



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Inundaciones históricas en la provincia de Almería

Reconstrucción y caracterización pluridisciplinar
de eventos hidrológicos extremos en las cuencas de los ríos
Almanzora, Antas, Aguas y Andarax

Carlos Sánchez García

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

Carlos Sánchez García

INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA PROVINCIA DE ALMERÍA

Reconstrucción y caracterización pluridisciplinar
de eventos hidrológicos extremos en las cuencas
de los ríos Almanzora, Antas, Aguas y Andarax



UNIVERSITAT DE
BARCELONA



Facultat de Geografia i Història

Departament de Geografia

**Programa de Doctorat: GEOGRAFIA, PLANIFICACIÓ TERRITORIAL I GESTIÓ
AMBIENTAL**



**UNIVERSITAT DE
BARCELONA**

TESIS DOCTORAL

**INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA PROVINCIA DE
ALMERÍA**

**Reconstrucción y caracterización pluridisciplinar de
eventos hidrológicos extremos en las cuencas de los ríos
Almanzora, Antas, Aguas y Andarax**

Memoria presentada por:

Carlos Sánchez García

para optar al título de Doctor

Director y tutor de la tesis:

Dr. Lothar Schulte

Barcelona, septiembre de 2019

Diseño de la cubierta: Manuel Gallego Manzanares

Imagen de la cubierta:

Vista del Cañón del Río Jauto, afluente del río Aguas.

Fotografía realizada por Carlos Sánchez García, 2018.

A José Antonio y a María

*¡Qué sequía, mare mía...!
y de pronto llueve a mares
arrancándonos las tierras,
y dejando los pesares.*

Coplilla popular

AGRADECIMIENTOS

“La escritura es un acto solitario que alguien emprende frente a una página en blanco y que otro asume frente a esa página escrita. Son dos soledades que a veces se complementan. Todo lo demás es futuro imperfecto”. Escribía Vázquez Montalbán en *La literatura en la construcción de la ciudad democrática* (2001). Bien, así es como me he sentido yo estos meses de arduo trabajo, escribiendo y reescribiendo, borrando y volviendo a escribir, leyendo y relejendo, para aprender a leer y a escribir. Pero la tesis doctoral no son solo los últimos meses, son unos años. Por suerte, me he encontrado con una serie de personas y personajes que han hecho de este proceso de cuatro (¡CUATRO!) años y medio, más llevadero.

Sin más dilación, en este pequeño apartado me dispongo a describir el agradecimiento más sincero hacia todas esas personas que me han hecho la vida (académica y personal) más fácil durante los últimos años.

En primer lugar quiero mostrar mi agradecimiento más sincero a mi director y tutor de tesis, Dr. Lothar Schulte. Muchas gracias por haber confiado en mí todos estos años, por haberme acogido en el Grupo de Investigación FluvAlps-Paleorisk, por haberme permitido trabajar en zonas tan maravillosas como la zona más árida de Europa, Almería, y una de las zonas más preciosas del continente, Los Alpes. También quiero agradecer la oportunidad que me ha brindado mostrándome congresos internacionales (EGU, PAGES, SEG, INQUA). Agradezco su apoyo durante los casi cinco años y los conocimientos que me ha aportado durante las campañas de trabajo de campo, así como durante las reuniones en el despacho para decidir qué hacer y cuándo hacer.

Pero una tesis en Geografía Física no se consigue si no se hace trabajo de campo, en grupo mejor que solo (por experiencia). Una de las cosas que mejor he llevado del trabajo de campo ha sido el trabajo en equipo y la cooperación a la hora de ayudarnos y aconsejarnos sobre la materia entre todos los miembros del Grupo de Investigación.

Quiero agradecer al Dr. Filipe Carvalho su paciencia, dedicación y comprensión que ha mostrado siempre conmigo. Hace ahora más de cinco años cuando le dije que quería aplicar a la beca, y me apoyó desde el primer momento. Esta tesis sin su ayuda no sería igual. Quiero agradecerle haberme enseñado a trabajar el SIG, a introducirme en la materia de la modelización hidráulica mediante la herramienta de HEC-RAS y a mejorar la escritura en inglés.

Quiero mostrar mi agradecimiento a todos los compañeros del Grupo de Investigación FluvAlps. A Juan Carlos Peña, compañero de congresos, quien me ha introducido en los conocimientos del análisis de modelización de situaciones sinópticas a partir del 20th Century Reanalysis y de la ayuda mostrada durante las campañas de sondeos y sobre todo de charlas interminables sobre temas científicos que han sido muy provechosas, muchas gracias. A Antonio Gómez Bolea, muchas gracias, enseñarme conocimientos sobre la biogeografía durante las campañas de campo, ahora sé leer mejor el terreno, lo aseguro.

A los compañeros del despacho y compañeros del Grupo de Investigación, Miquel Àngel Calero y a Laia Casanovas, con los que he compartido muchos momentos juntos en estos últimos meses.

No quiero continuar sin agradecer a Jaime Llorca su disposición en 2012 cuando tuve prácticas durante el Grado de Geografía a enseñarme el maravilloso mundo de machacar muestras. El LOI lo aprendí muy en profundidad, muchas gracias por los conocimientos que me has aportado en todo, desde la morfología fluvial hasta los deltas en los Alpes. Además, gracias a mis profesores durante el Máster en Gestión de Suelos y Aguas, en especial al Dr. J. Carles Balasch, quien volvió a recordarme lo mucho que me gusta la hidrología.

Del Departamento de Geografía quiero expresar mi agradecimiento en especial al Dr. Xavier Úbeda con quien he podido compartir muchos momentos agradables, además de abrirme las puertas del laboratorio y de decirme que había una beca FPI suelta, allá por el 2014. Quiero mostrar mi agradecimiento también al Dr. Antonio Gómez Ortiz por mostrarme la Geografía Física ya en el primer curso del Grado, a Ferran Salvador, por mostrarme los primeros conocimientos de geomorfología y a Montserrat Salvat, por enseñarme durante los primeros pasos del SIG. No quiero olvidarme de las conversaciones tan interesantes que he podido mantener con Mercedes Marín, Carles Carreras y Sergi Martínez.

Estoy muy agradecido al Dr. Heinz Veit, profesor de la Universidad de Berna, quien me acogió de una manera muy amable y amigable las dos veces que estuve allí de estancia. También a Daniela Fischer, técnica del laboratorio, me aguantó el primer año (y no era fácil por mi inglés) y el segundo año, cuando nos hicimos incluso amigos. Gracias a Tobias Sprafke y a Lukas Munz por las conversaciones tan interesantes sobre morfología fluvial y eventos hidrológicos extremos que tuvimos durante los meses que estuve allí y por aceptarme como base para vuestro equipo de Baloncesto.

Sin duda el haber compartido el despacho durante cuatro años con la misma persona es algo que te marca, por suerte pude coincidir con un amigo, Marcos Francos. A quien quiero agradecer las tardes en casa, las mañanas y tardes en la Facultad y las noches en los bares. Quiero agradecerle también el apoyo que me ha mostrado y la ayuda en los últimos meses, sin él esta tesis también sería diferente.

Pero como en todo, hay momentos en los que no apetece hablar de trabajo y ahí es donde me han ayudado muchas otras personas. En especial quiero mostrar mi agradecimiento a Edu, a quien conozco ahora desde hace 10 años. Las charlas interminables de temas interminables junto con risas tontas interminables, me han hecho acabar esta tesis, podremos decir, que lo logramos. Además de Edu, quiero mostrar mi agradecimiento al grupo del Els Dinars de la UB, Laia, Marc, Daniela, Bárbara, y otra vez, Edu, Laia C. Miquel, Filipe y Xavi. Está claro que mi tortilla era mejor.

Al final los fines de semana eran el refugio del trabajo (no siempre) y ahí estaban. Como siempre habían estado, están y siempre estarán mis amigos. Emma, Ely, Carles, Javi, Sole, Chema, vaya tostón os he dado, y sin embargo me habéis aguantado. Muchas gracias, eso no lo voy a olvidar. Esteve, gracias por el apoyo tanto en Barcelona como en Martorell, los amigos nos apoyamos siempre, muchas gracias. También agradecer el aguante de penas y glorias que tienen mis amigos de Cerralbo, a quienes he visto poco, y encima me he hecho el pesado, gracias por el apoyo: Borja, Leticia, María, Laura, Christian, y en general todos los de la Peña La Mafia de Cerralbo.

Hace algo más de 10 meses que me planteé por primera vez seriamente la escritura de esta tesis. No ha sido fácil, pero gracias a Verónica Manzanares la he podido terminar. Sin su apoyo, comprensión y dedicación, hubiera sido imposible. Muchas gracias Vero, lo mejor de todo, que nos comprendemos. Gracias.

Y por último, pero no por ello menos importante, quiero agradecer a mi familia, todo el apoyo que me habéis mostrado durante estos años. A José Antonio, mi hermano y a Núria, mi cuñada. A Arnau y a Arlet, la vida de la casa. Pero sobre todo, por encima de cualquiera que he mencionado aquí, a José Antonio Sánchez Martín y a María García Clares, mis padres. Esta tesis va dedicada a vosotros dos, padres ejemplares, sin vosotros no es que no hubiera escrito la tesis, es que sin vuestro apoyo no podría haber hecho nada.

Carlos Sánchez García
Martorell, 5 de septiembre de 2019

FINANCIACIÓN

Este trabajo ha sido realizado en el seno del Grupo de Investigación Fluvalps-PaleoRisk (2014SGR507, CGL2016-75475-R) perteneciente al Departamento de Geografía de la Universidad de Barcelona.

Ha sido financiado por medio de una ayuda predoctoral del Programa de Formación de Personal Investigador (FPI, BES-2014-067955), del Ministerio de Economía y Competitividad, asociada al Proyecto “Fluvalps Iberia” (CGL2013-43716-R). La Tesis Doctoral ha sido financiada además por el Programa ICREA Acadèmia 2011 (Premiado: Dr. Lothar Schulte).

Se realizó una estancia pre-doctoral en 2016 en el Geographisches Institut de la Universitat Bern (Suiza), que fue financiada por el Programa de Ayudas a la movilidad predoctoral para la realizaci3n de estancias breves en Centros I+D (FPI-MINECO) de la convocatoria de 2016 (EEBB-I-16-10773). Se realiz3 otra estancia predoctoral en 2017 en el Geographisches Institut de la Universitat Bern (Suiza), que fue financiada por el Programa de Ayudas a la movilidad predoctoral para la realizaci3n de estancias breves en Centros I+D (FPI-MINECO) de la convocatoria de 2017 (EEBB-I-17-12002).

RESUMEN

La provincia de Almería presenta unas características climatológicas, geomorfológicas e hidrológicas extraordinarias. La aridez junto con las lluvias torrenciales, en unión a la orografía hace que las ramblas, ríos efímeros, se inundan de agua repentinamente, pudiendo ocasionar daños personales y económicos muy cuantiosos. Este estudio se centra en cuatro cuencas del sureste de la Península Ibérica, las cuencas de los ríos Almanzora, Andarax, Antas y Aguas.

El objetivo principal de esta tesis doctoral es crear las series de datos de inundaciones históricas de los ríos en cuestión, a partir de fuentes históricas. Una vez tenidos las descripciones de las riadas históricas, se clasifican según su orden de magnitud, a partir de una tabla de indicadores de daños. Por otra parte, se ha realizado un análisis de frecuencias de inundaciones para el río Almanzora, donde se muestra que las inundaciones más catastróficas pueden ocurrir con periodo de retorno de 100 años. El análisis de la inundación de 2012 en la cuenca del río Antas también ha sido objeto de estudio, así como, el análisis y caracterización de la evolución de los usos del suelo y los cambios en la morfología fluvial del tramo medio-bajo del río Antas a lo largo de los últimos 60 años.

La línea de trabajo se define como la obtención de las series de inundaciones históricas; el cálculo de la frecuencia de éstas; la caracterización de uno de los eventos catastróficos; y contextualizar las características hidrológicas, climatológicas, geomorfológicas y de usos del suelo del área de estudio.

Las series de inundaciones históricas de los ríos Andarax y Almanzora, prolongan la serie hasta el 1500 AD. Por otra parte, los ríos Antas y Aguas, de menor superficie, tienen una serie de inundaciones históricas desde 1750 AD. La frecuencia de las inundaciones se ve sesgada por la falta de información sobre inundaciones de baja intensidad en los primeros siglos de la serie. A mediados del Siglo XIX es cuando se han registrado un número más elevado de inundaciones de baja intensidad. Sin embargo, las inundaciones de alta intensidad y baja frecuencia, se han registrado desde que se tienen registros documentales. Ocurre lo mismo en la cuenca del río Andarax. En cambio, en las series de los ríos Antas y Aguas, se empiezan a registrar riadas cuando aparecen las primeras fuentes secundarias como periódicos locales.

A partir de la aplicación del método de *pooling distribution* se ha podido estimar los caudales de las inundaciones históricas del río Almanzora. La calibración de las magnitudes de inundaciones sobre un periodo de referencia (1962-2018) se ha llevado a cabo extrapolando los datos instrumentales correspondientes a la Estación de Aforo de Sta. Bárbara (1962-2018). Se han estimado los valores medios de las inundaciones históricas según su magnitud. De este modo, las inundaciones de magnitudes bajas (M1 y M2) se estiman los caudales en 138 y 1.300 m³s⁻¹, mientras que las inundaciones de magnitudes altas (M3 y MPD), 3.600 y 5.600 m³s⁻¹. Con los datos de caudales estimados se ha calculado el periodo de retorno utilizando la *pooling distribution*, de este modo se ha llegado a tener unos periodos de retorno de T=1, 5, 50, 100 años.

La inundación de 2012 fue extraordinaria, causando numerosos daños en las cuencas bajas de los ríos Antas y Aguas. De este modo, los más de 200 mm. que precipitaron en poco más de 6 horas en algunas partes del área de estudio provocaron un caudal entre 2.800 y 3.200 m³s⁻¹ en la desembocadura del río Antas. Se ha reconstruido pues, a partir de estos caudales el área inundada en el tramo final del río Antas. Los resultados concuerdan aproximadamente con la cartografía realizada a partir de trabajo de campo y medición de alturas de aguas por las imágenes que se han encontrado en la red.

Un factor clave a la hora de entender la hidrología del área de estudio son los usos de suelo. Éstos han cambiado de forma fundamental en los últimos 30-40 años. El uso tradicional de riego, a partir de acequias utilizando el agua que lleva el río, se ha transformado en un regadío intensivo con maquinaria pesada. Además, la extrema urbanización en las zonas costeras, en muchas ocasiones en zonas inundables, ha hecho que haya aumentado la peligrosidad de las inundaciones y la vulnerabilidad de los habitantes a este riesgo natural.

ABSTRACT

The province of Almería has extraordinary climatic, geomorphological and hydrological characteristics. The aridity together with the torrential rains, added to the orography makes the *ramblas*, ephemeral rivers, fill with water and flood very extensive areas. This study focuses on four basins in the southeast of the Iberian Peninsula, the basins of the Almanzora, Andarax, Antas and Aguas rivers.

The main objective of this Ph.D Thesis is to create the series of historical flood data of the rivers in question, from historical sources. Once the descriptions of the historical floods are had, they are classified according to their order of magnitude, from a table of damage indicators. On the other hand, an analysis of flood frequencies has been carried out for the Almanzora river, where it is shown that the most catastrophic floods can occur with a return period of 100 years. The analysis of the 2012 flood in the Antas river basin has also been the object of study, as well as the analysis and characterization of the evolution of land use and the changes in the fluvial morphology of the mid-low stretch of the Antas river over the last 60 years.

The line of work is defined as obtaining the series of historical floods; calculating their frequency; characterizing one of the catastrophic events; and contextualizing the hydrological, climatological, and geomorphological and land use characteristics of the study area.

The historical flood series of the Andarax and Almanzora rivers extend the series up to 1500 AD. On the other hand, the smaller rivers Antas and Aguas have a series of historical floods from 1750 AD. The frequency of floods is biased by the lack of information on low-intensity floods in the first centuries of the series. The middle of the 19th century is when a higher number of low-intensity floods have been recorded. However, high intensity, low frequency floods have been recorded since documentary records have been kept. The same is true of the Andarax river basin. On the other hand, in the series of the rivers Antas and Aguas, floods begin to be recorded when the first secondary sources appear as local newspapers.

From the application of the pooling distribution method it has been possible to estimate the flows of the historical floods of the Almanzora river. The calibration of flood magnitudes over a reference period (1962-2018) has been carried out extrapolating the instrumental data corresponding to the Sta. Bárbara gauging station (1962-2018). The average values of the historical floods have been estimated according to their magnitude. Thus, floods of low magnitudes (M1 and M2) are estimated at 138 and 1,300 m³s⁻¹, while floods of high magnitudes (M3 and MPD), 3,600 and 5,600 m³s⁻¹. With the estimated discharge data, the return period has been calculated using pooling distribution, thus having return periods of T=1, 5, 50, 100 years.

The 2012-flood was extraordinary, causing numerous damages in the lower basins of the rivers Antas and Aguas. In this way, the more than 200 mm. that precipitated in less than 6 hours in some parts of the study area caused a discharge between 2,800 and 3,200 m³s⁻¹ in the mouth of the river Antas. The flooded area in the final stretch of the river Antas has been reconstructed from these discharges. The results agree approximately with the cartography carried out from field work and measurement of water heights by the images that have been found in the network.

