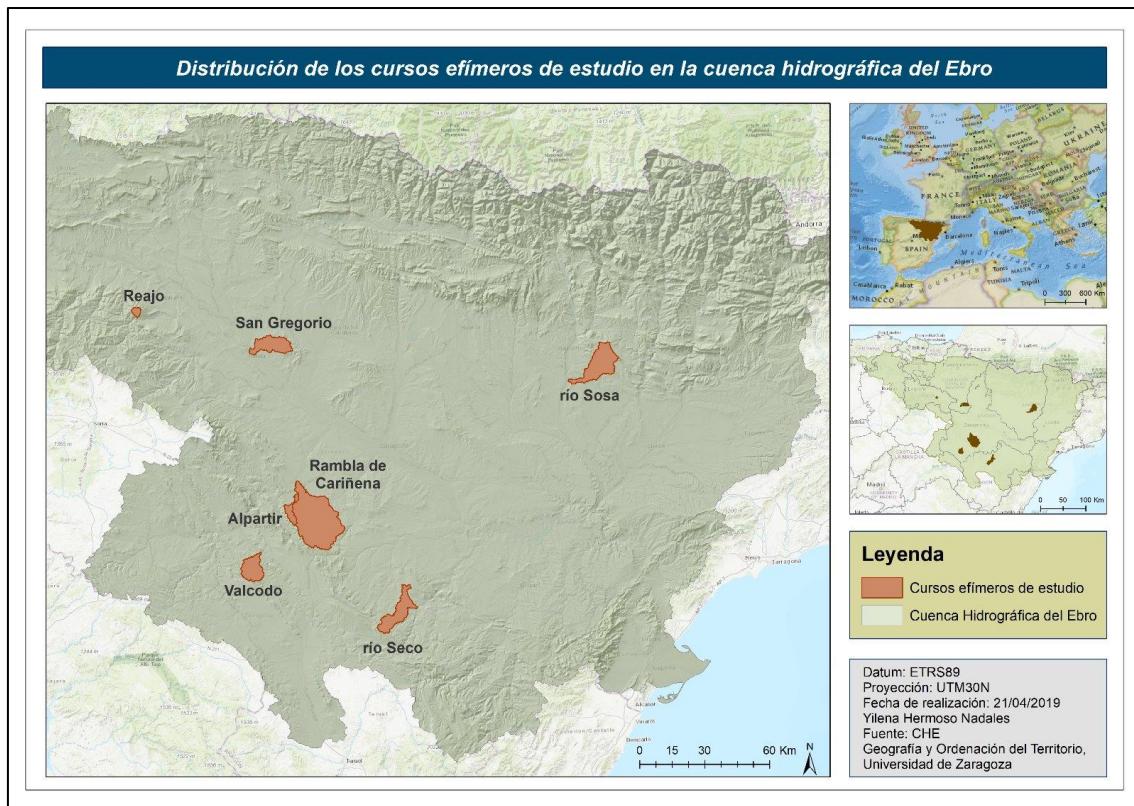


Figura 2: Localización de las siete cuencas estudiadas para la realización del proyecto. Fuente: Yilena Hermoso.

2.2.1. Localización específica de las cuencas

A continuación, se van a presentar las cartografías de cada una de las siete cuencas seleccionadas en el presente documento.

Rambla de Valcodo

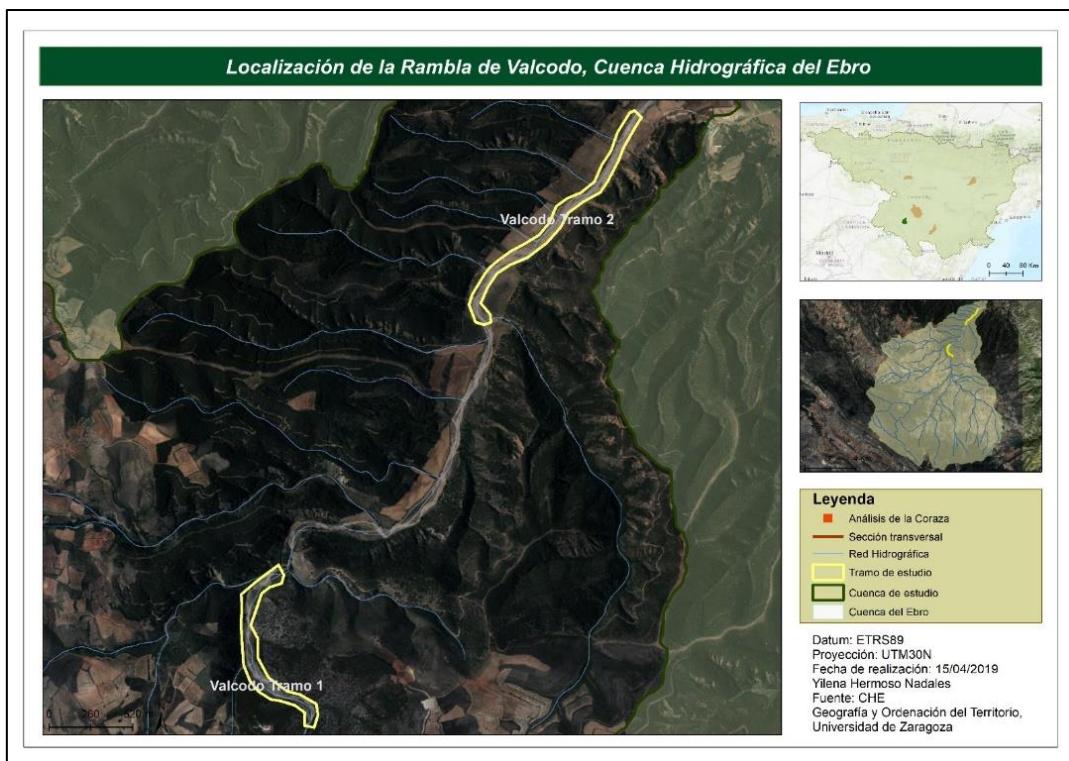


Figura 3: Mapa de localización de la Rambla de Valcodo. Fuente: Yilena Hermoso.

Rambla de Cariñena

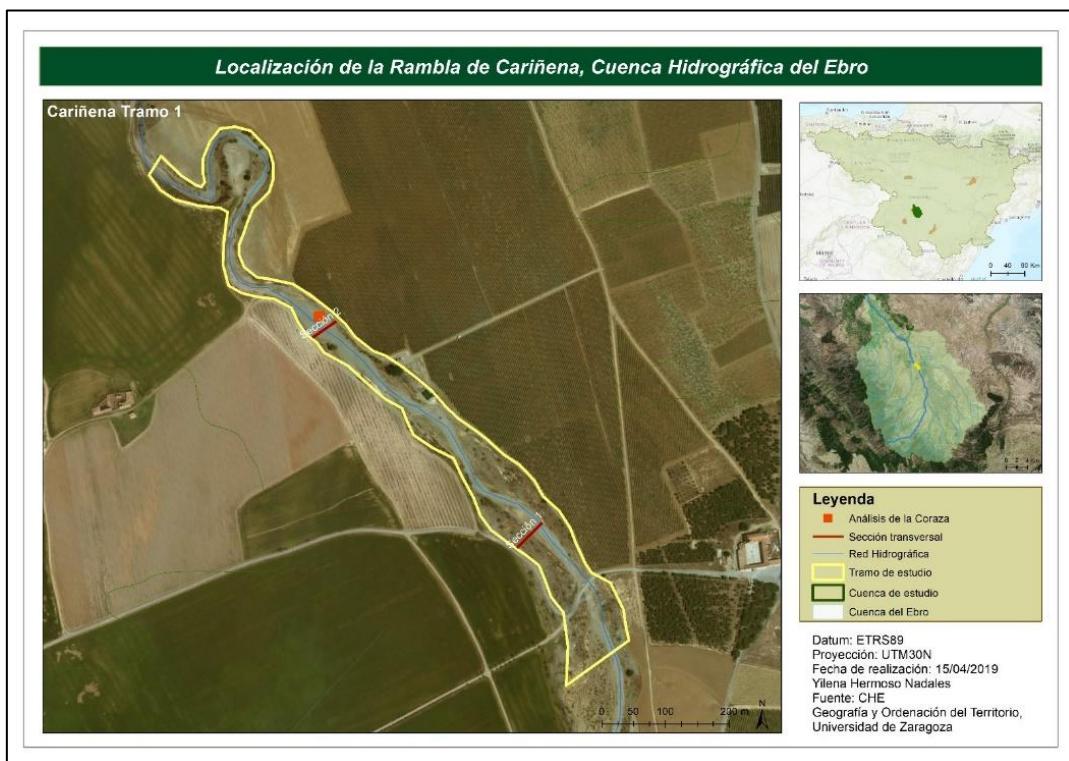


Figura 4: Mapa de localización de la Rambla de Cariñena. Fuente: Yilena Hermoso.

Barranco de Alpartir

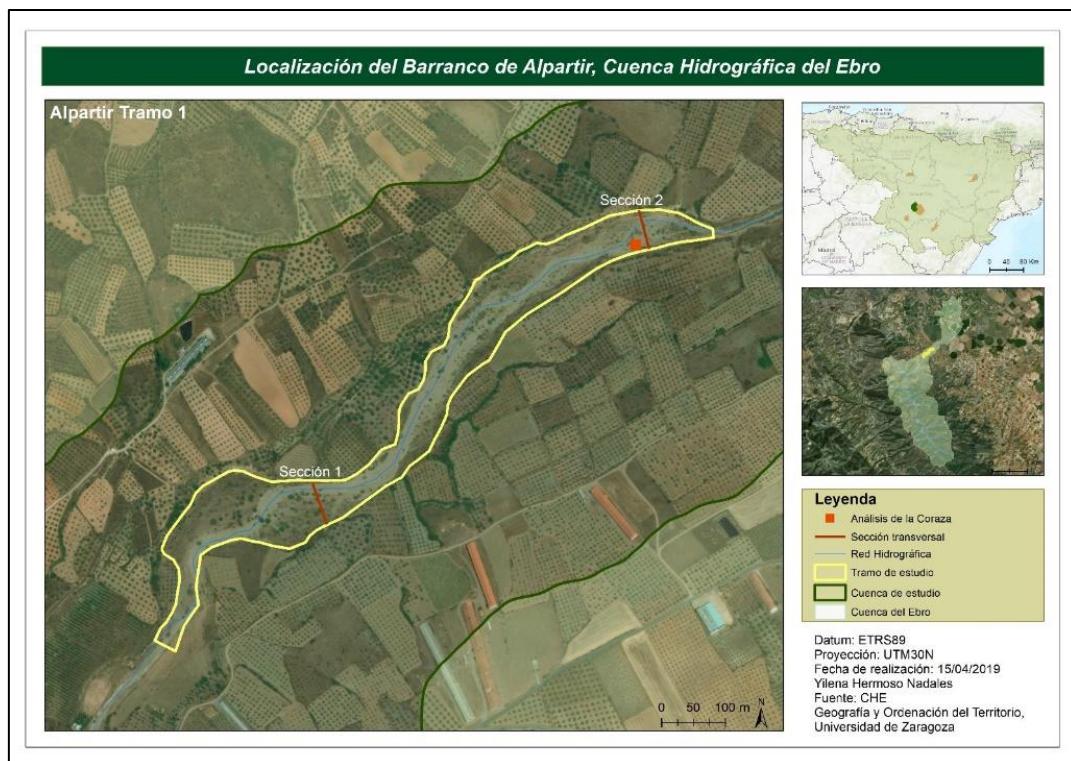


Figura 5: Mapa de localización del Barranco de Alpartir. Fuente: Yilena Hermoso.

Río Sosa

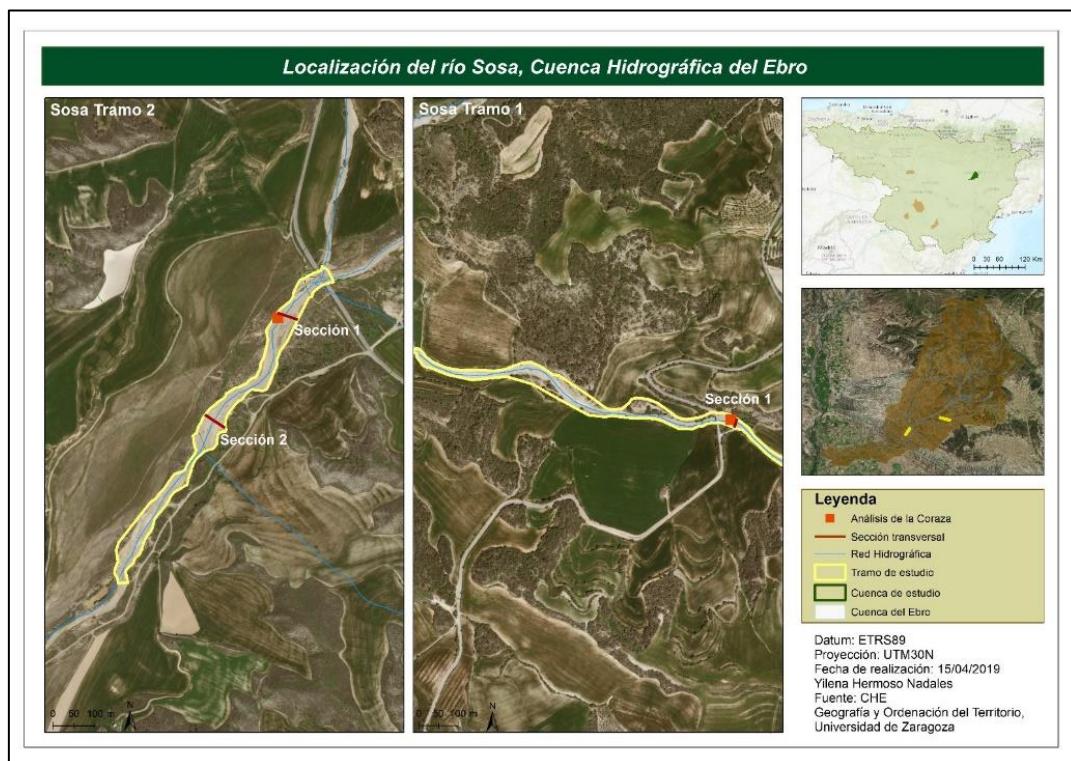


Figura 6: Mapa de localización del río Sosa. Fuente: Yilena Hermoso.

Río Seco

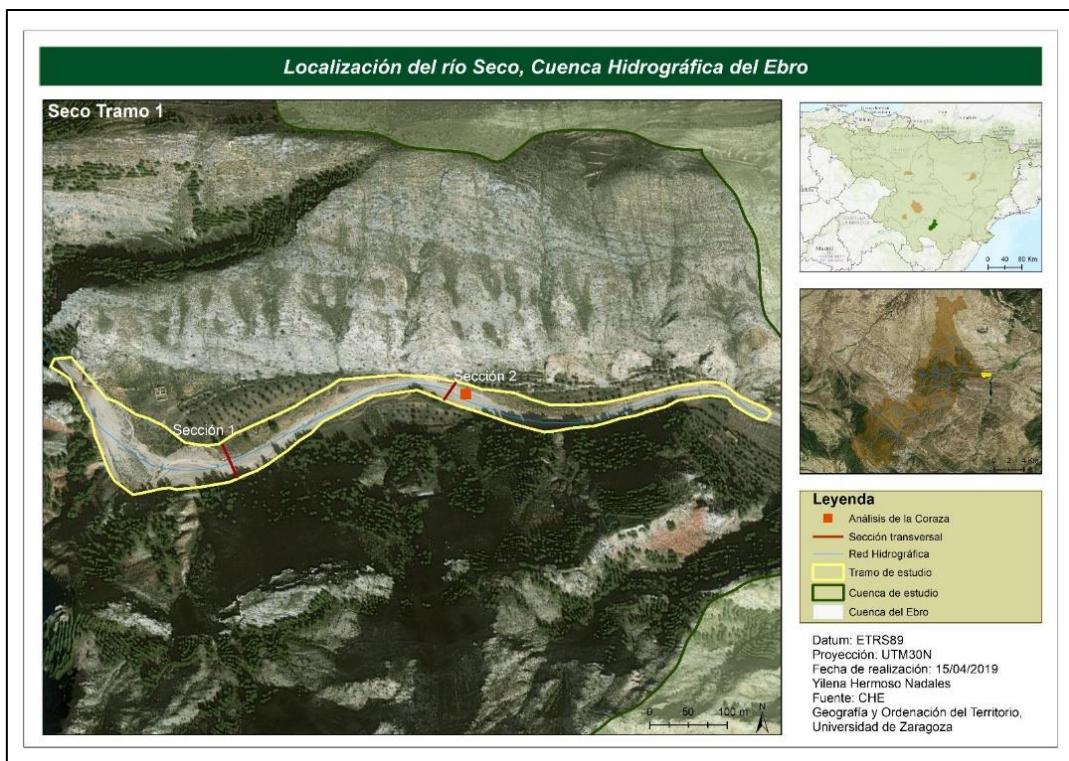


Figura 7: Mapa de localización del río Seco. Fuente: Yilena Hermoso.

Arroyo Reajo

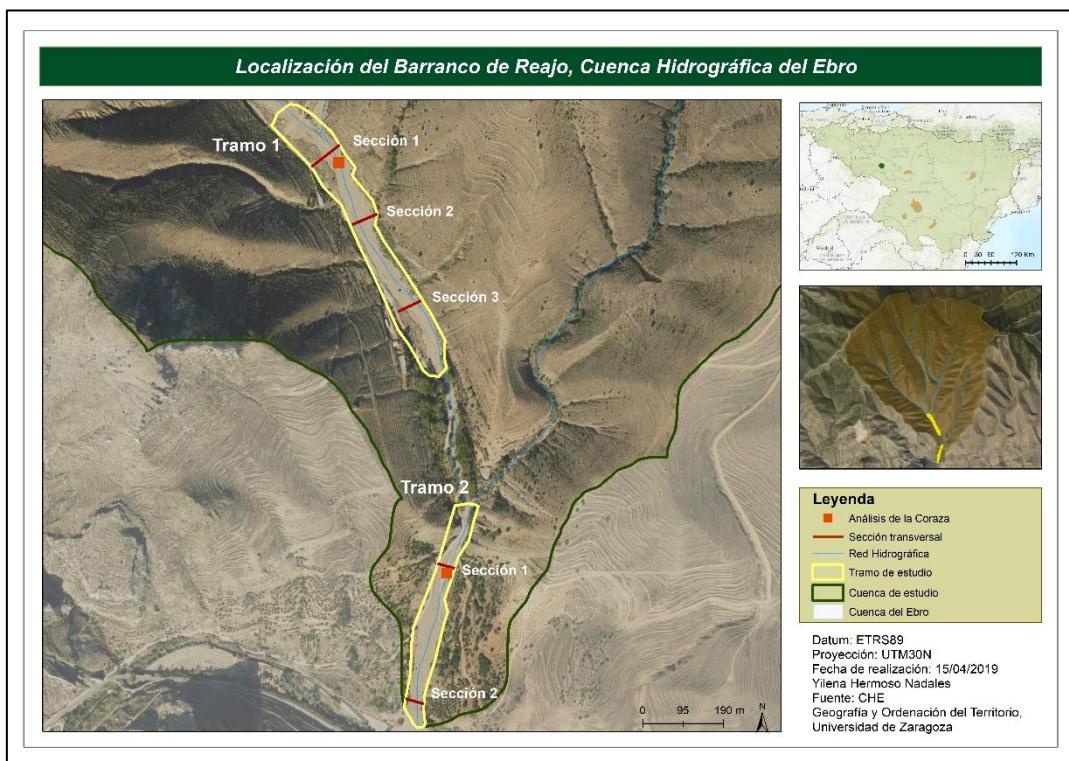


Figura 8: Mapa de localización del arroyo Reajo. Fuente: Yilena Hermoso.

Barranco de San Gregorio

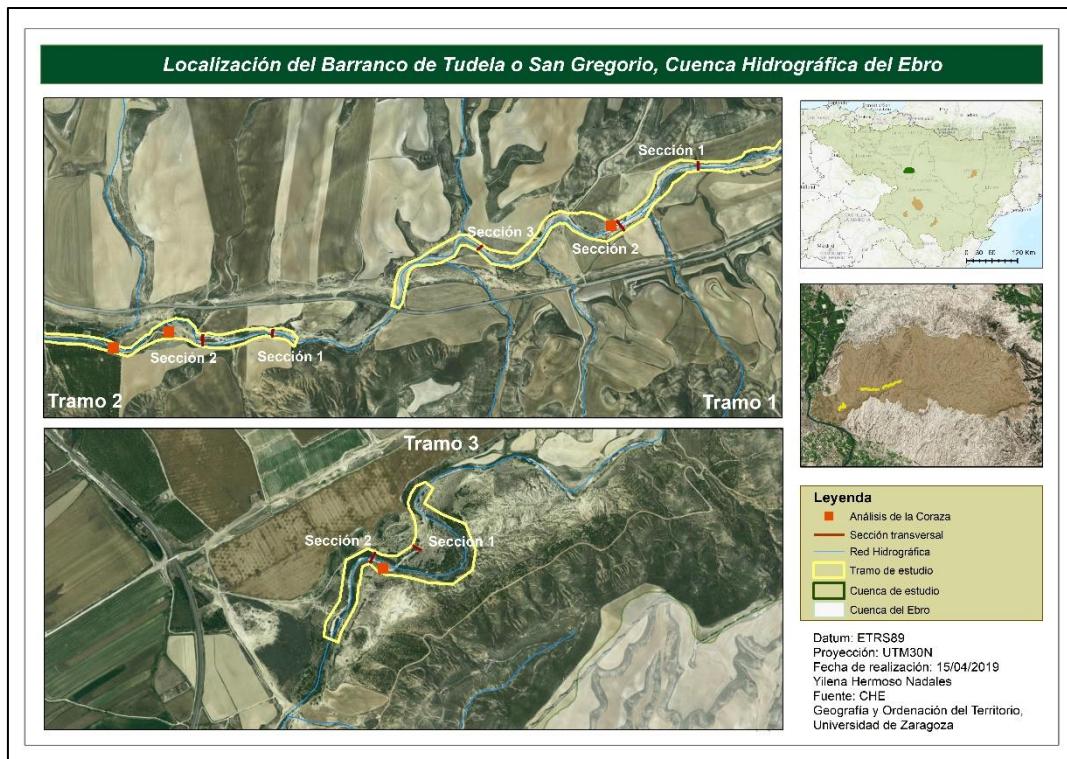


Figura 9: Localización del barranco de San Gregorio. Fuente: Yilena Hermoso

2.3. Caracterización básica de las cuencas estudiadas

A continuación se va a proceder a caracterizar de forma breve cada una de las cuencas estudiadas:

- La primera de ellas es **la rambla de Valcodo** ubicada en la comarca del Jiloca siendo afluente del río con el mismo nombre y desembocando a la altura del municipio de Fuentes de Jiloca. La superficie que atesora es de 94,84 km² con una altitud máxima de 1384 metros y una altitud mínima de 630 metros. Su altitud media es de 880 metros sobre el nivel del mar. Otros datos relevantes son: longitud: 5,8 kilómetros, anchura media: 54,8 metros y anchura máxima con 131 metros.
- La segunda cuenca efímera estudiada es **la rambla de Cariñena** ubicada en la comarca del Campo de Cariñena pasando cerca de la localidad del mismo nombre. La superficie es superior a la de la cuenca de Valcodo con un valor aproximado de 403 km² siendo su altitud máxima de 1272 metros y su altitud mínima de 340 metros. Su altitud media es de 726 metros sobre el nivel del mar. Otros datos importantes son: longitud: 9,1 kilómetros, anchura media: 41,8 metros y anchura máxima de 157 metros.
- Otra de las diversas cuencas empleadas en el proyecto es **el río Sosa** teniendo este tres tramos catalogados para su estudio. Su valor de superficie ronda los 180 km² con una altitud máxima de 1064 metros sobre el nivel del mar y una altitud mínima en su tramo más bajo de 250 metros. Su valor altitudinal medio es de 586 metros. Otros datos de

relevancia son: longitud: 7,24 kilómetros, anchura media: 28,8 metros y anchura máxima: 52 metros.

- La cuarta cuenca y también ubicada en territorio aragonés es **el río Seco** afluente del río Martín a la altura del municipio turolense de Oliete. Los datos básicos que permiten caracterizar esta cuenca son los siguientes: superficie: 132,2 km², cota máxima: 1268 metros, cota mínima: 533 metros y cota media: 866 metros sobre el nivel del mar. Otros datos relevantes de este curso efímero son: longitud: 11,53 kilómetros, anchura media: 28,9 metros y anchura máxima de 165 metros.
- La última cuenca que entra dentro del territorio aragonés es la que hace referencia al **barranco de Alpartir** próximo a la anteriormente mencionada rambla de Cariñena. Sus principales características son sus 36,9 km² de superficie total, una altitud máxima de 1207 metros sobre el nivel del mar y una altitud mínima de 365 metros. Su altitud media ronda los 757 metros sobre el nivel del mar. Otros datos importantes de este curso son: longitud: 3,6 kilómetros, anchura media: 31,9 metros y anchura máxima de 76 metros.
- Entrando ya en las dos últimas cuencas efímeras estudiadas en el proyecto se ubican en dos comunidades autónomas diferentes. La primera de ellas (**Reajo**) se encuentra en la Rioja y la segunda (**Barranco de San Gregorio**) está ubicada en la Comunidad Foral de Navarra. La primera de ellas presenta las siguientes características básicas: superficie de 13,8 km², altura máxima de 1384 metros y una altura mínima de 637 metros. Su elevación media es de 1024 metros. Otros datos de relevancia del Arroyo Reajo son: longitud: 1,1 kilómetros, anchura media: 34,6 metros y anchura máxima de 60 metros.

La segunda cuenca (**Barranco de San Gregorio**) presenta estas características básicas: superficie de 110,4 km², una altitud máxima de 644 metros y una altitud mínima de 248 metros. Su altitud media es de 404 metros sobre el nivel del mar. Otros datos de relevancia de esta cuenca son: longitud: 13,97 kilómetros, anchura media: 33,23 metros y anchura máxima de 219 metros.

Número	Efímeros	Tramo	Coraza	Muestras	Coraza (mm)	Peso total muestras (g)
1	Alpartir	Tramo 1 - Sección 2	Granulometría 1	212	57,28	55951
2	Cariñena	Tramo 1 - Sección 2	Granulometría 1	44	68,75	70066
3	Reajo	Tramo 1 - Sección 1	Granulometría 1	423	43,46	191111
3	Reajo	Tramo 2 - Sección 1	Granulometría 1	639	32,33	150503
3	Reajo	Tramo 2 - Sección 2	Granulometría 2	1028	33,29	105999
4	Seco	Tramo 1 - Sección 2	Granulometría 1	90	43,83	10893
5	Sosa	Tramo 1 - Sección 1	Granulometría 1	102	19,01	14256
5	Sosa 2_1	Tramo 2 - Sección 1	Granulometría 1	176	18,59	13563
5	Sosa 2_2	Tramo 2 - Sección 2	Granulometría 2	191	22,11	21045
6	Tudela	Tramo 1 - Sección 2	Granulometría 1	1178	17,27	14271
6	Tudela	Tramo 2 - Sección 2	Granulometría 1	65	26,33	66585
6	Tudela	Tramo 2 - Sección 2	Granulometría 2	108	41,87	135760
6	Tudela	Tramo 3 - Sección 2	Granulometría 1	1118	26,60	44741
7	Valcodo 1	Tramo 1 - Sección 1	Granulometría 1	52	68,74	60110
7	Valcodo 2	Tramo 2 - Sección 2	Granulometría 1	47	47,31	39428

Tabla 1: Caracterización de las cuencas en relación con la coraza. Fuente: Yilena Hermoso a partir de trabajo realizado en campo.

3. Metodología

3.1. Identificación y selección de casos de estudio

Se han seleccionado 7 cuencas para el presente proyecto, localizándose 5 en territorio aragonés (Valcodo, Sosa, Seco, Alpartir y Cariñena) una en La Rioja (Reajo) y otra en la Comunidad Foral de Navarra (Barranco de San Gregorio). Se han desestimado el río Pena y dos afluentes de la rambla de Cariñena por falta de presupuesto (Cosuenda y Aguarón), aunque sí se mantienen en el análisis hidrológico al contar con datos disponibles. Estas cuencas seleccionadas se han basado en criterios de representatividad respecto del resto de ríos efímeros de la cuenca del Ebro.

3.2. Fuentes y tratamiento de datos de precipitación y de caudal

Estas estaciones de aforo disponibles se encuentran para el río Seco, Sosa y Pena. Para el río Seco tenemos datos por medio de la estación de aforo localizada en el término municipal de Oliete. Para el río Sosa se cuenta con tres estaciones de aforo (Sosa en Peralta de la Sal, Sosa en Azanuy y Sosa en Monzón). Para el río Pena se cuenta con dos estaciones de aforo ubicadas en los municipios de Valderrobres y Beceite. En este documento el estudio se va a centrar en el aspecto hidrológico y de precipitaciones y evaluar como el cambio climático afecta a estos aspectos. Los criterios de selección de estas cuencas se han basado en la representatividad respecto a lo que se entiende por río efímero en el global de la cuenca del Ebro.

Para los datos hidrológicos se cuenta con datos quincenuales proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Ebro pero no para todas las cuencas de estudio. También se han utilizado datos diarios para tener una serie de años más amplia de la que proporcionan los datos quincenuales. Estos datos son utilizados para realizar hidrogramas y catalogar diversas crecidas existentes en las cuencas de estudio. En el apartado de crecidas se va a proceder al análisis de los períodos de retorno por medio del ajuste de Gumbel, poniendo fecha a las crecidas más importantes de las que existen registros. Hay que destacar que de los datos hidrológicos disponibles (los aforos mencionados anteriormente) no se ha podido realizar en todos los casos este ajuste por falta de datos representativos en cuanto a número se refiere (inferiores a 10 datos). Estos aforos son Cosuenda y Aguarón que contaban con muestras de tan solo 7 datos de caudal máximo instantáneo. En otros casos (Sosa en Azanuy y Sosa en Monzón) tampoco se ha podido realizar el pertinente análisis de Gumbel al tratarse de datos de nivel medio diario de agua y no ser datos máximos instantáneos. En este apartado de crecidas también se incluyen informes sobre ciertas crecidas históricas y de las cuales se puede encontrar información disponible (Sosa, 2006 – Seco, 2013 – Pena, 2000 – San Gregorio, 2004 – Reajo, 2015).