A key factor in understanding the hydrology of the study area is land use. These have changed fundamentally in the last 30-40 years. The traditional use of irrigation, from ditches using the water carried by the river, has been transformed into intensive irrigation with heavy machinery. In addition, extreme urbanization in coastal areas, often in flooded areas, has increased the danger of flooding and the vulnerability of inhabitants to this natural risk.

RESUMEN / ABSTRACT

LISTADO DE FIGURAS

LISTADO DE TABLAS

LISTADO DE ACRÓNIMOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS E HIPÓTESIS	5
1.2 ESTRUCTURA DE LA TESIS	7
2. ÁREA DE ESTUDIO.....	11
2.1 CARACTERIZACIÓN FISIOGRAFICA GENERAL	13
2.2 CLIMATOLOGIA	16
2.3 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	18
2.4 HIDROGEOGRAFÍA Y BIOGEOGRAFÍA	21
2.5 EDAFOLOGÍA	22
2.6 USOS DEL SUELO	23
2.7 CUENCAS DE LOS RÍOS ALMANZORA, ANTAS, AGUAS Y ANDARAX	25
2.7.1 Río Almanzora.....	26
2.7.2 Río Antas.....	27
2.7.3 Río Aguas.....	28
2.7.4 Río Andarax.....	29
2.7.5 Otras cuencas.....	30
3. METODOLOGÍA.....	33
3.1 TRABAJO DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	35
3.1.1 Archivos históricos	35
3.1.2 Fuentes históricas secundarias	40

3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS SEGÚN LAS DESCRIPCIONES.....	45
3.3 ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE LAS INUNDACIONES.....	47
3.3.1. Cálculo del período de retorno.....	50
3.4 INUNDACIÓN DEL 28 DE SEPTIEMBRE DE 2012.....	55
3.4.1 Archivos gráficos.....	55
3.4.2 Trabajo de campo.....	59
3.4.3 Modelización hidráulica de la inundación de 2012.....	60
3.4.4 Reconstrucción de la situación sinóptica.....	62
3.5. EVOLUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO ANTAS.....	63
3.5.1. Mapas históricos de usos del suelo.....	63
3.5.2. Análisis de infraestructuras tradicionales para el regadío.....	63
3.5.3. Cartografía de los cambios morfológicos del lecho del río Antas.....	64
4. INUNDACIONES HISTÓRICAS DE LA PROVINCIA DE ALMERÍA.....	68
4.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	69
4.2. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL RÍO ALMANZORA.....	73
4.3. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL RÍO ANDARAX.....	78
4.4. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS ANTAS Y AGUAS.....	82
4.5. TENDENCIAS E INCERTIDUMBRES.....	88
4.6. RELACIONES CLIMÁTICAS DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS DEL SURESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA.....	94
4.6.1. Influencia del Global Warming sobre la tendencia de los eventos extraordinarios.....	94
4.6.2. Estacionalidad de las inundaciones históricas.....	95
4.6.3. Simulación de la situación sinóptica de las inundaciones de 1550, 1729, 1879 y 1973.....	96
4.6.4. North Atlantic Oscillation y Western Mediterranean Oscillation ...	100
4.7. CONCLUSIONES.....	103

5. FRECUENCIA Y MAGNITUD DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS DEL RÍO ALMANZORA	107
5.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	109
5.2. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE INUNDACIONES.....	113
5.2.1. Estimación de caudales históricos	114
5.2.2. Estimación de los periodos de retorno para el Río Almanzora	117
5.3. CONCLUSIONES	121
6. INUNDACIÓN DEL 28 DE SEPTIEMBRE DEL 2012 EN LA CUENCA DEL RÍO ANTAS	125
6.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	127
6.2. DESENCADENANTES Y CONSECUENCIAS DE LA INUNDACIÓN	129
6.3. SITUACIÓN SINÓPTICA.....	133
6.4. MODELIZACIÓN DE LA INUNDACIÓN DE 2012 EN EL RÍO ANTAS	137
6.5. CONCLUSIONES	140
7. CAMBIOS MORFOLÓGICOS Y DE USOS DEL SUELO EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ANTAS (1946-2018).....	143
7.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	146
7.2. CAMBIOS DE LOS USOS DEL SUELO DESDE 1946 HASTA 2016	148
7.3. CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL RÍO ANTAS DESDE 1946 HASTA 2016 .	154
7.3.1. Cambios morfológicos del lecho fluvial en el área de la Presa de la Jara en el río Antas desde 1956 hasta 2016	157
7.4. CONCLUSIONES	168
8. CONSIDERACIONES FINALES	171
9. FINAL REMARKS	179
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	187

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1. Relación de archivos históricos y evolución histórica de la cantidad de archivos consultados.

Figura 2.1. Evolución de la población de la Provincia de Almería.

Figura 2.2. Área de estudio.

Figura 2.3. Climogramas de las estaciones de Albox y de Almería Aeropuerto.

Figura 2.4. Esquema Geológico de la Provincia de Almería.

Figura 2.5. Mapa de la cubierta vegetal de la Provincia de Almería.

Figura 2.6. Mapa de los principales ríos y ramblas del área de estudio.

Figura 3.1. Acta municipal del municipio de Vera.

Figura 3.2. Informe técnico correspondiente a la inundación de 1877.

Figura 3.3. Daños producidos por el río Aguas a su paso por la carretera Al-327.

Figura 3.4. Imagen de la portada del día 2 de noviembre de 1879.

Figura 3.5. Portada del diario Paris-Murcie, publicado en 1879.

Figura 3.6. Minuta cartográfica de la cuenca central del río Antas.

Figura 3.7. Gráfica correspondiente a los errores resultantes de la extrapolación de los caudales a toda la serie.

Figura 3.8. Esquema metodológico de la primera parte de la tesis doctoral.

Figura 3.9. Imagen de los daños causados en las inmediaciones de la población de Cuevas.

Figura 3.10. Vista del río Almanzora a su paso por el Puente de Sta. Bárbara.

Figura 3.11. Superior: Río Antas a su paso por la Urbanización de Vera playa. Centro: Desembocadura del río Antas en la localidad de Vera. Inferior: Imagen aérea del río Antas en el momento de máxima crecida a su paso por la localidad de Antas.

Figura 3.12. Mapa de la distribución de los puntos de muestreo.

Figura 3.13. Ejemplo de la metodología seguida durante la campaña de campo de noviembre de 2015 para así poder cartografiar la inundación.

Figura 3.14. Transectos diseñados para la aplicación del modelo de inundación.

Figura 3.15. Tabla con los diferentes coeficientes de Manning dependiendo del tipo de superficie.

Figura 4.1. Grabado histórico de la población de Cuevas del Almanzora.

Figura 4.2. Río Almanzora a su paso por el Puente de Santa Bárbara en el municipio de Huércal-Overa.

Figura 4.3. Serie de inundaciones históricas del río Almanzora.

Figura 4.4. Fotografía publicada en la Crónica Meridional.

Figura 4.5. Serie de inundaciones históricas del río Andarax..

Figura 4.6. Arriba: Fotografía del río Antas a su paso por el municipio de Antas. Abajo: Fotografía del río Aguas a su paso por la Vega de Mojácar en dirección sureste.

Figura 4.7. Series de inundaciones históricas de los ríos Aguas (arriba) y Antas (abajo).

Figura 4.8. Inundaciones de las cuatro cuencas de estudio.

Figura 4.9. Estacionalidad de las inundaciones en el río Almanzora para el periodo entre 1500 y 2018.

Figura 4.10. Izquierda. Marzo, inundación de 1550. Compósito de la situación sinóptica en SLP fields (en hPa). Derecha: misma imagen que el panel izquierdo pero del 9-10 de noviembre del año 1729.

Figura 4.11. Izquierda: 14 de octubre del año 1879. Situación sinóptica. Derecha: misma representación que arriba pero la imagen corresponde a los días 18 y 19 de octubre del año 1973.

Figura 4.12. Simulación de las situaciones sinópticas más comunes en la generación de las inundaciones.

Figura 4.13. Comparación entre la serie de inundaciones (magnitud) y el índice WeMO normalizado.

Figura 4.14. Arriba: mapa de la Península Ibérica. Se expresa la influencia que tienen las teleconexiones en esta área geográfica y en qué modo afectan territorialmente.

Figura 5.1. Serie de caudales históricos reconstruidos a partir de la estación de aforo de Sta. Bárbara (1962-1992, 1992-2018).

Figura 5.2. Periodo de retorno para el río Almanzora.

Figura 5.3. Periodo de retorno para el río Almanzora, resultante de la aplicación del software Afins.

Figura 5.4. Periodo de retorno de las inundaciones históricas de la cuenca del río Almanzora a partir de la extrapolación de datos instrumentales.

Figura 6.1. Daños en el municipio de Vera como consecuencia de la avenida.

Figura 6.2. Daños en los campos cercanos al río Antas en las parcelas de La Jara.

Figura 6.3. Paso del agua por una de las calles de la urbanización costera de Vera Playa.

Figura 6.4. Izquierda: área cercana a la desembocadura del río Antas en el año 2002. Derecha: fotografía aérea de la misma zona en el año 2016.

Figura 6.5. Inundación de 28 de septiembre del 2012. Configuración sinóptica Reconstruido a partir de 20th Reanalysis. Parte de arriba: presión a nivel del mar en hPa (líneas) y anomalías de las temperaturas estandarizadas a 850 hPa en °C (contornos). Panel de abajo: presión a nivel del mar en hPa (líneas) y anomalías del geopotencial estandarizado a 500 hPa en metros (contorno).

Figura 6.6. Mapa del área inundada del año 2012 elaborado.

Figura 6.7. Mapa del área inundada generada a partir de la aplicación de la modelización.

Figura 6.8. Mapa de la energía del flujo generado a partir del modelo hidráulico.

Figura 6.9. Perfil longitudinal del tramo del río Antas estudiado.

Figura 7.1. Comparación de una fotografía aérea de 1956 (izquierda) y una ortofoto del 2016 (derecha) de la desembocadura del río Antas.

Figura 7.2. Evolución del uso del suelo en la cuenca baja del Río Antas.

Figura 7.3. Fotografía aérea del tramo bajo de la cuenca del río Antas, correspondiente al año 2016.

Figura 7.4. Secuencia de Fotografías aéreas de la zona de estudio.

Figura 7.5. Modelo Digital del Terreno elaborado a partir de LiDar (2016).

Figura 7.6. Plano-Croquis de La Jara.

Figura 7.7. Plano de detalle del tramo de la Presa de La Jara.

Figura 7.8. Perfil transversal del muro de la Presa de La Jara.

Figura 7.9. Perfil transversal del canal de riego saliente de la Presa de La Jara.

Figura 7.10. Fotografía del desagüe de la Presa de La Jara en la actualidad. Fotografía.

Figura 7.11. Daños ocasionados por la inundación del 28 de septiembre del 2012 en los campos de La Jara.

Figura 7.12. Secuencia de la evolución de las características morfológicas del lecho del río Antas

Figura 7.13. Fotografía del desagüe de la Presa de La Jara en la actualidad.

Figura 7.13. Altimetría a partir de LiDAR de la zona de la Presa de La Jara en el Río Antas.

Figura 7.14. Perfil transversal a la altura de La Jara.

LISTADO DE TABLAS

Tabla 3.1. Relación de los municipios visitados, los años de inicio de los archivos históricos y el año en que se consultaron.

Tabla 3.2. Descripción de los factores clasificadores de las inundaciones.

Tabla 3.3. Estaciones de aforo del área de estudio.

Tabla 3.4. Datos de los caudales máximos anuales en estación de aforo de Sta. Bárbara.

Tabla 3.5. Datos para el tratamiento estadístico con el software R.

Tabla 5.1. Comparativa del periodo de retorno estimado.

Tabla 6.1. Volumen de las lluvias durante el episodio del 28 de septiembre de 2012.

Tabla 7.1. Área (ha) de las distintas formas morfológicas del río Antas, obtenidas a partir de la digitalización de la secuencia de las ortofotos.

LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AD – *Anno domini* (Después de Cristo)

AMJ – Abril, mayo, junio

DGPC – Dirección General de Protección Civil

FFA – Flood Frequency Analysis

GIS – Geographical Information System

IEA – Instituto de Estudios Almerienses

JJA – Junio, julio, agosto

Ka – Kiloaño (1000 años)

IGN – Instituto Geográfico Nacional

INE – Instituto Nacional de Estadística

LIA – Little Ice Age (Pequeña Edad del Hielo)

MDT – Modelo Digital del Terreno

MVS – Multi-View Stereo

NAO – North Atlantic Oscillation (Oscilación del Atlántico Norte)

SfM – Structure from Motion

SMC – Servei Meteorològic de Catalunya.

SIG – Sistemas de Información Geográfica

WeMO – Western Mediterranean Oscillation (Oscilación del Mediterráneo Occidental)

1.

INTRODUCCIÓN

La evolución histórica de las inundaciones históricas en un ámbito de estudio tan variable es apasionante. Las regiones áridas se caracterizan por tener un sistema muy frágil, dependiente de los cambios en la variabilidad climática (Schulte, 2002a). El sureste de la Península Ibérica, donde se centra este estudio, es una región sensible ante cambios ambientales y afectada por los eventos climáticos extremos durante centenares de años (Schulte, 2002a, 2002b, 2008). Los terremotos, las sequías prolongadas y extremas, las inundaciones catastróficas, etc., son riesgos naturales que afectan y han afectado al área de estudio. Además, el creciente temor a las consecuencias del Cambio Climático (Global) hace que toda acción antrópica, que tenga al medio ambiente como fuente, puedan ser objeto de estudio. La variabilidad climática es un factor importante a tener en cuenta en el área de estudio, ya que, sumado al aumento de la exposición a ciertos riesgos naturales extremos, hace que ésta sea cada vez más susceptible a la exposición de inundaciones.

Los ríos forman parte de la vida humana desde que las grandes civilizaciones históricas se desarrollaran cerca de grandes sistemas fluviales (Mumfort, 1969). El aprovechamiento del sistema río para el transporte, la obtención de alimentos y energía y la generación de riqueza a partir de él, ha hecho que sea uno de los sistemas más antropizados de la Tierra desde hace siglos (Dollar, 2004). El aumento de la ocupación humana cerca de las fuentes de energía, como es el río, ha hecho cambiar la dinámica fluvial, además de producir un acentuación de la exposición a riesgos naturales como las inundaciones (Beniston, 2007). En los últimos dos siglos, las acciones humanas han hecho cambiar ciertos aspectos destacables de la dinámica de los sistemas fluviales (Meybeck, 2003; Dollar, 2004; Gregory, 2006). Los cambios de usos del suelo, los incendios forestales, la deforestación, provocan modificaciones en el ciclo hidrológico de los ríos (Schulte, 2008; Kundzewicz et al., 2010; Carvalho y Schulte, 2013; Carvalho, 2014; Llorca, 2016; Schulte et al., 2019a). De igual manera que las acciones sobre los ríos como la canalización o la construcción de embalses, conllevan cambios significativos que cambian el equilibrio ecológico, y tienen consecuencias en la geomorfología propia de cada sistema (Arche, 2010; Carvalho y Schulte, 2013; Schulte et al., 2008, 2015, 2019a, 2019b).

Durante las últimas décadas los conocimientos sobre las relaciones entre sistema clima y sistema río, han aumentado considerablemente. Cada vez hay más estudios centrados en temas relacionados con la paleoclimatología y paleohidrología, especialmente las paleoinundaciones. De este modo, para la correcta gestión de los espacios y sistemas fluviales, reducir la vulnerabilidad y no aumentar la exposición, a estos eventos extremos, hace falta alcanzar un conocimiento profundo del comportamiento de los sistemas fluviales y la relación de estos con la variabilidad climática. Así, mientras que las series instrumentales cubren un periodo de tiempo relativamente corto, los archivos naturales que se pueden encontrar en el sureste de la Península Ibérica, como sedimentos fluviales, depósitos litorales, travertinos, etc., nos pueden dar información acerca de las características paleoclimáticas de la zona, y de las paleoinundaciones de baja frecuencia (Walling, 2006).

Por otra parte, los archivos antrópicos como archivos históricos almacenados en los distintos ayuntamientos, iglesias o archivos privados, nos aportan una dimensión humana a la temática de eventos hidrológicos extremos como las inundaciones o las sequías. Dependiendo del momento de la historia las descripciones de inundaciones se encuentran en crónicas de viajes, en actas municipales, en informes técnicos llevados a cabo por la administración pública o privada, en periódicos locales, y finalmente, en fuentes de documentación actuales, tales como televisión, redes sociales o mensajería instantánea (Fig. 1.1). A lo largo de esta línea temporal de archivos antrópicos, la proporción de éstos es menor cuanto más antiguo y exponencialmente mayor, cuanto más actual, tal y como se puede observar en la Figura 1.1. Hoy en día, la cantidad de información relacionada con eventos climáticos extremos de todo el planeta que llega al usuario es tan grande, que es inabarcable. Además, puede parecer que estos eventos extremos hayan aumentado en los últimos años (Schulte et al., 2019a), cuestión que está ahora mismo en voga de muchos proyectos de investigación.

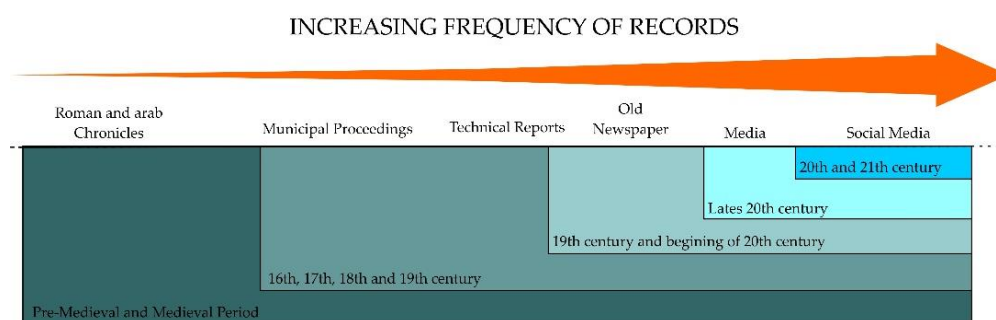


Figura 1.1. Relación de archivos históricos y evolución histórica de la cantidad de archivos donde se ha encontrado información acerca de riadas históricas en el área de estudio. Modificado de Macdonald et al., 2014.

Los estudios sobre inundaciones históricas se han centrado en lugares con larga tradición de recopilación de datos en Centroeuropa (Brádzil et al., 2006; Benito et al., 2010, Schulte et al., 2019a) y en China (Yu et al., 2009). Las inundaciones históricas en la Península Ibérica también han sido estudiadas a lo largo de los últimos 20 años (Barriendos y Martín-Vide, 1998; Benito et al., 2003, 2010, 2015; Barrera et al., 2006; Machado et al., 2015; Balasch et al., 2019; Barriendos et al., 2019; Sánchez-García et al., 2019; etc.). De esta manera, si el conocimiento es mayor, se podrá gestionar de una manera más íntegra y pluridisciplinar la gestión del sistema fluvial, y la relación de éste con el sistema antrópico, cada vez más agresivo con los ecosistemas mundiales.

Las inundaciones históricas que se han registrado en el área de estudio están relacionadas con eventos extremos que afectaron y destruyeron infraestructuras necesarias para el regadío de la zona (Capel Molina, 1974, 1981, 2008; Schulte, 2002a; Sánchez-García et al., 2019). Tanto en los archivos históricos de Vera, Almería y Cuevas del Almanzora, la información es difusa y poco constante hasta mediados del Siglo XVIII. Sin embargo, a partir de entonces a demás de los citados archivos,

otras poblaciones (Antas, Alhama de Almería) aportan información de inundaciones catastróficas que afectaron tanto a zonas pequeñas como a zonas más extensas.

Las zonas áridas como el área de estudio son muy vulnerables a la variabilidad climática y a los cambios de usos del suelo. Un ejemplo claro ha sido los daños causados por la última riada extrema que afectó al sureste de la Península Ibérica en septiembre de 2012 (Sánchez-García et al., 2016, 2019). Esta avenida afectó a todo el sureste de la Península Ibérica (Murcia, Almería y Granada), si bien en los ríos Guadalentín, Nogalte (Murcia), Antas, Aguas (Almería) y La Rábida (Granada), afectó dañando infraestructuras viarias y causando varios daños personales (Benito et al., 2012), en el río Almanzora, los daños se localizaron en la única rambla que está aguas abajo (Rambla de Canalejas) del embalse de Cuevas de Almanzora (Sánchez-García et al., 2019). Además, el aumento de área urbanizada y sellar mediante compactación hectáreas de cultivo, podría haber hecho aumentar la escorrentía de las cuencas medias de los ríos estudiados.

El conocimiento del comportamiento histórico de los ríos puede ser esencial a la hora de decidir qué tipo de uso del suelo se podrá aplicar a una determinada zona. En el área de estudio, los usos del suelo han estado históricamente muy relacionados con los ríos. El aprovechamiento de los recursos hídricos a partir de infraestructuras tradicionales de origen árabe como boqueras, acequias, azudes o aljibes (Ortiz y Cara Barrionuevo, 2003), fue una constatación hasta que a principios de los años 1980 se instalaron las primeras infraestructuras de regadío de goteo en el área de estudio. La alteración por tanto, del uso tradicional ligado al sistema hídrico, a un uso mecanizado, igualmente relacionado con el sistema hídrico, pero con características diferentes, hace que el área de estudio sea un perfecto ejemplo de gestión del suelo poco adaptado a las condiciones ambientales de la zona.

Por último, el área de estudio cuenta con mapas detallados de geomorfología y edafología (Goy y Zazo, 1989; Wenzens, 1991; Schulte, 1994, 1995, 2002a, 2002b, 2008; Macklin y Passmore, 1995; Stokes et al., 2012; etc.) que aportan información relevante a la hora de estudiar el comportamiento hídrico de las inundaciones históricas. La evolución de los eventos históricos también se puede corroborar con estudios de variabilidad climática en zonas áridas afectadas por inundaciones repentinas como en el área de estudio (Geiger, 1970; Ferre Bueno, 1979; Llasat y Ramis, 1996; Barriendos y Martín-Vide, 1998; etc.).

1.1. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El presente trabajo pretende contribuir al mayor conocimiento sobre inundaciones en un área afectada por eventos hidrológicos extremos de baja frecuencia. En términos generales, el objetivo es crear una serie de inundaciones históricas para cuatro ríos de la Provincia de Almería (Antas, Aguas, Almanzora y Andarax), basada en registros documentales históricos. A partir de estas series de inundaciones históricas establecer el periodo de retorno para el río que de más información, tanto

instrumental como documental, se dispone (Almanzorra) y estudiar su impacto sobre el área de estudio.

Con el objetivo final se pretende crear una serie de datos de las inundaciones ocurridas en la Provincia de Almería y así, contribuir a la concienciación ciudadana y aportar un conocimiento científico sobre las avenidas, tan comunes como destructivas en la región.

A partir de este objetivo principal se han diseñado objetivos específicos que se pretenden resolver mediante este estudio:

- i) Reconstrucción de las inundaciones históricas y clasificación de las avenidas según un índice de magnitudes.

Reconstruir las inundaciones históricas por medio de las descripciones halladas en los archivos históricos de los municipios del área de estudio. Determinar si hay una correlación temporal entre los diferentes eventos. Además, cartografiar las inundaciones más severas de las que se tenga suficiente información. Las descripciones de los eventos permiten reconstruir las mismas, pero también clasificar las avenidas según los daños que han causado. Por ello, diseñar un índice de magnitudes teniendo en cuenta las características geomorfológicas, climatológicas y geológicas de la zona para, clasificar las avenidas correctamente.

- ii) Creación de períodos de retorno para los ríos estudiados.

Estimar los caudales de las diferentes inundaciones a partir de los datos instrumentales conseguidos y de la clasificación de las avenidas según su magnitud. A partir de estos cálculos, desarrollar un Análisis de Frecuencia de Inundaciones. Seguidamente, identificar los caudales para las inundaciones de cada 10, 50, 100, 500 años.

- iii) Analizar la última gran riada desde el punto de vista hidrológico, hidráulico, climático y antrópico.

Las características de la inundación que asoló el sureste de la Península Ibérica en 2012 son extraordinarias desde el punto de vista geográfico. Para ello se ha analizado los desencadenantes y las consecuencias de esta inundación. De este modo, identificar los errores de gestión hídrica, ocupación territorial y de usos del suelo es de mucha importancia en un contexto de inundaciones más o menos continuas.

- iv) Identificar los cambios de usos del suelo a partir de fotografías aéreas y mapas de usos del suelo.

Las fotografías aéreas permiten identificar los usos de suelo desde 1956 hasta la actualidad. A partir del análisis de éstas, se ha procedido a analizar el impacto de los usos de suelo actuales a la dinámica de las inundaciones en el tramo medio y bajo del río Antas. Además la identificación de los cambios en la morfología del lecho del río y de los daños en infraestructuras tradicionales de regadío permite identificar los errores que se han tomado a la hora de gestionar el territorio en los últimos 30 años.

A partir de estos cuatro objetivos se han identificado tres premisas de partida, en las cuales se ha basado el inicio del estudio de las inundaciones y de los cambios de usos del suelo históricos:

- i) Las inundaciones históricas pueden ser reconstruidas a partir de las descripciones encontradas en fuentes primarias y en fuentes secundarias.
- ii) Las características diferenciales de la región obligan a diseñar un método de clasificación de las inundaciones según el daño y las consecuencias que han tenido sobre el territorio.
- iii) En los últimos 25-30 años los cambios en el uso del suelo han hecho crecer el número de inundaciones de magnitudes bajas y también han incrementado los daños económicos de las inundaciones de mayor magnitud.

1.2. ESTRUCTURA DE LA TESIS

Con el fin de cumplir los objetivos descritos en el apartado anterior, se ha estructurado esta Tesis Doctoral en cuatro capítulos, además del presente. La descripción del área de estudio, un compendio de la metodología seguida y finalmente las conclusiones a las que se ha llegado, completan el cuerpo de la tesis.

En el Capítulo 2, se expone la descripción del área de estudio. En él, se incide en las características de las cuatro cuencas hidrográficas estudiadas y en aspectos concretos generales de ellas. La geomorfología, la geología, la climatología, la hidrogeografía e hidrología, además de la edafología y la descripción de los usos del suelo de todas ellas se puede encontrar en este capítulo.

A continuación en el Capítulo 3, se describen los principales métodos llevados a cabo para la elaboración del trabajo. La búsqueda de información en archivos históricos ha vertebrado el cuerpo de la Tesis Doctoral. Posteriormente, el análisis de las imágenes aéreas ha servido para caracterizar los cambios de usos de suelo y los cambios morfológicos del lecho del río en la cuenca media y baja del río Antas.

El cuerpo del trabajo en forma de resultados y discusión se completa en los siguientes cuatro capítulos. Asimismo, en cada capítulo se expone un estado de la cuestión de cada tema y una conclusión parcial. En el Capítulo 4 se presentan las cuatro series de inundaciones históricas de los ríos estudiados. La comparación de las series de datos históricos con series de otras cuencas cercanas a las estudiadas también es presentada en este apartado. A continuación se relaciona la serie de inundaciones del río Almanzora con las situaciones sinópticas que afectan al área de estudio, además de presentar la reconstrucción sinóptica de las cuatro grandes inundaciones catastróficas.

El Capítulo 5, se representa el análisis de frecuencia de inundaciones para el río Almanzora. En este apartado se elaboran varios cálculos de periodos de retorno y se

comparan con estimaciones que se han hecho anteriormente, sin tener en cuenta las inundaciones históricas.

A continuación, se analizan diversos aspectos y factores de la última inundación catastrófica que hubo en el área de estudio en el año 2012. El Capítulo 6, recoge un compendio de información y análisis de la misma, enfocado en la cuenca media y baja del río Antas.

Seguidamente, el Capítulo 7 trata de los cambios de usos del suelo que se han llevado a cabo a lo largo de los últimos 60 años. A partir de fotografías aéreas se analizan también los cambios en la morfología fluvial de un tramo en la cuenca media del río Antas.

Finalmente se presentan las conclusiones más relevantes de la Tesis Doctoral en un capítulo único y un apartado en inglés, con el objetivo de poder optar al título de Doctor con Mención Internacional. Se cierra el trabajo con un apartado donde se recoge la colección de todas las citas bibliográficas que se han utilizado para la realización de este trabajo.

2.

ÁREA DE ESTUDIO

La Provincia de Almería se sitúa en el extremo suroriental de la Península Ibérica. Se caracteriza por tener una orografía muy abrupta, destacándose cuatro cadenas montañosas que superan los 2000 m. s.n.m., la Sierra de Filabres, Sierra de Almagro, Sierra de Almagrera y Sierra Gádor. A pesar de la orografía de esta región también se destacan grandes depresiones, como en la región del poniente o en el campo de Níjar, mostrando tectónicamente una estructura “*basin and range*” (Mather et al., 2016). Otra característica importante de esta región es la aridez, que se refleja en el flujo intermitente de los principales cursos de agua (Capel Molina, 2008). Las precipitaciones son escasas a lo largo del año como se podrá ver más adelante, por lo tanto, el agua de lluvia no es suficiente para que los ríos discurran durante todo el año, sino que solamente cuando se produce lluvias suficientes (Sánchez-García et al., 2019).

Esta tesis se centra en las cuencas de los ríos de la Provincia de Almería, siendo Aguas, Antas, Almanzora y Andarax. Éstas representan las cuatro cuencas más importantes de la provincia de Almería y donde se ubica la mayor parte de la población. Asimismo, esta población sufre un peligro por inundación importante como consecuencia de las características geomorfológicas, climatológicas o de usos del suelo, tal y como se podrá comprobar en este apartado.

Las cuencas de los ríos Almanzora, Antas y Aguas se localizan en el este y norte de la provincia de Almería, mientras que el río Andarax está ubicado en el sur y centro de la provincia, con la excepción de sus dos afluentes más importantes, el río Nacimiento y la rambla de Tabernas, que están ubicados en el noroeste y en el centro, respectivamente. Toda esta región se encuentra marcada por la interacción entre la zona de costa (Mar Mediterráneo) y la montaña (Sierra de Filabres, Almagro, Almagrera, etc.).

2.1. CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA GENERAL

La Provincia de Almería tiene una población de 706.672 habitantes (INE, 2017), siendo algo más del 8% del total de la población de la Comunidad Autónoma de Andalucía. Los municipios donde se encuentran el mayor número de habitantes son: Almería (la capital de la provincia; 195.389 hab.), Huércal-Overa (18.649 hab.), Huércal de Almería (17.234 hab.) Vera (15.528 hab.) y Cuevas del Almanzora (13.655 hab.)¹. Las comarcas que componen el área de estudio son: El Levante Almeriense, siendo una de las zonas más turísticas de la provincia con una bolsa de apartamentos turísticos para dar vivienda a más de 500.000 personas. El Valle del Almanzora, es donde se ubican las principales industrias de la provincia, mayormente relacionadas con el mármol. Los Filabres-Tabernas, una de las zonas más áridas de la provincia, solamente superada por el área cercana al Cabo de Gata, esta comarca se caracteriza por tener un paisaje de cárcavas muy pronunciadas. La Comarca Metropolitana de Almería, donde se ubica la capital de la Provincia y mucha parte de la población y de los servicios de la provincia. Finalmente, la Alpujarra Almeriense, caracterizada

¹ Padrón Municipal correspondiente a 2017.

por ser una zona montañosa entre las provincias de Granada y Almería y estar conectada también con la zona del Poniente de la provincia de Almería.

En la Figura 2.1 se puede observar la evolución demográfica de la Provincia de Almería desde que se empezaron a tomar registros de población. Se puede observar como al principio de la serie la tendencia es positiva y en términos generales la población aumenta hasta el censo de 1920. Posteriormente, con la Guerra Civil Española (1936-1939) y la post-guerra, se llevó a cabo una gran migración hacia zonas económicamente más prosperas (otras regiones de España, principalmente, Cataluña, y otros países Europeos, Alemania en muchos casos).

No hay un repunte demográfico hasta la década de 1990, debido a la migración africana, principalmente del Norte de África y población Subsahariana, que llegó para suplir la demanda de mano de obra en los campos de agricultura intensiva de la Provincia. La población se vuelve a estabilizar a partir de 2011 hasta la actualidad, como consecuencia de la crisis económica que asoló España entre 2009 y 2015 (Domingo i Valls y Sabater i Coll, 2013).

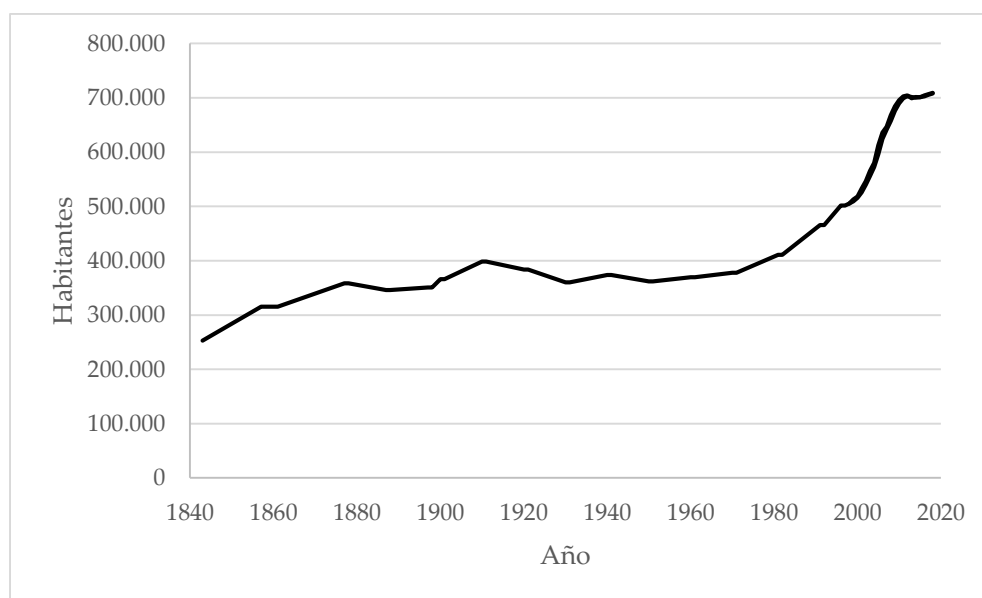


Figura 2.1. Evolución de la población de la Provincia de Almería desde 1842 hasta el 2018.