En relación con los datos de precipitación, permiten en buena medida poder catalogar crecidas que no hayan sido encontradas en las series de datos trabajadas. Los datos no proceden de estaciones de aforo pero se ha realizado una interpolación a partir de una malla de puntos y el valor obtenido para cada cuenca de estudio es algo aproximado. Esta malla de puntos ha sido aportada por el investigador Roberto Serrano, que forma parte del equipo del proyecto CCAMICEM, y que trabajó esta malla en su tesis doctoral: Serrano, R. (2017) Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: ensayo metodológico y aplicaciones. Universidad de Zaragoza. Se emplea un umbral de 50 mm/día como mínimo para considerar que existe caudal en las diversas cuencas, detectando una serie de días en los cuales se supera dicho umbral y se catalogan posibles crecidas.

Es importante recalcar que no se han podido encontrar datos de caudal para todas las estaciones de aforo por lo que se han realizado una serie de trabajos en cuencas como la rambla de

Cariñena para monitorizar datos de nivel del agua y ver si en este corto lapso de tiempo tiene lugar alguna crecida u otra.

3.3. Trabajos de campo

A su vez se ha realizado trabajo de campo de las cuencas *in situ* para conocer las peculiaridades de cada una y permitir una mejor caracterización y estudio de las mismas. Se han recogido datos sobre las secciones transversales, datos de granulometría, así como la coraza y subcoraza para comprobar y valorar la importancia de los sedimentos depositados por crecidas históricas. También se han recopilado datos relacionados con la pendiente de cada uno de los tramos y se han recogido datos de los cinco clastos más grandes en algunos cursos fluviales que son indicadores en buena medida de la magnitud de las crecidas que tienen lugar en estos cursos efímeros explicados. En este apartado es importante también mencionar la colocación de tres placas de impactos en los cursos efímeros de Cariñena y San Gregorio para medir la posibilidad de contar con caudales y también ver si existe movilidad de sedimentos durante el momento en el que tienen lugar las crecidas.

3.4. Trabajos de análisis e interpretación

Todos los datos, hidrológicos proporcionados en CHE (Confederación Hidrográfica del Ebro) tanto como los de precipitación y los obtenidos en campo se han procesado y depurado con el software Microsoft Excel y para su análisis y representación se han realizado diversas cartografías y gráficos intuitivos que permiten analizar dichos datos y sacar las pertinentes conclusiones de este estudio. A su vez se han realizado varias tablas para poder sintetizar de forma más clara la información y poder resumir aspectos hidrológicos en lugar de sobrecargar el proyecto con un número elevado de gráficos.

4. Resultados

Los resultados que se van a exponer a continuación hacen referencia en buena parte sólo a aquellas cuencas de las que se disponen datos de aforo proporcionados por la Confederación Hidrológica del Ebro. Antes de realizar un análisis de las cuencas se muestran diversas imágenes de algunas de las estaciones de aforo de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) que han proporcionado los datos necesarios para el proyecto.



Figuras 10 y 11: Estación de aforo del río Seco en Oliete. Fuente: Elaboración propia.



Figuras 12 y 13: Estación de aforo del río Sosa en Peralta de la Sal. Fuente: Elaboración propia.



Figuras 14 y 15: Estación de aforo del río Sosa en Azanuy. Fuente: Elaboración propia.



Figuras 16 y 17: Estación de aforo del río Sosa en Monzón. Fuente: Elaboración propia.

4.1. Análisis de precipitaciones

A continuación se va a proceder a analizar las precipitaciones de las siete cuencas estudiadas en base al orden establecido para la caracterización de las cuencas del apartado 2.3.

Rambla Valcodo

Los datos disponibles van del año 1950 hasta el año 2012. Lo que se ha calculado es un umbral de precipitaciones para determinar la posibilidad de catalogar diversas crecidas (50 mm/día) que se realiza para el resto de cuencas restantes. En base a este umbral podemos observar tan solo 7 días de toda la serie de datos que superan dicho umbral. Esto es indicativo de que estamos en un área que no destaca por su carácter pluvioso, con un máximo de precipitación de toda la serie de datos de 65,98 mm/día. Por medio de un diagrama se puede observar la distribución de la precipitación a lo largo de este amplia serie de datos. La mayor parte de los días observamos valores pluviométricos de 0 mm/día.

Datos Valcodo	
fecha	Precipitación mm/día
31/05/1979	65,98
02/06/1954	59,37
13/10/1960	58,28
25/05/1956	57,67
28/11/1961	52,26
22/12/1958	50,79
04/09/2003	50,74

Tabla 2: Registros superiores a 50 mm/día de la rambla de Valcodo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Rambla de Cariñena

Estableciendo el umbral de precipitación de 50 mm/día nos encontramos con un caso similar a la rambla de Valcodo. Estamos en un área al piedemonte del Sistema Ibérico caracterizada por presentar precipitaciones irregulares y de escasa entidad. Tan solo encontramos 7 registros de toda la serie de datos que presentan registros superiores a 50 mm/día. Si bajamos el umbral a 40 mm/día crece este número pero en cualquier caso se cuentan solo 22 registros del total de la serie. El máximo de precipitación registrado data de mayo de 1979 con un valor pluviométrico de 70,56 mm/día siendo muy similar a Valcodo.

Datos Cariñena	
fecha	Precipitación mm/día
31/05/1979	70,56
23/10/2000	60,74
08/05/2002	60,22
20/09/1972	55,75
13/11/1984	53,11
13/10/1960	52,21
26/07/1999	51,79

Tabla 3: Registros superiores a 50 mm/día de la rambla de Cariñena. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Río Sosa

En este curso efímero ubicado en la provincia de Huesca (a diferencia de los dos anteriores) nos encontramos que estableciendo al igual que en los dos cursos anteriores un umbral de 50 mm/día, obtenemos 32 registros que superan dicho umbral. Esto es sintomático respecto a los dos cursos anteriores. Nos encontramos en un área con una mayor pluviosidad exponencial y con un máximo de precipitación que data de junio de 1966 con un valor cercano a los 125 mm/día.

Datos Sosa	
fecha	Precipitación mm/día
09/06/1966	124,8
01/09/1960	80,02
09/06/2000	79,99
05/08/1963	75,44
08/11/1966	73,43
21/03/1974	72,32
07/06/1960	71,38
12/05/1980	66,91
06/08/1956	63,7
03/09/1972	62,73
05/06/1964	62,19
17/10/1988	60,33
24/12/1973	58,67
23/08/1982	58,27
05/06/1973	58,12
06/06/1960	57,89
26/03/1960	57,55
09/10/1994	56,82
14/06/1972	56,13
27/08/1982	55,88
07/05/1970	53,53
06/07/1958	53,27
05/12/1960	52,9
19/09/1959	52,55
01/05/1992	52,14
29/08/1968	51,73
18/10/1988	51,64
04/04/1969	51,38
05/08/1956	51,27
29/04/2001	51,26
15/09/1974	50,89
11/06/1990	50,04

Tabla 4: Registros superiores a 50 mm/día del río Sosa. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Río Seco

Este curso efímero afluente del río Martín en el municipio turolense de Oliete presenta 11 registros que superan los 50 mm/día. No es un área especialmente lluviosa como se puede comprobar y también se refleja en el mayor dato registrado de toda la serie de datos. La mayor precipitación registrada se dio en octubre del año 2000 con un valor de 65 mm/día.

Datos Seco	
fecha	Precipitación mm/día
23/10/2000	65,08
06/05/2003	63,97
14/10/1962	62,31
05/06/1998	60,45
07/01/1977	59,44
30/03/1989	59,37
23/08/2002	58,89
13/03/1975	57,14
22/10/1982	53,69
14/10/1957	52,52
08/05/2002	50,61

Tabla 5: *Registros superiores a 50 mm/día del río Seco. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.*

Barranco de Alpartir

Ubicado en el mismo sector que la rambla de Cariñena. Esta cuenca de reducidas dimensiones presenta 15 registros superiores a 50 mm/día. Esta notoria diferencia respecto a la rambla de Cariñena es debida a la proximidad a la sierra de Algairén y por tanto una mayor precipitación en su conjunto. De hecho el dato de máxima precipitación es 98,38 mm/día en julio de 1999.

Datos Alpartir	
fecha	Precipitación mm/día
26/07/1999	98,38
15/03/2011	82,09
30/06/1978	66,51
31/05/1979	63,7
25/05/1956	57,73
15/10/1961	57,68
26/06/1972	57,42
20/04/1997	56,44
12/03/1954	55,53
23/10/2000	53,2
08/05/2002	52,42
14/10/1962	51,61
13/08/1972	51,48
18/04/1997	51,02
20/09/1972	50,68

Tabla 6: *Registros superiores a los 50 mm/día del barranco de Alpartir. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.*

Arroyo Reajo

Este curso efímero está ubicado en la comunidad de La Rioja siendo afluente del río Cidacos a la altura de la localidad de Arnedillo. Está en una zona montañosa y tiene reflejo en sus registros pluviométricos. Presenta 25 registros superiores a los 50 mm/día destacando por encima del resto el acontecido en mayo de 2003 con 132 mm/día que tuvo que suponer una fuerte crecida de este arroyo.

Datos Regajo	
fecha	Precipitación mm/día
06/05/2003	131,99
04/06/1990	86,6
11/08/2000	84,89
04/07/1952	81,21
05/06/1998	81,04
12/04/2007	72,2
14/10/1953	70,78
01/06/1992	70,1
16/07/1951	69,8
28/08/1955	68,96
15/10/1953	67,26
03/06/1954	64,04
21/09/1972	60,26
18/07/1999	59,76
21/03/1974	58,83
02/11/2008	57,53
06/07/2004	55,61
15/10/1961	54,21
14/05/1984	54,04
03/09/2003	53,39
10/05/1975	53,34
15/05/1954	51,55
12/04/1991	51,22
29/07/1960	50,33
23/06/1988	50,16

Tabla 7: Registros superiores a los 50 mm/día del arroyo Reajo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Barranco de San Gregorio

El último curso efímero que se va a analizar en este subapartado. Ubicado próximo a Tudela en la Comunidad Foral de Navarra cuenta con solo 7 registros superiores a los 50 mm/día. El ámbito en el que se encuentra (depresión del Ebro) y su amplia llanura son un claro síntoma de esta escasez pluviométrica. En cualquier caso destaca su importante registro de casi 93 mm/día registrado el mes de septiembre de 2004 que probablemente derive por la fecha de una intensa tormenta en la zona.

Datos Tudela	
fecha	Precipitación mm/día
06/09/2004	92,84
08/11/1967	67,31
14/10/1953	59,82
18/10/1977	54,85
28/11/1968	54,56
20/03/1974	53,42
26/09/1992	51,79

Tabla 8: Registros superiores a los 50 mm/día del barranco de San Gregorio. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano

4.1.1. Análisis de períodos de retorno de las precipitaciones

A continuación se van a presentar los períodos de retorno de las diferentes cuencas analizadas en relación con la precipitación. Lo que se ha calculado es la precipitación máxima anual en mm/día y se ha procedido a calcular el periodo de retorno de la máxima precipitación registrada en la serie de datos desde 1950 hasta 2012.

Rambla Valcodo

Como se puede ver, el periodo de retorno para la máxima precipitación registrada (65,98 mm/día) es de 49,79 años (**tabla 9**). Esto aparece reflejado en la gráfica de abajo (**figura 18**). Lo que significa este periodo de retorno de 49,79 años, es que cabría esperar que una precipitación de 65,98 mm/día tuviera lugar cada 50 años aproximadamente. Yendo más allá la probabilidad de que se de esta precipitación cada año es de 1/49,79.

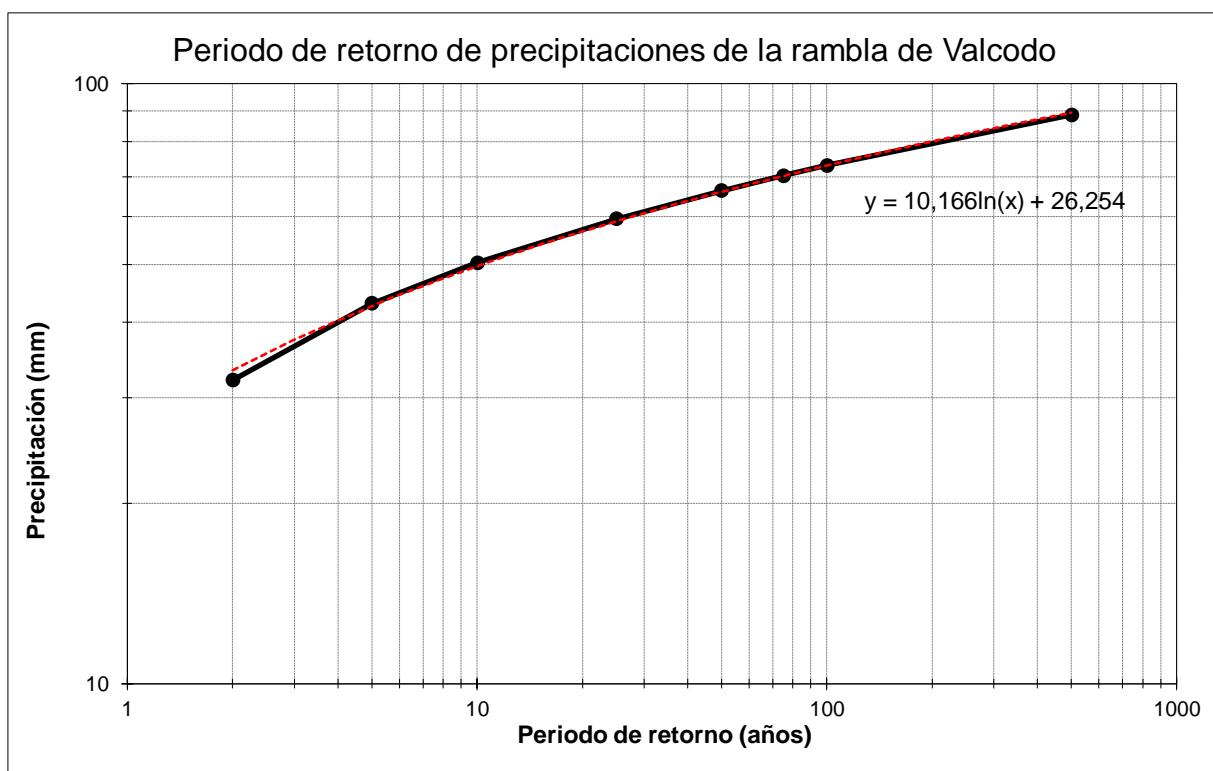


Figura 18: Curva del periodo de retorno de precipitaciones de la rambla de Valcodo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Precipitación (y) (mm/día)	
	65,98
fecha	1979
Periodo retorno (x) (años)	
	49,79

Tabla 9: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente de la Rambla de Valcodo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Rambla de Cariñena

Para este curso efímero se puede apreciar que el periodo de retorno para la máxima precipitación registrada (70,56 mm/día) es de 67,66 años (**tabla 10**). Esto aparece reflejado en la gráfica presente abajo (**figura 19**). Analizando este resultado vemos que una precipitación de esta magnitud cabría esperar que tuviese lugar cada 67,66 años aproximadamente. Yendo más allá en el análisis, la probabilidad de que cada año tuviera lugar una precipitación de 70,56 mm/día es de 1/periodo de retorno que en este caso es de 67,66 años.

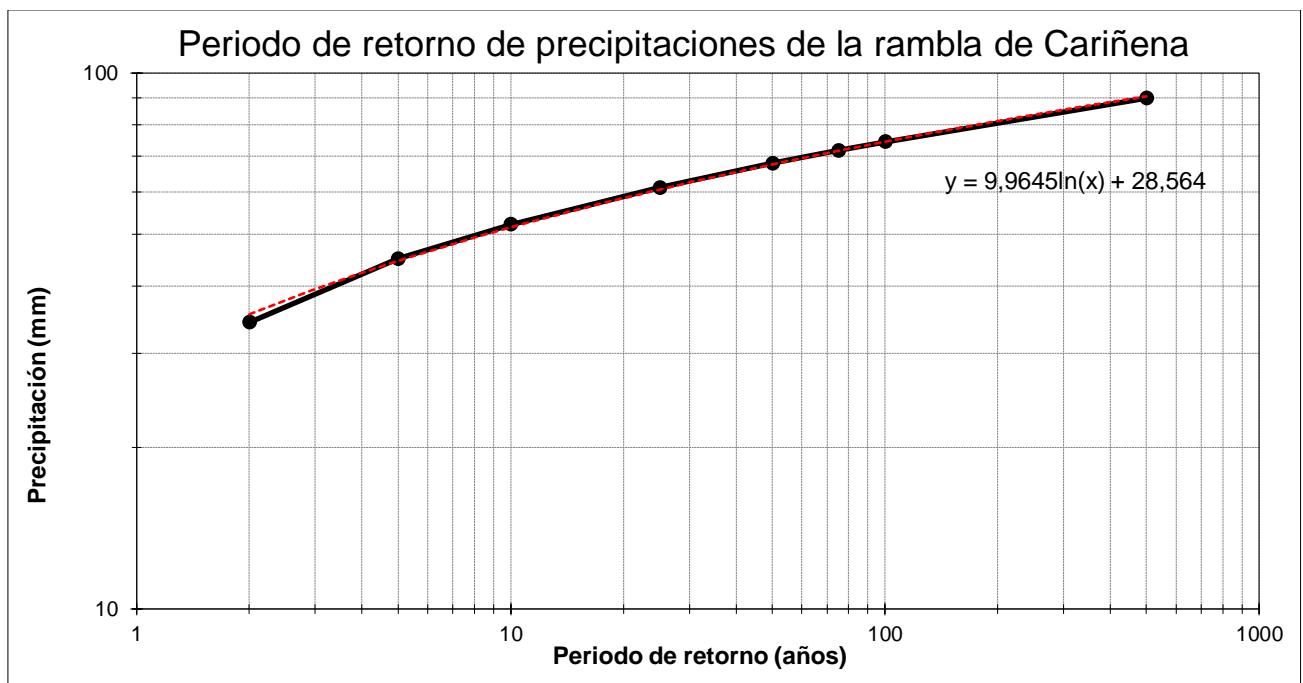


Figura 19: Curva del periodo de retorno de precipitaciones de la rambla de Cariñena. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Precipitación (y) (mm/día)
70,56
fecha 1979
Periodo retorno (x) (años)
67,66

Tabla 10: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente de la rambla de Cariñena. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Río Sosa

Analizando los resultados del cálculo de periodo de retorno de este curso efímero, obtenemos un periodo de retorno de 407,1 años para la máxima precipitación registrada (124,8 mm/día) (**tabla 11**). Esto aparece reflejado en la gráfica inferior (**figura 20**). Entrando más en profundidad cabría esperar que esta precipitación registrada tuviera lugar aproximadamente cada 407 años aunque no deja de ser un modelo. Otra interpretación es la probabilidad de ocurrencia de que una precipitación de estas características tuviera lugar cada año. La probabilidad sería 1/periodo de retorno que en este caso es: 1/407,1.

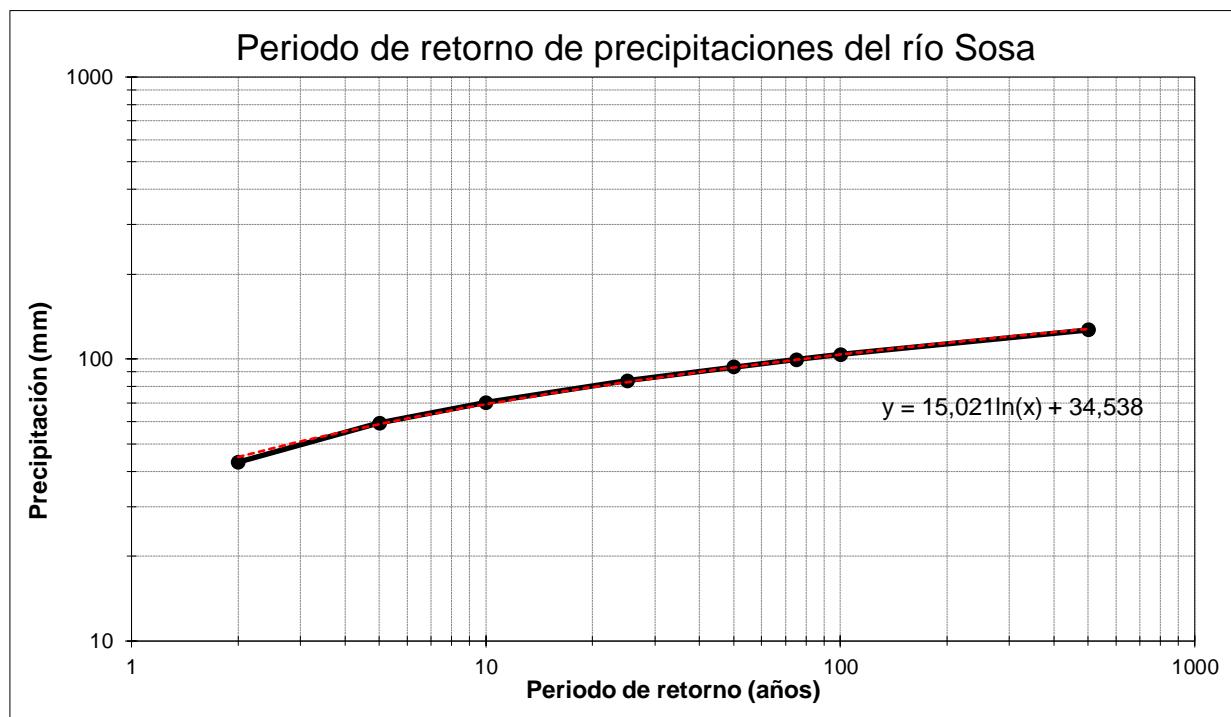


Figura 20: Curva del periodo de retorno de precipitaciones del río Sosa. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Precipitación (y) (mm/día)
124,8
fecha 1966
Periodo retorno (x) (años)
407,10

Tabla 11: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente del río Sosa. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Río Seco

Como se puede observar, para la máxima precipitación registrada en la cuenca de este río efímero (65,08 años) nos encontramos con un periodo de retorno de 23,41 años (**tabla 12**). Esto aparece reflejado en la gráfica correspondiente (**figura 21**). El análisis principal que se puede hacer de este resultado es que para volver a repetirse una precipitación de esta magnitud tienen que pasar unos 23,41 años aproximadamente. También se puede destacar que la probabilidad de que cada año se de esta misma precipitación es de 1/periodo de retorno siendo en este caso 1/23,41.

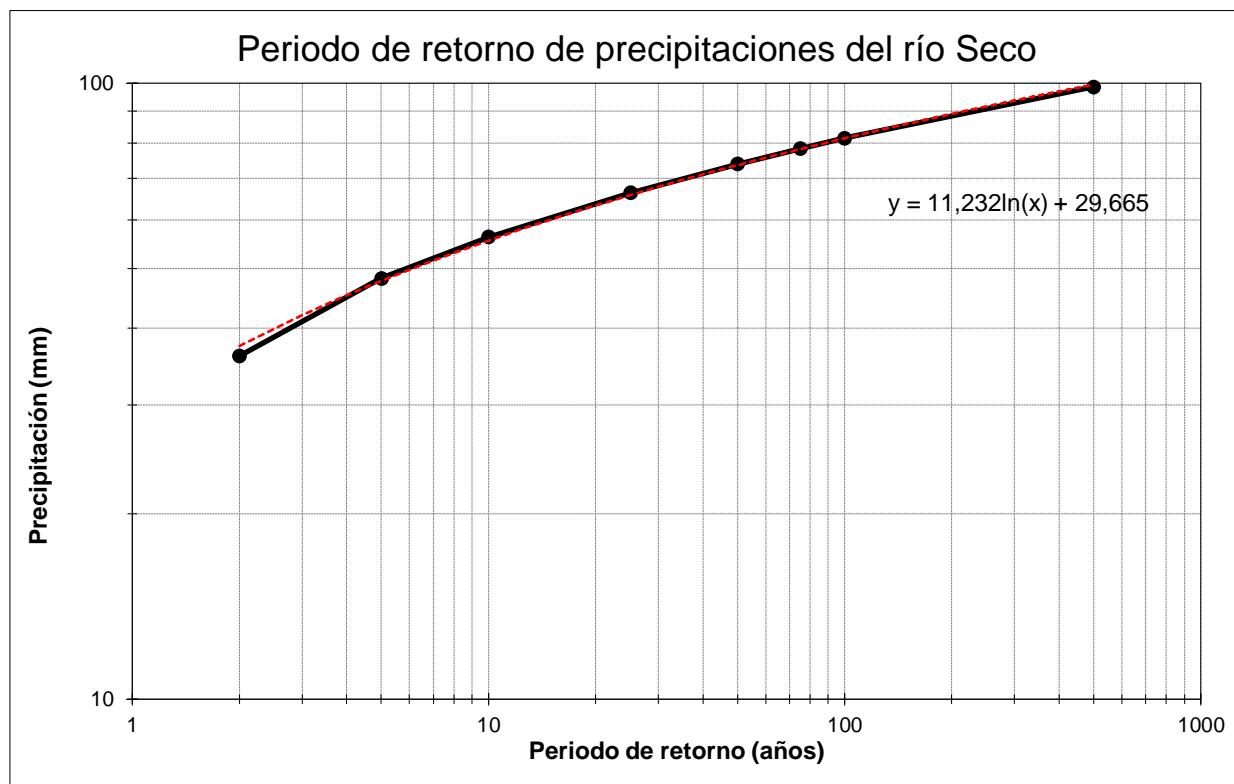


Figura 21: Curva del periodo de retorno de precipitaciones del río Seco. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Precipitación (y) (mm/día)
Periodo retorno (x) (años)
65,08
fecha 2000
23,41

Tabla 12: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente del río Seco. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Barranco de Alpartir

Aquí se puede apreciar el periodo de retorno para la máxima precipitación registrada (98,38 mm/día) del barranco de Alpartir (**tabla 13**). A continuación aparece el gráfico con la curva del periodo de retorno de precipitaciones para esta cuenca (**figura 22**). Lo que se observa es que para esa precipitación máxima registrada nos encontramos con un periodo de retorno de 206,27 años, es decir, la norma general establece que para que pueda producirse una precipitación de similares características deberían de pasar 206,27 años. Analizando la probabilidad de que cada año pudiera darse esta misma precipitación nos encontramos con que sería 1/periodo de retorno, siendo en este caso 1/206,27.

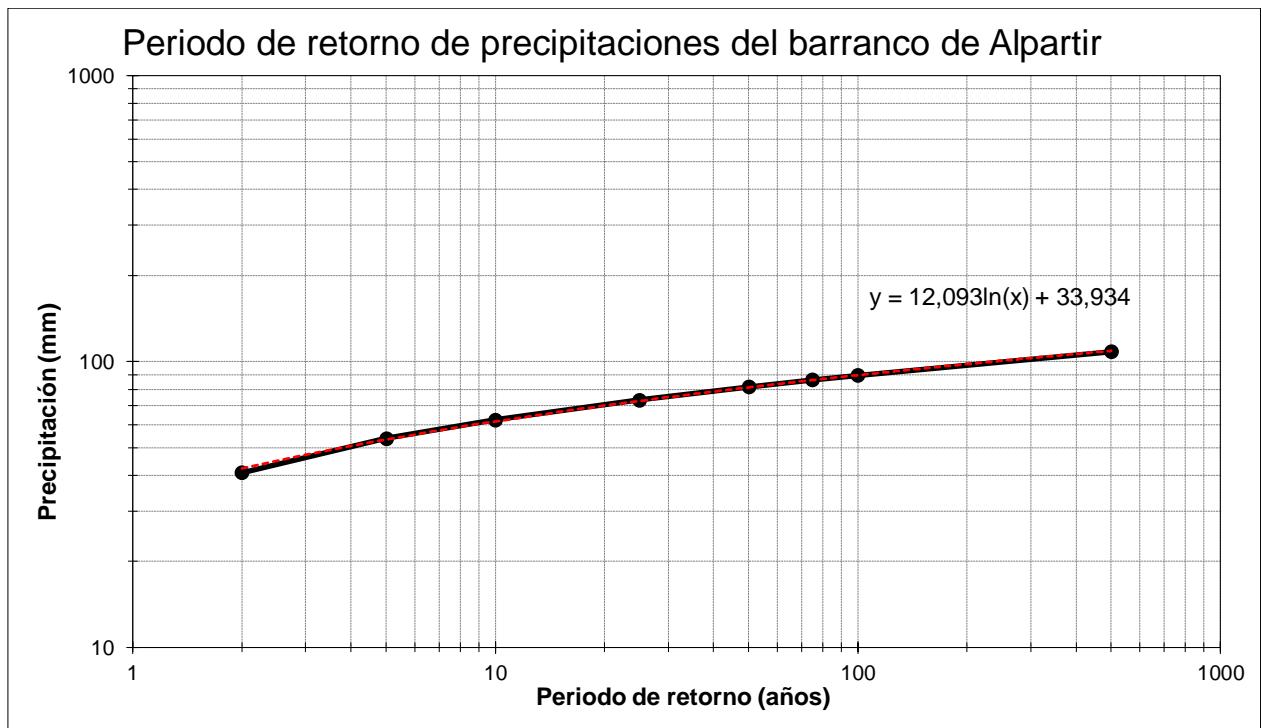


Figura 22: Curva del periodo de retorno de precipitaciones del barranco de Alpartir. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Precipitación (y) (mm/día)
98,38
fecha 1999
Periodo retorno (x) (años)
206,27

Tabla 13: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente del barranco de Alpartir. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Arroyo Reajo

Tras realizar los pertinentes cálculos se obtienen los siguientes resultados. Como se puede apreciar, el periodo de retorno para la máxima precipitación registrada (131,99 mm/día) es de 216,97 años (**tabla 14**) (**figura 23**). Esto quiere decir que para volver a registrar un dato similar de precipitación tendrían que pasar 216,97 años. La probabilidad de que cada año se produzca esta precipitación es 1/periodo de retorno por lo que obtendríamos una probabilidad de 1/216,97 años.

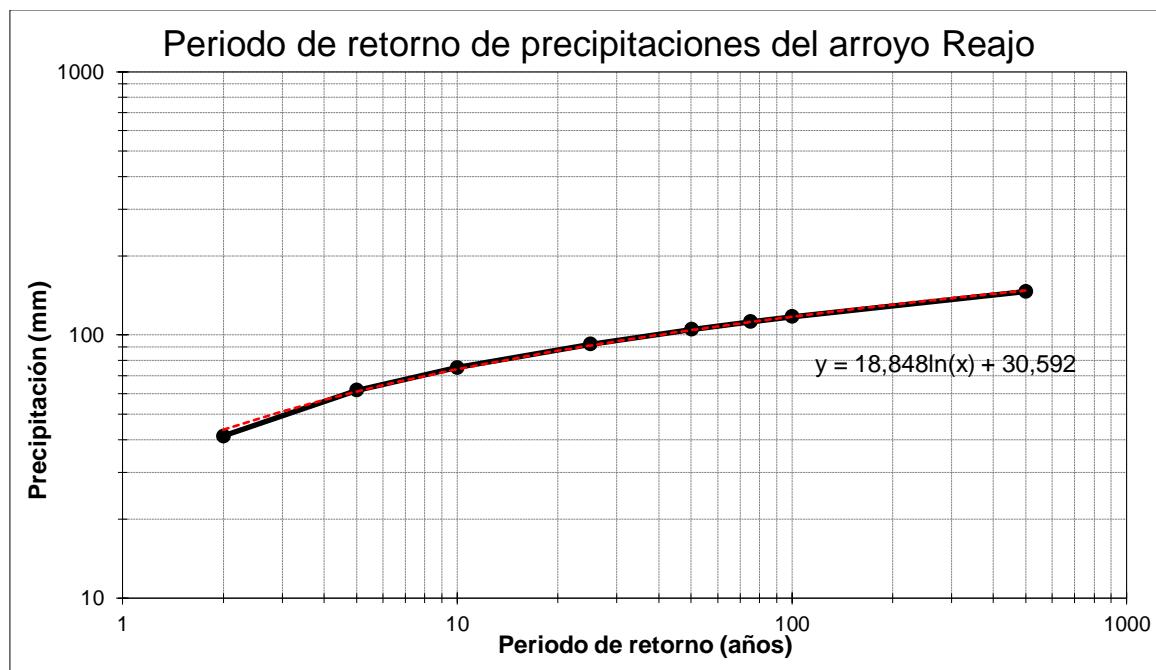


Figura 23: Curva del periodo de retorno de precipitaciones del Arroyo Reajo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Precipitación (y) (mm/día)
Periodo retorno (x) (años)
131,99
fecha 2003
216,97

Tabla 14: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente del arroyo Reajo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Barranco de San Gregorio

Para este curso efímero obtenemos los siguientes resultados tras los pertinentes cálculos realizados. Como se puede apreciar en la **tabla 15** obtenemos un periodo de retorno de 227,35 años para una precipitación máxima registrada durante el periodo del que se disponen de datos de 92,84 mm/día. En la **figura 24** se puede apreciar la curva del periodo de retorno de precipitaciones de esta cuenca. Analizando los datos lo que cabe esperar es que desde que se dio la máxima precipitación (año 2004) pasen 227,35 años para volver a tener un episodio de similares características. Así mismo, la probabilidad de tener un episodio de esta magnitud en un año es de 1/periodo de retorno, obteniendo una probabilidad de 1/227,35.

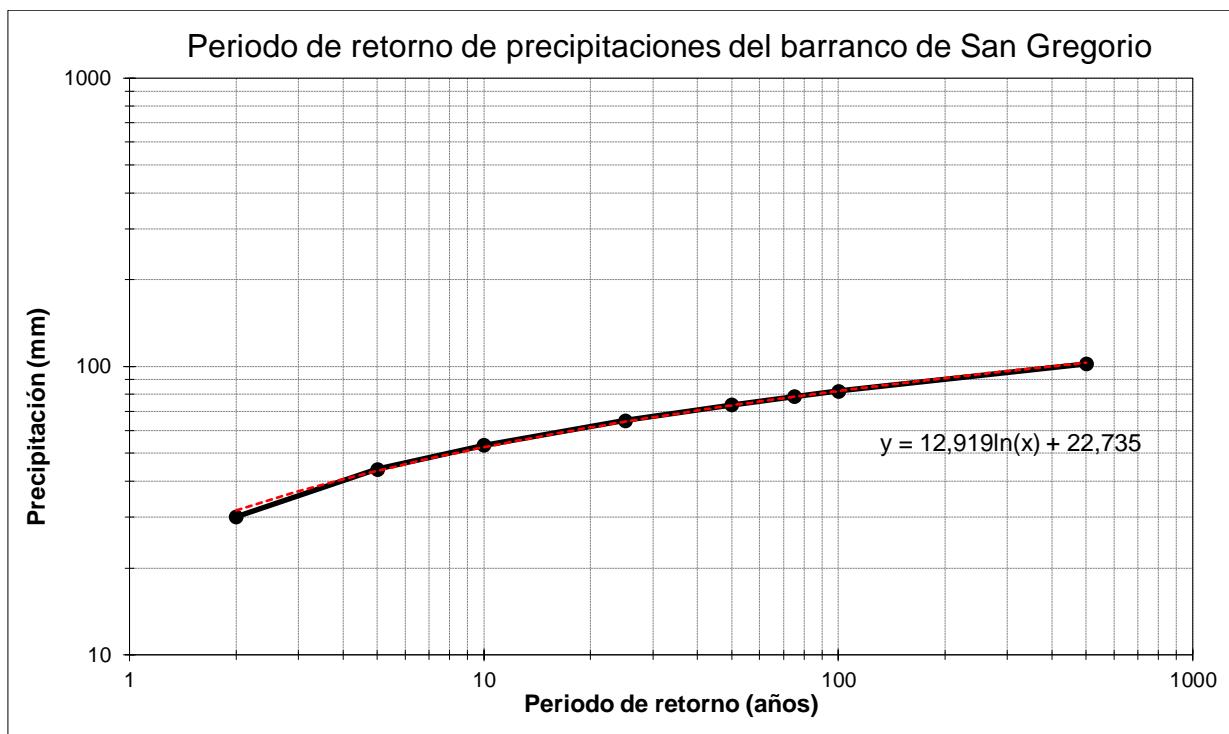


Figura 24: Curva del periodo de retorno de precipitaciones del barranco de San Gregorio. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Precipitación (y) (mm/día)
Periodo retorno (x) (años)
92,84
fecha 2004
227,35

Tabla 15: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente del barranco de San Gregorio. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

4.2. Análisis hidrológico

A continuación se van a analizar datos hidrológicos básicos de las cuencas que tienen datos a través de las estaciones de aforo.

- Río Pena

Este curso pese a ser desestimado para el proyecto, se analiza en el aspecto hidrológico por medio de sus dos estaciones de datos con información de la CHE (Pena en Valderrobres y Pena en Beceite).

Pena en Valderrobres

Los datos proporcionados una vez trabajados dan como resultado la tabla que hay a continuación (**tabla 16**). Lo que se puede comentar de estos datos con carácter quinceninal es que la mayoría de los caudales de este curso fluvial son entre 0-0,1 m³/s lo que muestra una tendencia a ser temporal en lugar de efímero (88,88% de los datos). Tan solo el 0,01% de los datos se corresponde con un caudal quincenual de 0 m³/s. Otros datos de relevancia son el caudal máximo registrado en el aforo (20,11 m³/s) y el caudal medio que es de 0,14 m³/s.

Analizando el apartado de crecidas se presentan diferentes umbrales de crecida para valorar y filtrar un número representativo de crecidas para la serie de datos de la que se dispone. Observamos diferentes umbrales de crecida (2 m³/s, 5 m³/s y el último de 10 m³/s). Con los dos primeros umbrales aparecen un número de datos elevado por lo que se selecciona el umbral de 10 m³/s para la identificación de crecidas (se obtienen 10 crecidas en diferentes períodos de tiempo).

Pena en Valderrobres A 109 (DATOS 15 MIN)			
Umbral de crecida 2 m³/s datos 15 min	Caudal medio	0,14	
8502			
Umbral de crecida 5 m³/s datos 15 min	Caudal 15 min igual a 0 (datos)	% caudales respecto del total	
612	76	0,01	
Umbral de crecida 10 m³/s	Caudal 15 min 0-0,1 (datos)		
389	622981	88,88	
Con umbral de crecida de 10 m ³ /s se identifican 3 crecidas distintas	Caudal 15 min 0,1-0,5 (datos)		
	32064	4,57	
	Caudal 15 min >0,5 (datos)		
	45816	6,54	100,00
	Caudales inferiores a caudal medio 15 min		
	38392		
	Caudales superiores a caudal medio x10		
	14681		
	Caudales superiores a caudal medio x100		
	138		
	Caudal máximo		
	20,11		
	Caudal mínimo		
	-0,006		
	Suma caudales 15 min		
	700937		
	Caudal 15 min 0-0,01 (datos)		
	21880	3,12	

Tabla 16: Datos hidrológicos básicos del río Pena en Valderrobres. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

Pena en Beceite

Los datos existentes para este aforo de la Confederación una vez trabajados dan como resultado la tabla que viene a continuación (**tabla 17**). Lo que se puede mencionar de todos estos datos es que el grueso de caudales se encuentra entre 0-0,1 m³/s con un 81,95%. A diferencia del aforo de Valderrobres, los datos quinceminales iguales a 0 se incrementan suponiendo el 13% del total de caudales aforados. Un dato que permite caracterizar de mejor manera este curso fluvial a la altura de Beceite es el caudal entre 0-0,01 donde el porcentaje de datos es del 63,83%. Esto confirma que el río Pena en Beceite es un río temporal prácticamente efímero pero que presenta un ligero caudal. Otros datos relevantes son el caudal máximo registrado: 87,4 m³/s y el caudal medio de 0,10 m³/s.

Entrando en el análisis de las crecidas, se emplean al igual que en el anterior aforo los mismos umbrales de crecida (2 m³/s, 5 m³/s y 10 m³/s). Se ha utilizado este último encontrando 5 crecidas diferentes que superan este umbral siendo la de 2013 la que más relevancia tiene con un caudal máximo aforado de 87,4 m³/s. Lo que se observa es que en este aforo las crecidas son más prolongadas porque habiendo más datos registrados que superan los 10 m³/s que en el aforo de Valderrobres, tan solo se identifican 5 crecidas al contrario que en Valderrobres donde esta cifra asciende a 10.

Umbral de crecida de 2 m ³ /s 15 min		A110 Pena en Beceite (datos 15 min)	
	3035	Caudal medio	0,10
Umbral de crecida de 5 m ³ /s 15 min	953	Caudal 15 min igual a 0	% caudales respecto del total
Umbral de crecida de 10 m ³ /s 15 min		Caudal 15 min 0-0,1	12,96
	601	317556	81,95
Con umbral de 10 encontramos 5 crecidas diferentes		Caudal 15 min 0,1-0,5	
La mayor crecida es la registrada en 2013 con un caudal punta de 87,4 m ³ /s		13012	3,36
		Caudal 15 min >0,5	
		6736	1,74
		317556	100,00
		Caudales inferiores a caudal medio 15 min	
		3671	
		Caudales superiores a caudal medio x10	
		601	
		Caudal máximo	87,4
		Caudal mínimo	0
		387515	
		Caudal 15 min 0-0,01	
		247347	63,83
Río temporal prácticamente efímero pero lleva un ligero caudal			

Tabla 17: Datos hidrológicos básicos del río Pena en el aforo de Beceite. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

- Río Sosa

Este curso efímero es uno de los 7 estudiados en el proyecto y que cuenta con datos de aforo para analizar los datos hidrológicos que proporciona la Confederación Hidrográfica del Ebro. Cuenta con 3 aforos que van a ser analizados a continuación.

Sosa en Peralta de la Sal

A continuación se presentan los resultados de los datos hidrológicos que presenta el río Sosa en Peralta de la Sal (**tabla 18**). La información principal es la relativa a los caudales quinceminales. Observamos que no hay ningún dato de 15 minutos que sea igual a 0 lo que nos da muestra de que existe un caudal de agua permanente (por mínimo que sea). El grueso de caudales registrados para este aforo es de entre 0-0,1 m³/s con un 91,59% de toda la serie de datos lo que es indicativo de que no es un curso especialmente caudaloso. El porcentaje restante se reparte en caudales entre 0,1-0,5 m³/s con un 8,09% y tan solo un 0,32% de los datos superan caudales de 0,5 m³/s. En este tramo no se puede considerar río efímero y presenta un caudal medio de 0,04 m³/s. Su caudal máximo registrado es de 6,93 m³/s.

Analizando las crecidas, no destacan por ser importantes en este aforo. El umbral establecido es de 2 m³/s observándose tan solo 40 datos de toda la serie que superan dicho umbral.

Sosa en Peralta de la Sal A299 (DATOS 15 MIN)		
Umbral crecida (2 m³/s) datos 15 min	caudal medio	
40	0,04	
	caudal 15 min 0 (datos)	% caudales respecto del total
	0	0
	caudal 15 min 0-0,1 (datos)	
	326435	91,59
	caudal 15 min 0,1-0,5 (datos)	
	28848	8,09
	caudal 15 min >0,5 (datos)	
	1130	0,32
	caudales inferiores a caudal medio 15 min	100,00
	209813	
	caudales superiores a caudal medio x10 (15 min)	
	1747	
	caudales superiores a caudal medio x100 (15 min)	
	9	
	Caudal máximo	
	6,926	
	Caudal mínimo	
	0,001	
	Suma caudales 15 min	
	356413	
	Caudal 15 min 0-0,01 (datos)	
	98803	27,72

Tabla 18: Datos hidrológicos de la estación de aforo del río Sosa en Peralta de la Sal. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

Sosa en Azanuy

A continuación se presentan los resultados obtenidos de trabajar los datos hidrológicos del río Sosa en el aforo de Azanuy (**tabla 19**). La información principal y a diferencia del aforo de Peralta de la Sal es la relevante al nivel de agua con datos quinceminutales. Antes de entrar en el análisis, hay que destacar que no es un tramo que lleve constantemente agua, sino que la realidad es que los datos del aforo no son realmente fiables y presentan errores al marcar el nivel. Esto es importante tenerlo en cuenta porque analizando los datos la realidad muestra que este río en el tramo de Azanuy no sería efímero cuando en verdad es efímero. Los niveles iguales a 0 respecto del total de niveles responden solo a un 12,6% del total y los niveles entre 0-0,1 metros suponen un 23,7% del total de datos. El aspecto chocante tratándose de un tramo efímero y por lo cual los datos no reflejan la realidad es el dato de nivel entre 0,1-0,5 metros (63,8% de todos los datos de nivel). Otros datos relevantes son: nivel medio de agua: 0,13 metros y nivel máximo de agua: 1 metro.

En relación con los umbrales de crecida establecidos, se han puesto dos principales. En primer lugar, un umbral de 0,5 metros de nivel del agua. Tan solo encontramos 56 datos quinceminutales que superen dicho umbral (poco representativos). Para un umbral de 1 m de nivel del agua lo que nos encontramos es la existencia de un único dato de 15 minutos. La conclusión general es que en este tramo teniendo en cuenta estos datos quinceminutales (desde 2008) no existen crecidas relevantes.

Río Sosa en Azanuy A300 (DATOS 15 MIN)			
Umbral de crecida 0,5 m datos 15 min	Nivel medio		
56	0,13		
Umbral de crecida 1 m datos 15 min	Nivel 15 min igual a 0	% niveles respecto del total	
1	51192	12,57	
	Nivel 15 min 0-0,1		
	96369	23,66	
	Nivel 15 min 0,1-0,5		
	259723	63,76	
	Nivel 15 min >0,5		
	54	0,01	100,00
	Niveles inferiores a nivel medio 15 min		
	157174		
	Niveles superiores a nivel medio x10 (15 min)		
	0		
	Niveles superiores a nivel medio x100 (15 min)		
	0		
	Suma de niveles 15 min		
	407338		
	Nivel máximo		
	1		
	Nivel mínimo		
	0		
	Nivel 15 min 0-0,01		
	57384	14,09	

Tabla 19: Datos hidrológicos de la estación de aforo del río Sosa en Azanuy. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

Sosa en Monzón

Los datos hidrológicos de esta estación de aforo trabajados se presentan a continuación (**tabla 20**). En esta ocasión se vuelve a trabajar con datos de niveles quinceminutales.

Entrando en análisis, se observa que para los niveles quinceminutales iguales a 0 metros se encuentra un porcentaje de niveles de 5,9. Los niveles quinceminutales entre 0-0,1 metros presentan un 27% del total de datos y el grueso de datos responde a los niveles entre 0,1-0,5 metros, con el 66,6% del total. Los datos superiores a 0,5 metros de nivel de agua no son especialmente representativos y suponen solo el 0,42% de los datos. Otros datos relevantes son el nivel medio de agua: 0,17 metros y el nivel máximo de agua: 1,64 metros. Como apunte decir que el nivel mínimo de -0,25 metros es un error en la toma de datos.

Analizando los umbrales de crecida establecidos para este aforo, se conservan los empleados en otros aforos (0,5 y 1 metro de nivel del agua).

Para el umbral de crecida de 0,5 metros encontramos un conjunto de datos representativos y por tanto se busca afinar más y delimitar más las crecidas. Se emplea un umbral de 1 metro de nivel del agua obteniendo un número de datos más limitado aunque probablemente poco representativo (64 datos quinceminutales).

Río Sosa en Monzón A301 (DATOS 15 MIN)			
Umbral de crecida 0,5 m datos 15 min	Nivel medio		
1770	0,17		
Umbral de crecida 1 m datos 15 min	Nivel 15 min igual a 0	% niveles respecto del total	
64	19485	5,90	
	89288	27,04	
	220010	66,63	
	1401	0,42	100,00
	11465		
	0		
	0		
	330184		
	1,64		
	-0,25		
	27646	8,37	

Tabla 20: Datos hidrológicos de la estación de aforo del río Sosa en Monzón. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

- *Río Seco*

A diferencia del Pena y del Sosa, en este curso efímero los datos aforados por la CHE hacen referencia a nivel del agua medida en metros.

Río Seco en Oliete

Los resultados obtenidos para este aforo del río Seco aparecen presentados en la **tabla 21**. La información principal es la referente a los niveles quinceminitales. Destaca el volumen de datos que suponen niveles iguales a 0 metros suponiendo un 39% respecto del total. El siguiente cálculo (nivel 15 min entre 0-0,1 metros) refleja un 57,5% de los datos por lo que el grueso de niveles está en estos dos primeros cálculos. El porcentaje restante se reparte entre niveles de 0,1-0,5 metros con un 3,37% de los datos y los que superan los 0,5 metros que solo suponen un 0,09% del total. Otro dato interesante y que permite catalogar este curso como efímero es el dato de nivel entre 0-0,01 metros con un 51,82% de los registros. Por último destacar los datos de nivel máximo y mínimo de toda la serie de datos aforados.

Analizando el apartado de crecidas se establecen dos umbrales diferenciados. El primero de ellos es ver cuantos datos quinceminitales superan los 0,5 metros obteniendo un número de datos relativamente alto. El segundo umbral de crecida es de 1 metro de nivel de agua obteniendo un número de datos muy selectivo y probablemente poco representativo.

Río Seco en Oliete A162		
Umbrales de crecida 0,5 m datos 15 min	Nivel medio	
1018	0,02	
Umbrales de crecida 1 m datos 15 min	Nivel 15 min igual a 0	% niveles respecto del total
81	430723	39,06
	Nivel 15 min 0-0,1	57,48
	Nivel 15 min 0,1-0,5	3,37
	Nivel 15 min >0,5	0,09
	965	100,00
	Niveles inferiores a nivel medio 15 min	
	93469	
	Niveles superiores a nivel medio x10 (15 min)	
	23618	
	Niveles superiores a nivel medio x100 (15 min)	
	5	
	Suma de niveles 15 min	
	1102747	
	Nivel máximo	
	3,08	
	Nivel mínimo	
	0	
	Nivel 15 min 0-0,01	51,82
	571405	

Tabla 21: Datos hidrológicos del río Seco en el aforo de Oliete. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

- Aguarón en Aguarón

Los resultados obtenidos para este aforo del barranco de Aguarón aparecen reflejados en la **tabla 22**. La información principal es la referente a los caudales quinceminutales. Analizando cada una de las categorías existentes, podemos comprobar que para caudales iguales a 0 m³/s el porcentaje de datos respecto del total de caudales es del 29,7%. El grueso de datos se encuentra en el intervalo correspondiente a caudales entre 0-0,1 m³/s con el 69,4% de los datos totales. Las otras dos categorías de caudales (0,1-0,5 y >0,5 m³/s) tienen poco peso sobre el total de los datos, no llegando a representar ni siquiera un 1% del total. Otro dato que permite contrastar si estamos ante un curso efímero o no es el intervalo de caudal entre 0-0,01 m³/s obteniéndose un valor cercano al 50% del total de datos. Lo que se puede extraer es que estamos ante un curso de carácter efímero aunque con tintes temporales ya que el grueso de datos se encuentra con datos de caudal entre 0-0,1 m³/s.

Otros datos interesantes de este sistema fluvial son el caudal máximo desde que se tienen registros: 4,9 m³/s y el caudal medio de toda la serie de datos: 0,02 m³/s.

Analizando el apartado de crecidas, solo se utiliza el umbral superior a 2 m³/s encontrando 187 registros cada 15 minutos, un dato representativo para determinar y encontrar crecidas. Al tener un dato máximo de caudal de 4,9 m³/s se desestima el empleo de umbrales de caudal de 5 m³/s y de 10 m³/s.

Aguaron A296 (DATOS 15 MIN)			
Umbral crecida (2 m³/s) datos 15 min			
187	0,02		
		% caudales respecto del total	
	127268	29,72	
	296996	69,36	
	3112	0,73	
	797	0,19	100,00
	Caudales inferiores a caudal medio 15 min		
	240518		
	Caudales superiores a caudal medio x10		
	1607		
	Caudales superiores a caudal medio x100		
	187		
	Caudal máximo		
	4,896		
	Caudal mínimo		
	0		
	Suma caudales 15 min		
	428173		
	Caudal 0-0,01 15 min (datos)		
	211901	49,49	

Tabla 22: Datos hidrológicos del barranco de Aguarón en el aforo de Aguarón. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

- Cosuenda en Cosuenda

Los resultados hidrológicos para este aforo con los datos trabajados se presentan en la siguiente tabla (**tabla 23**). La información fundamental que se va a proceder a analizar es la referente a los caudales quincemintuales. Al igual que en el resto de aforos analizados, se cuenta con diferentes categorías de caudales quincemintuales. En primer lugar, los caudales quincemintuales iguales a 0 m³/s tienen un importante peso sobre el total de caudales, representando un 45,9% de los datos. El porcentaje de datos restante se reparte entre las otras categorías establecidas. Para caudales entre 0-0,1 m³/s nos encontramos con el 52,7% de los datos. Para caudales entre 0,1-0,5 m³/s nos encontramos con un 1,4% respecto del total y los caudales superiores a 0,5 m³/s no tienen relevancia y solo representan el 0,01% del total de datos.

Este curso se puede considerar como efímero.

Otros datos relevantes son el caudal máximo: 0,624 m³/s y el caudal medio: 0,01 m³/s.

Analizando el apartado de crecidas, la realidad es que no se pueden contabilizar crecidas desde que se tienen registros quincemintuales (2008 en adelante) puesto que el caudal máximo es de tan solo 0,624 m³/s y no se han establecido umbrales de crecida para poder detectar fechas concretas donde tengan lugar diversos fenómenos extremos.

Cisuenda A295 (DATOS 15 MIN)			
Umbral crecida 2 m³/s datos 15 min			
0	0,01		
		% caudales respecto del total	
	244743	45,90	
Caudal igual a 0 15 min (datos)			
	281092	52,72	
Caudal 0-0,1 15 min (datos)			
	7339	1,38	
Caudal 0,1-0,5 15 min (datos)			
	37	0,01	100,00
Caudal >0,5 15 min (datos)			
	244743		
Caudales inferiores a caudal medio 15 min			
	7376		
Caudales superiores a caudal medio x10			
	0		
Caudales superiores a caudal medio x100			
	0,624		
Caudal máximo			
	0		
Caudal mínimo			
	533211		
Suma de caudales 15 min			
	244743	45,90	
Caudal 0-0,01 15 min (datos)			

Tabla 23: Datos hidrológicos del barranco de Cosuenda en Cosuenda. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

4.3. Eventos extremos

4.3.1. Análisis del periodo de retorno de crecidas

En este apartado se van a analizar los eventos extremos en forma de crecida que han tenido lugar en los diferentes cursos efímeros. Para valorar los eventos extremos se ha aplicado el ajuste de Gumbel que mide periodos de retorno de crecidas por medio de los datos de caudal máximo instantáneo.

- Río Pena

Dispone de dos aforos para valorar las crecidas más importantes que han tenido lugar en este curso fluvial (no efímero pero como se ha mencionado entra dentro del estudio hidrológico).

Pena en Beceite

Como se puede apreciar, el periodo de retorno obtenido por medio del ajuste de Gumbel para el máximo caudal registrado (124 m³/s) es de 162,36 años (**tabla 24**). Esto aparece reflejado en la gráfica a continuación (**figura 25**). Esto significa que la probabilidad de que en un año se registren 124 m³/s es de 1/162,36 años.

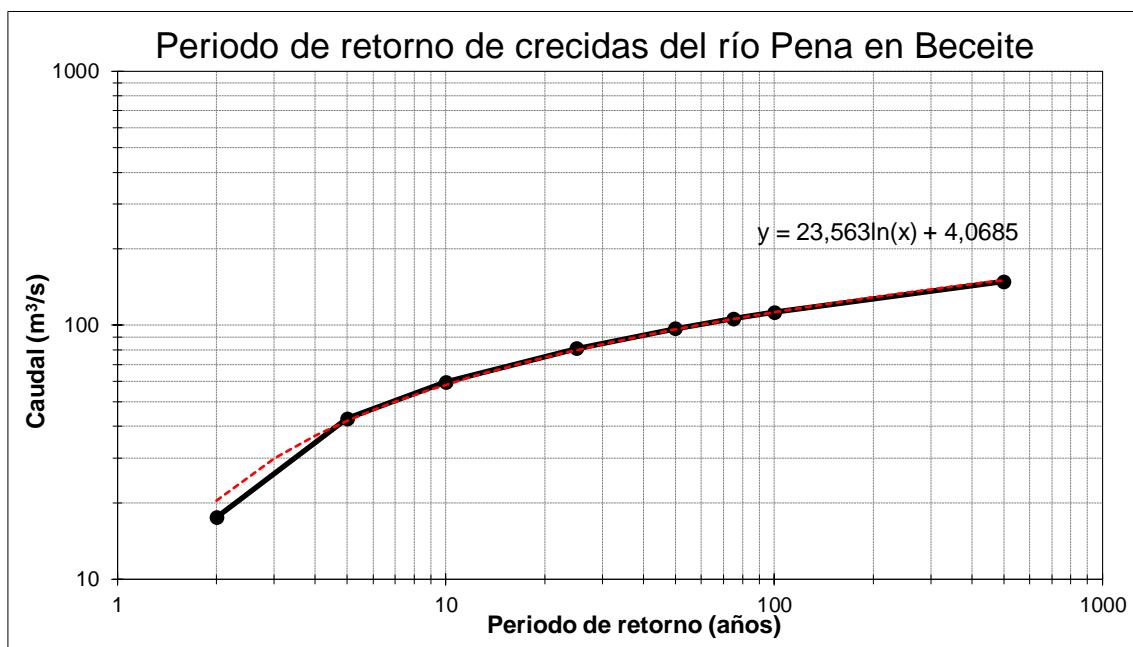


Figura 25: Curva de periodo de retorno de crecidas del río Pena en Beceite. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Anuario de Aforos.

Caudal (y) (m ³ /s)	
	124
fecha 1966-1967	
Periodo retorno (x) (años)	162,36

Tabla 24: Caudal máximo registrado en el aforo del río Pena en Beceite y periodo de retorno correspondiente. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Mapama.

Pena en Valderrobres

Como se puede observar, el periodo de retorno obtenido para el máximo caudal registrado (23,86 m³/s) es de 20,20 años (**tabla 25**) con la pertinente gráfica donde aparece reflejada la curva del periodo de retorno en años en función del caudal en m³/s (**figura 26**). Esto significa que la probabilidad de tener una crecida de estas características en un año es de 1/20,20 años.