La superficie total del área de estudio abarcada por la presente tesis es de 5611 km², esta es la suma de las superficies de las cuencas hidrográficas de los ríos Almanzora, Antas, Aguas y Andarax. El área se caracteriza por ser muy accidentada orográficamente. Está compuesta por una sucesión de cadenas montañosas y depresiones tectónicas, siendo que las principales líneas de separación son la Sierra de Filabres, que separa las cuencas de los ríos Almanzora, Aguas y Antas de la cuenca del río Andarax, y la Sierra Nevada, que separa las cuencas del río Andarax y la sub-cuenca del río Nacimiento, tributario del Andarax. El área de estudio tiene además otras sierras de singular importancia como: las Sierras de las Estancias, Almagro y Almagrera (de W a E), situadas en el Norte de la Provincia las Sierras de Alamahilla y Cabrera (de W a E) en el sur. Las alturas oscilan entre aproximadamente 350 m.s.n.m. en la Sierra de Almagrera (Tenerife, 366 m.) y los

2000 en Sierra de Filabres (Calar Alto, 2168 m.). En el oeste de la Provincia, la Sierra Nevada (Chullo, 2611 m.) y la Sierra de Gádor (Morrón, 2236 m.) son las barreras orográficas más importantes en cuanto a altitud.

Como consecuencia de las características geológicas y climáticas de esta región, la geomorfología de las cuencas en estudio se puede caracterizar por valles dominados por glaciares en la cuenca del Almanzora y por la existencia de *badlands* en el Andarax, mientras que los valles de los ríos Antas y Aguas se caracterizan por glaciares y terrazas fluviales, y cañones, respectivamente. Solamente el 12% de la superficie de todas las cuencas presenta un relieve llano o casi llano (FAO), mientras que el resto se podría considerar como territorio en pendiente o escarpado, superando el 13% de pendiente (Simón Torres, 2005).

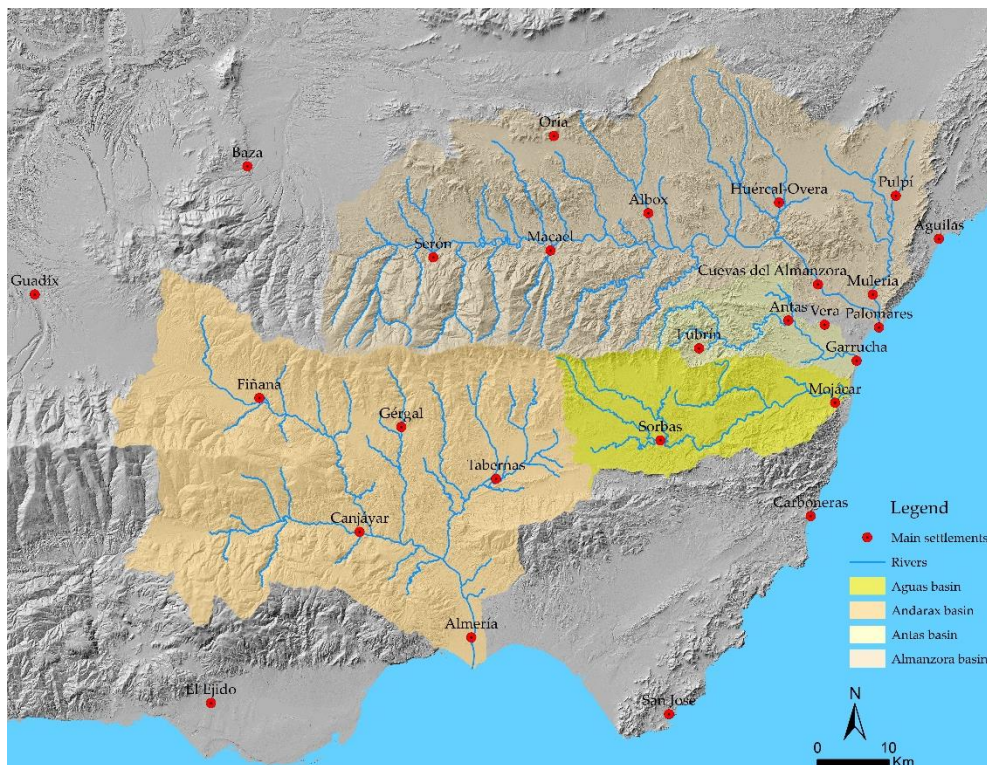


Figura 2.2. Cuencas de los ríos Almanzora, Antas, Aguas y Andarax. Mapa de elaboración propia.

En la Figura 2.2 se puede observar un mapa de toda la Provincia de Almería donde se resaltan las cuencas de los ríos Andarax, Aguas, Antas y Almanzora y las principales poblaciones de la provincia. Entre la vertiente norte de la Sierra de los Filabres y la división administrativa de la Provincia de Almería y la Región de Murcia, está bordeada por toda la cuenca del río Almanzora mientras que en la zona central, drenando la Depresión de Vera de oeste a este, discurre el río Antas. El río Aguas recoge las aguas toda la Depresión de Sorbas que queda al oeste de ésta, drenando el karst de Sorbas y atravesando un zona de cañones y altas pendientes hasta pasar a la Depresión de Vera, también la parte meridional de la Depresión de Vera, donde desemboca en el Mar Mediterráneo. En la zona central y sur del mapa se encuentra la cuenca del río Andarax, el río discurre entre las zonas montañosas de la Sierra de Gádor y Sierra Nevada, mientras que su mayor afluente, el Río

Nacimiento, entre las sierras Nevada y Filabres. Finalmente llegan a la zona del valle de Almería y el delta del río Andarax, donde se ubica la ciudad de Almería.

2.2. CLIMATOLOGIA

El clima de toda la provincia de Almería está fuertemente influenciado por la proximidad del Mar Mediterráneo, sin embargo, mientras que en el interior domina un clima semidesértico, siendo incluso considerado como la región más árida del continente europeo (Hooke y Mant, 1999, Schulte, 2002, etc.). Esta aridez se explica en gran parte por la existencia de grandes barreras orográficas al oeste de la provincia (Sierra Nevada y Sierra de Gádor), que actúan como una barrera natural frente a los flujos húmedos atlánticos. Por otro lado, los flujos predominantemente húmedos del este, suelen ubicarse más al norte del sudeste de la Península Ibérica (Capel Molina, 1981), quedando por eso aislada de estas masas de aire. Por lo tanto, las cuencas bajas de los ríos estudiados en el presente trabajo se ubican en una región muy árida donde la media anual de precipitación no supera los 200-300 mm. No obstante, se puede definir la altitud como un factor determinante en la cantidad de precipitación anual, ya que las cabeceras de estas cuencas suelen tener precipitaciones más elevadas, principalmente en las cumbres de mayor altitud. En este caso, las cabeceras de los ríos Almanzora y Andarax registran precipitaciones cercanas a los 700 mm anuales.

En relación a la temperatura media anual, los valores de esta región en los 19°C (Almería-Aeropuerto). Los datos instrumentales más antiguos del área de estudio, se ubican en las estaciones meteorológicas de Almería (Aeropuerto, 1952-2018), Vera (1955-2018) y Albox (1954-2018). La estación de Vera es la más continua durante toda la serie, con mayor densidad de datos, verificándose una temperatura media anual de 17.9°C. En los sectores más elevados, sobre todo en las cuencas de los ríos Almanzora y Andarax, los valores descienden considerablemente hasta los 7.2°C (registrados en la estación de Calar Alto desde su inicio en 1997).

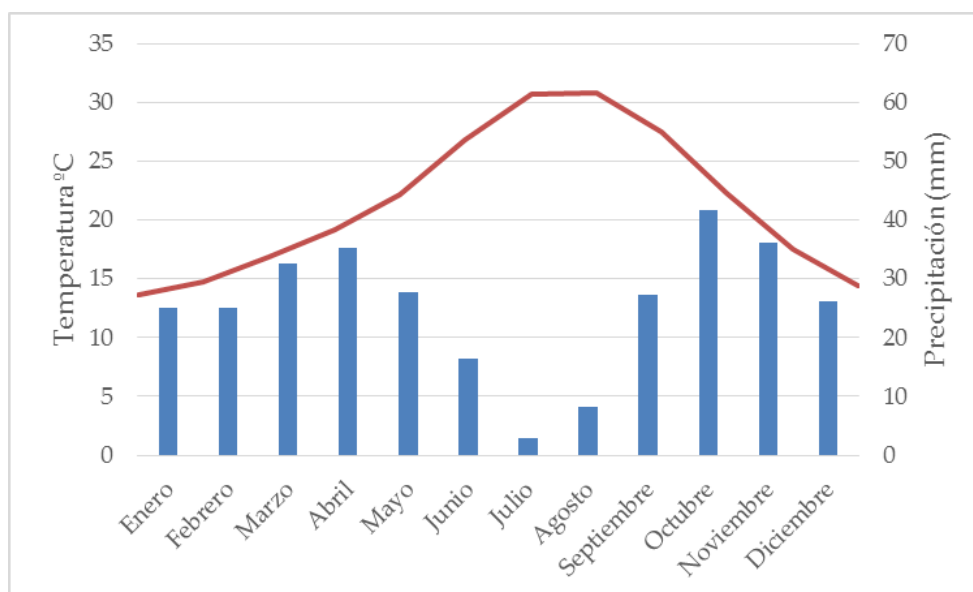
Según la clasificación climática de Köppen (1931), actualizada por Peel et al. (2007), en la que se tienen en cuenta los valores climáticos de temperatura y precipitación, caracteriza la mayor parte del área de estudio dentro de dos grupos climáticos principales: 1) los sectores de altitudes intermedias y bajas se clasifican dentro de los climas esteparios (BSs) y 2) las zonas montañosas más elevadas se clasifican dentro de los climas mediterráneos de veranos cálidos (Csb). Aparte de estas dos divisiones climáticas es importante remarcar que existe una compleja variabilidad climática local, debido en gran parte a los grandes cambios de altitud que hay entre los fondos de valle y la zona de cabecera de los ríos.

La variabilidad climática local es más evidente durante eventos extremos mínimos y máximos de temperatura o de precipitación. Por ejemplo, la temperatura mínima registrada en la estación de Almería es de 0.1°C en enero del 2005 (AEMET: 1950-2019). Sin embargo, los valores mínimos de temperatura en la estación de Calar Alto, ubicada a más de 2000 metros de altitud, suelen estar muy por debajo de 0°C

(AEMET: 1997 – 2019). Lo mismo ocurre con la temperatura máxima, aunque con variaciones no tan extremas. El máximo de temperatura registrado en la estación de Almería es de 41.2°C en julio de 1981 (temperatura suavizada por la cercanía al mar, que actúa de termorregulador), mientras que en Calar Alto la máxima de temperatura de este mismo evento es de 27 °C. La temperatura máxima jamás registrada en Calar Alto apenas ha superado ligeramente los 18°C en un evento de ola de calor ocurrido en 2013.

En cuanto a los valores extremos de precipitación, la estación de Garrucha, en la desembocadura del río Antas, registró un mínimo de 66.3 mm anuales en 2014, y un máximo de 408.1 mm en 1969 (Junta de Andalucía: 1955-2015). El registro de precipitación anual más elevado en los valles y las depresiones del área de estudio es de aproximadamente de 1000 mm, en la estación de Zurgena en 1973 (Junta de Andalucía: 1961–2019). El evento de 1973 superó el límite del pluviómetro que era de 700 mm. Por lo tanto, no se sabe con exactitud cuál fue la cantidad exacta que precipitó durante ese año.

Teniendo en cuenta los climogramas de las estaciones de Albox y de Almería Aeropuerto (Fig. 2.3), las estaciones con datos más continuos a nivel de precipitación y de temperatura, se destaca la diminuta precipitación en los meses de verano, especialmente en julio y agosto, coincidiendo con los valores más elevados de temperatura media. En el caso del climograma de Albox, todos los valores de precipitación mensual se encuentran en déficit hídrico (la precipitación es inferior a la temperatura en el climograma) y se identifican dos máximos de precipitación, uno en los meses de octubre y noviembre y un otro en los meses de marzo y abril. En la estación de Almería Aeropuerto, la precipitación se encuentra distribuida entre los meses de otoño, invierno y primavera con un máximo de precipitación en el mes de noviembre. En este caso, diciembre estaría por encima del umbral de la sequía, no así los otros once meses.



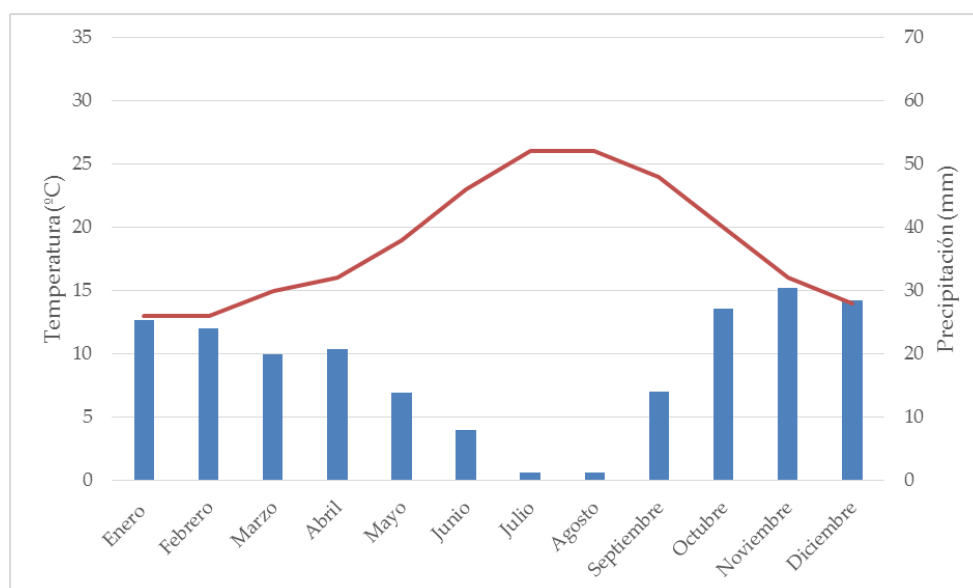


Figura 2.3. Climogramas de las estaciones de Albox (arriba) y de Almería Aeropuerto (debajo) para el período 1950-2018.

Es importante remarcar que a pesar que el régimen de precipitaciones del área de estudio esté distribuido a lo largo de los meses de otoño, invierno y primavera (Fig. 2.3), los eventos de precipitación se caracterizan muchas veces como torrenciales, encontrándose usualmente relacionados con situaciones meteorológicas de gota fría (DANA², Llasat et al., 2005). Este tipo de eventos torrenciales conlleva normalmente a eventos de inundación y son por veces agravados en las zonas de fondo de valle junto a las cadenas montañosas más cerca del litoral, ocasionando por veces inundaciones repentinas (*flash-floods*). Estos eventos no son específicos de esta área de estudio ya que se verifican a lo largo de prácticamente todas las cordilleras litorales de las cuencas mediterráneas de la Península Ibérica (Barrera et al., 2006; Barriendos y Rodrigo, 2006; Sánchez-García et al., 2019).

2.3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Se pueden distinguir tres grandes formas geomorfológicas en el área de estudio.

- Valles: Los valles más representativos del área de estudio son 1) el Valle del Almanzora, principal conector en el norte con la Provincia de Granada, por la cuenca de Baza, y también conector económico por la Comarca del Mármol; 2) el Valle del Andarax, muy abrupto en su parte intermedia, pero de especial importancia demográfica, ya que en la desembocadura del Andarax es donde se ubica gran parte de la población del área de estudio.
- Depresiones: las depresiones más importantes son 1) la depresión de Vera, que ha tenido una importancia creciente en las últimas décadas por la implantación de cultivo intensivo, siendo ahora un punto importante dentro de toda la Provincia; 2) la depresión de la cuenca media del río Almanzora

² DANA; Depresión Aislada en Niveles Altos.

a la altura de Olula del río, siendo esta la principal zona llana del interior de la Provincia, y donde se ubican muchos núcleos urbanos.

- Sierras: las sierras más importantes son la Sierra de Filabres, Sierra Nevada y Sierra Gádor, siendo las que alcanzan mayor altitud. Sin embargo, las Sierras de las Estancias, Almagro, Almagro da y Sierra Cabrera, actúan de barreras naturales y han tenido cierta importancia histórica (Bermejo, 1972).

Desde un punto de vista estructural, las Cordilleras Béticas internas, se encuentran distribuidas el territorio, formando complejos paleozoicos alrededor de depresiones neógenas y cuaternarias-. De estas depresiones se destacan las depresiones de Vera y Sorbas, el Valle del Almanzora, la cuenca de Almería y el Valle de Andarax (Montenat y Ott d'Estevou, 1990).

En el caso del Valle del Almanzora y de la comarca del Levante almeriense, las principales cadenas montañosas están separadas de las depresiones y de los valles por fallas normales orientadas de NE a SW y de NW a SE (Montenat y Ott d'Estevou, 1990). Similar es la situación en el Valle del Andarax y del Nacimiento.