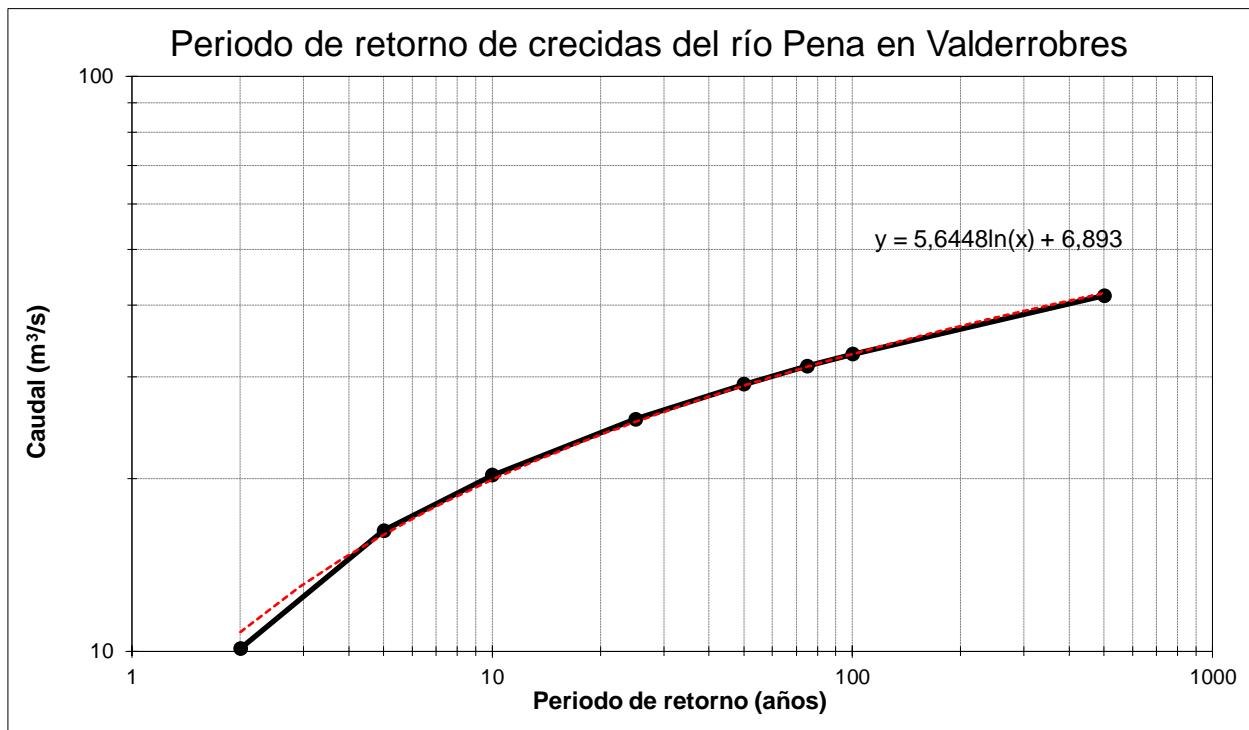


Figura 26: Curva del periodo de retorno de crecidas en el aforo del río Pena en Valderrobres.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Anuario de Aforos.

Caudal (y) (m ³ /s)	
23,86	
fecha 1973-1974	
Periodo retorno (x) (años)	
20,20	

Tabla 25: Caudal máximo registrado en el aforo del río Pena en Valderrobres y periodo de retorno correspondiente. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Mapama.

Cabe destacar que se pretendían realizar más cálculos de periodos de retorno de crecidas, pero la falta de un número representativo de años con caudal máximo instantáneo para los aforos de Cosuenda y Aguarón ha sido impedimento para la realización de estos cálculos para estas cuencas mencionadas.

4.3.2. *Crecidas históricas*

Como se ha citado en la metodología, la existencia de datos para la realización del proyecto no es elevada y algunos de los cursos efímeros carecen de datos de eventos extremos. En este punto es importante consultar algunos datos históricos del CTEI EBRO. Este documento no está actualizado y llega hasta los años 80 pero resulta útil para catalogar la existencia de crecidas en algunos cursos efímeros estudiados.

Centrándonos en los cursos estudiados en el proyecto, en algunos no aparece registro de crecidas históricas como tal pero sí en las proximidades por lo que se extraña en buena medida a la posibilidad de existir crecida también en los cursos que nos conciernen.

I. Rambla de Valcodo

No existe como tal una cita de esta rambla en el documento pero sí se hace referencia a crecidas en el Jiloca (río en el que desemboca) y de la rambla Fondonera (próxima geográficamente a este curso efímero). Para la rambla Fondonera se registran crecidas en los años 1551, 1574, 1854, 1865 y 1877. El Jiloca registra numerosas crecidas registradas, pero las más interesantes son las que se dan en Fuentes de Jiloca (municipio donde desemboca la rambla Valcodo en el río Jiloca). Los años donde existe un registro para esta localidad son: 1932, 1933, 1959, 1969 y 1982 (CTEI, 1985).

II. Río Sosa

Para este curso efímero sí que existen una serie de crecidas catalogadas en el archivo histórico. Estas crecidas están datadas en la localidad de Monzón y tuvieron lugar en los años 1724 y 1762 con la misma consecuencia en ambas (rotura del puente del río Sosa en Monzón) (CTEI, 1985). Otra crecida importante de este sistema fluvial es la referente al año 2006.

De las dos crecidas primitivas de las que hay registro no se tienen muchas referencias salvo que en ambas como se ha comentado previamente tuvo lugar la rotura del puente del mismo río a su paso por Monzón. La del año 2006 cuenta con un mayor seguimiento y datos por lo que se va a analizar de forma más exhaustiva.

Crecida río Sosa en Monzón (2006)

Catalogada con una magnitud de extraordinaria. Esta crecida tuvo lugar el 15 de agosto de 2006 y su formación es debida a aspectos atmosféricos con presencia de un embolsamiento de aire frío en altas capas atmosféricas que se unieron a las elevadas temperaturas en superficie dando lugar a importantes chubascos de carácter convectivo que dieron lugar a importantes precipitaciones en la cuenca próxima a Monzón con intensidades de 50 mm/hora (Doménech, 2009).

Las consecuencias no se hicieron esperar y en Monzón se cuantificaron inundaciones en garajes, calles y comercios. La fuerza del río arrastró una serie de vehículos próximos al cauce principal aunque no se registraron daños personales (Doménech, 2009).

El caudal máximo registrado fue de aproximadamente 344 m³/s teniendo un importante papel la canalización realizada del curso fluvial que retuvo las aguas en buena parte del recorrido en Monzón (**figura 27**).



Figura 27: Río Sosa a su paso por la localidad de Monzón durante la crecida del 15 de agosto de 2006. Fuente: <http://entusiasco.blogspot.com/2014/08/crecida-del-rio-sosa-en-monzon.html>

III. Río Pena

Recurriendo al archivo histórico, nos encontramos con tres crecidas registradas del río Pena. Datan de los años 1903, 1909 y 1913 registrándose caudales de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, $32,5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $19,8 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Otra crecida de gran importancia en esta cuenca hidrográfica se registró consecuencia de las intensas precipitaciones registradas entre los días 23-25 de octubre del año 2000.

Crecida río Pena (2000)

Se utilizan los datos de precipitación de 4 estaciones de aforo que tiene la confederación del Ebro en esta zona. Nosotros nos quedamos con la que hay en el embalse de Pena en la cuenca del río Matarraña. Para el aforo del embalse de Pena encontramos los siguientes datos de precipitación:

Emb. Pena (e021)	
23/10/00	194,2
24/10/00	44,6
25/10/00	15,4
Total:	254,2

Figura 28: Datos de precipitación diaria en mm del aforo del embalse de Pena. Fuente: SAIH Ebro y CHE.

Como podemos apreciar, se observa un día principal de grandes precipitaciones que es el 23 de octubre donde se recogieron 194,2 mm siendo el total de todo el episodio 254,2 mm. No se tienen más datos del río Pena salvo la precipitación en el aforo del embalse, pero viendo la crecida extraordinaria que sufrió el río Matarraña y las precipitaciones existentes a lo largo de toda la cuenca del Pena-Matarraña se puede comprender que existiera una crecida de cierta entidad en este curso fluvial (Del Valle,2002).

IV. Río Seco

Para este sistema fluvial lo que podemos apreciar es un registro histórico que no refleja un importante número de crecidas. La más importante es la que se registró en agosto de 2013 de la cual aunque no aparece mucha información, se cuenta con datos y con información que explica dicha crecida en este curso efímero. Existen otras crecidas de las que se tienen menos registros como son la de 1915 y también la del año 1945.

Crecida río Seco (1915-1913)

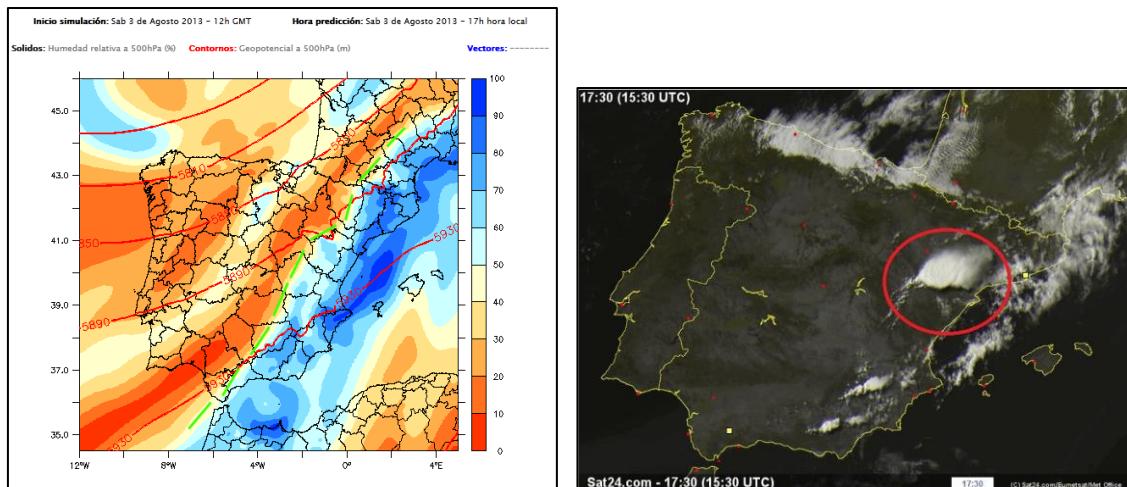
Apenas existe información al respecto. Los testimonios de los vecinos fueron claves para poder datar esta crecida. La duda recaía en la fecha exacta de la crecida pues algunos vecinos decían que fue en 1913 mientras que otros explicaban que fue en 1915. El informe de la CHE fue clave para determinar que realmente la crecida tuvo lugar en el año 1915. Es muy probable que esta crecida tuviera características muy similares a la avenida reciente del año 2013 (explica con detalle *a posteriori*) por los propios testimonios de los vecinos de La Hoz de La Vieja. La principal hipótesis es que tuvo lugar un episodio de importantes precipitaciones en la cabecera de la cuenca (Noguera,2016).

Crecida río Seco (1945)

Esta crecida al igual que la del año 1915 está poco documentada. Encontramos una referencia en el trabajo de López Bustos en el año 1981. En esta referencia se argumenta el conocimiento de la crecida por el hecho de estar realizando una serie de estudios y trabajos en la zona durante la crecida. En el artículo mencionado anteriormente se dice que la fecha en que se produjo dicha crecida fue el 30 de junio de 1945 con un caudal estimado de 650 m³/s (López Bustos,1981). No se encuentran testimonios de los habitantes de La Hoz de La Vieja, por lo que es muy probable que la crecida no tuviera lugar en la cabecera (río Armillas) sino más bien en la zona de nacimiento del propio río Seco.

Crecida río Seco (2013)

Es la más reciente de la que se tienen registros y la mejor documentada. El origen viene del 3 de agosto de 2013 momento en el que desencadenó una fuerte tormenta que afectó a una parte de la provincia de Teruel pero especialmente a las localidades de La Hoz de la Vieja y Oliete (desembocadura del río Seco en el río Martín). La génesis de la tormenta tiene determinadas condiciones atmosféricas. En primer lugar, se observan diferentes masas de aire en superficie en cuanto a humedad que se observan en las **figuras 29 y 30** y que forman una especie de línea imaginaria entre las dos masas de aire existentes. Además en altura nos encontramos con la presencia de una vaguada atlántica sobre el mediterráneo (de carácter frío). Además la tormenta se retroalimenta por la presencia de una baja presión local que favorece la entrada de vientos de procedencia mediterránea cargados de humedad.



Figuras 29 y 30: Situación atmosférica (izquierda) e imagen de satélite de la tormenta (derecha).
Fuente: www.cazatormentas.es

Las consecuencias de la riada se dejaron notar especialmente en el municipio de La Hoz de La Vieja donde se provocaron fuertes daños en casas próximas al cauce fluvial. En el municipio de Oliete los daños fueron menos marcados pero destaca sin lugar a dudas el arrastre que se produjo por la corriente de un vehículo (**figura 31**) falleciendo uno de los dos pasajeros que había (Noguera,2016).



Figura 31: Coche arrastrado por la corriente del río Seco en el puente de Oliete.

V. Arroyo Reajo

No existe un registro concreto para este curso efímero pero sí que se cuenta con el testimonio de los vecinos próximos a esta cuenca que testifican una crecida en marzo del año 2015. Tras investigar si hay algún tipo de publicación o artículo sobre ello no se encuentra una referencia de este arroyo. En cualquier caso, se menciona una crecida del río Cidacos y otros cursos fluviales a fecha de 26 de marzo de 2015 lo cual puede significar que hubiera realmente una crecida del arroyo Reajo en este episodio. Se produjeron numerosos destrozos en algunas zonas como se refleja en el artículo publicado en el medio informativo de La Rioja.

VI. Barranco de San Gregorio

De este curso efímero se puede destacar la crecida que tuvo lugar en septiembre de 2004, más concretamente el día 6. No existe un registro de caudales (no se cuenta con datos aforados) pero sí que se tiene el dato de precipitación de ese mismo día (94 mm en 24 horas aproximadamente). Esto unido a que aparece datada una crecida del río Arba (cuenca próxima geográficamente) el día 7 de septiembre de 2004 y ligada a un importante episodio de precipitaciones permite pensar que este curso efímero registrara una crecida de entidad.

4.4. Funcionamiento hidrológico de las diferentes cuencas

- Río Pena

En relación con este curso efímero, se van a analizar los regímenes estacionales de caudal para los dos aforos existentes: río Pena en Beceite y en Valderrobres.

Pena en Beceite

En este tramo del río Pena destacan eventos con un caudal significativo superándose los 80 m³/s. Estos eventos de caudal tienen un régimen estacional fundamentalmente otoñal y primaveral (serie de datos poco representativa en cualquier caso) tal y como refleja la **figura 32**.

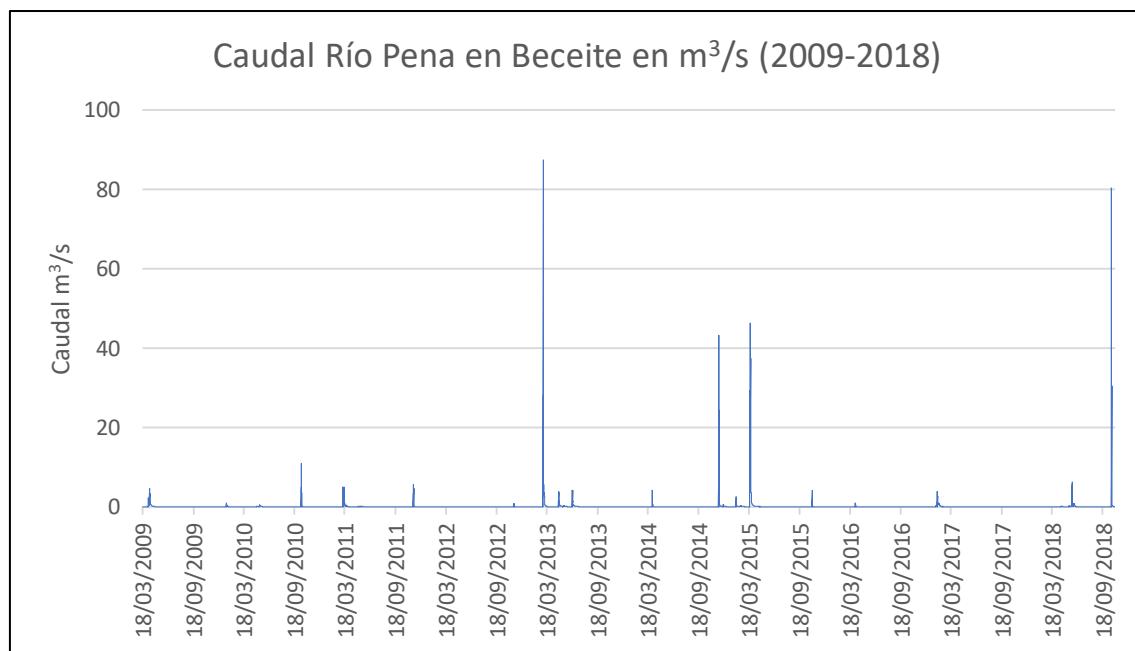


Figura 32: Caudal 15 min del río Pena en Beceite. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

Pena en Valderrobres

En este tramo del río Pena se puede destacar un menor caudal en líneas generales que a su paso por la localidad de Beceite. Al contar con un mayor número de datos se ha realizado la división en dos periodos temporales (1997-2007 y 2008-2018). En cualquier caso se aprecian una serie de eventos que tienen un caudal significativo. Estos eventos al igual que el aforo de Beceite registran los máximos de caudal en meses otoñales y en menor medida primaverales como se puede apreciar en la **figura 33**. Así pues el régimen estacional de caudal es con máximos principales en otoño y secundarios en primavera.

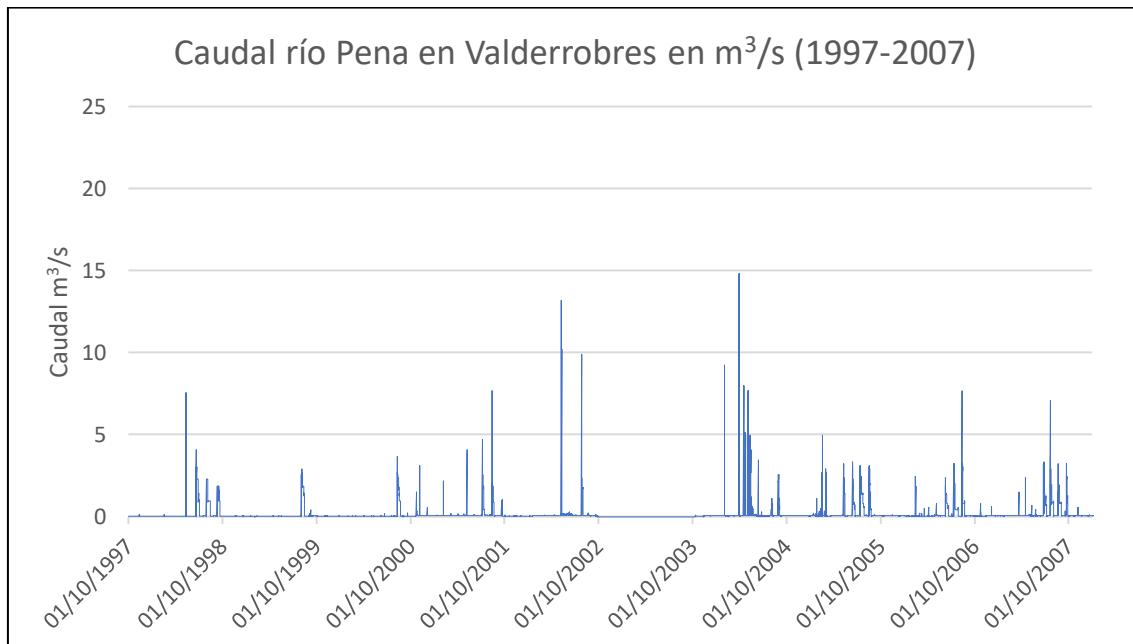


Figura 33: Caudal 15 min del río Pena en Valderrobres (1997-2007). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

En el periodo de 2008-2018 como se puede apreciar en la **figura 34** se detectan un menor número de eventos relevantes de caudal, encontrando solamente uno de magnitud considerable (marzo de 2015). En cualquier caso, cabe destacar que el régimen estacional de caudal se sigue dando en meses de primavera y otoño como en el periodo especificado anteriormente de 1997-2007.

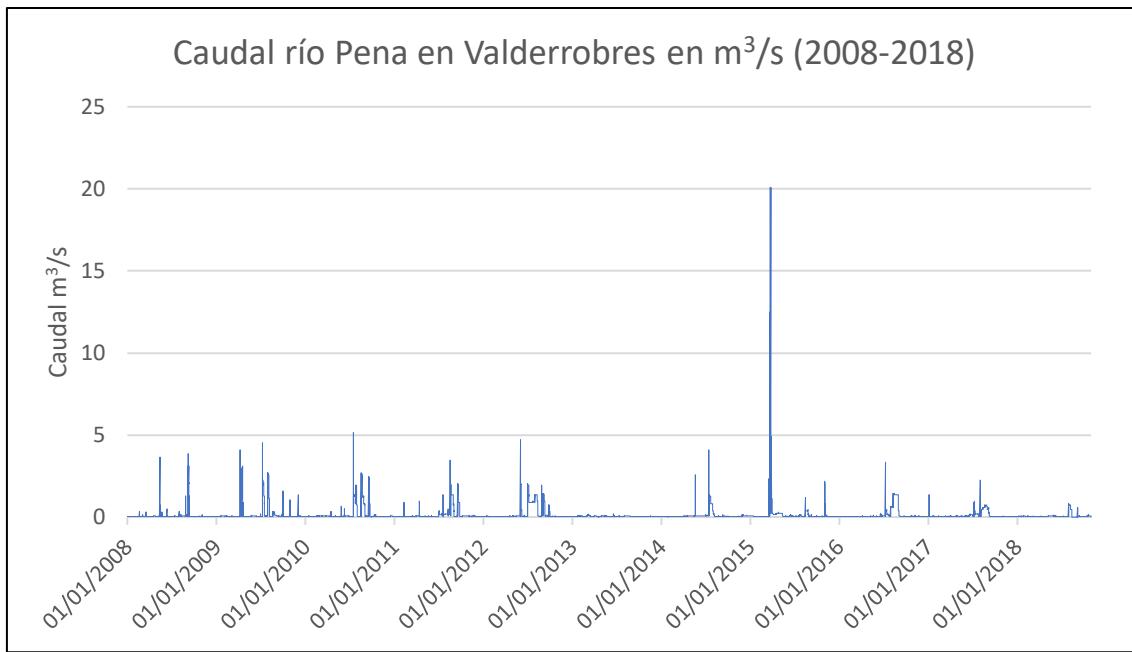


Figura 34: Caudal 15 min del río Pena en Valderrobres (2008-2018). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

- Río Sosa

Este curso efímero presenta tres aforos diferentes: Peralta de la Sal, Azanuy y Monzón que van a ser analizados a continuación.

Sosa en Peralta de la Sal

En este aforo (único que mide caudales de la cuenca del Sosa) nos encontramos con la existencia de caudal continuo por pequeño que sea. Se pueden encontrar desde que se tienen registros quincenales varios registros con un caudal muy superior a la media. Estos registros a pesar de contar con una serie de datos de poco tiempo se dan principalmente en otoño y primavera (algún valor veraniego por presencia de tormentas). Esto indica que el régimen estacional de caudal es de máximos en primavera y otoño como se puede apreciar a partir de la **figura 35**.

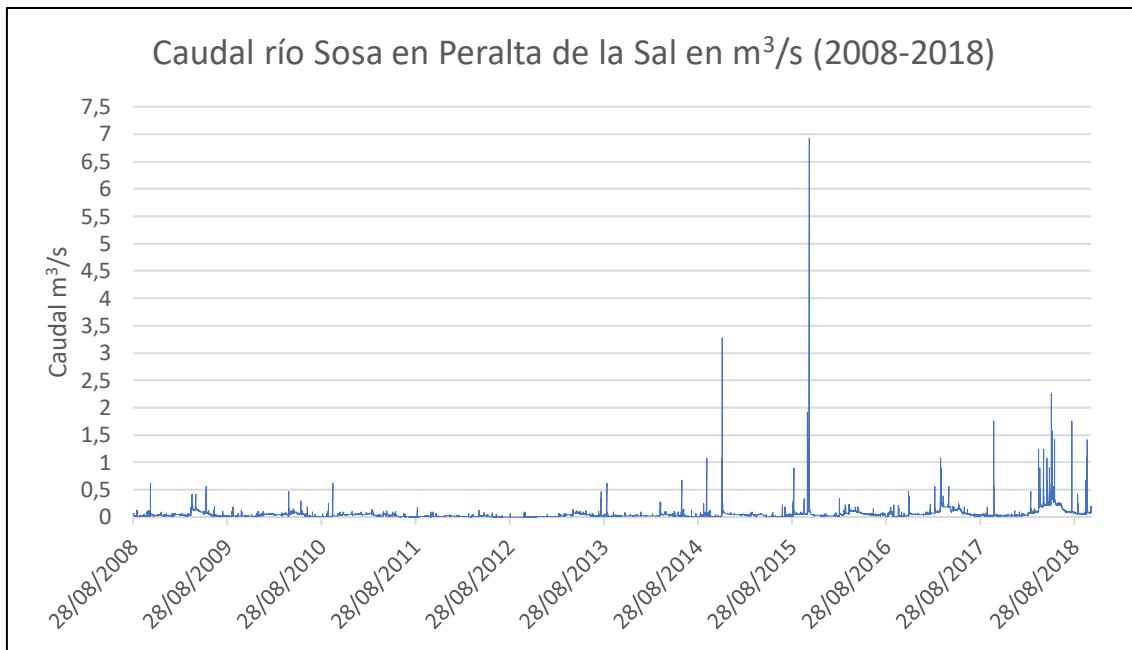


Figura 35: Caudal 15 min del río Sosa en Peralta de la Sal. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

Sosa en Azanuy

En este aforo que mide el nivel de la lámina de agua en metros se observan tres registros importantes. Al igual que en el aforo de Peralta de la Sal se registran en meses de primavera y otoño (máximos de nivel en estos meses). Lo que es importante señalar de este aforo es que no se reflejan niveles de cero metros. Esto no quiere decir que siempre discurra agua en este tramo del río Sosa sino que es un problema de transmisión de los datos, por lo que si se observa un nivel más o menos homogéneo de 0,1 metros por ejemplo, no significa que en ese momento esté discurriendo agua, sino que es un error del propio aforo (**figura 36**).

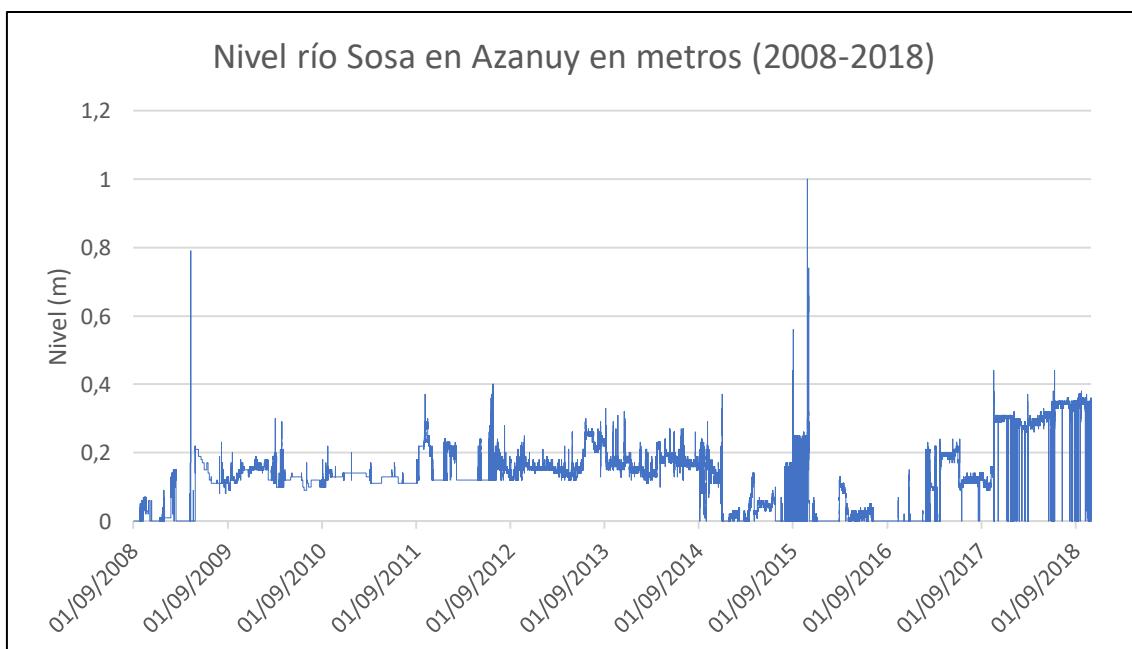


Figura 36: Nivel 15 min del río Sosa en Azanuy. Fuente: Elaboración propia a partir de la CHE.

Sosa en Monzón

En este último aforo del río Sosa que mide nivel de la lámina de agua en metros (igual que el aforo de Azanuy) encontramos numerosos registros de un nivel de agua significativo, destacando por encima del resto el registrado en noviembre de 2015. Estos registros se dan fundamentalmente en otoño, aunque en verano se encuentran varios registros relevantes que es probable que vengan asociados a períodos tormentosos. Por tanto, el régimen estacional de caudal es principalmente otoñal (máximos principales) con máximos secundarios en verano (asociados a episodios de tormentas como se ha comentado anteriormente) como se puede apreciar en la **figura 37**.

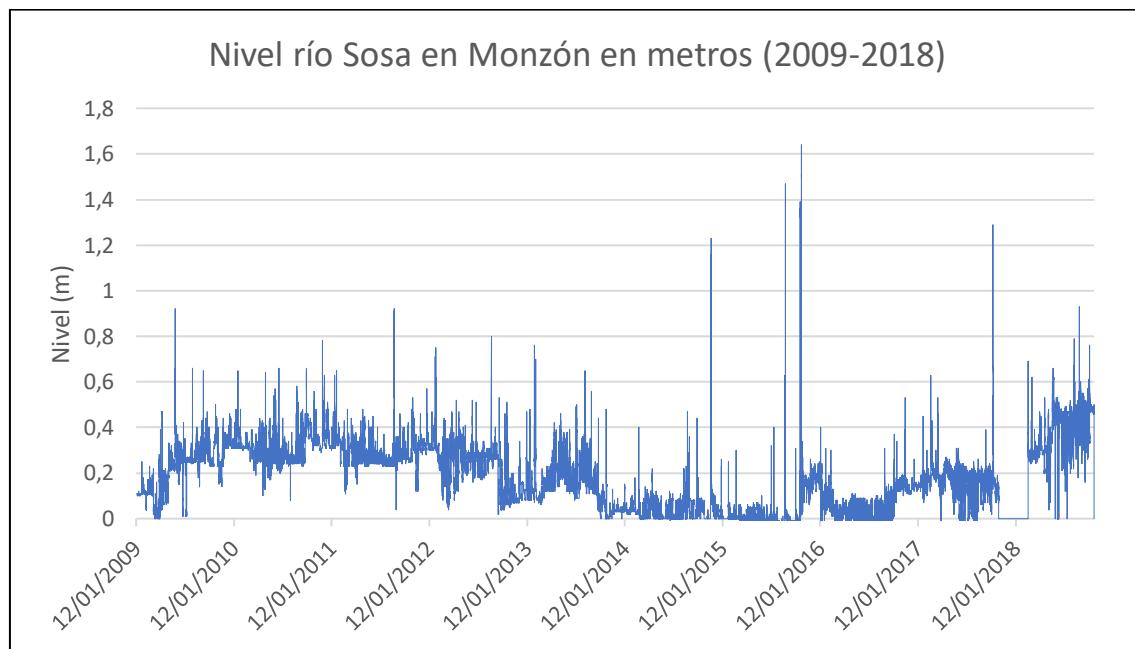


Figura 37: Nivel 15 min del río Sosa en Monzón. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

- Río Seco

En este curso efímero se ha representado el nivel de la lámina de agua en metros (no existen datos de caudal). Al contar con un número de datos mayor que otras cuencas, se han realizado dos gráficos que hacen referencia a los períodos 1997-2007 y 2008-2018.

En este primer periodo representado en la **figura 38**, se pueden apreciar 2-3 registros de nivel de cierta entidad. Destaca por encima del resto el que tiene lugar en abril de 2003 con un nivel superior a los 2 metros. Lo más interesante de analizar es comprobar la distribución de los niveles (si sigue algún patrón estacional). Se puede observar que los máximos de nivel registrados tienen lugar fundamentalmente en los meses de primavera y otoño (alguno en verano de carácter tormentoso). Se puede establecer de esta forma la existencia de un régimen estacional de niveles con máximos en meses de primavera y otoño fundamentalmente.



Figura 38: Nivel 15 min del río Seco en Oliete expresado en metros (1997-2007). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

En el periodo de 2008-2018 observamos también algunos registros que destacan por encima del grueso de niveles medidos. Sobresale por encima del resto el dato de agosto de 2013 (mencionado en el apartado anterior de eventos extremos) con un nivel que supera los 3 metros. La distribución de niveles máximos es similar al periodo previo con la salvedad de que el máximo se registra en agosto debido a una fuerte tormenta. En cualquier caso, encontramos un máximo principal en verano y máximos secundarios en los meses de primavera y otoño fundamentalmente tal y como se puede observar en la **figura 39**.

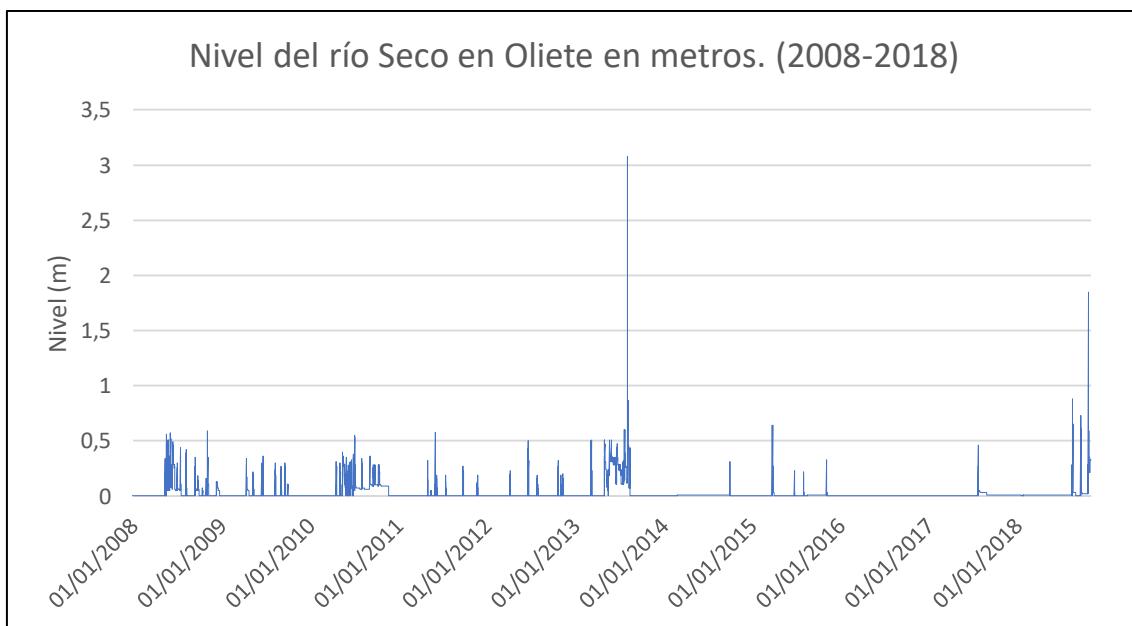


Figura 39: Nivel 15 min del río Seco en Oliete expresado en metros (2008-2018). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

- Barranco de Aguarón

En relación con este curso efímero, se puede apreciar por medio de la **figura 40** la existencia de tres episodios con un caudal ostensiblemente superior al resto de la serie de datos. El número de años no es representativo para poder realizar una afirmación, pero a priori tras lo que refleja dicho gráfico, se puede establecer un régimen estacional de caudal con máximos durante la primavera.

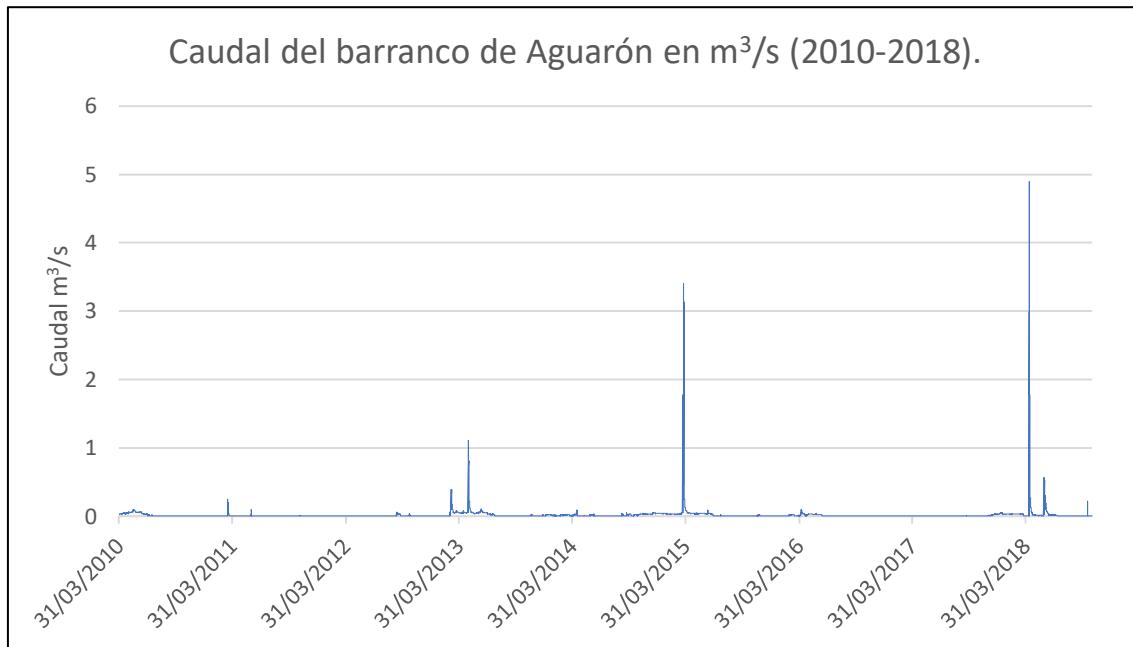


Figura 40: Caudal 15 min del barranco de Aguarón. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

- Barranco de Cosuenda

Como se puede observar en la **figura 41**, este curso efímero del cual se tienen datos de caudal no atesora un importante volumen en estos términos. No se puede considerar la existencia de crecidas dada la escasa magnitud de los caudales de esta cuenca pero sí que se observa una distribución de los eventos con más caudal en períodos de primavera, obteniendo un régimen estacional de caudal de primavera.

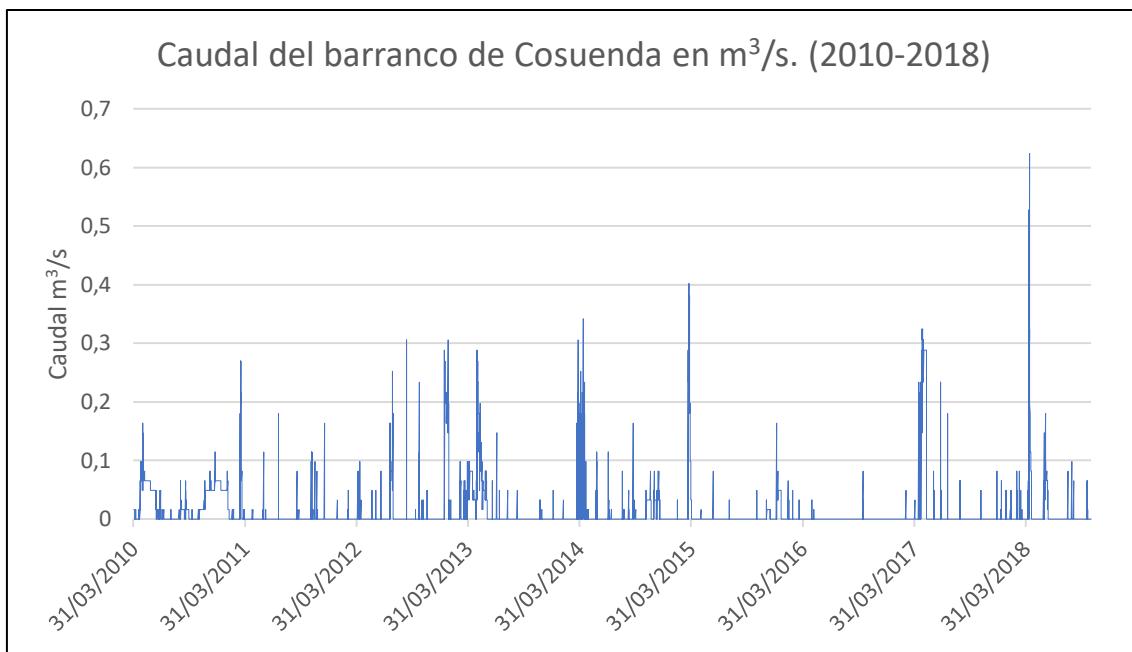


Figura 41: Caudal 15 min del barranco de Cosuenda. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

4.5. Respuesta fluvial de las diferentes cuencas

Tras haber analizado el comportamiento hidrológico de las diferentes cuencas que cuentan con datos de aforo, se van a comparar brevemente las diferentes cuencas presentadas en una tabla.

Cuencas estudiadas	Comportamiento hidrológico	Eventos extremos
Río Pena en Beceite	Máximos en otoño-primavera.	Sí, se contabilizan 4 desde 2009.
Río Pena en Valderrobres	Máximos principales en otoño y secundarios en primavera.	Sí, se contabilizan 4 desde 1997 aunque de menor entidad que en el aforo de Beceite.
Río Sosa en Peralta de la Sal	Caudal continuo con máximos en primavera y otoño.	Sí, se contabilizan 3 registros por encima de la media con caudales muy modestos.
Río Sosa en Azanuy	Niveles de agua con máximos en primavera y otoño.	Sí, se contabilizan 2 registros desde 2008.
Río Sosa en Monzón	Niveles de agua con máximos en otoño-verano asociados a tormentas.	Sí, se contabilizan 5 registros desde 2009.
Río Seco en Oliete	Niveles de agua con máximos en otoño-primavera y alguno en verano.	Sí, se contabilizan 5 registros desde 1997.
Barranco de Aguaron	Máximos de caudal en primavera.	Sí, se contabilizan 3 registros desde 2010 aumentando su magnitud.
Barranco de Cosuenda	Máximos de caudal en primavera.	No, los caudales máximos son poco relevantes y de poca entidad.

Tabla 26: Comparativa del comportamiento hidrológico y de eventos extremos de las diferentes cuencas estudiadas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

4.6. Valoración de la peligrosidad

Para comprobar y catalogar la peligrosidad que presentan las diferentes cuencas estudiadas se tienen en cuenta dos variables fundamentales para valorar esta peligrosidad. En primer lugar se recurre a las precipitaciones y al número de casos que superan los 50 mm/día para cada una de las 7 cuencas de estudio. Este aspecto se ha trabajado en el apartado de precipitaciones y por tanto cabe esperar que a un mayor número de casos que superen los 50 mm/día la peligrosidad se incrementará por una mayor potencialidad de poder sufrir dichas cuencas eventos de crecidas. En segundo lugar se recurre al factor topográfico, teniendo en cuenta la pendiente de cada una de las cuencas estudiadas. Para ello se realiza un modelo de pendientes de cada una de las cuencas y se valora la pendiente de cada una. Lo que cabe esperar es que a mayor pendiente hay mayor probabilidad de que la peligrosidad asociada a las crecidas aumente, ya que si se suman precipitaciones a una fuerte pendiente tendremos procesos de escorrentía y por tanto el agua discurrirá superficialmente. A continuación se presentan los diversos resultados obtenidos para cada una de las variables:

4.6.1. Número de casos que superan los 50 mm/día

Valorando los resultados del apartado de precipitaciones se puede vislumbrar una marcada disparidad en el número de casos en los que se superan los 50 mm/día para cada una de las cuencas estudiadas, lo que demuestra la variabilidad de cada una de las mismas.

Por cuencas hay algunas como la **rambla de Valcodo, rambla de Cariñena y Barranco de San Gregorio** que tan solo cuentan con 7 casos registrados en los que superan los 50 mm/día en el periodo 1950-2012. Esto indicaría en un primer momento una menor peligrosidad respecto al resto de las cuencas estudiadas teniendo en cuenta este umbral de precipitaciones, aunque no se puede corroborar rotundamente.

La cuenca del **río Seco** presenta 11 casos registrados que superan el umbral estimado para sufrir crecida de 50 mm/día. Tampoco es un dato muy importante en comparación con las cuencas anteriores, pero le otorga a priori una mayor peligrosidad en cuanto a sufrir crecidas.

El **río Sosa** (provincia de Huesca) presenta un número de casos muy superior a las cuencas previamente analizadas. Concretamente cuenta con 32 casos registrados que superan el umbral de los 50 mm/día. Este dato le confiere una mayor peligrosidad potencial de sufrir crecidas que los cursos efímeros tratados anteriormente.

En el caso del **arroyo Reajo** (La Rioja) el número de casos que supera el umbral de 50 mm/día es de 25. Este dato es inferior al que presenta el río Sosa pero nada desdeñable y a tener en cuenta para catalogar la peligrosidad de este curso efímero.

El último curso efímero es el **Barranco de Alpartir** que es afluente de la Rambla de Cariñena y próximo a una zona de sierra (Sierra de Algairén) del Sistema Ibérico. Este hecho es importante porque en un radio de pocos kilómetros nos encontramos con que el número de casos registrados por encima de los 50 mm/día de toda la serie de datos para este curso efímero es de 15. Esto representa el doble de registros que la rambla de Cariñena. Esto es muy interesante de ver y dota a este curso efímero de una mayor peligrosidad de sufrir crecidas que la propia rambla de Cariñena de la que es afluente.

Este breve análisis de cada cuenca en relación con el número de casos va a ser completado con un cálculo del periodo de retorno en años para que se produzcan 50 mm/día de tal forma que se puede afinar más en la peligrosidad de cada cuenca (**tablas 27 a 33**).

- Rambla de Valcodo

Precipitación (y) (mm/día)	
	50
Periodo retorno (x) (años)	
	10,34

Tabla 27: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca de la Rambla de Valcodo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Rambla de Cariñena

Precipitación (y) (mm/día)	
	50
Periodo retorno (x) (años)	
	8,60

Tabla 28: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca de la Rambla de Cariñena. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Río Sosa

Precipitación (y) (mm/día)	
	50
Periodo retorno (x) (años)	
	2,80

Tabla 29: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca del Río Sosa. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Río Seco

Precipitación (y) (mm/día)	
	50
Periodo retorno (x) (años)	
	6,11

Tabla 30: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca del río Seco. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Barranco de Alpartir

Precipitación (y) (mm/día)	
	50
Periodo retorno (x) (años)	
	3,78

Tabla 31: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca del barranco de Alpartir. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Arroyo Reajo

Precipitación (y) (mm/día)	
	50
Periodo retorno (x) (años)	
	2,80

Tabla 32: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca del arroyo Reajo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Barranco de San Gregorio

Precipitación (y) (mm/día)	
	50
Periodo retorno (x) (años)	
	8,25

Tabla 33: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca del barranco de San Gregorio. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Análisis genérico de los períodos de retorno con precipitación =50 mm/día

Como se puede apreciar cada cuenca tiene un comportamiento diferente en cuanto a precipitaciones por sus características geográficas predominantes. Lo que se observa es una disparidad notable en relación con los períodos de retorno con precipitaciones iguales a 50 mm/día. Por una parte, nos encontramos con valores que superan los 10 años en repetir estas precipitaciones (rambla de Valcodo) y otros que se repiten cada menos de 3 años (río Sosa y arroyo Reajo). En base a este criterio lo que se observa es que los cursos efímeros por orden de peligrosidad son: Sosa y Reajo, Alpartir, Seco, San Gregorio, Cariñena y Valcodo.

4.6.2. Factor topográfico (pendientes)

En este apartado se valora la peligrosidad de cada cuenca en función de su topografía teniendo en cuenta la pendiente que presenta cada cuenca. El cálculo fácil es ver la altura máxima y mínima de la cuenca por medio de un modelo digital de elevaciones MDT-05 con resolución de cada píxel cada 5 metros. En este caso nos encontramos con que la cuenca con un mayor desnivel es la Rambla de Cariñena seguido del Barranco de Alpartir, río Sosa, rambla de Valcodo, arroyo Reajo, río Seco y por último barranco de San Gregorio. En cualquier caso, se presentan a continuación las cartografías relativas a las pendientes de cada una de las cuencas estudiadas así como la red fluvial y la presencia de núcleos de población en cada una de las cuencas (vulnerabilidad), otro aspecto importante para tener en cuenta a la hora de valorar los factores de riesgo de cada cuenca (**figuras 42 a 48**).

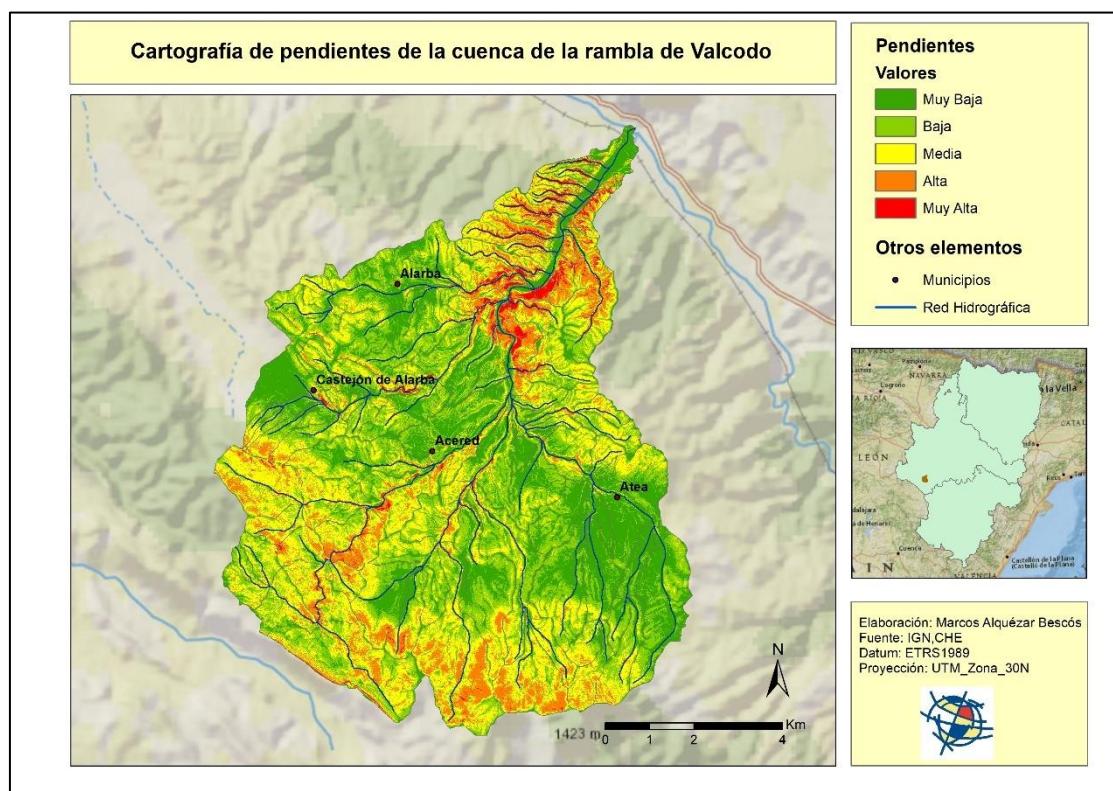


Figura 42: Cartografía de pendientes de la cuenca de la rambla de Valcodo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y del IGN.

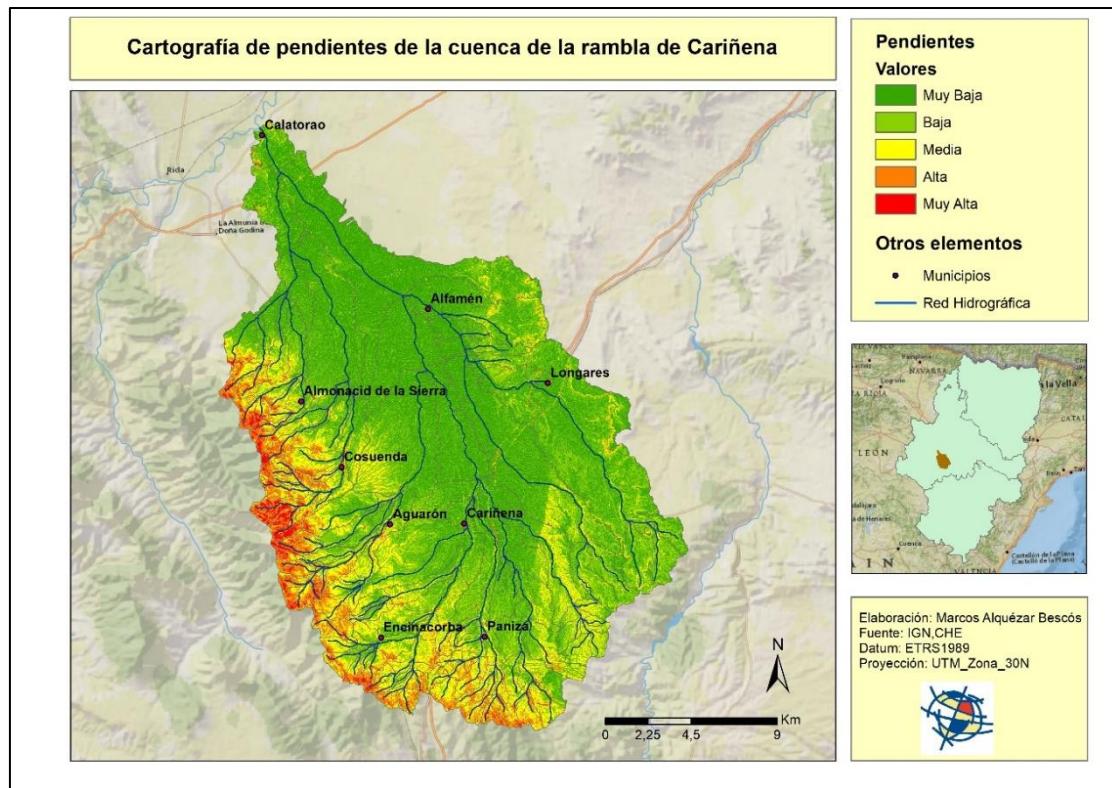


Figura 43: Cartografía de pendientes de la cuenca de la rambla de Cariñena. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y del IGN.

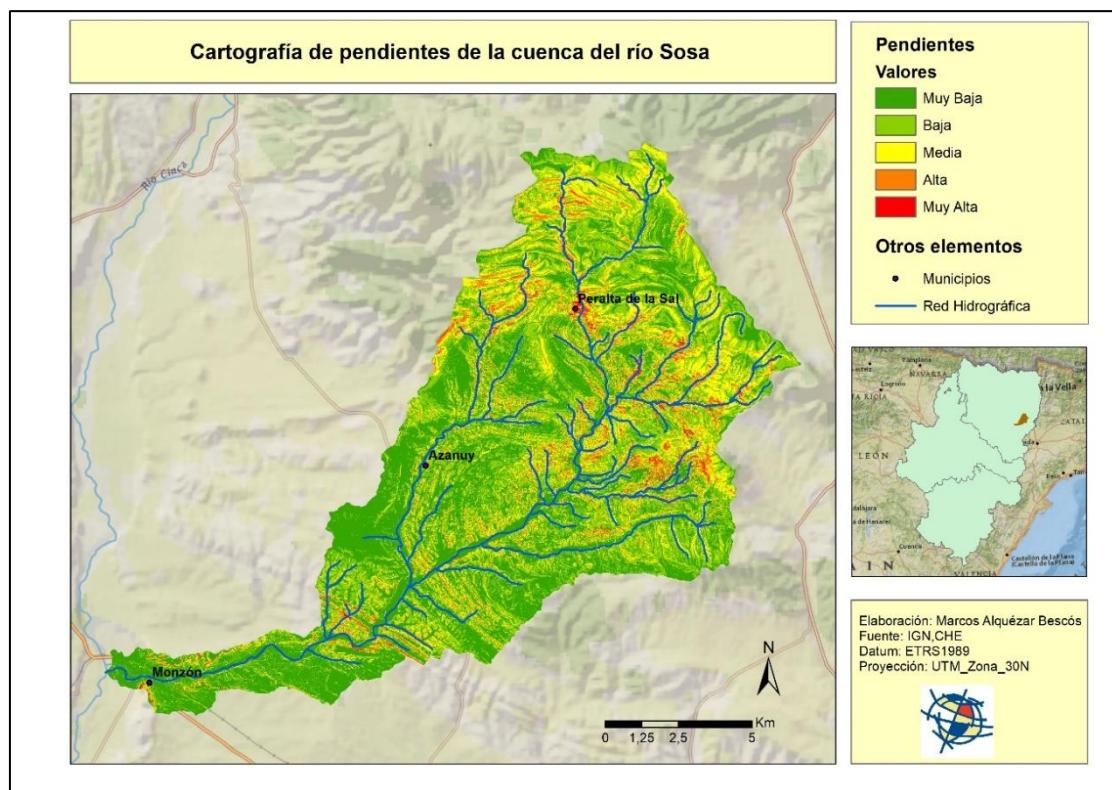


Figura 44: Cartografía de pendientes de la cuenca del río Sosa. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y del IGN.

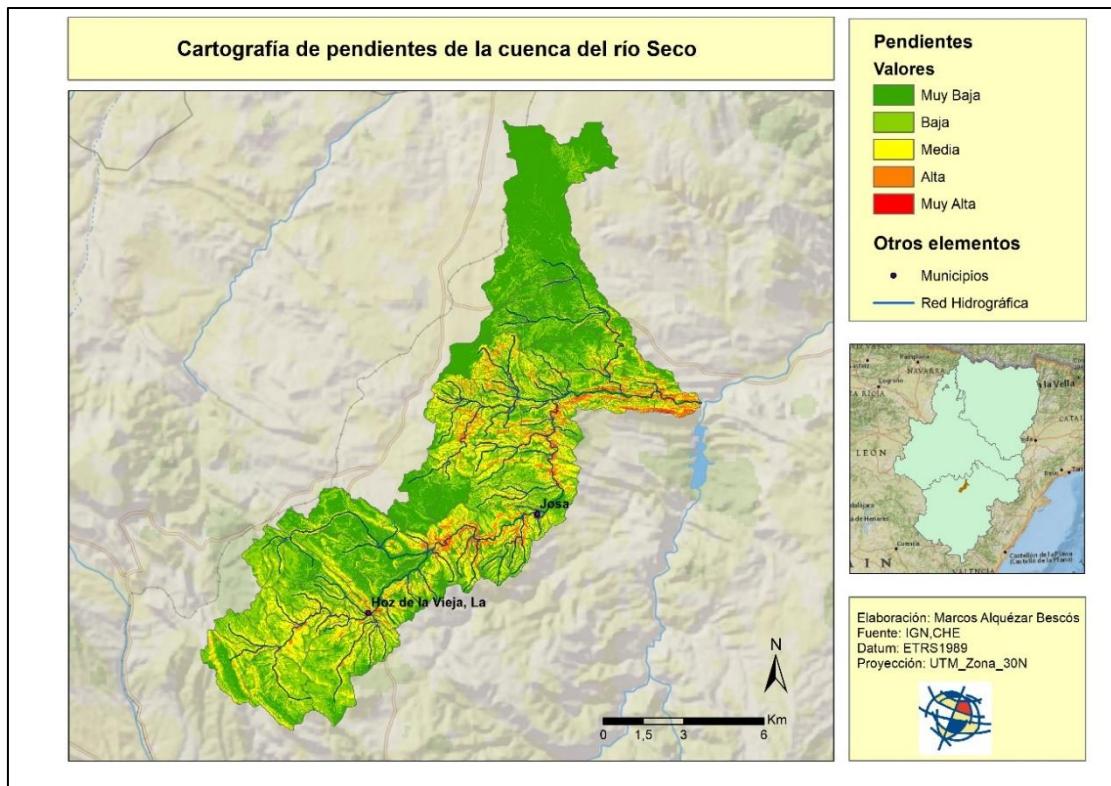


Figura 45: Cartografía de pendientes de la cuenca del río Seco. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y del IGN.