La Sierra de los Filabres y Sierra Nevada fueron elevadas a partir de la Orogenia Alpina, y forman parte del Complejo Nevado-Filábride (Andersen, 2008), mientras que las depresiones se han formado bajo una influencia marina, que ha ido rellenando las zonas más deprimidas por estratos de margas y areniscas, formadas principalmente durante el Mioceno (Andersen, 2008). Durante el Cuaternario, estos estratos geológicos han sido modelados por el sistema hidrológico y atmosférico y han dado lugar a las formaciones geomorfológicas actuales, como pedimentos, conos aluviales, terrazas fluviales y marinas y, glaciares (Völk, 1979; Schulte, 2002a). A partir del Messiniense, la influencia sedimentaria pasó a ser de origen continental, dando lugar a formaciones de evaporíticas (Barragán et al., 1990).

Por lo que respecta a la cuenca del Almanzora, prácticamente todas las áreas de fondo de valle tienen su génesis en el Neógeno y se encuentran formada por rocas carbonatadas. Por otro lado, las zonas elevadas son mucho más antiguas y están datadas del Precámbrico y Triásico. En el tramo final de la cuenca, el río Almanzora atraviesa la Sierra de Almagro de origen Permotriásico y Triásico (García Monzón y Kampsuchuur, 1973; Schulte, 2002a). Las rocas de esta formación se caracterizan por estar menos carbonatadas que en las zonas deprimidas del valle. Están formadas principalmente por complejos de conglomerados y puntualmente por margas, identificables en los márgenes de la del río (Ferre Bueno, 1978; Völk, 1979).

La cuenca del río Antas está formada prácticamente en su totalidad por depósitos Neógenos, compuestos principalmente por unidades sedimentarias concordantes y cada una posee un diferente grado de tectonización y preservación (Simón-Torres, 2005). Solamente el reborde montañoso pertenece al complejo Nevado-Filábride, formado por mica-esquistos y cuarcitas en la parte inferior, y en la parte superior, mármoles, gneis, anfíbolitas y mica-esquistos (Montenat y Ott d'Estevou, 1990).

La depresión de Sorbas, en el centro del área de estudio, es de similar origen que el resto de las cuencas, Messiniense. Sin embargo, tiene betas de yesos que han sido

aprovechados durante los últimos milenios. La tectónica neógena y las condiciones climáticas áridas han facilitado la preservación de las formaciones yesíferas de Sorbas (Calaforra y Pulido-Bosch, 2003; Schulte et al., 2008; Gázquez y Calaforra, 2014). El modelado diferenciado de los yesos de Sorbas resulta de la karstificación de secuencias cíclicas de sedimentos yesíferos y margas pelíticas intercaladas (Dronkert, 1977). La secuencia tiene un grosor que varía entre 30 y 120 metros y el área es de 12 km² (Calaforra y Pulido-Bosch, 2003).

Otro aspecto a tener en cuenta es la cantidad de terrazas marinas que hay en la zona de estudio como consecuencia de cambios glacioestáticos del nivel del mar junto a la emersión tectónica de las depresiones (Schulte, 2002b), éstas se encuentran principalmente en la desembocadura de los ríos Antas y Aguas, siendo 6 o 7 niveles de terrazas acumuladas/depositadas durante el Pleistoceno (Schulte, 2002a, 2002b; Schulte et al., 2008).

En la Figura 2.4 se puede observar el mapa del esquema geológico de la zona de estudio. En el mapa se pueden distinguir las diferentes fases de formación de las diferentes zonas geológicas de las cuatro cuencas de estudio.

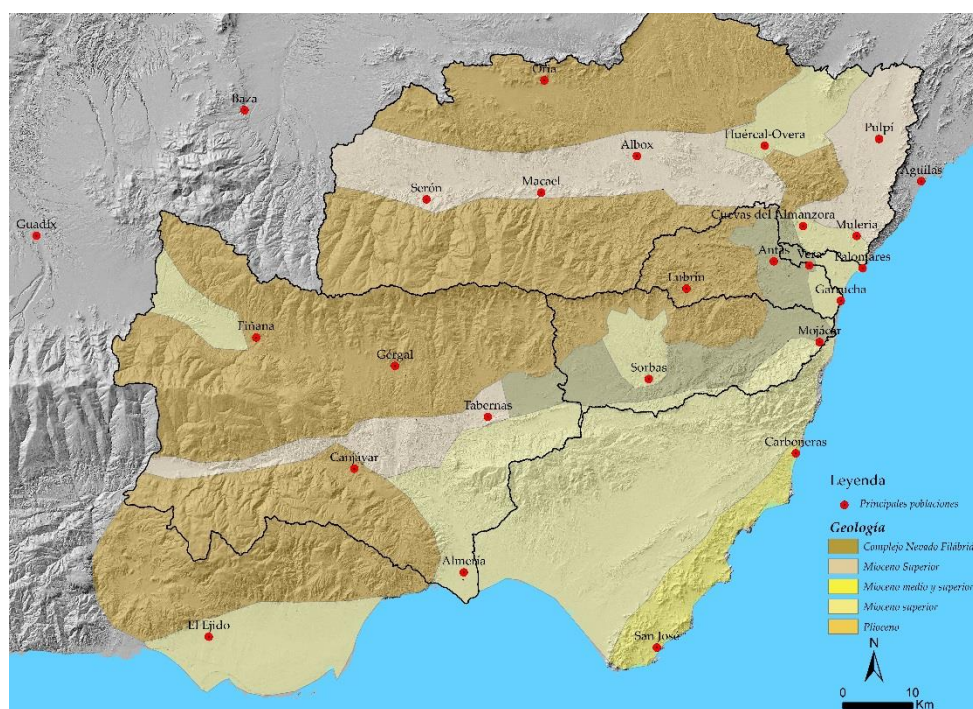


Figura 2.4. Esquema Geológico de la Provincia de Almería (Adaptado de: Martín Penela et al., 1997)

El río Almanzora adquiere también una importancia geomorfológica, siendo el principal río de la Provincia de Almería, con 105 km de longitud. Hasta que se juntan todas las ramblas tributarias del Río Almanzora (Rambla de Albox, Rambla de Albánchez y Rambla de la Muleria), la pendiente es alta, superando el 10% de promedio. A partir de Olula del Río, donde se encuentra el punto más occidental del Valle del Almanzora, empieza una zona con pendientes bajas que no suelen superar el 5%. A medida que el río Almanzora se va acercando a la desembocadura (en el mar Mediterráneo), atraviesa la Sierra de Almagro, donde está ubicado el Embalse

de Almanzora. En este sector las pendientes son mayores (8-15%), hasta llegar a la parte final de su recorrido donde vuelve a formar un valle de bajas pendientes. Teniendo en cuenta la pendiente de todo el curso principal del río Almanzora se observa una pendiente de 2%, situándolo en uno de los ríos con mayor pendiente media de la península (Vallejos et al., 1994)

La segunda es la depresión de Vera, ubicada en la zona centro-este del área de estudio. Por ella pasa el río Antas y tiene unas dimensiones de 10 km de N-S y 10 km de W-E. Esta depresión está formada por pequeñas cuevas y depresiones locales, aunque en los últimos años se han transformado como consecuencia de la instalación de cultivos industrializados.

La otra gran unidad geomorfológica de esta región es el valle del río Aguas, estando muy encajado en sus inicios, aproximadamente hasta su entrada en el área de la Depresión de Vera, hasta desembocar en el Mediterráneo en el municipio de Mojácar. En su último tramo atraviesa siete paleoterrazas marinas cercanas a la costa (Schulte, 2002a).

Las cuencas de los ríos Andarax y el río Nacimiento son las dos cuencas más grandes de la provincia de Almería por detrás de la cuenca del río Almanzora. Se ubican en el centro-sur de la provincia y es donde se concentra el mayor número de habitantes, llegando hasta los 290.000 habitantes (INE, 2018). En los primeros kilómetros de su recorrido son ríos con un perfil longitudinal muy abrupto. Prácticamente, la pendiente no baja hasta que está a poco menos de 10 km de la desembocadura en la ciudad de Almería.

2.4. HIDROGEOGRAFÍA Y BIOGEOGRAFÍA

Todos los ríos de la Provincia de Almería tienen como factor común la discontinuidad del flujo de agua superficial, siendo normalmente caracterizados como cursos de agua efímeros. Este régimen de escorrentía superficial en las cuencas mediterráneas tiene normalmente la designación de rambla, principalmente si el canal principal no tiene un flujo permanente en todo su recogido (Pulido-Bosch et al., 1992; Pulido-Bosch, 1993; Belmonte y García, 2008).

El área de estudio se caracteriza por haber registrado al menos dos de las inundaciones históricas de mayor importancia nacional del Siglo XX (AEMET, 2018), como fueron las inundaciones de 1973 y 2012.

Como consecuencia de la variabilidad altitudinal, la vegetación es muy diversa a lo largo del área de estudio. Mientras que en las zonas más elevadas de las cuencas de los ríos Almanzora y Andarax la vegetación predominante son los prados áridos, en los tramos inferiores de las cuencas puede ser esteparia abierta e incluso, en algunas zonas predominan las costras vegetales (Cantón et al., 2004).

El hecho de tener un clima semidesértico o estepario en las cuencas medias y bajas, hace que, de manera natural, la mayor parte de la vegetación sea xerófila, con pocas especies arbóreas e incluso en algunas zonas solamente matorral de bajo porte. En

altitudes más elevadas se puede encontrar una vegetación arbórea de alta montaña como el *pinus nigra* y *pinus pinea*, y también vegetación ruderal en las zonas pedregosas, principalmente en el caso en la Sierra de los Filabres.

La cubierta vegetal también se encuentra muy condicionada por la ocupación humana. Desde que se asentaron los primeros pobladores en las depresiones de Vera y del Bajo Andarax (las zonas más aptas para la agricultura) se construyeron infraestructuras para el regadío, tales como acequias, pozos, boqueras y azudes (Ortiz-Soler y Cara Barrionuevo, 2003). Este sistema de regadío, totalmente dependiente de la pluviometría dio paso, ya a finales del Siglo XX, a sistemas de regadío intensivo, que gracias a la explotación de reservas de agua subterráneas y al transvase de agua de otras cuencas lejanas ha proporcionado una expansión del área agrícola a otras zonas históricamente menos productivas. Este es el caso, por ejemplo, de la cuenca baja del curso del Andarax, cerca de la ciudad de Almería (Piquer-Rodríguez et al., 2012).

En la Figura 2.5 se puede observar un mapa de la cubierta vegetal de la Provincia de Almería para el año 2012. Las zonas centrales están dominadas por series semiáridas de lentisco, estas zonas están caracterizadas por un clima árido. Además, cerca del cabo de Gata y en la Depresión de Vera también está dominada por lentisco con palmito. En las zonas de mayor altitud como en la Comarca de Los Vélez y en las partes altas de la Cuenca del Almanzora y de la Sierra de Gádor, se encuentran encinares de diferentes tipos. Por otra parte, las zonas costeras están caracterizadas por una serie árida de comical y serie de arto. Finalmente, el área del Desierto de Tabernas se caracteriza por tener una cubierta tabernense sobre margas subsalinas (Simón Torres, 2005).

2.5. EDAFOLOGÍA

La edafogénesis de los distintos suelos está sujeta a las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Völk, 1966; Sierra et al., 2009), además de a las condiciones climáticas como temperatura, precipitación y humedad media (Sierra et al., 2009). Teniendo en cuenta todas estas características geográficas de la Provincia de Almería se pueden diferenciar algunos tipos de suelos predominantes en el sudeste de la Península Ibérica.

Los suelos que ocupan una mayor parte del territorio son los leptosoles, calcisoles y regosoles. Suelos poco desarrollados como consecuencia de procesos de erosión y del ambiente puramente árido (Junta de Andalucía, 2015). Los suelos que se pueden desarrollar en el área de estudio se distribuyen de manera parecida a las formas geomorfológicas, pues dependen de características intrínsecas a éstas como pendiente, orientación, etc (Schulte, 2002a, b, 2003a).

Los suelos más desarrollados se encuentran en zonas más elevadas y con más precipitación anual. Suelen ser suelo rojos (*Rhodoxeralfs*) o pardos rojizos (*Haploxeralfs*), este tipo de suelos desarrollados se interpretan como paleosols (Fedoroff, 1997; Schulte, 1998, 2002a) y además los suelos del orden *xeralf* es un

indicador de la zona no inundable durante los últimos 80 ka (Schulte y Julià, 2001). Mientras que los suelos menos desarrollados se localizan en zonas de altas pendientes donde la roca madre aflora a la superficie, éstos pertenecen al orden de *Orthods* (*Xerosols*, *Serosems*), *Xerolls* (*Xerorendsinas*), *Orthens* (*Regosols*) y suelos incipientes (Schulte, 2002a). Por otra parte en las zonas fluviales se desarrollan suelos del suborden *Fluvent* (*Fluvisol calcareos*, *Kalkrambra*) (Schulte, 1998).

2.6. USOS DEL SUELO

En la actualidad, la importancia de los usos del suelo dedicados a la agricultura intensiva se revela cruciales para la economía local. Por eso se justifica la inversión considerable en estructuras de almacenamiento de agua como el embalse del Almanzora. En la cuenca del Almanzora, los campos de cultivo han alcanzado 30.873 ha (Vera-Rebollo, et al. 2016), lo que supone un 11,8% del área la cuenca baja. En la cuenca alta el porcentaje es mucho más elevado, alcanzando un 46.8% del territorio (Taguas et al. 2008). A pesar del embalse, la cantidad de agua disponible para el cultivo de regadío sigue siendo insuficiente, teniendo en cuenta que es una de las zonas más áridas de toda la Península Ibérica. A pesar de ello, la Provincia de Almería es una de las regiones con mayor demanda hídrica de la Península (Hooke y Mant, 1999).

La minería fue muy importante durante las últimas dos décadas del Siglo XIX y primera del Siglo XX en las zonas de las sierras de Almagro y Almagrera. En el sector central del Valle del Almanzora, denominada área del mármol, ha sido importante la extracción del material del mismo nombre, desde el Siglo XIX. Si bien, hasta finales del Siglo XX el uso del suelo que predominaba era la agricultura de secano, regadío extensivo y la ganadería. Estos usos tradicionales han ido perdiendo importancia en favor de la agricultura de regadío intensivo. Actualmente, se han instalado grandes campos de regadío de explotación intensa donde había campos de secano o regadío extensivo, en el valle medio del Almanzora y en su cuenca baja, próximo de la desembocadura. Por otra parte, los sectores distales del canal principal se caracterizan por un relieve muy abrupto y por lo tanto, se hace muy difícil realizar una explotación agrícola intensiva. En estas zonas ha predominado el cultivo arbóreo de olivos y algunos árboles frutales. En modo de resumen, los usos del suelo que predominan en la cuenca del Almanzora son los cultivos de regadío y de secano, aunque en menor medida se sigue conservando la ganadería y los cultivos de frutales de forma esporádica, en las zonas de ladera, sobre todo en la cuenca media y alta del río Almanzora

A pesar de la importancia histórica de algunos núcleos poblacionales de esta cuenca durante en el periodo árabe y el inicio del dominio cristiano, esta región ha ido perdiendo volumen demográfico, a lo largo de los Siglos, en favor de la ciudad de Almería. En el Siglo XX esta tendencia se acentúa, pero hacia otros polos urbanos de mayor importancia como Barcelona o Madrid. De hecho, esta dinámica demográfica ha causado un verdadero éxodo rural, conllevando a la desaparición de varios pueblos. Por otra parte, en las dos últimas décadas ha aumentado la población en

los principales núcleos poblacionales (Antas, Vera y Garrucha) por la inmigración proveniente del continente africano, mayoritariamente Marruecos y la zona Subsahariana. Sin embargo, tal y como se ha comentado anteriormente, a partir de la crisis económica del año 2008, la población se verifica una estabilización poblacional.

Las causas de los cambios demográficos de los Siglos XX y XXI tienen relación con los cambios de usos del suelo que se han verificado en toda la Depresión de Vera. Estos cambios se encuentran relacionados con los ocurridos en la cuenca del río Almanzora, explicados en el apartado anterior. Dentro de estos cambios se destaca claramente la explotación agrícola, siendo que la mayor parte de las empresas instaladas en la cuenca del Antas relacionadas con la agricultura de regadío intensivo son empresas de fuera de la Provincia. Además, el turismo ha aumentado en los últimos 30 años de una manera exponencial, como consecuencia de la construcción de enormes complejos hoteleros, a lo largo de toda la costa, dedicados al turismo de sol y playa y con una afluencia dominante de turistas extranjeros. Todos estos factores económicos han hecho que la situación demográfica de la zona sea compleja y llena de incertidumbres para las próximas décadas.

Los diferentes cambios en los usos del suelo que han marcado la ocupación actual de las restantes cuencas del levante almeriense, a saber, la agricultura intensiva y el turismo, no encuentran distribución tan homogénea en la cuenca del río Aguas. En el caso particular de esta cuenca, estos nuevos usos están localizados sobre todo en la cuenca baja. Los campos de regadío intensivo se ubican en la Depresión de Vera, entre los ríos Aguas y Antas, mientras que los usos turísticos se ubican en la línea de costa y en los principales núcleos poblacionales cercanos. A partir de los años 90 se empiezan a construir los primeros complejos turísticos en el municipio de Mojácar y que cada vez más han ido tomado importancia, hasta ser uno de los principales centros turísticos del levante español. Las características de los turistas que visitan esta región varían según la estación del año. En verano, domina el turismo joven de sol y playa, mientras que en invierno y primavera, turismo de la tercera edad. Se estima que hay capacidad para alojar a más de 500.000 turistas en toda la costa de levante almeriense.