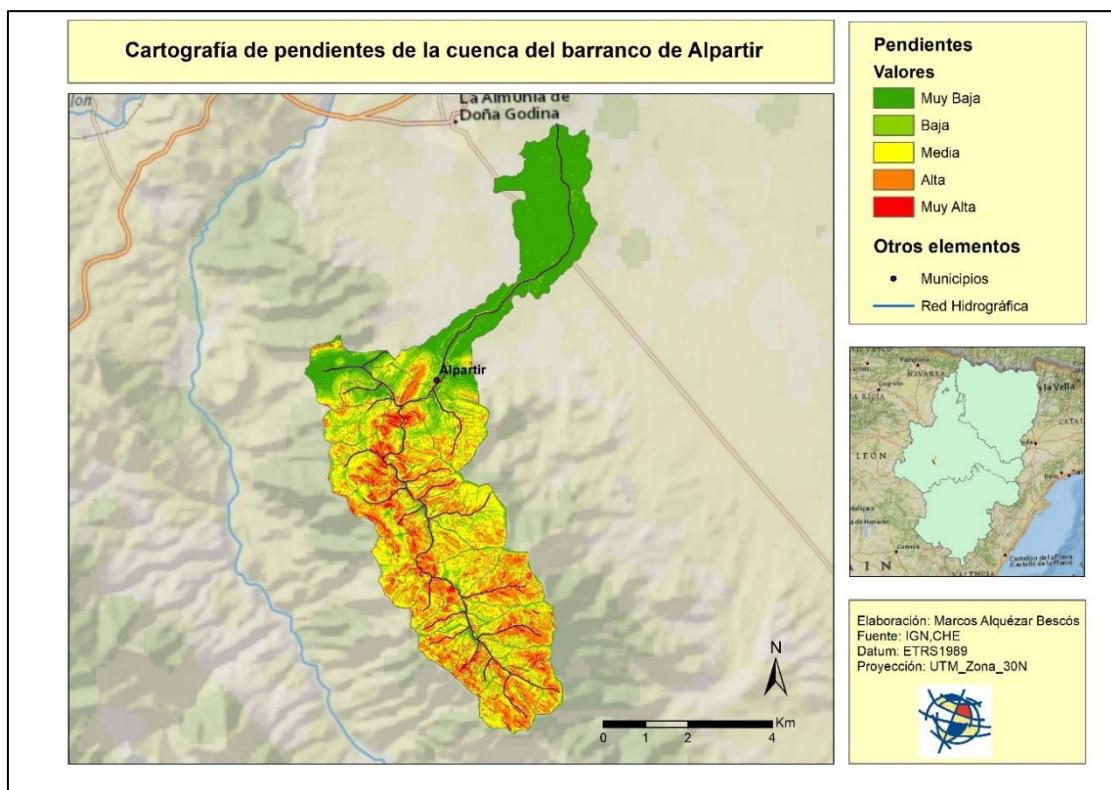


Figura 46: Cartografía de pendientes de la cuenca del barranco de Alpartir. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y del IGN.

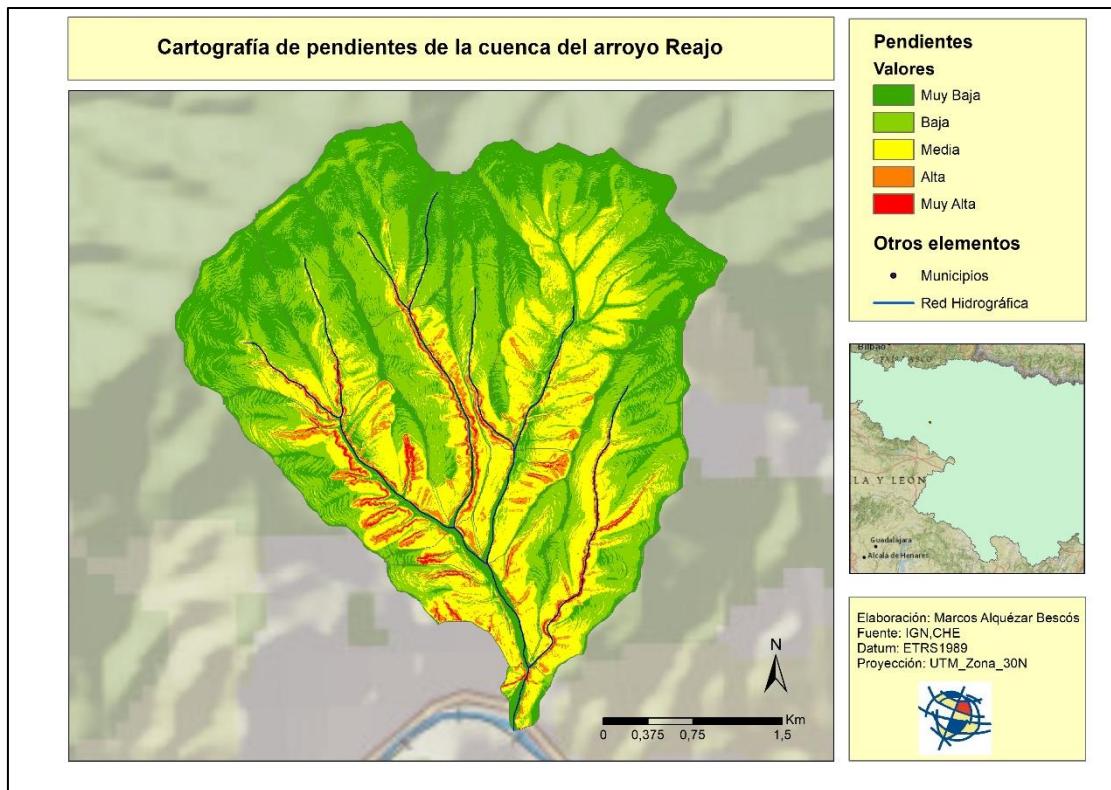


Figura 47: Cartografía de pendientes de la cuenca del arroyo Reajo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y el IGN.

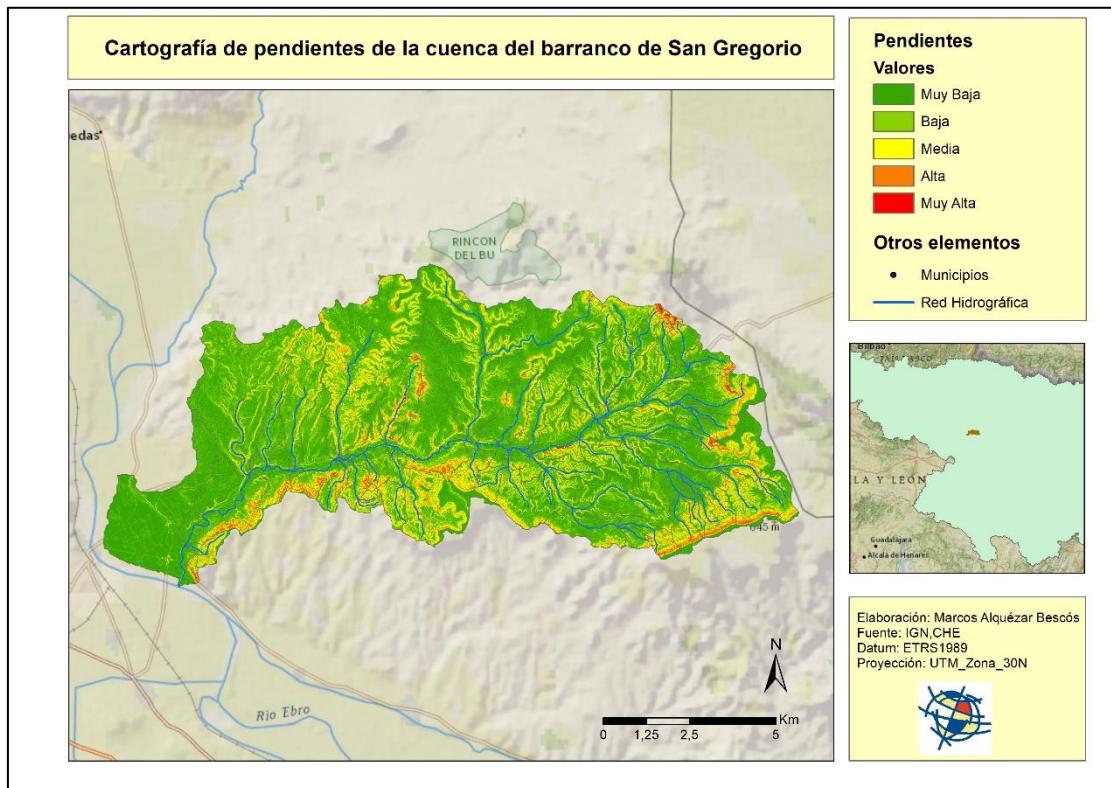


Figura 48: Cartografía de pendientes de la cuenca del barranco de San Gregorio. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE y el IGN.

4.7. Evolución y tendencias

En el presente apartado, se va a valorar la evolución de las diferentes cuencas y si existen tendencias observadas por medio de la realización de gráficos tanto para las precipitaciones como para las crecidas existentes.

4.7.1. Precipitaciones

A continuación se van a presentar los gráficos de las siete cuencas estudiadas con los diferentes registros de precipitación desde 1950 hasta el año 2012. Dado el importante número de datos se van a realizar recortes del gráfico general por décadas para poder ver con más detalle las precipitaciones registradas. El comentario irá encaminado en esta línea.

Rambla de Valcodo

A continuación, se va a evaluar la tendencia cada 20 años las precipitaciones de la rambla de Valcodo.

- Periodo 1950-1970

En este periodo de tiempo la evolución de precipitaciones de la rambla de Valcodo refleja una cierta tendencia a la disminución de casos que registran precipitaciones próximas a los 50 mm/día. Entre mediados de los años 50 hasta aproximadamente 1962 observamos 5 registros que superan dicho umbral. A partir de 1962 hasta 1970 no se registra ningún valor de precipitación superior o igual a los 50 mm/día (**figura 49**).

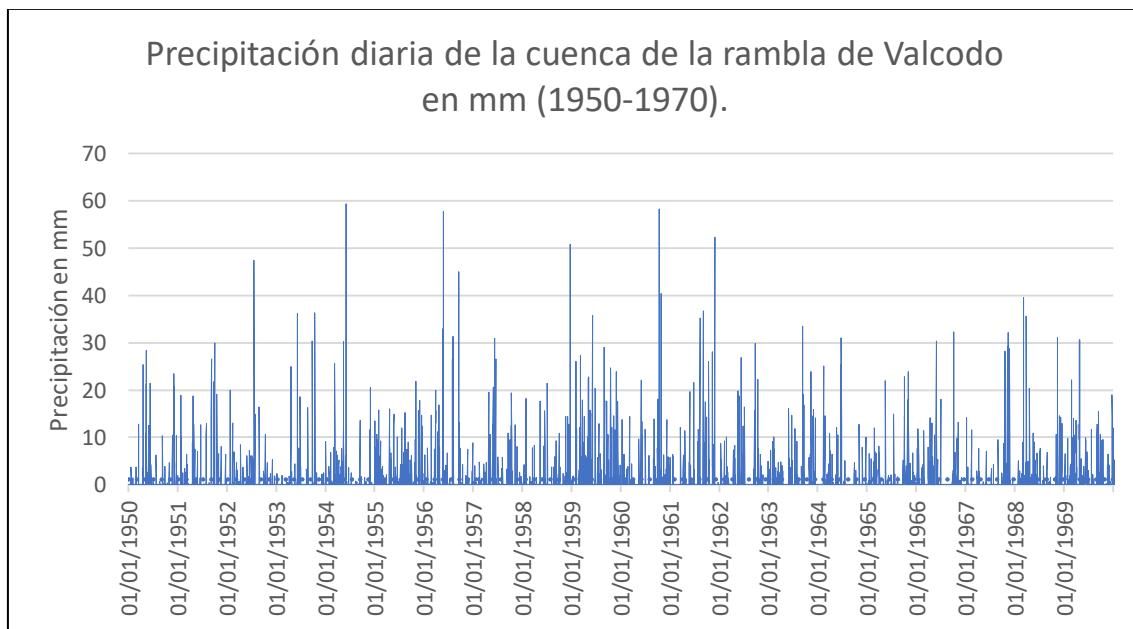


Figura 49: Precipitación diaria de la rambla de Valcodo entre 1950-1970. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1970-1990

En el espacio de tiempo comprendido entre 1970-1990 se puede observar una evolución de precipitaciones que no refleja una tendencia clara. Los eventos superiores o iguales a 50 mm/día se reducen a un registro, con lo cual se continúa con esta tendencia a tener menores precipitaciones que en el periodo anterior (**figura 50**).

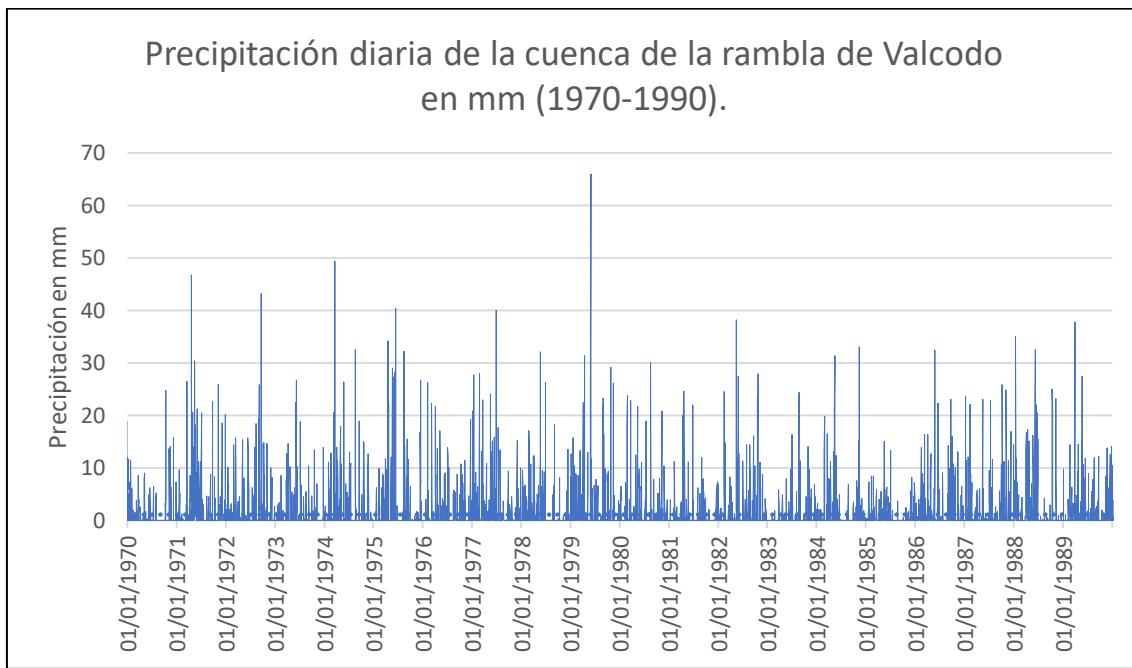


Figura 50: Precipitación diaria de la rambla de Valcodo entre 1970-1990. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1990-2012

En este periodo de tiempo no se observa un cambio de tendencia. Solo se registra un evento que supera los 50 mm/día de precipitación al igual que en el periodo de 1970-1990. En líneas generales el grueso de precipitaciones es inferior y se observa una precipitación escasa y homogénea (**figura 51**).

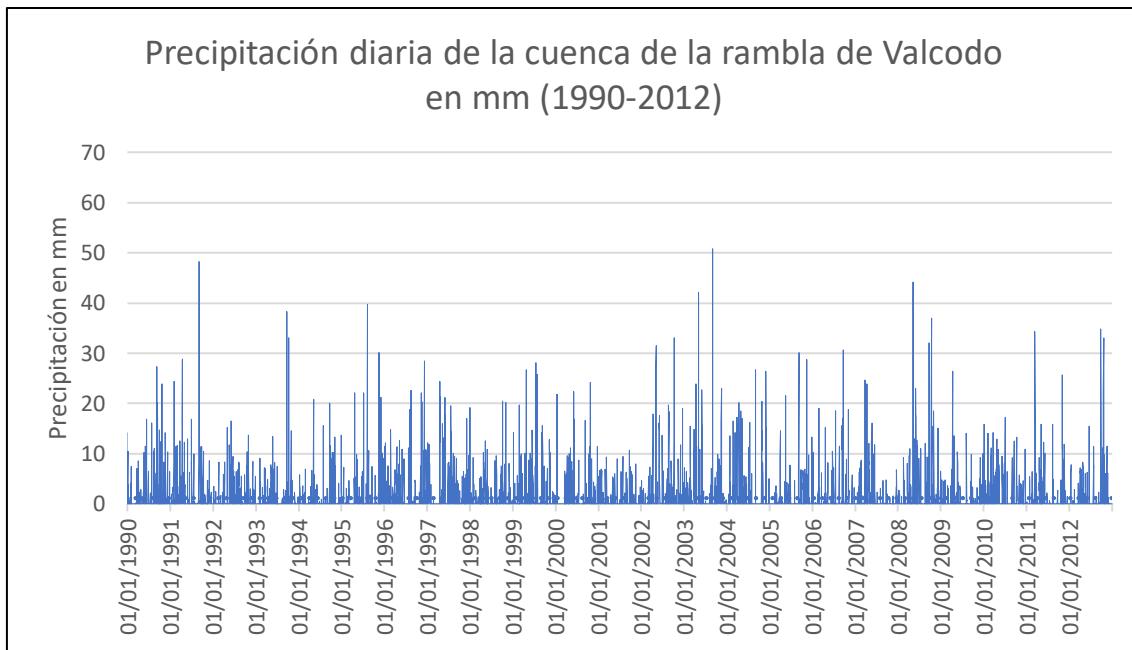


Figura 51: Precipitación diaria de la rambla de Valcodo entre 1990-2012. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Rambla de Cariñena

- Periodo 1950-1970

En este espacio de tiempo de precipitaciones de la rambla de Cariñena no se observa ninguna tendencia a un aumento o descenso de precipitaciones así como de eventos que superan los 50 mm/día. Solo se encuentra un registro superior a este valor. En líneas generales se observan precipitaciones bajas (**figura 52**).

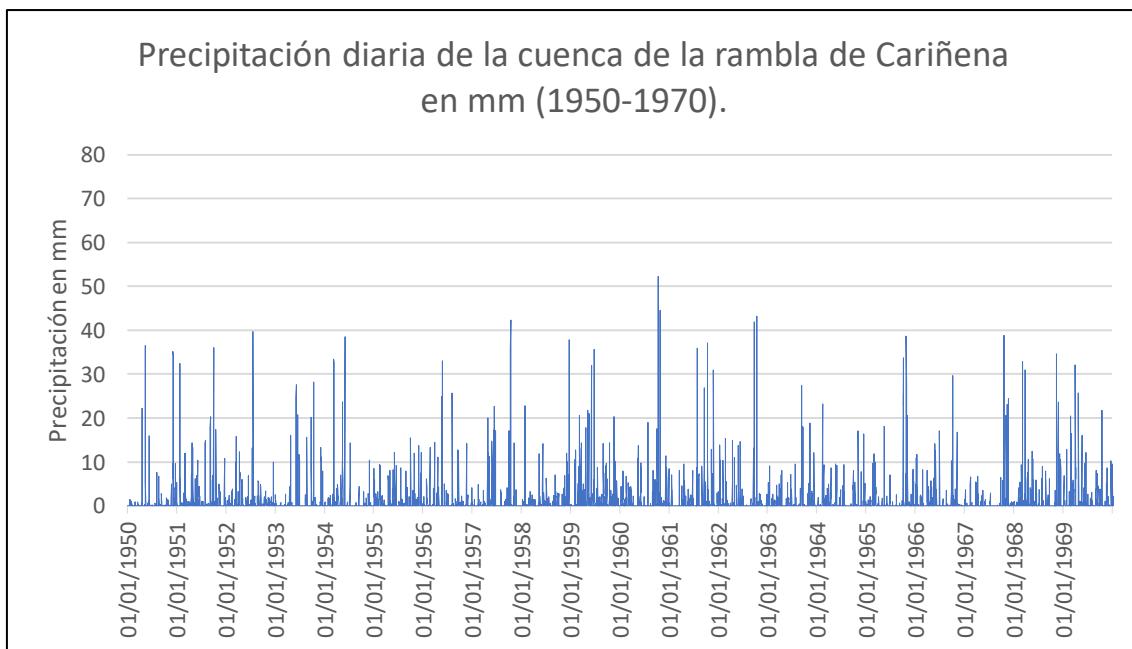


Figura 52: Precipitación diaria de la rambla de Cariñena entre 1950-1970. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1970-1990

Durante este espacio de tiempo se observa un cambio de tendencia respecto al periodo anterior. Se encuentra un grueso de precipitaciones de mayor entidad y también un aumento en el número de eventos que superan los 50 mm/día (se pasa de solo uno en el periodo anterior a contabilizar tres eventos en este periodo de 20 años) (**figura 53**).

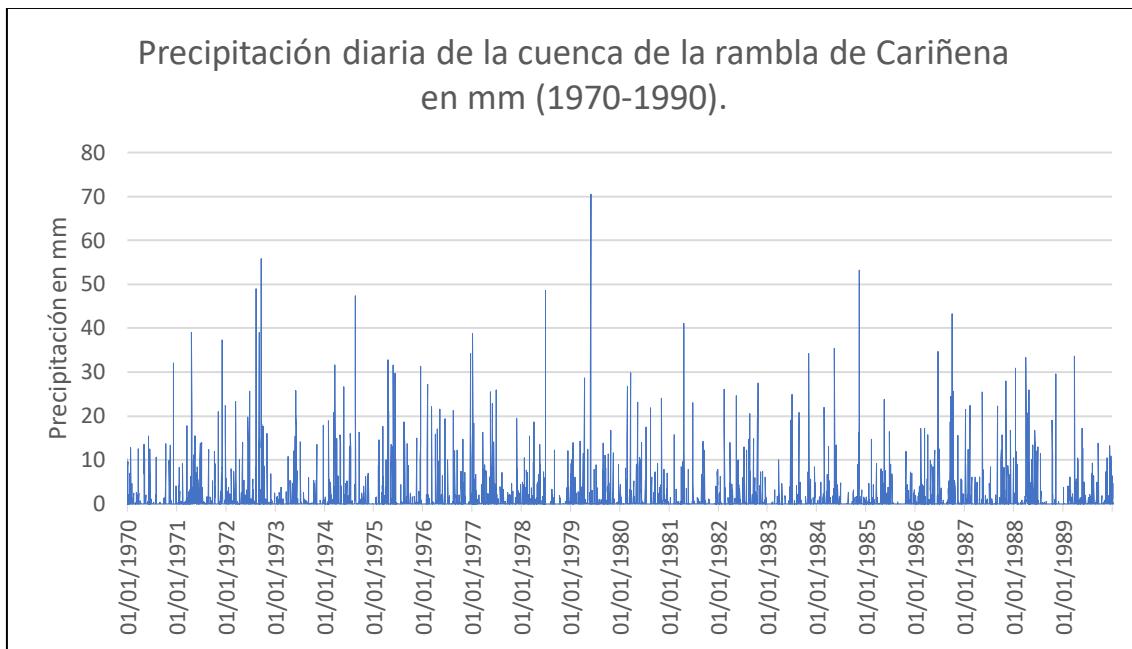


Figura 53: Precipitación diaria de la rambla de Cariñena entre 1970-1990. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1990-2012

El último periodo estudiado (1990-2012) no presenta variaciones significativas respecto al anterior. Se da un mismo número de eventos que superan el umbral de los 50 mm/día así como las precipitaciones generales (no aumentan ni disminuyen y en general no son significativas) (**figura 54**).

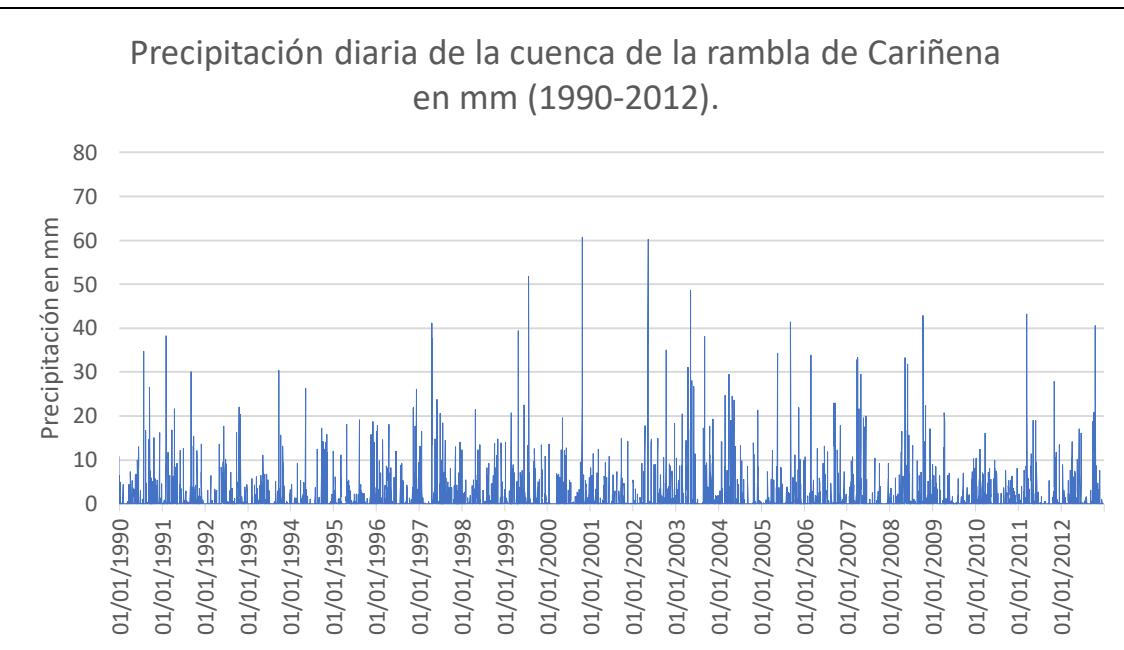


Figura 54: Precipitación diaria de la rambla de Cariñena entre 1990-2012. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Río Sosa

- Periodo 1950-1970

En un primer lugar y a diferencia de los anteriores cursos efímeros se observa un cambio en la escala de precipitaciones constatando un incremento de las mismas. En relación con posibles tendencias se podría decir que existe un aumento medio de las precipitaciones desde 1959 hasta 1967 aproximadamente pudiendo encontrar varios eventos superiores al umbral de los 50 mm/día (**figura 55**).

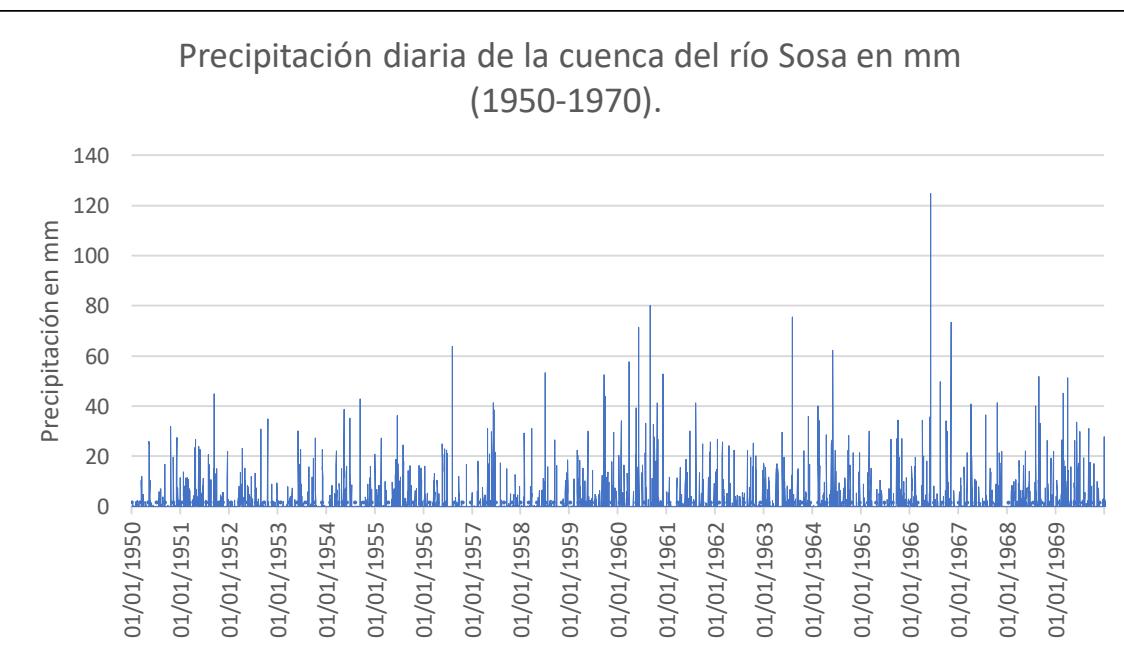


Figura 55: Precipitación diaria del río Sosa entre 1950-1970. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano

- Periodo 1970-1990

En este espacio temporal se observa un cambio de tendencia notorio respecto al anterior periodo analizado (**figura 56**). A diferencia de 1950-1970, se reduce la magnitud de las precipitaciones, observándose un comportamiento más homogéneo y encontrando como máximo de precipitación diaria unos 72 mm/día aproximadamente. No se observa disminución de eventos que superan los 50 mm/día pero como se ha comentado, se homogenizan las precipitaciones y se reduce la magnitud de las mismas.