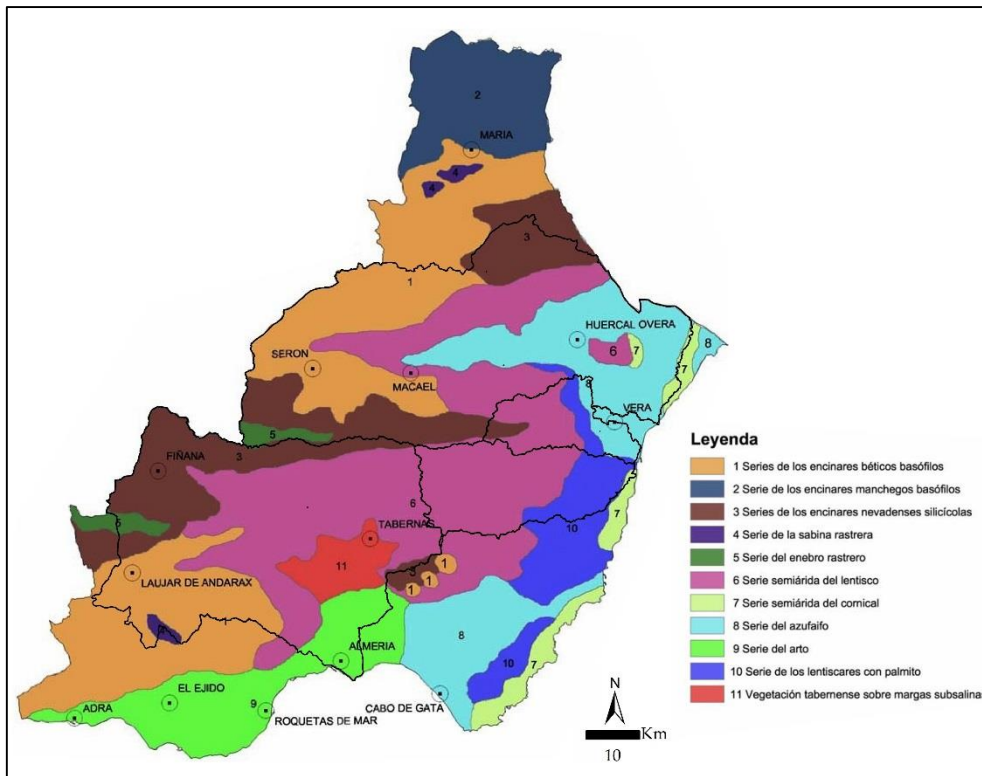


Figura 2.5. Mapa de la cubierta vegetal de la Provincia de Almería. Adaptado de Simón Torres, 2005.

2.7. CUENCAS DE LOS RÍOS ALMANZORA, ANTAS, AGUAS Y ANDARAX

En la Figura 2.6 se pueden observar los flujos principales del área de estudio. En el mapa se puede observar como la red de canales es muy extensa, aunque hay que tener en cuenta que la mayor parte de ellos no transportan agua la mayor parte del año, tal y como se ha comentado anteriormente. En el mapa también se pueden observar las principales ramblas tributarias de cada uno de los ríos principales de las cuencas.

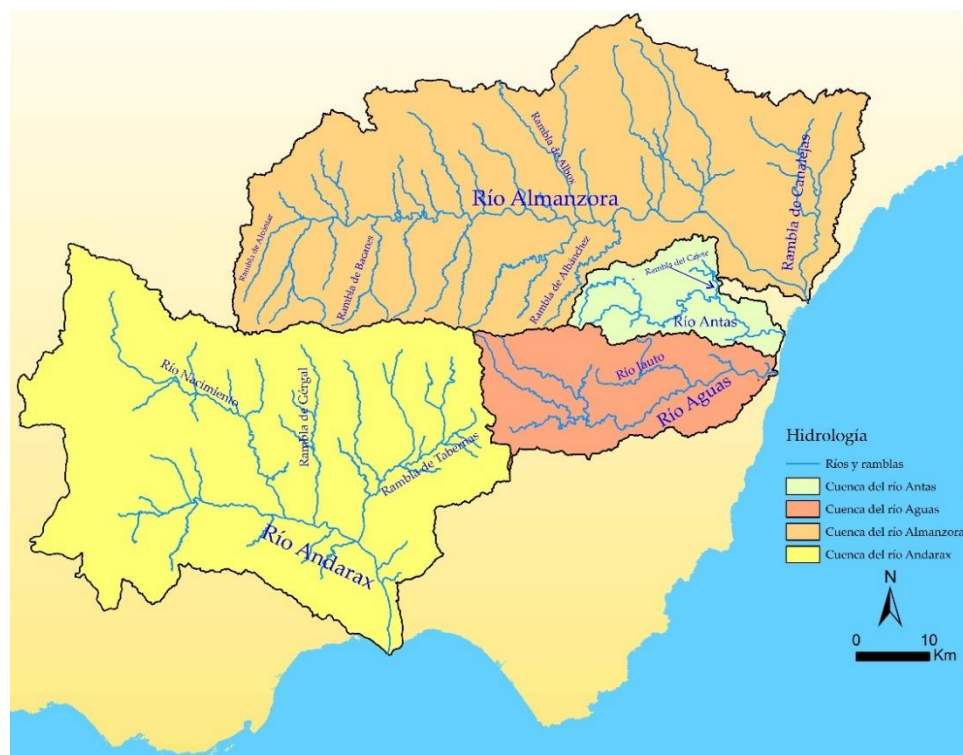


Figura 2.6. Mapa de los principales ríos y ramblas del área de estudio.

2.7.1. Río Almanzora

La cuenca del río Almanzora drena la zona septentrional de la Provincia de Almería, siendo además, el río más largo y con una cuenca hidrográfica más grande del área de estudio. Nace en las cumbres más elevadas de la cara norte de la Sierra de Filabres, a 2168 msnm (Calar Alto), entre los municipios de Alcóntar y Serón. La cuenca se ubica entre las coordenadas 37°12'N, 2°38'W y 37°14'N, 1°46'W. El río Almanzora se caracteriza por fuertes pendientes hasta llegar al valle medio del río por donde discurre de forma meandriforme prácticamente hasta llegar al término municipal de Huércal-Overa donde se encuentra con la Sierra de Almagro. A partir de ahí se estrecha el cauce hasta que en el municipio de Cuevas de Almanzora se vuelve a abrir en una zona de inundación muy amplia. Finalmente, desemboca en el Mar Mediterráneo, concretamente en la pedanía de Cuevas del Almanzora, los Villaricos.

El río Almanzora ha tenido muchos nombres a lo largo de la historia (Ferre Bueno, 1979). El primer nombre conocido a partir de fuentes documentales es *Flumen Superbum* o *Surbo*. Éste fue atribuido por los romanos cuando llegaron a esta región. La denominación perduró unos cuantos Siglos hasta la llegada de los árabes en el Siglo IX, cuando *Flumen Superbum* pasó a llamarse *Al-mansura* (ya más parecido a la tipología actual). En los escritos de uno de los últimos califas árabes de la región, se comunica al Emir de Granada que *Al-Mansur* se comporta como un Nilo con las crecidas, “inundando los campos y retrocediendo para dejar los campos más fértiles que anteriormente” (Bermejo, 1972). Esta denominación se continuó utilizando incluso después de la conquista de los territorios musulmanes por parte de los Reyes

Católicos en 1492. No es sino hasta mediados del Siglo XVII que la denominación Almanzora se empieza a encontrar en los archivos históricos (Fernández-Bolea, 2006).

La comarca del Valle del Almanzora constituye una importante vía de comunicación, tanto en el pasado como en la actualidad. A lo largo de la historia se ha aprovechado el cauce, mayormente seco, para el paso y transhumancia de ganado. Actualmente, gracias a ser un valle relativamente amplio se han construido varias vías de comunicación que conectan las provincias de Granada y de Almería por la Depresión de Baza, como la autovía A-334.

En la Figura 2.2., se pueden observar las principales localidades y los principales sitios de referencia de esta cuenca. De la margen derecha del cauce principal vierten a lo largo del río diversas ramblas de cierta importancia como la Rambla de Bacaes, Albánchez y Serón. En la margen izquierda del cauce principal del Almanzora la rambla más importante es la Rambla de Albox, formada por la confluencia de diversos tributarios de menor orden (también ellos ramblas). Aguas abajo, la Rambla de Canalejas es otro importante tributario del Almanzora prácticamente en la desembocadura en el Mar Mediterráneo.

A la altura del municipio de Huércal-Overa, cuando el río Almanzora cruza la Sierra de Almagro se construyó entre 1986 y 1989 el embalse de Cuevas del Almanzora. La principal finalidad de este embalse ha sido para aumentar la cantidad de agua disponible para la elevada demanda hídrica de la región, fruto del aumento de la agricultura intensiva de regadío y de la ocupación turística. La capacidad máxima del embalse es de 168 hm³, pero el nivel más alto alcanzado no fue más que 70% de capacidad, en 1996. Durante los siguientes años la capacidad ha ido disminuyendo situándose por norma por debajo del 50%. La capacidad actual del reservatorio solo aumenta en momentos muy específicos, como consecuencia de precipitaciones extremas, como por ejemplo durante el evento extremo de 28 de septiembre de 2012, cuando se hubo un incremento de 41 hm³ en poco más de 10 horas (Noticia del Diario El Mundo, 29 de septiembre del 2012).

2.7.2. Río Antas

De todas las cuencas estudiadas en el presente trabajo, el río Antas es el de menor longitud, con 40 km desde la cabecera, en las primeras estribaciones orientales de la Sierra de Filabres, hasta la desembocadura en el mar Mediterráneo. Las zonas más elevadas a duras penas rebasan los 1000 m. s.n.m. lo que confiere a las zonas de cabecera un marcado paisaje abrupto y menos accesible. La cuenca tiene una superficie de 261 km² y se enmarca entre las coordenadas: 37°12'N, 2°8'W y 37°11'N, 1°48'W. Durante los primeros kilómetros, el cauce principal del río Antas discurre irregular a lo largo de la sierra de Filabres, delimitado por laderas con elevadas pendientes. Esta topografía abrupta continúa por el término municipal de Lubrín, hasta llegar al extremo occidental de la depresión de Vera donde confluyen tres ramblas (Ballabona, Pocico e Hinojo). A partir de ese punto, se convierte en un río más rectilíneo, drenando de oeste a este toda la parte central de la depresión de Vera,

caracterizada predominantemente por pendientes bajas hasta desembocar en el Mar Mediterráneo, entre los municipios de Garrucha y de Vera. Hay que considerar que dos terceras partes de todo el recorrido del río Antas se sitúan por debajo de los 100 metros de altitud (Hoffman, 1988), por lo tanto, existe una diferencia topográfica importante entre la zona de cabecera y la restante cuenca. El primer tramo de cabecera del río Antas está dominado por una dinámica torrencial, erosiva y de grandes pendientes, los tramos intermedios y de desembocadura se caracterizan por relieves suaves, actuando como un área de agradación y deposición de materiales. En estos tramos el río se comporta como una rambla.

Algunas zonas de esta cuenca tienen una importancia histórica relevante. Algunos asentamientos de la cuenca del Antas se destacan como importantes centros estratégicos y militares, desde la época de las guerras de conquista árabe (Ortiz-Soler y Cara Barrionuevo, 2003). La villa de Vera ha sido durante Siglos el principal núcleo receptor de importaciones y también el principal centro exportador, tanto de materiales como de personas durante muchos Siglos. Actualmente Garrucha (perteneciente al municipio de Vera hasta su independencia a finales del Siglo XIX) es el puerto que distribuye toda la mercancía de yeso que se extrae de las minas de Sorbas (las minas de yeso con mayor extracción a nivel mundial). Ya en el Siglo XIII era denominada, junto a Mojácar, como las grandes villas de la región (Bermejo, 1972).

2.7.3. Río Aguas

El río Aguas es el más meridional de los ríos del levante almeriense. Tiene una longitud de 75 km y la cuenca cuenta con una superficie de 539 km². La cuenca se sitúa entre las coordenadas 37°12'N, 2°12'W y 37°9'N, 1°49'W, justo a suroeste de la cuenca del río Antas. Debido a la proximidad de estas dos cuencas, la cabecera del río Aguas también se localiza en la Sierra de Filabres, concretamente en el extremo suroriental, a una altitud de 1301 m.s.n.m. (Pico Monteagudo), aunque no se considera río hasta que el canal principal llega a los Molinos del río Aguas, donde culturalmente se considera el nacimiento del río.

Este río Aguas ha recibido diversos nombres a lo largo de los últimos Siglos. En los archivos históricos municipales de Mojácar se hace saber que este curso fluvial se denominaba Río de Aguas o Río de Sorbas, incluso en algunos casos Río Mojácar, hasta mediados del Siglo XIX. Algunos escritos de época árabe, atribuyen a este curso fluvial el nombre de río Muxaca, nombre con el que también se denominaba a la población de Mojácar (Bermejo, 1972).

El curso fluvial del río Aguas recoge la escorrentía de la Sierra de Filabres al norte y de las Sierras de Alhamilla y Cabrera al sur, y discurre por un angosto canal fluvial a través del valle de Sorbas, donde se encuentra la captura fluvial del río Aguas, que en el Mioceno drenaba las aguas hacia el sur, dirección Carboneras (Schulte et al., 2008). Un poco más aguas abajo, el curso fluvial entra por el municipio de Turre y de Los Gallardos al extremo meridional de la Depresión de Vera, donde empieza a

drenar las aguas meridionales hasta la desembocadura en el Mar Mediterráneo, en el municipio de Mojácar.

El río en su cabecera tiene unas fuertes pendientes y se caracteriza por un régimen fluvial esporádico, por lo que a veces es denominado como Rambla de Sorbas hasta la llegada a este pueblo con el mismo nombre. El río Aguas recoge el agua proveniente de diversas ramblas a lo largo de todo su recorrido, aunque la más importante es la Rambla de Alfaix. La Rambla de Alfaix formó parte del curso fluvial del río Aguas en el Pleistoceno, en ese momento el flujo discurría hacia donde está actualmente la población de Carboneras, en vez de a Mojácar. Esta rambla se une al curso principal del río Aguas en el tramo intermedio, siendo uno de los tributarios que aporta los caudales más considerables cuando se dan episodios de lluvias torrenciales.

Al contrario que las restantes cuencas del levante almeriense, los usos del suelo tradicionales dominantes en esta cuenca no se limitan a la agricultura de secano y a la ganadería. Al encontrarse enclavado en una zona Kárstica, particularmente en el tramo alto y medio, con unos importantes depósitos de yesos (uno de los más importantes de Europa) se ha realizado a lo largo de los siglos actividades extractivas de este mineral. Actualmente los yesos de Sorbas son extraídos y puestos en mercado a partir del Puerto de Garrucha, principal puerto comercial y de mercancías existente en el levante almeriense (Kelly et al., 2000).

2.7.4. Río Andarax

La cuenca del río Andarax está localizada en la zona sur-occidental de la provincia, siendo uno de los ríos más importantes de la región, con su desembocadura al este de la ciudad de Almería, la capital de provincia. El río Andarax es el segundo río en extensión y en longitud de la provincia de Almería y de las cuencas abarcadas en el presente estudio. El río principal tiene una longitud de 66 km y la cuenca una superficie de 2200 km². Se sitúa entre las coordenadas 36°48'N, 2°26'W y 37°10'N, 2°54'W. La cabecera de esta cuenca se encuentra en Sierra Nevada a una altitud de 2.519 m.s.n.m., en el Pico Almirez, el segundo pico más elevado de la provincia de Almería.

El río Andarax tiene tres tributarios importantes, la Rambla de Gérgal, Rambla de Tabernas y el Río Nacimiento, siendo este último el más importante con una longitud de 60 km. Estos tres tributarios tienen un carácter marcadamente torrencial como consecuencia de un perfil longitudinal con una pendiente elevada. Los tres confluyen en el río Andarax prácticamente el mismo tramo fluvial, en un intervalo de poco más de 15 km. De esta manera, el último tramo del río Andarax, a partir del descenso de la zona de cárcavas del Desierto de Tabernas, se encuentra caracterizado por un fondo de valle amplio que se extiende hasta la desembocadura, donde se forma un delta de dimensiones considerables. En este último tramo, el río Andarax se encuentra canalizado y con varias boqueras que drenan el agua superficial hacia campos cercanos, con el objetivo de utilizarla para regadío extensivo. Sin embargo,

este sistema de irrigación se encuentra actualmente en desuso, en detrimento de la irrigación canalizada de goteo y por esta razón la mayoría de boqueras están actualmente abandonadas.

El río Andarax, al contrario de los otros tres ríos abarcados en este estudio, está encajado en la mayor parte de su recorrido. El perfil longitudinal del canal principal tiene una pendiente promedio muy elevada. El trazado longitudinal del Andarax transcurre desde los más de 2.500 metros hasta el mar Mediterráneo en poco más de 66 km. El tramo fluvial más elevado discurre entre el sector meridional de Sierra Nevada y el sector septentrional de la Sierra de Gádor. Una vez pasada esta zona de montaña el río discurre hacia el municipio de Terque, donde confluye el Río Nacimiento y pocos kilómetros después, la Rambla de Gérgal y la Rambla de Tabernas. En ese sector circula por el último tramo con alta pendiente hasta que se adentra en la Comarca de la Región Metropolitana de Almería. A poco más de 10 km de la desembocadura el río pierde pendiente para adentrarse en la zona de delta, y finalmente desembocar en el Mediterráneo, al este de la ciudad de Almería.

Históricamente este curso fluvial ha tenido varias designaciones. Hasta mediados del Siglo XIX se ha denominado curso bajo como Río Almería. Es a partir del Diccionario Geográfico de Pascual Madoz (1845-1850) cuando se empieza a denominar todo el curso fluvial como río Andarax.

En cuanto a los usos del suelo, el sector más elevado, denominado como el Valle del río Andarax, se ha dedicado históricamente a los cultivos de árboles frutales y pequeñas plantaciones de secano. Actualmente, el valle del río Andarax sigue teniendo en gran medida el mismo uso del suelo, aunque con el cambio a otros cultivos de especies arbóreas, como naranjos u olivos. Se destaca también la existencia de varias vías de comunicación, que han creado barreras importantes en el paisaje. En contraste, la cuenca baja del río Andarax ha tenido cambios de uso del suelo más significativos. La agricultura extensiva de secano con algunos árboles frutales y pastoreo ovino característica del modo de vida tradicional de esta región ha sido substituida por una ocupación relacionada con el sector secundario y terciario. Además se han instalado algunos invernaderos en este sector.

2.7.5. Otras cuencas

Administrativamente también forman parte de la Provincia de Almería dos cuencas hidrográficas mucho más grandes, abarcando la escala extra-provincial. Estas son la Cuenca del río Guadalquivir y la Cuenca del río Segura. En relación a la cuenca del Guadalquivir la superficie que ocupa es mínima en relación a toda la provincia. Es un enclave situado en el extremo noroccidental, en la Comarca de los Vélez. En esta comarca nacen algunas de las ramblas que tributan al río Guadalquivir, río de importancia nacional por su extensión y el gran recorrido que tiene por toda Andalucía.

También en la Comarca de los Vélez nacen algunos tributarios del río Segura, como la Rambla Nogalte, situada en el extremo nororiental de la provincia. La superficie

que ocupa dentro de la Provincia de Almería es mayor que la superficie que ocupa la cuenca del Guadalquivir. Incluso tiene más superficie que las cuencas de los ríos Aguas y Antas. También ocupa la mayor parte de la Comarca de los Vélez y limita por el sur con la cuenca del río Almanzora.

La rambla de Canalejas o de la Mulería, tributaria del Almanzora, y que drena las aguas con una dirección NW-SE, desde más aguas arriba del municipio de Pulpí, está considerada dentro de la cuenca del río Segura, ya que la mayor parte se encuentra dentro de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Sin embargo, este aspecto solo hace que aumentar la cantidad de datos disponibles para dicha rambla, ya que la Confederación Hidrográfica del Río Segura tiene una mayor dedicación hacia el registro de datos instrumentales e históricamente siempre ha contado con más recursos financieros para el estudio y caracterización de los regímenes hidrológicos en comparación con la menor dotación financiera de la Confederación Hidrográfica de las Cuencas Internas del Mediterráneo.

Otras cuencas relativamente grandes como Saltador-Carboneras, Campo de Níjar, Cabo de Gata o el río Adra, no se han incluido en el estudio por varias razones. En primer lugar, los tres primeros casos tienen poco impacto a nivel de población, ya que la densidad de población de estas cuencas es mínima. Este hecho representa otro factor de exclusión, que es la falta de archivos históricos. La ausencia de archivos históricos hace prácticamente imposible la realización de una serie de inundaciones históricas lo suficientemente extensa como para que sea comparable con las cuencas estudiadas o con otras cuencas hidrográficas. Finalmente, la rambla de Adra está proyectada para ser estudiada más adelante, cuando se tenga toda la información disponible de los archivos históricos de la zona.

3.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada en la presente tesis doctoral y que se resume en este capítulo ha sido estructurada en cuatro apartados metodológicos: trabajo de recopilación de datos sobre las inundaciones históricas a partir de registros documentales de fuentes primarias y secundarias, clasificación de las inundaciones históricas según las descripciones (Capítulo 4), análisis de la frecuencia de las inundaciones (Capítulo 5), análisis de la inundación del 28 de septiembre del 2012 (Capítulo 6) y, finalmente, la caracterización de la evolución de los usos del suelo en la cuenca del río Antas, a partir de fotografías aéreas, en un tramo de la cuenca baja del río Antas (Capítulo 7).

3.1. TRABAJO DE RECOPIACIÓN DE DATOS

La recopilación de datos, en este caso descripciones de las avenidas, es esencial a la hora de estudiar las inundaciones que han ocurrido a lo largo de la historia (Barriendos y Martín-Vide, 1998; Pfister, 1999; Wetter et al., 2011; Brázdil et al., 2012; Barriendos et al., 2014; Balasch et al., 2018). Con respecto a esto, encontramos información de fuentes primarias y fuentes secundarias. Las descripciones encontradas en las fuentes primarias son de una riqueza e importancia fundamental. En ellas se encuentran las descripciones de los daños que han ocasionado las inundaciones en cultivos, en infraestructuras, en vías de comunicación, etc. Asimismo, a partir de 1860 se publican los primeros números de los diarios locales, donde se encuentran descripciones de fuentes secundarias, tales como relatos de los acontecimientos por el redactor, cartas al director y llamadas de auxilio para acudir a ayudar a arreglar los desperfectos. Es desde ese momento cuando se tiene constancia de otras fuentes primarias, publicadas en los diarios, tales como copias de las actas municipales.

Para tener el mayor número posible de descripciones de los eventos extremos y no tan extremos, se han visitado todos los archivos históricos disponibles y accesibles de los ayuntamientos del área de estudio, y los archivos históricos locales. También se han realizado entrevistas a los agentes públicos y privados locales, con el objetivo de obtener mayor información sobre las inundaciones ocurridas en los últimos 50-60 años, de las que ellos fueron testigos.

3.1.1. Archivos históricos

A lo largo de la historia las poblaciones cercanas a los ríos se han interesado en controlar de alguna manera el recurso hídrico producido por éstos, ya sea con boqueras y azudes, antiguamente, o mediante embalses o pantanos, actualmente. Todas estas acciones se ven reflejadas tanto en las actas municipales de los Ayuntamientos, como en algunos informes técnicos dirigidos a las administraciones centrales o en cartas abiertas de los habitantes más afectados a los medios de comunicación. Las inundaciones es el riesgo natural que causa más daños económicos y personales para la población mundial (Ashley y Cashman, 2006; Banfield, 2016), como consecuencia de ello, siempre que ocurre un evento extremo

en un área concreta, se describe con detalle para tenerlo en consideración de cara a la gestión futura de dicha zona. De esta manera, se tiene constancia de algunas inundaciones históricas ocurridas en el Siglo X e incluso anteriormente (Brazdil et al., 2006), descritas en archivos eclesiásticos o marcadas en edificios históricos, como puentes o iglesias (Wetter et al., 2011; Balasch et al., 2018).

Para la obtención de todas las descripciones posibles, se han visitado y analizado la mayoría de los archivos históricos y no históricos de los municipios de la zona de estudio en diversas campañas de campo (febrero de 2016, 2017 y 2018). De esta manera, se tienen en consideración la mayoría de las fuentes primarias sobre inundaciones de las cuencas de estudio.

En la tabla 3.1 se pueden observar los archivos consultados, el año de inicio de la serie de las actas municipales y el año en que se consultó. Cabe destacar la falta de datos en algunos de los municipios como consecuencia del expolio que sufrieron éstos después de la Guerra Civil Española (GCE) (1936-1939). A parte del expolio ocurrido durante la GCE, después de la misma, el papel de las actas municipales era de uso personal, por la falta de otros productos de uso diario (caso de todos los archivos con documentos con fecha de inicio a finales del Siglo XIX). De este modo, se acordó en muchos municipios guardar solamente los archivos de las actas municipales que llegaran al año de nacimiento de la persona más anciana del municipio por ello, hay tantos municipios que empiezan la serie de actas a finales del Siglo XIX. Otros archivos fueron destruidos como consecuencia de inundaciones (Zurgena) o incendios (Huércal-Overa y Pulpí) sin poder ser consultados y reflejados en la presente Tesis doctoral.

Tabla 3.1. Relación de los municipios visitados, los años de inicio de los archivos históricos y el año en que se consultaron. Ordenado por antigüedad de los archivos históricos.

Municipio	Año de inicio y final	Año de consulta
<i>Almería</i>	1425-2018	2017-2018, Feb
<i>Vera</i>	1500-2016	2016, Feb
<i>Cuevas del Almanzora</i>	1525-2016	2016, Feb
<i>Antas</i>	1750-2016	2016, Feb
<i>Huércal de Almería</i>	1750-2018	2018, Feb
<i>Mojácar</i>	1845-2017	2017, Feb
<i>Laujar de Andarax</i>	1875-2018	2018, Feb
<i>Fiñana</i>	1880-2018	2018, Feb
<i>Turre</i>	1895-2017	2016-2017, Feb
<i>Tabernas</i>	1895-2018	2018, Feb
<i>Gérgal</i>	1901-2018	2018, Feb
<i>Albox</i>	1902-2016	2016, Feb
<i>Pulpí</i>	1910-2017	2017, Feb
<i>Huércal-Overa</i>	1912-2017	2017, Feb
<i>Sorbas</i>	1920-2017	2017, Feb
<i>Zurgena</i>	1973-2016	2016, Feb

El municipio de Mojácar contaba con un archivo magnífico hasta antes de la GCE, sin embargo, la pobreza económica, demográfica y social que ésta produjo, hizo que los papeles de los archivos se utilizaran para uso humano, aunque a pesar de ello, se pudieron conservar algunas actas anteriores. Otros casos son los de los municipios de Albox, Pulpí, Huércal-Overa y Zurgena. Los tres primeros, fueron destruidos por incendios y en el caso del Ayuntamiento de Zurgena quedó totalmente destruido con la inundación de 1973. Otro caso distinto es el de Sorbas, datado de 1920, aunque seguramente sí existan actas más antiguas que no pudieron ser analizadas por el mal estado en que se halla el lugar donde se encuentran guardados.

Otros municipios de la zona que se visitaron pero no se analizaron sus archivos son Garrucha, Bédar, Lubrín y Los Gallardos. El hecho de que fueran municipios muy cercanos a otros los cuales sí habían sido analizados y además, que fueran municipios relativamente modernos, hizo que solo se analizaran si tenían informes técnicos de inundaciones singulares. Estos municipios se habían independizado a finales del Siglo XIX y principios del Siglo XX, como el caso de Los Gallardos y Bédar de Sorbas.

Además, existen archivos históricos que tienen como tradición guardar cualquier volumen publicado acerca de su municipio o zona de influencia, como en el caso de los municipios de Vera o de Cuevas del Almanzora. Éstos, conjuntamente, están muy bien conservados y de ellos se ha obtenido gran cantidad de información sobre las descripciones de las inundaciones (Fig. 3.1) halladas en ellos.



Figura 3.1. Acta municipal del municipio de Vera, correspondiente a 1580 (septiembre). En él se encontró la descripción de una de las mayores inundaciones ocurridas en los ríos Antas, Aguas y Almanzora.

Se podría citar como una de las líneas más significativas:

<< Dios servido de que una abenida de agua turbia arruinara muy zerca de quarenta casas de las de la vezindad de esta villa que estaban inmediatas a la Rambla (...)>>

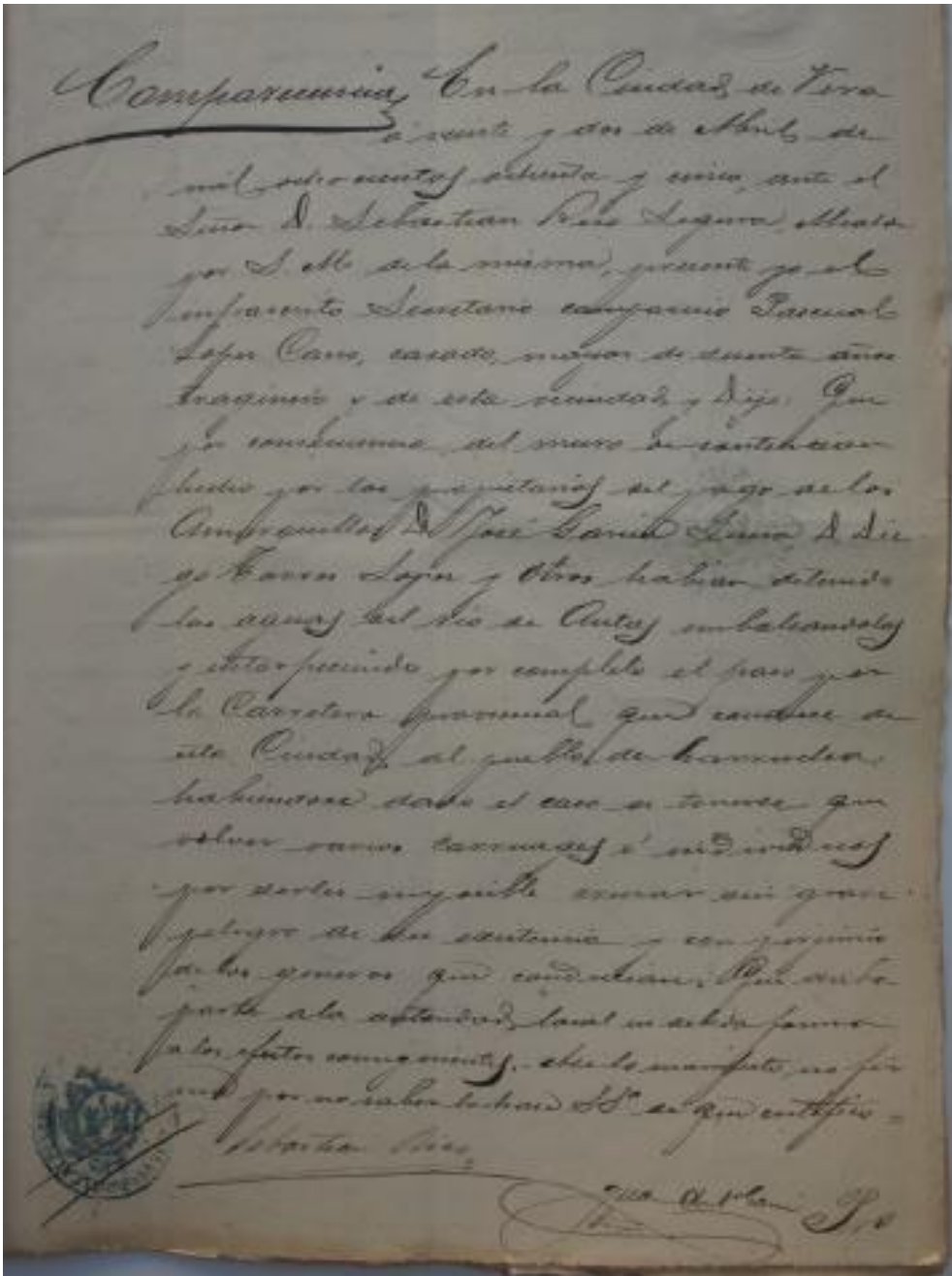


Figura 3.2. Informe técnico hallado en el municipio de Antas correspondiente a la inundación de 1877. Ésta destruyó varias hectáreas cercanas a la boquera de La Jara.

Además de las actas municipales, también se han consultado los informes técnicos de varias de las inundaciones más catastróficas (Fig. 3.2). También se ha acudido a los archivos ubicados en las administraciones provinciales, como por ejemplo en la ciudad de Almería el Instituto de Estudios Almerienses (IEA en adelante). En el IEA se pudieron obtener fotografías históricas de las consecuencias de las inundaciones de los últimos 30 años (Fig. 3.3).



Figura 3.3. Daños producidos por el río Aguas a su paso por la carretera Al-327 en noviembre de 1989. Se puede observar la socavación por ambas partes del puente y la destrucción parcial del talud del río, además de la inundación del puente por la parte central.

3.1.2. Fuentes históricas secundarias

La información más fehaciente de cualquier asunto se encuentra en las fuentes primarias indudablemente, aunque matizable cuando se trata de recibir ayudas desde la administración para la recuperación de infraestructuras dañadas por las inundaciones (Macdonald y Sangster 2017). Sin embargo, una vez consultada toda la información de los archivos municipales de la zona se procedió a examinar la prensa histórica local. Para ello se ha consultado la base de datos de prensa histórica de la Diputación de Almería (Dipalme, <http://prensahistorica.mcu.es/>. Consultada por última vez el 25 de mayo de 2018).