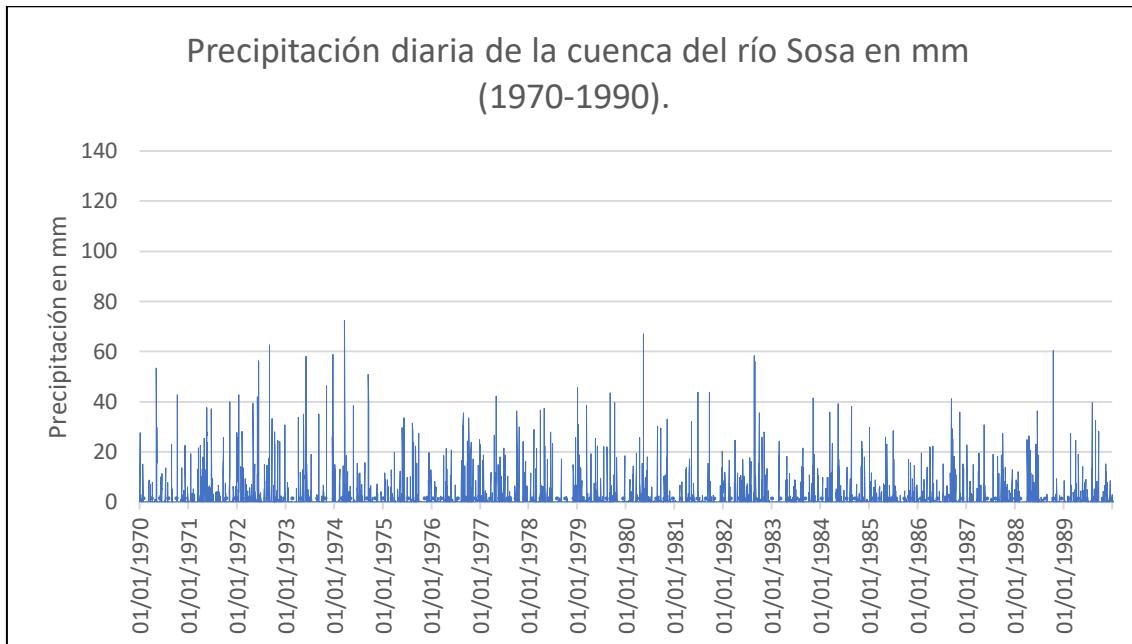


Figura 56: Precipitación diaria del río Sosa entre 1970-1990. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1990-2012

En este último periodo analizado no existe un cambio de tendencia evidente pero si que parece que desde el años 2000 aproximadamente se observa un descenso ligero en las precipitaciones y un nulo registro de valores que tengan un umbral de 50 mm/día. Desde el año 1990-2000 no se aprecia un cambio de tendencia aunque las precipitaciones no son significativas y con un carácter en líneas generales homogéneo (**figura 57**).

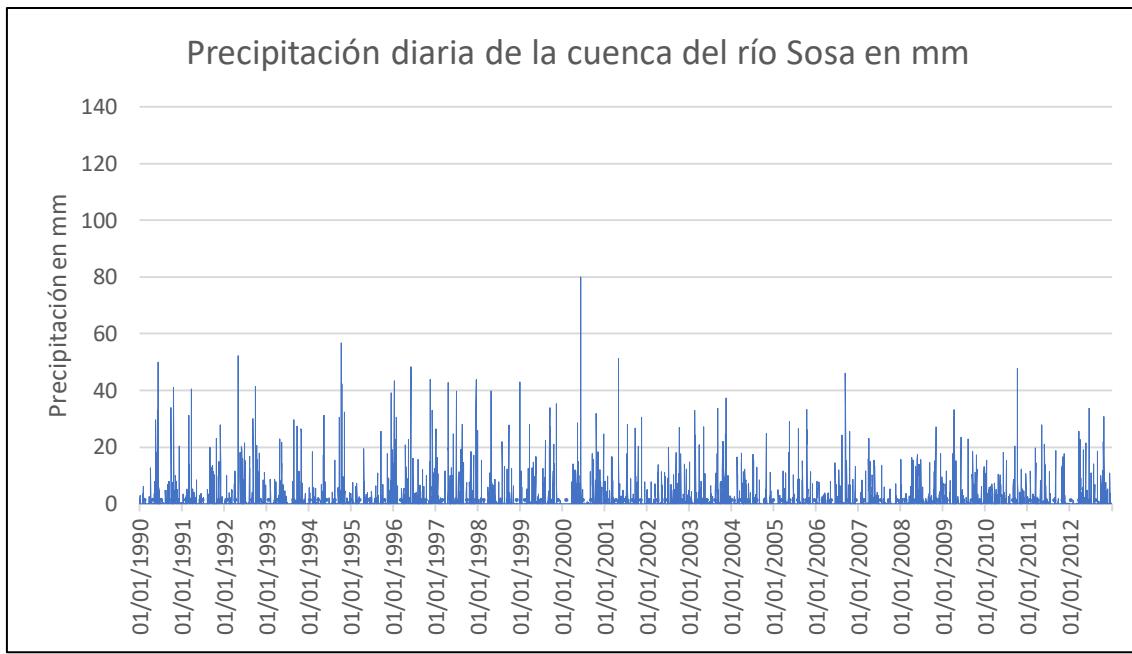


Figura 57: Precipitación diaria del río Sosa entre 1990-2012. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Río Seco

- Periodo 1950-1970

De este periodo de tiempo se puede destacar que no existe una tendencia en relación con las precipitaciones. Se cuenta con períodos de escasa o nula precipitación y otros con picos que superan o se acercan a los 50 mm/día de umbral. Esto muestra una marcada irregularidad en las precipitaciones desde 1950 hasta 1970 (figura 58).

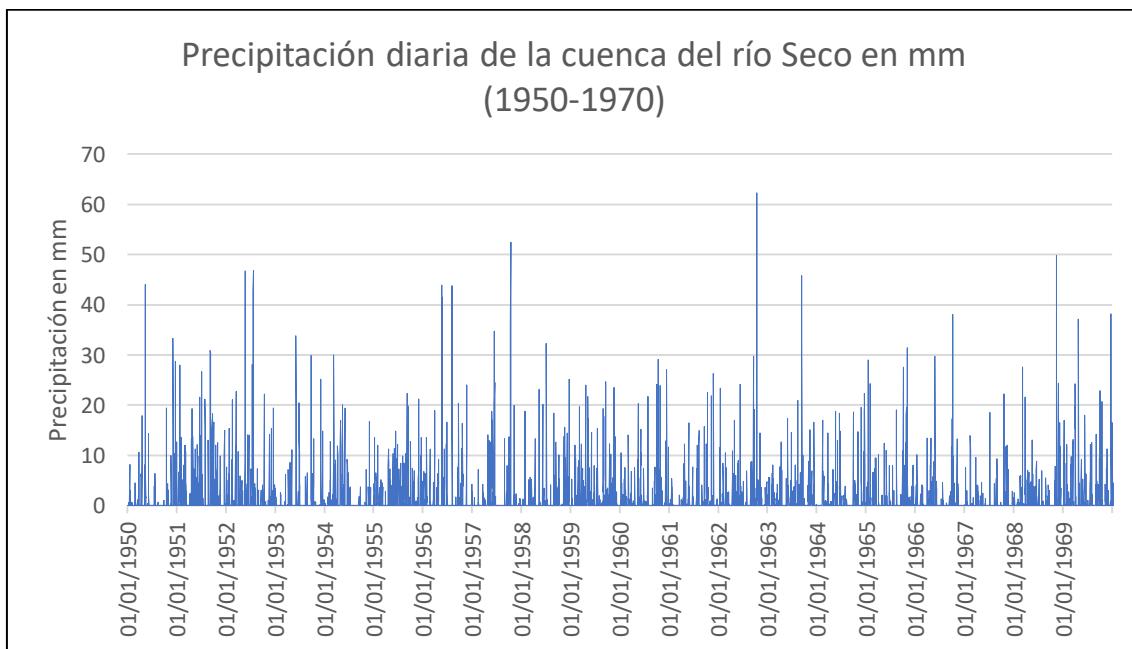


Figura 58: Precipitación diaria del río Seco entre 1950-1970. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1970-1990

En relación con el periodo analizado previamente, no hay un cambio genérico de tendencia pero sí que aumentan ligeramente las precipitaciones y su magnitud. Se pasa de tres registros mayores de 50 mm/día a cuatro en este periodo. Este aumento se ve mejor en los datos que superan los 40 mm/día (**figura 59**).

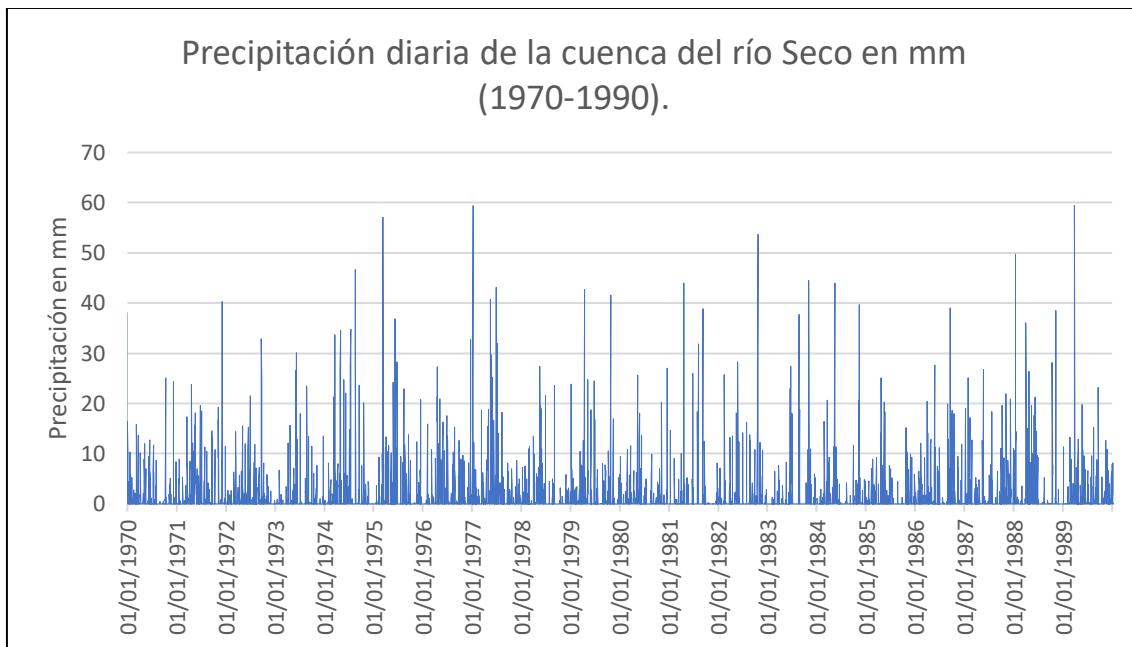


Figura 59: Precipitación diaria del río Seco entre 1970-1990. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1990-2012

En este periodo se observan dos tendencias diferenciadas. En primer lugar un aumento de precipitaciones hasta el año 2001 aproximadamente y luego un descenso desde el año 2003 hasta el 2012. Se observa una marcada irregularidad en las precipitaciones y el número de casos que superan los 50 mm/día es de cinco (**figura 60**).

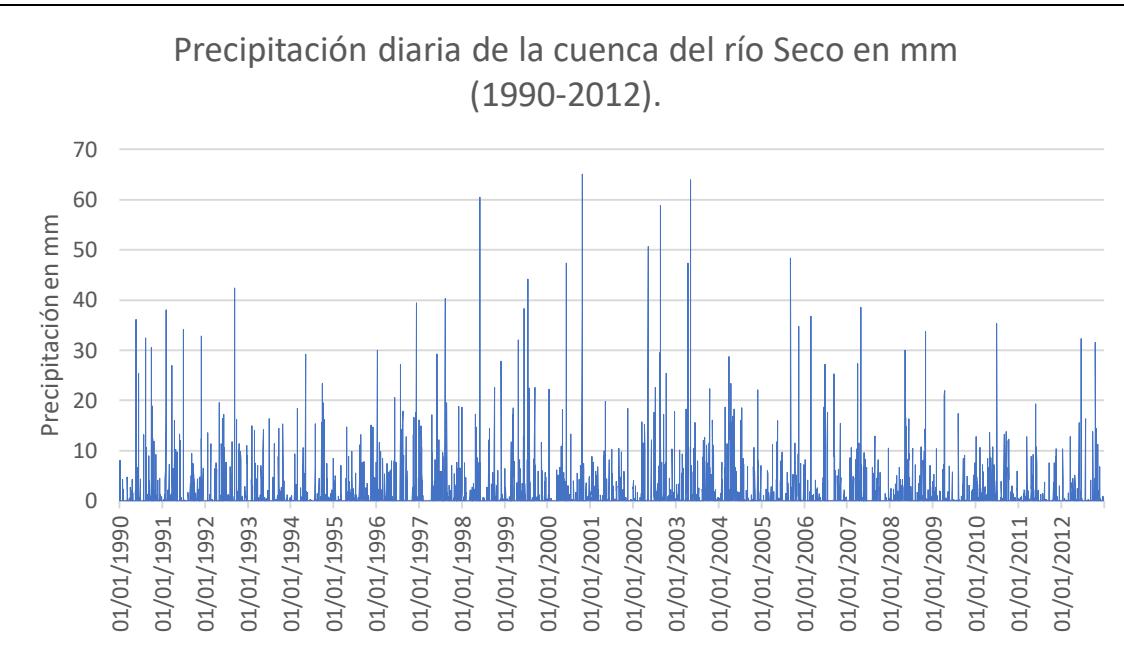


Figura 60: Precipitación diaria del río Seco entre 1990-2012. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Barranco de Alpartir

- Periodo 1950-1970

Para este espacio de tiempo no se pueden comentar muchos aspectos. No se observan tendencias en relación con las precipitaciones y su magnitud, en líneas generales no hay una marcada irregularidad y se encuentran cuatro registros que superan el umbral de los 50 mm/día (**Figura 61**).

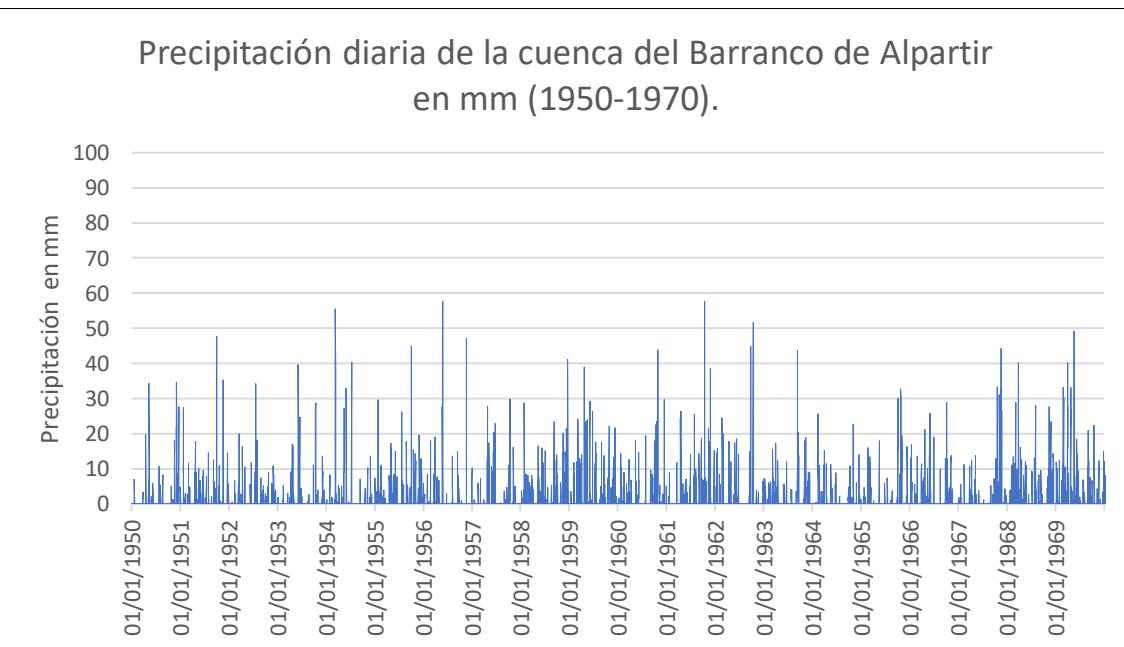


Figura 61: Precipitación diaria del barranco de Alpartir entre 1950-1970. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1970-1990

En este periodo se siguen sin observar tendencias claras en relación con las precipitaciones si bien se puede notar un ligero aumento de las mismas y también en el número de casos que superan los 50 mm/día contabilizando cinco en lugar de cuatro que había el periodo anterior (**figura 62**).

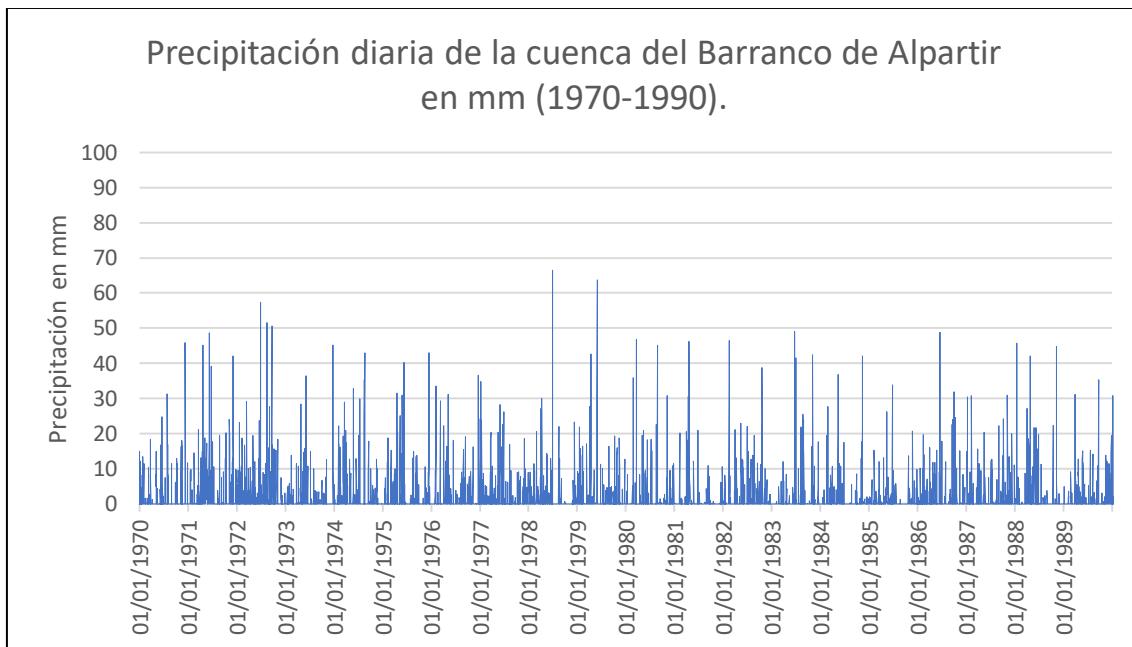


Figura 62: Precipitación diaria del barranco de Alpartir entre 1970-1990. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1990-2012

En este último periodo de precipitaciones registradas del barranco de Alpartir, se observa una mayor irregularidad, aspecto que representa un cambio de tendencia respecto de los anteriores periodos analizados. El número de registros que superan los 50 mm/día se mantiene estable respecto al periodo anterior pero destaca el aumento en la magnitud de las precipitaciones pudiendo apreciar un registro pluviométrico próximo a los 100 mm/día (**figura 63**).

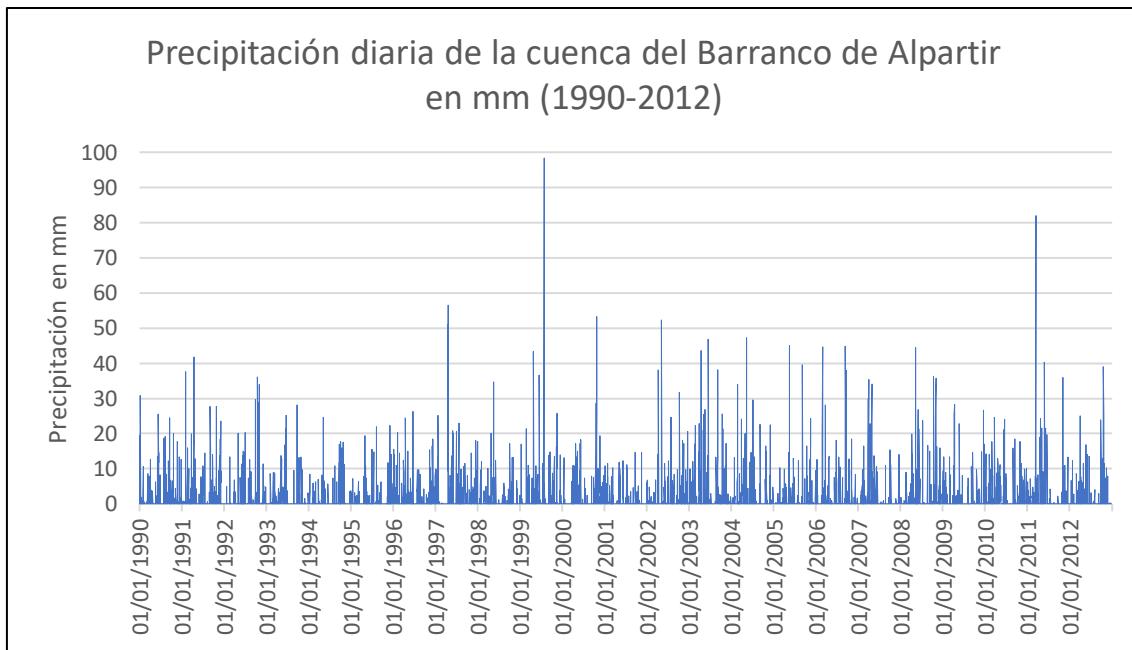


Figura 63: Precipitación diaria del barranco de Alpartir entre 1990-2012. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Arroyo Reajo

- Periodo 1950-1970

Para este curso efímero se observa un claro cambio de tendencia en las precipitaciones desde 1950 hasta 1970. Durante los primeros años se observa una marcada irregularidad con registros pluviométricos que incluso superan los 80 mm/día y con numerosos casos superiores a los 50 mm/día. A partir del año 1960 se empieza a reducir la magnitud de las precipitaciones y se produce un cambio de tendencia a registrar precipitaciones muy inferiores al principio del periodo y con un carácter homogéneo (**figura 64**).

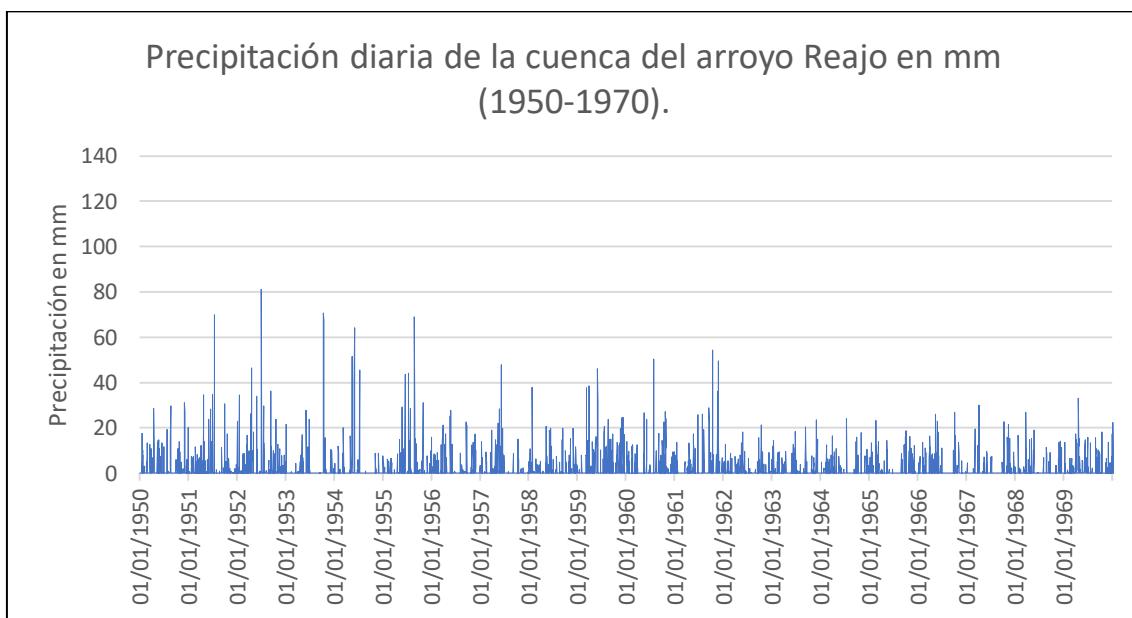


Figura 64: Precipitación diaria del arroyo Reajo entre 1950-1970. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1970-1990

Durante este periodo temporal, no se aprecia una tendencia clara en relación con las precipitaciones. Se rompe ligeramente la homogeneización de finales del periodo anterior pero no se llega a la irregularidad de principios del periodo de 1950-1970 (**figura 65**).

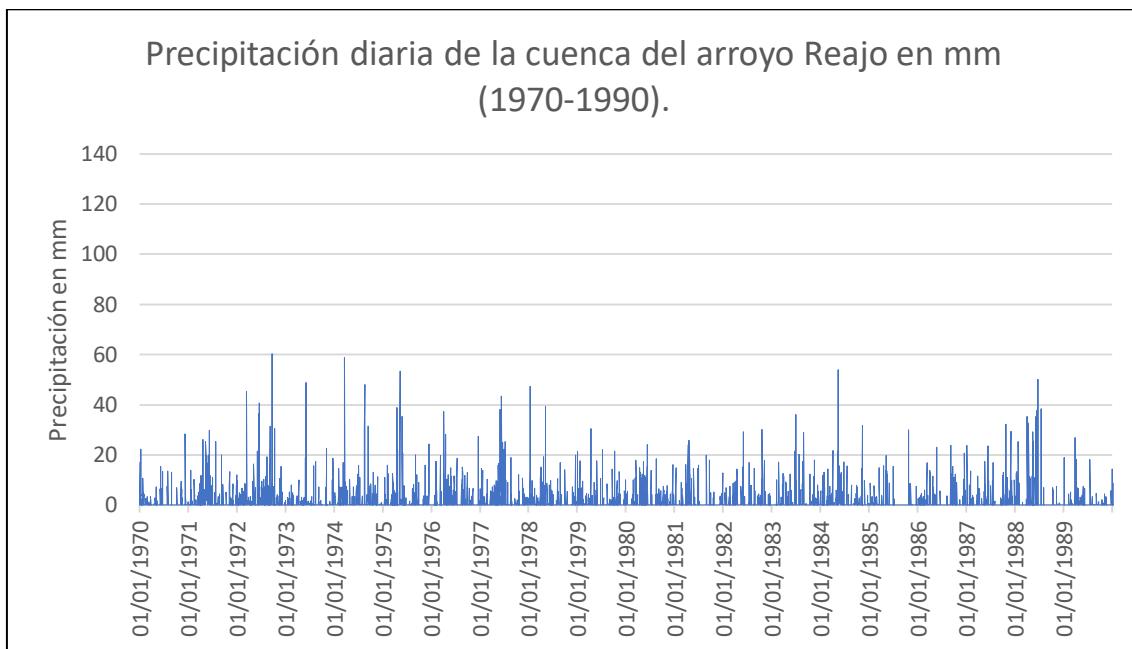


Figura 65: Precipitación diaria del arroyo Reajo entre 1970-1990. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1990-2012

Cambio importante de tendencia en relación con la magnitud de las precipitaciones. Este periodo está caracterizado por presentar una importante irregularidad en los registros pluviométricos destacando un máximo de 132 mm/día registrado en el año 2003. También destacan los registros superiores a 50 mm/día que aumentan respecto a los periodos analizados previamente (**figura 66**).

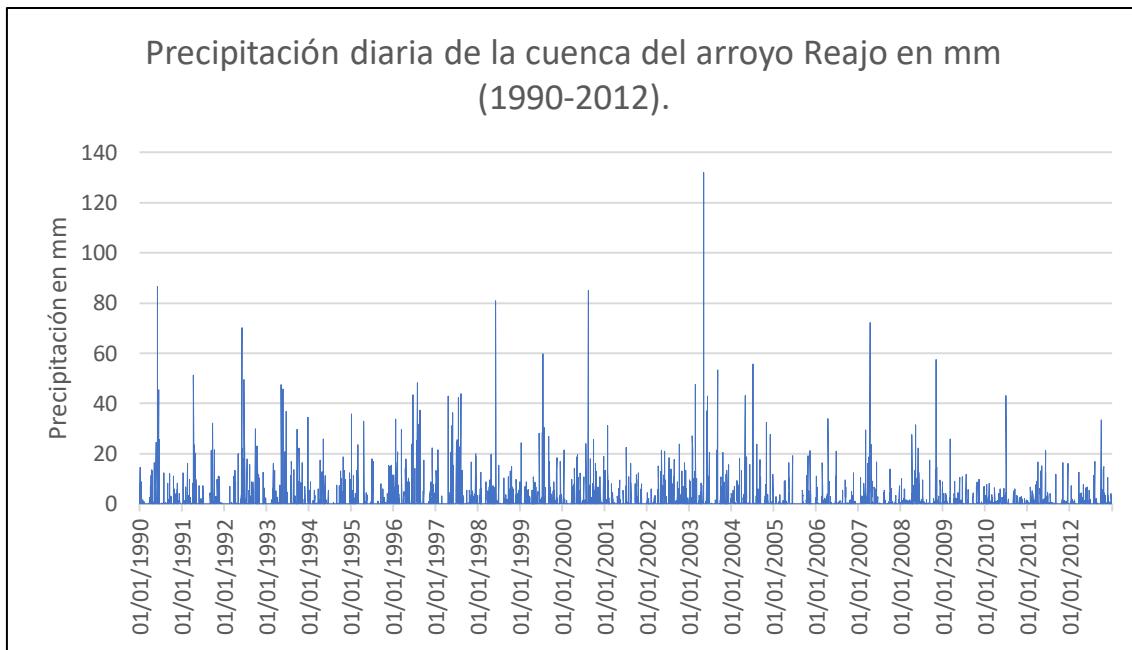


Figura 66: Precipitación diaria del arroyo Reajo entre 1990-2012. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

Barranco de San Gregorio

- Periodo 1950-1970

Como se puede apreciar en el gráfico, este curso efímero presenta cierta irregularidad en las precipitaciones. No se observan tendencias ni en relación con un aumento general de precipitaciones ni tampoco en relación con la magnitud de las mismas. El número de registros que superan los 50 mm/día es de dos a lo largo de esta serie de años (figura 67).

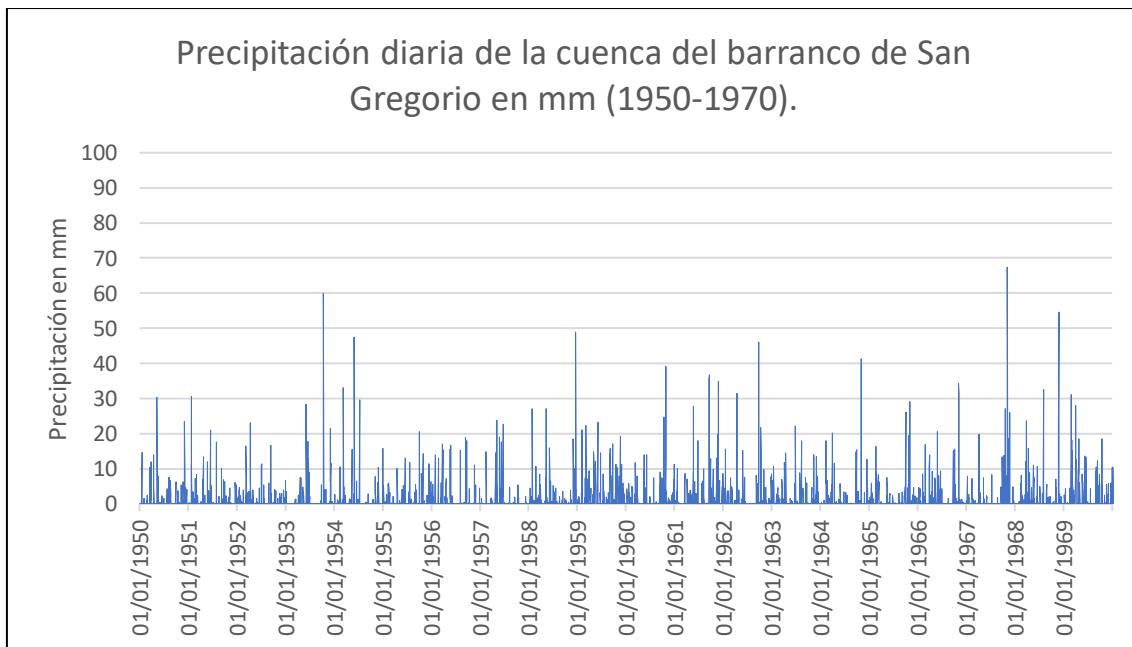


Figura 67: Precipitación diaria del barranco de San Gregorio entre 1950-1970. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1970-1990

En este periodo de tiempo no se observa un cambio de tendencia en relación con la precipitación pero sí se aprecia cierta homogeneización y pérdida de irregularidad, especialmente en la segunda mitad del periodo analizado. El número de registros que superan los 50 mm/día es de dos con lo que se reduce en uno respecto del periodo 1950-1970 (**figura 68**).

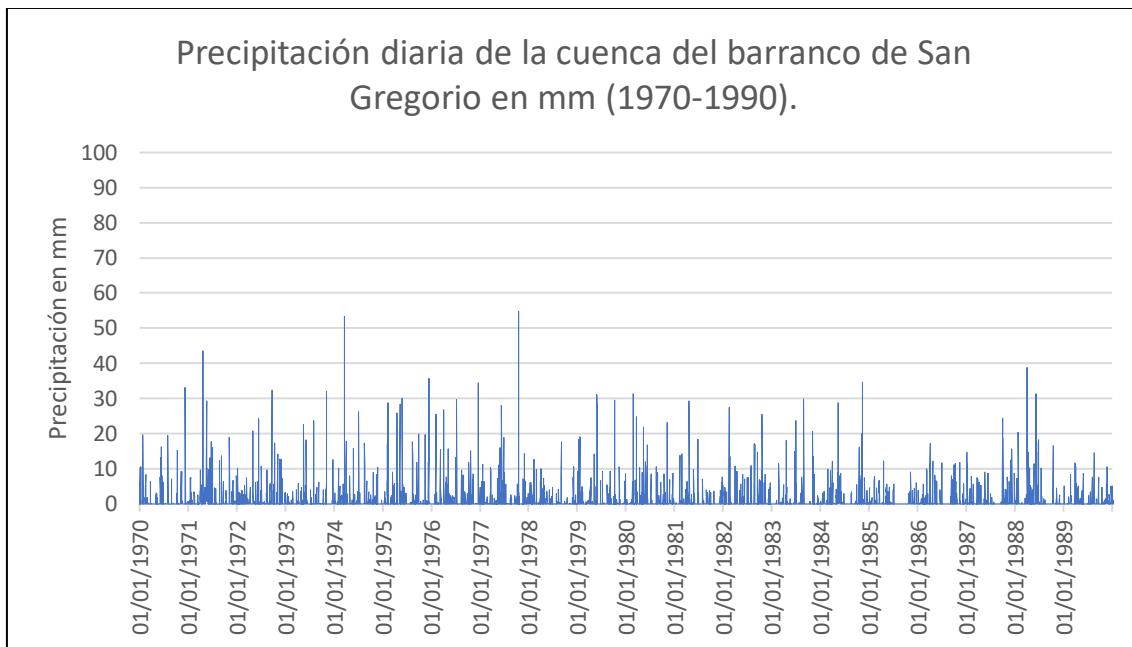


Figura 68: Precipitación diaria del barranco de San Gregorio entre 1970-1990. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

- Periodo 1990-2012

Durante este periodo de tiempo lo que se observa es un carácter a grandes rasgos homogéneo en el cual no se observan tendencias de ningún tipo. El número de registros superiores a los 50 mm/día es de dos destacando los casi 93 mm/día registrados en septiembre de 2004 coincidiendo con un episodio de precipitaciones que desencadenó una importante crecida del río Arba (**figura 69**).

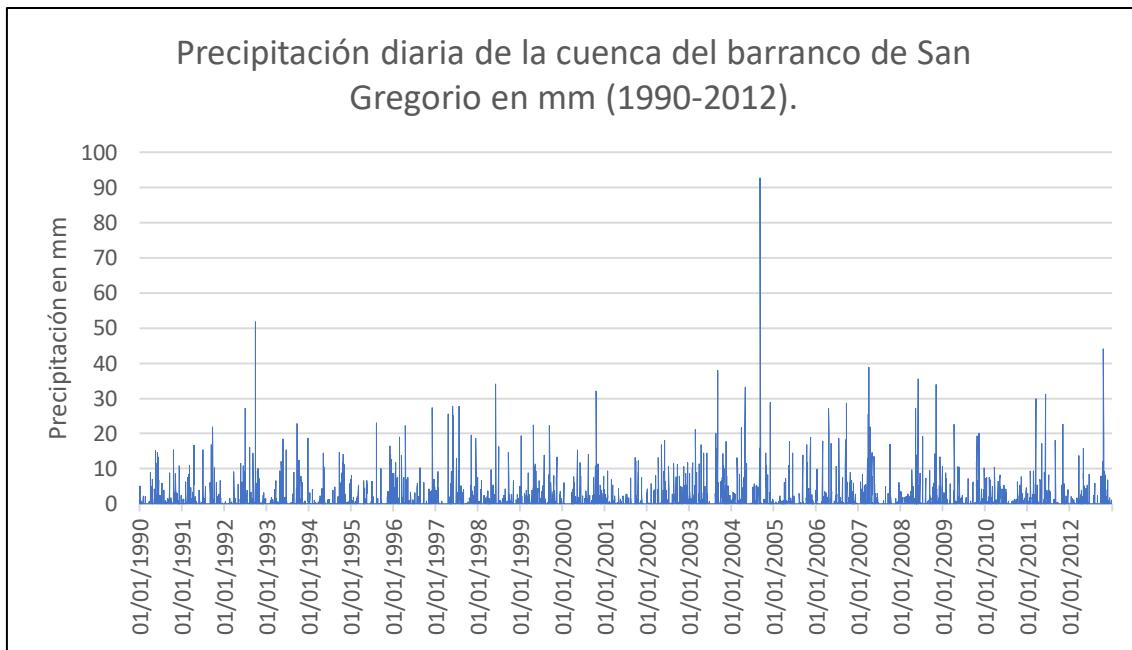


Figura 69: Precipitación diaria del barranco de San Gregorio entre 1990-2012. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Roberto Serrano.

4.7.2. Eventos de crecidas

En el apartado 4.4. se ha analizado el comportamiento hidrológico de las cuencas que disponen de caudal aforado. La evolución de las diferentes cuencas es muy similar sin apreciarse tendencias claras en ninguno de los casos especificados (mayor complejidad por contar con un número de datos ostensiblemente inferior al de precipitaciones) (**tabla 34**).

Cuencas estudiadas	Evolución hidrológica	Tendencias observadas
Río Pena en Beceite	No se observan cambios evolutivos en relación con la distribución de los caudales.	No se observan tendencias en relación con un aumento de eventos extremos. Pocos datos de registro.
Río Pena en Valderrobres	No se observan cambios evolutivos en relación con la distribución de los caudales si bien en el periodo 2008-2018 los caudales son más bajos.	No se observan tendencias en relación con un aumento de eventos extremos. Pocos datos de registro.
Río Sosa en Peralta de la Sal	Curso efímero muy regular en cuanto a la distribución de caudales.	No se observan tendencias relevantes en relación con eventos extremos aunque si que se aprecia un aumento del caudal medio.
Río Sosa en Azanuy	Compleja debido a error en los datos monitorizados en determinados espacios temporales.	Sin tendencias claras en relación con los niveles de agua representados.
Río Sosa en Monzón	Curso efímero muy irregular en cuanto a la distribución de niveles de agua.	Sin tendencias claras en relación con los niveles de agua representados.
Río Seco en Oliete	Niveles en líneas generales regulares salvo eventos de precipitación.	Sin tendencias claras en relación con los niveles de agua y la periodicidad de eventos extremos.
Barranco de Aguarón	Distribución homogénea de caudal salvo picos puntuales por crecidas	Se observa una tendencia a contar con eventos de crecidas con una mayor magnitud (poca serie de años).
Barranco de Cosuenda	Caudal irregular aunque con poca oscilación entre los mínimos y máximos	No se puede hablar de tendencias por la escasa magnitud de caudales si bien se aprecia un ligero aumento.

Tabla 34: Comparativa de la evolución hidrológica y las tendencias de las diferentes cuencas estudiadas. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la CHE.

5. Discusión

5.1. Valoración de la metodología

En relación con la línea de trabajo seguida en este proyecto, la metodología empleada es apropiada en cuanto a obtención de datos hidrológicos y al trabajo de campo realizado. Se ha hecho importantes esfuerzos para poder realizar este proyecto tanto por parte de la Confederación Hidrográfica del Ebro con la información hidrológica proporcionada como en el trabajo de campo donde se ha recabado información importante de los cursos efímeros. El estudio realizado es en líneas generales completo en cuanto a cobertura de información pero el principal inconveniente que se encuentra es la falta de datos para todas las cuencas estudiadas (desconocimiento sobre estos cursos fluviales). Así pues, existen algunos vacíos en el estudio en relación con la cobertura de datos hidrológicos (no existen estaciones de aforo que transmitan datos de todas las cuencas estudiadas). Se han realizado esfuerzos para obtener información para las cuencas de Cariñena y San Gregorio por medio de la instalación de placas de impacto que están conectadas para transmitir datos en tiempo real y poder ver si existe alguna crecida en estos cursos efímeros. El principal inconveniente es la falta de tiempo para poder recabar más información y poder detectar si ha tenido lugar alguna crecida durante este periodo temporal.

5.2. Comprobación de hipótesis y valoración de los resultados

La hipótesis de partida planteada en el apartado de objetivos hace referencia a si el cambio climático está afectando al comportamiento hidrológico de los cursos efímeros estudiados en relación con los eventos registrados. Tras analizar las diferentes cuencas estudiadas en base a las precipitaciones registradas y los diferentes eventos de crecidas por medio de los datos de caudal en m³/s y de nivel de agua en metros, se puede decir que no se observa una correlación entre el comportamiento hidrológico de estas cuencas y el efecto del cambio climático.

Una causa que no permite afirmar la hipótesis de partida es la falta de una serie de datos más amplia en relación con los caudales (en el mejor de los casos desde 1997), siendo interesante tener un rango mayor de datos para poder estudiar la evolución de estas siete cuencas efímeras estudiadas. En las precipitaciones se cuenta con una serie de datos lo suficientemente amplia como para poder establecer relaciones entre el efecto del cambio climático y la distribución de las mismas, pero tampoco se puede establecer un patrón determinado relacionándolo con el cambio climático.

Se puede afirmar con claridad que no hay tendencias claras ni de incremento ni descenso de caudales ni tampoco en el caso de las crecidas.

5.3. Propuestas de seguimiento y desarrollo de la línea de trabajo

En relación con la metodología se podrían mejorar ciertos aspectos que tienen que ver con los datos hidrológicos, ya que hay una existencia limitada de estaciones de aforo de ríos efímeros en la cuenca del Ebro. Por tanto una propuesta para ampliar este trabajo sería poder contar con un número mayor de estaciones de aforo y poder estudiar más a fondo el tema de los ríos efímeros ampliando la cobertura de cuencas. Otro apartado a mejorar en la metodología es en relación con las precipitaciones de las cuencas de estudio. Estos datos no provienen de estaciones meteorológicas que existan como tal, sino de la interpolación de datos y gracias a la tesis doctoral de Roberto Serrano. Así pues, para poder estudiar de forma más clara las precipitaciones de las cuencas y sacar conclusiones más concretas sería interesante contar con una red de estaciones meteorológicas en determinados puntos clave de las cuencas para tener datos en tiempo real y poder observar las variaciones de precipitación. Se tendría una amplia cobertura de datos (solo se llega hasta 2012) y se podría valorar de forma más clara la incidencia o no del cambio climático en la evolución de las precipitaciones (Serrano,2017).

6. Conclusiones

El estudio de los cursos efímeros de la cuenca del Ebro es un proyecto pionero que permite sentar las bases para poder avanzar en el conocimiento sobre este tema. Estos ríos tienen un comportamiento hidrológico complejo y son muy impredecibles en cuanto al comportamiento que presentan por lo que es importante el trabajo de campo y tratamiento de datos realizado para poder realizar una gestión eficiente de los mismos.

Como se ha podido comprobar a lo largo del presente documento se encuentran pocos datos referentes a estos sistemas fluviales por lo que el estudio realizado no es completo. Como se ha planteado en el punto 5.3. para que futuros trabajos sean más específicos y detallados se requiere un esfuerzo para dotar de una infraestructura de transmisión de datos en tiempo real que permita conocer mejor estos ríos y valorar su comportamiento.

Los resultados obtenidos en el análisis de las siete cuencas estudiadas son diversos especialmente en cuanto al régimen pluviométrico se refiere, pudiendo encontrar cuencas que tienen numerosos eventos que superan el umbral establecido para contemplar una crecida (50 mm/día) y otras cuencas donde este registro se reduce a solo siete en toda la serie de datos registrada. Para los resultados de los diferentes cursos efímeros en base a su comportamiento hidrológico se puede apreciar una mayor homogeneidad o irregularidad en relación con los eventos extremos de crecida, pero sí que se puede constatar que la distribución de las crecidas va muy ligada en líneas generales a episodios de tormentas durante los últimos meses de primavera, verano y principios de otoño.

Por otra parte, no se puede afirmar que el cambio climático esté afectando actualmente a estos cursos efímeros porque no se observan tendencias claras desde que se tienen registros (apartado 4.7) si bien el número de años de registro no es suficiente en relación con los caudales. En cualquier caso, pese a no contar con un amplio registro se puede deducir por medio de las gráficas representadas que existen eventos de mayor caudal en los últimos años si bien el número de eventos no se aprecia que esté aumentando.

Otro aspecto que destacar es la importancia que tienen estos cursos efímeros para la gestión y ordenación del territorio. La mayor parte de la gente no es conocedora de la existencia de estos ríos, pero es importante realizar estudios de este tipo y difundir su comportamiento para concienciar a la población de los peligros que entrañan cuando se producen crecidas relámpago. Es por ello importante contar con una valoración de la peligrosidad como se expone en el apartado 4.6. teniendo en cuenta la magnitud de las precipitaciones así como la propia topografía de cada cuenca, aunque también hay otros factores de riesgo como son la vulnerabilidad y la exposición donde se tiene en cuenta al ser humano.

En este sentido, es importante destacar las cuencas en base a la periodicidad de fenómenos extremos y la propia topografía del terreno. Desde este punto de vista nos encontramos con el hecho de que las cuencas más peligrosas son Sosa y Reajo en relación con la frecuencia de eventos extremos y según la topografía, la cuenca con un mayor desnivel es la Rambla de Cariñena.

Como última consideración cabe destacar que este documento pretende contribuir a mejorar y ampliar el conocimiento de estos sistemas fluviales en líneas generales y también busca una mayor apertura e interés para que se siga aprendiendo sobre la complejidad de estos cursos efímeros y se puedan llevar a cabo las medidas correspondientes.

7. Referencias

- Cazatormentas*. [En línea]. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://www.cazatormentas.net/tormenta-severa-en-hoz-de-la-vieja-teruel-3-agosto-2013/>
- Conesa, C. (1987). "Barras de grava en lechos de rambla del Campo de Cartagena (Murcia)". *Papeles de Geografía (Física)*, 12: 33-45.
- Dirección General de Protección Civil (1985). "Cuenca del Ebro. Estudio de inundaciones históricas. Mapas de riesgos potenciales. CTEI,1985". *Catálogo de Inundaciones Históricas*.
- Del Valle, J. (2002). "Las intensas lluvias y riadas del 23 al 25 de octubre de 2000 en el SE de la cuenca del Ebro. Seguimiento y gestión mediante el S.A.I.H. de la C.H.E.". *VII Reunión Nacional de Climatología*. Albarracín,2002.
- Doménech, S. (2009). "Peligrosidad de inundaciones del río Sosa (Monzón, Huesca): Modelización, cartografía y propuestas de actuación". Trabajo fin de diploma, Área de mecánica de fluidos centro politécnico superior, Universidad de Zaragoza.
- Entusiasco blogspot*. [En línea]. [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://entusiasco.blogspot.com/2014/08/crecida-del-rio-sosa-en-monzon.html>
- Ferrer, M., Mensua, S. (1956). "Las ramblas del valle medio del Jiloca". *Geographica*, 59-85.
- Garzón, G., Ortega, J.A. y Garrote, J. (2009). "Las avenidas torrenciales en cauces efímeros: ramblas y abanicos aluviales". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(3), pp. 264-276.
- Leopold, M.B., Miller, J.P. (1956). "Ephemeral streams: hydraulic factors and their relation to the drainage net". Geological Survey Professional Paper 282-A, USGS, Washington.
- López Bustos, A. (1981). "Tomando el pulso a las grandes crecidas de los ríos peninsulares". *Revista de Obras Públicas*, 3190, pp. 179-192.
- Mateu, J.F. (1974) La rambla de la Viuda. Clima e Hidrología. *Cuadernos de Geografía*, 15: 47-68.
- Noguera, I. (2016). "Geomorfología, geodiversidad y riesgos en el río Seco (cuenca del río Martín, Teruel)". Universidad de Zaragoza.
- Pérez Cueva, A., Calvo, A. (1986) La distribución de las ramblas en el país valenciano: una aproximación cuantitativa. *Cuadernos de Geografía*, 38: 61-74.
- Periódico digital Ejea Digital*. [En línea]. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2019]. Disponible en: <http://www.ejeadigital.com/index.php?sec=1&id=2401>
- Periódico digital La Rioja*. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 de junio de 2019]. Disponible en: <https://www.larioja.com/la-rioja/201503/26/riada-destrozos-20150326011502-v.html>
- Segura, F. (1990). "Las ramblas valencianas. Algunos aspectos de hidrología, geomorfología y sedimentología". Tesis doctoral, Dpto. de Geografía, Universidad de Valencia.
- Serrano, R. (2017). "Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: ensayo metodológico y aplicaciones". Universidad de Zaragoza.

8. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de los tramos efímeros en la cuenca del Ebro y localización de las siete cuencas estudiadas (*Página 9*).

Figura 2: Localización de las siete cuencas estudiadas para la realización del proyecto (*Página 10*).

Figura 3: Mapa de localización de la rambla de Valcodo (*Página 11*).

Figura 4: Mapa de localización de la rambla de Cariñena (*Página 11*).

Figura 5: Mapa de localización del barranco de Alpartir (*Página 12*).

Figura 6: Mapa de localización del río Sosa (*Página 12*).

Figura 7: Mapa de localización del río Seco (*Página 13*).

Figura 8: Mapa de localización del arroyo Reajo (*Página 13*).

Figura 9: Mapa de localización del barranco de San Gregorio (*Página 14*).

Figura 10: Estación de aforo del río Seco en Oliete (*Página 17*).

Figura 11: Estación de aforo del río Seco en Oliete (*Página 17*).

Figura 12: Estación de aforo del río Sosa en Peralta de la Sal (*Página 18*).

Figura 13: Estación de aforo del río Sosa en Peralta de la Sal (*Página 18*).

Figura 14: Estación de aforo del río Sosa en Azanuy (*Página 18*).

Figura 15: Estación de aforo del río Sosa en Azanuy (*Página 18*).

Figura 16: Estación de aforo del río Sosa en Monzón (*Página 18*).

Figura 17: Estación de aforo del río Sosa en Monzón (*Página 18*).

Figura 18: Curva del periodo de retorno de precipitaciones de la rambla de Valcodo (*Página 23*).

Figura 19: Curva del periodo de retorno de precipitaciones de la rambla de Cariñena (*Página 24*).

Figura 20: Curva del periodo de retorno de precipitaciones del río Sosa (*Página 25*).

Figura 21: Curva del periodo de retorno de precipitaciones del río Seco (*Página 26*).

Figura 22: Curva del periodo de retorno de precipitaciones del barranco de Alpartir (*Página 27*).

Figura 23: Curva del periodo de retorno de precipitaciones del arroyo Reajo (*Página 28*).

Figura 24: Curva del periodo de retorno de precipitaciones del barranco de San Gregorio (*Página 29*).

Figura 25: Curva de periodo de retorno de crecidas del río Pena en Beceite (*Página 38*).

Figura 26: Curva de periodo de retorno de crecidas del río Pena en Valderrobres (*Página 39*).

Figura 27: Río Sosa a su paso por la localidad de Monzón durante la crecida del 15 de agosto de 2006 (*Página 41*).

Figura 28: Datos de precipitación diaria en mm del aforo del embalse de Pena (*Página 41*).

Figura 29: Situación atmosférica (izquierda) e imagen de satélite de la tormenta (derecha) (Página 43).

Figura 30: Situación atmosférica (izquierda) e imagen de satélite de la tormenta (derecha) (Página 43).

Figura 31: Coche arrastrado por la corriente del río Seco en el puente de Oliete (Página 43).

Figura 32: Caudal 15 min del río Pena en Beceite (Página 44).

Figura 33: Caudal 15 min del río Pena en Valderrobres (1997-2007) (Página 45).

Figura 34: Caudal 15 min del río Pena en Valderrobres (2008-2018) (Página 46).

Figura 35: Caudal 15 min del río Sosa en Peralta de la Sal (Página 47).

Figura 36: Nivel 15 min del río Sosa en Azanuy (Página 47).

Figura 37: Nivel 15 min del río Sosa en Monzón (Página 48).

Figura 38: Nivel 15 min del río Seco en Oliete (1997-2007) (Página 49).

Figura 39: Nivel 15 min del río Seco en Oliete (2008-2018) (Página 49).

Figura 40: Caudal 15 min del barranco de Aguarón (Página 50).

Figura 41: Caudal 15 min del barranco de Cosuenda (Página 51).

Figura 42: Cartografía de pendientes de la cuenca de la rambla de Valcodo (Página 55).

Figura 43: Cartografía de pendientes de la cuenca de la rambla de Cariñena (Página 56).

Figura 44: Cartografía de pendientes de la cuenca del río Sosa (Página 56).

Figura 45: Cartografía de pendientes de la cuenca del río Seco (Página 57).

Figura 46: Cartografía de pendientes de la cuenca del barranco de Alpartir (Página 57).

Figura 47: Cartografía de pendientes de la cuenca del arroyo Reajo (Página 58).

Figura 48: Cartografía de pendientes de la cuenca del barranco de San Gregorio (Página 58).

Figura 49: Precipitación diaria de la rambla de Valcodo entre 1950-1970 (Página 59).

Figura 50: Precipitación diaria de la rambla de Valcodo entre 1970-1990 (Página 60).

Figura 51: Precipitación diaria de la rambla de Valcodo entre 1990-2012 (Página 61).

Figura 52: Precipitación diaria de la rambla de Cariñena entre 1950-1970 (Página 61).

Figura 53: Precipitación diaria de la rambla de Cariñena entre 1970-1990 (Página 62).

Figura 54: Precipitación diaria de la rambla de Cariñena entre 1990-2012 (Página 63).

Figura 55: Precipitación diaria del río Sosa entre 1950-1970 (Página 63).

Figura 56: Precipitación diaria del río Sosa entre 1970-1990 (Página 64).

Figura 57: Precipitación diaria del río Sosa entre 1990-2012 (Página 65).

Figura 58: Precipitación diaria del río Seco entre 1950-1970 (Página 65).

Figura 59: Precipitación diaria del río Seco entre 1970-1990 (*Página 66*).

Figura 60: Precipitación diaria del río Seco entre 1990-2012 (*Página 67*).

Figura 61: Precipitación diaria del barranco de Alpartir entre 1950-1970 (*Página 67*).

Figura 62: Precipitación diaria del barranco de Alpartir entre 1970-1990 (*Página 68*).

Figura 63: Precipitación diaria del barranco de Alpartir entre 1990-2012 (*Página 69*).

Figura 64: Precipitación diaria del arroyo Reajo entre 1950-1970 (*Página 69*).

Figura 65: Precipitación diaria del arroyo Reajo entre 1970-1990 (*Página 70*).

Figura 66: Precipitación diaria del arroyo Reajo entre 1990-2012 (*Página 71*).

Figura 67: Precipitación diaria del barranco de San Gregorio entre 1950-1970 (*Página 71*).

Figura 68: Precipitación diaria del barranco de San Gregorio entre 1970-1990 (*Página 72*).

Figura 69: Precipitación diaria del barranco de San Gregorio entre 1990-2012 (*Página 73*).

9. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caracterización de las cuencas en relación con la coraza (*Página 15*).

Tabla 2: Registros superiores a 50 mm/día de la rambla de Valcodo (*Página 19*).

Tabla 3: Registros superiores a 50 mm/día de la rambla de Cariñena (*Página 19*).

Tabla 4: Registros superiores a 50 mm/día del río Sosa (*Página 20*).

Tabla 5: Registros superiores a 50 mm/día del río Seco (*Página 21*).

Tabla 6: Registros superiores a 50 mm/día del barranco de Alpartir (*Página 21*).

Tabla 7: Registros superiores a 50 mm/día del arroyo Reajo (*Página 22*).

Tabla 8: Registros superiores a 50 mm/día del barranco de San Gregorio (*Página 22*).

Tabla 9: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente de la Rambla de Valcodo (*Página 23*).

Tabla 10: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente de la Rambla de Cariñena (*Página 24*).

Tabla 11: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente del río Sosa (*Página 25*).

Tabla 12: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente del río Seco (*Página 26*).

Tabla 13: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente del barranco de Alpartir (*Página 27*).

Tabla 14: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente del arroyo Reajo (*Página 28*).

Tabla 15: Precipitación máxima registrada y periodo de retorno correspondiente del barranco de San Gregorio (*Página 29*).

Tabla 16: Datos hidrológicos básicos del río Pena en Valderrobres (*Página 30*).

Tabla 17: Datos hidrológicos básicos del río Pena en Beceite (*Página 31*).

Tabla 18: Datos hidrológicos de la estación de aforo del río Sosa en Peralta de la Sal (*Página 32*).

Tabla 19: Datos hidrológicos de la estación de aforo del río Sosa en Azanuy (*Página 33*).

Tabla 20: Datos hidrológicos de la estación de aforo del río Sosa en Monzón (*Página 34*).

Tabla 21: Datos hidrológicos del río Seco en el aforo de Oliete (*Página 35*).

Tabla 22: Datos hidrológicos del barranco de Aguarón en el aforo de Aguarón (*Página 36*).

Tabla 23: Datos hidrológicos del barranco de Cosuenda en el aforo de Cosuenda (*Página 37*).

Tabla 24: Caudal máximo registrado en el aforo del río Pena en Beceite y periodo de retorno correspondiente (*Página 38*).

Tabla 25: Caudal máximo registrado en el aforo del río Pena en Valderrobres y periodo de retorno correspondiente (*Página 39*).

Tabla 26: Comparativa del comportamiento hidrológico y de eventos extremos de las diferentes cuencas estudiadas (*Página 51*).

Tabla 27: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca de la Rambla de Valcodo (*Página 53*).

Tabla 28: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca de la Rambla de Cariñena (*Página 53*).

Tabla 29: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca del río Sosa (*Página 53*).

Tabla 30: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca del río Seco (*Página 53*).

Tabla 31: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca del barranco de Alpartir (*Página 54*).

Tabla 32: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca del arroyo Reajo (*Página 54*).

Tabla 33: Periodo de retorno para precipitación estimada en 50 mm/día de la cuenca del barranco de San Gregorio (*Página 54*).

Tabla 34: Comparativa de la evolución hidrológica y las tendencias de las diferentes cuencas estudiadas (*Página 73*).