Los primeros diarios provinciales datan de 1822 (*Boletín del Gobierno Político Superior*) y 1847 (*El Capricho*). Estos dos, a pesar de tratar temas locales, no tenían mucho interés en describir lo que ocurría en la zona en cuanto a riesgos naturales, ya que estaban especializados básicamente en guerra y en anuncios de productos, respectivamente. No sería hasta 1862 cuando se publicó por primera vez *La Crónica Meridional de Almería*. Este diario se empezaron a interesar por las cuestiones cotidianas de la zona y en él se encuentran las primeras descripciones de sucesos ocurridos en las distintas poblaciones de la provincia. Este mismo diario seguiría hasta 1936, primero en forma de tirada semanal y a partir de 1880 con tiradas de 3 a 4 ejemplares por semana, dependiendo de los números extraordinarios. Este periódico se publicaba y se editaba en la ciudad de Almería, y aunque se escribían noticias principalmente relacionadas con la comarca de Almería ciudad, también se escribían noticias sobre lo que ocurría en otras zonas de la provincia.

A parte de este diario, el otro periódico donde se describen la mayor parte de los sucesos acaecidos en la zona es *El Minero de Almagrera* (Fig. 3.4). El primer número fue publicado en 1874 y su actividad cesaría en 1910. Este diario se interesaba en las noticias relacionadas con la minería, concretamente de la sierra de Almagreda, situada en la cuenca baja del río Almanzora. Fue un referente en la cuenca baja del río Almanzora donde hubo una gran actividad minera (extracción de cinc, plomo u plata) durante las últimas décadas del Siglo XIX y primera parte del Siglo XX (Fernández-Bolea, 2014).

A partir de las descripciones encontradas en los principales diarios del sureste de España, se han podido identificar las grandes inundaciones de finales del Siglo XIX que afectarían de manera muy notable a toda la cuenca del río Almanzora. En las últimas dos décadas hubo hasta 7 grandes eventos que gracias a las descripciones recogidas en los diarios *La Cronica* y *El Minero* se han podido clasificar como inundaciones extraordinarias y catastróficas. La inundación de 1879, tuvo tanta importancia a nivel nacional e internacional que se publicó una edición *de Murcie-París*, que era un monográfico explicativo de los daños que había causado la inundación en todo el sureste de la Península Ibérica. Los beneficios del cual fueron para ayudar a reconstruir la zona (Fig. 3.4). Algunas de esas inundaciones no se han podido identificar en fuentes primarias ya que en esos años muchas de las actas municipales se perdieron.

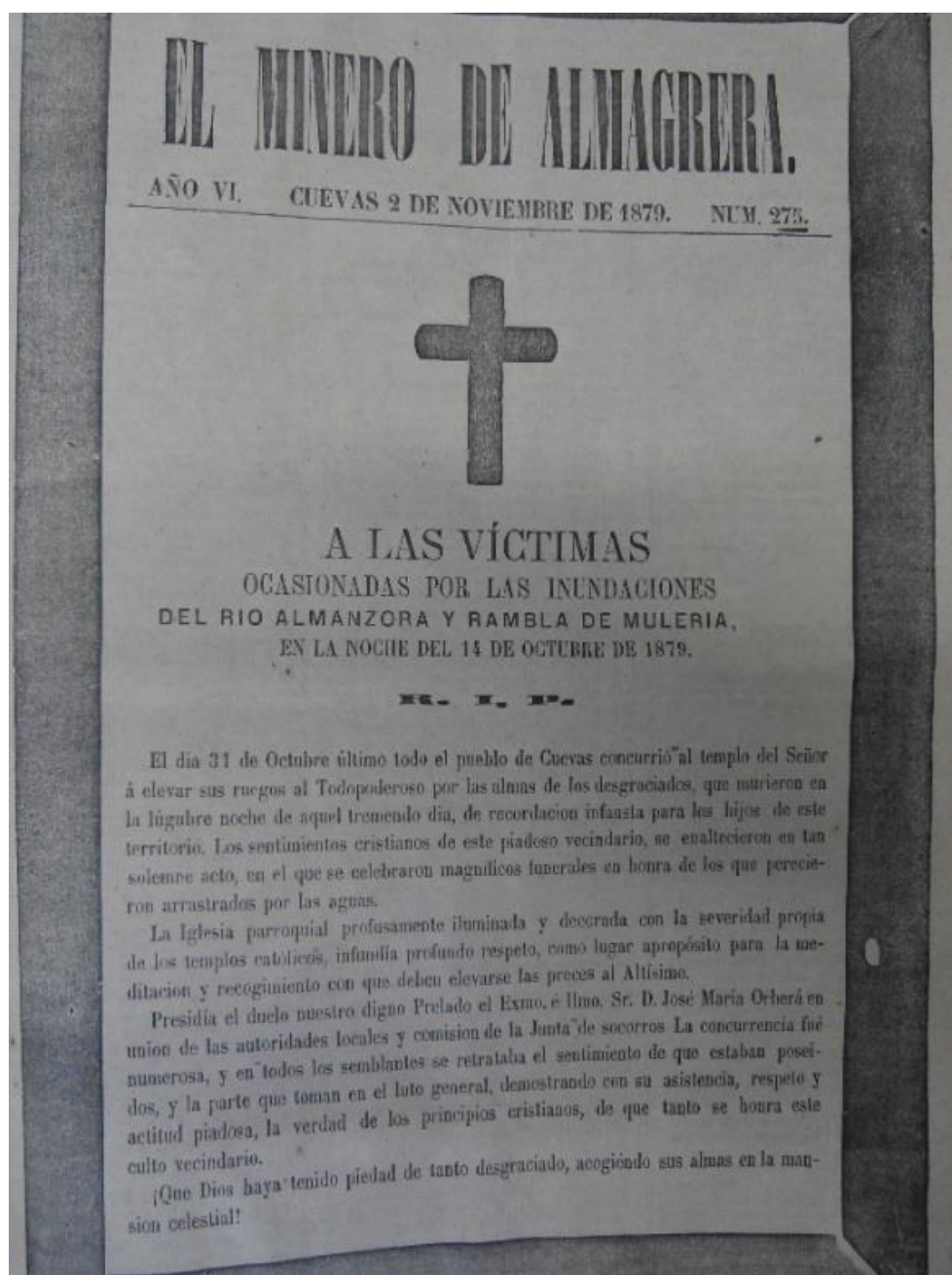


Figura 3.4. Imagen de la portada de *El Minero de Almagrera* del día 2 de noviembre de 1879. En ella, se hace alusión a la gran inundación del 14 de octubre del mismo año y las consecuencias que tuvo en la población.



Figura 3.5. Portada del diario Paris-Murcie, publicado en 1879 con el objetivo de recaudar donaciones para la ayuda a la zona afectada.

La inundación de 1879 que afectó a todo el sureste de España (Alicante, Murcia y Almería) se estuvo recordando hasta 10 años consecutivos y luego a los 20 y 30 años, hasta el cierre del diario *El Minero de Almagrera*. En *La Crónica* también se describió extensamente, aunque como este diario se enfocaba más en la ciudad de Almería, a partir de 1891 se dejó de recordar la inundación de 1879, como consecuencia también de la gran inundación que asoló la ciudad de Almería en septiembre de ese mismo

año. Por lo tanto, hacían más énfasis en las consecuencias que habían tenido los eventos extremos en la capital.

A parte de los diarios locales, también se consultaron los periódicos de tirada nacional con sedes en Andalucía (*ABC, El País, El Mundo*) además de diarios regionales como *El Ideal de Almería, La Voz de Almería* y *Diario de Almería*, este vaciado documental recoge el periodo comprendido entre 1930 y 2018. Estos últimos, a pesar de ser regionales, no están centrados en el área de estudio y sólo se publican artículos relacionados con las grandes inundaciones y no con las pequeñas avenidas que también ocasionan ciertos desperfectos.

Para completar la base de archivos se han consultado diarios de la Comunidad Autónoma de Murcia, ya que la zona de estudio es colindante por el Norte y la dinámica de inundaciones del río Almanzora es muy similar a las cuencas del Sur de Murcia (Sánchez-García et al., 2016, 2019). Teniendo en cuenta el total de artículos de prensa que se han consultado, suman más de 1000. Teniendo esto en cuenta, la base de descripciones ha sido suficientemente extensa como para realizar una serie de inundaciones basada en un índice de magnitudes (*Véase Capítulo 3.2*).

Una de las dificultades para entender los documentos históricos era la toponimia local del pasado. Ya que muchos de los topónimos han cambiado a lo largo de los años que forman la serie de inundaciones. Estas diferencias se han encontrado tanto en las actas municipales como en los diarios históricos (río Almanzora, *Al-mansur*; río Aguas, río de Aguas, río Sorbas o río Mojácar; río Andarax, río Almería). En ellos, los autores se refieren a las zonas dañadas usando la toponimia histórica local, en algunos casos siendo diferente a la actual (sobre todo en cuanto a los *pagos*). Para la correcta interpretación de los nombres de los pagos³, cortijos y barriadas de las distintas poblaciones se consultaron los mapas históricos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, en adelante) y del Instituto Geográfico Nacional (IGN, en adelante).

En especial fueron de ayuda las Minutas Cartográficas publicadas por el IGN. Estos mapas a escala 1:25.000 fueron cartografiados entre 1870 y 1925 (Fig. 3.6), la zona de estudio está totalmente cartografiada. A partir de estos mapas se pudieron identificar zonas dañadas por algunas inundaciones que conservaban la toponimia antigua y por lo tanto, con la toponimia actual no eran posibles localizar.

³ Pago. Según la Real Academia de Española de la Lengua: Distrito determinado de tierras o heredades, especialmente de viñas u olivares. Y, lugar o región.

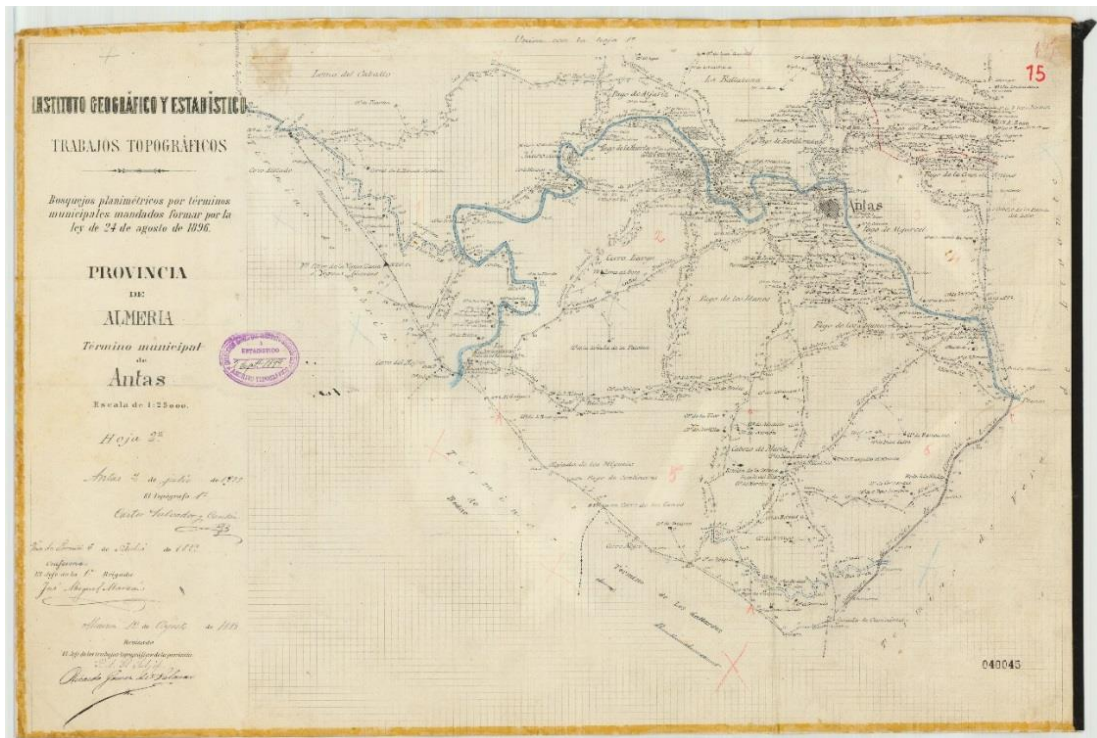


Figura 3.6. Minuta cartográfica de la cuenca central del río Antas. Fuente: IGN.

A parte de los archivos encontrados estrictamente relacionados con el área de estudio, como archivos históricos, periódicos históricos y periódicos actuales, se hizo una búsqueda de inundaciones históricas a partir algunos artículos científicos (Ferre Bueno, 1978; Capel Molina, 1987) y no científicos (García Asensio, 1910; Fernández Bolea, 2006, 2014; DGPCE, 2011). En ellos se encontraron fechas de inundaciones históricas ocurridas en la zona de estudio o en zonas próximas. Una vez se tuvieron estas fechas se volvió a desarrollar una búsqueda en las fuentes primarias y secundarias para comprobar la veracidad de las fechas y de la magnitud de las mismas, teniendo en cuenta las descripciones anteriormente encontradas en las fuentes secundarias.

3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS SEGÚN LAS DESCRIPCIONES

Una vez se han recopilado todas las descripciones de las inundaciones se ha procedido a la clasificación de las mismas en cuatro magnitudes diferentes. Para ello, se creó una matriz de datos donde se especificaban diferentes ítems, relacionados con los eventos. Las propiedades que se especifican en la matriz de datos son las siguientes:

- Fecha de la inundación.
- Caudal y precipitación.
- Municipios afectados.
- Descripción del evento.
- Observaciones.
- Referencia bibliográfica.

Para algunos eventos se tenía información de todos los campos (1879, 1973, 1989, 2012), en cambio para otros faltaba información de algún tipo, como por ejemplo los caudales (1924). Los datos instrumentales han sido la información más difícil de adquirir, en algún caso imposible, ya que la serie es muy corta, y los datos instrumentales empiezan a partir de 1962 en la estación de aforo de Santa Bárbara en el curso final del río Almanzora. Los eventos de mayor intensidad son de los que se ha obtenido mayor información, y consecuentemente, los eventos de menor intensidad son los que menos información ofrecen en las descripciones.

Una vez se tuvo la información de las avenidas se procedió al diseño de diferentes categorías de magnitud para las inundaciones. Para ello, se decidió establecer tres niveles de magnitud que estuvieran directamente relacionados con los daños que habían ocasionado las inundaciones. Hay un nivel más, siendo dependiente de la superficie que ha sido afectada por la avenida, si la inundación ha afectado a más de una cuenca se suma un punto a la magnitud, en el caso de los ríos Almanzora y Andarax, se consideran también subcuencas a la Rambla de Albox y la cubeta de Huércal-Overa para el río Almanzora, y las cuencas de las ramblas Nacimiento, Tabernas y Gergal, para el río Andarax. En la Tabla 3.2 se especifican las características que tenían que tener las avenidas para ser de una magnitud inferior o superior, teniendo en cuenta las características geomorfológicas, climatológicas, antrópicas e hidrológicas, y siendo adaptado de otras zonas de estudio (Brázdil et al., 2012; Barriendos et al., 2014; Schulte et al., 2015).

Tabla 3.2. Descripción de los factores clasificadores de las inundaciones dependiendo de los daños causados por éstas (Sánchez-García et al., 2019).

Flood magnitude	Classification	Primary Indicators	Secondary Indicators
1	Ordinary floods	Flooding, erosion, damage to crops next to the riverbank	Short event duration
2	Extraordinary floods	Affected agriculture plots far from the riverbank. Damages to buildings and hydraulic infrastructures	Severe damage to fields close to the river, loss of animals
3	Catastrophic floods	Fatalities Partial or complete destruction of settlements	Flood event is recognized with a name (common in very important foods); population migration; high economic impact
4	+1 Added when the event was recorded in more than one river stretch.		

Las inundaciones se clasificaron teniendo en cuenta las informaciones obtenidas en las descripciones encontradas, en los archivos históricos y en las fuentes secundarias, a partir de los indicadores primarios y secundarios descritos en la Tabla 3.2. De esta manera se convirtieron las descripciones y datos cualitativos, en valores de 1 a 4 de magnitud. El valor de la magnitud posteriormente se transformó en un valor cuantitativo, comparable a otras áreas de estudio, estimando el caudal de cada una de ellas (*Véase 3.3. Cálculo de caudales*). Para diferenciar los indicadores primarios de las inundaciones ordinarias y extraordinarias, se creó un *buffer* siguiendo el cauce del río con el programa ArcGis 10.3.1 ®. Éste es de 10 metros por una y otra ribera, a partir de las informaciones en las descripciones es posible diferenciar unos campos de cultivo de otros.

Las características de la zona han hecho que se tuviera que diseñar un método de clasificación específico. El hecho de ser un área semiárida con un régimen de precipitaciones muy por debajo de la media del estado y de carácter torrencial (Rodrigo, 2010), no permitió utilizar el método de clasificación que se había diseñado por el Grupo de Investigación FluVAIps (Schulte et al., 2015) o el aplicado en otras cuencas europeas (Brazdil et al., 2012). Por lo tanto, se optó por darle prioridad a los daños en campos de cultivo ya sea cerca o lejos del cauce del río y, a daños por pérdidas humanas y pérdidas económicas.

Los indicadores secundarios, se diseñaron con el objetivo de tener en cuenta los daños en infraestructuras cercanas o alejadas del río, como molinos de agua, puentes (cercanos) o edificios de la localidad (lejanos). Como consecuencia de la distancia existente entre la base del río y las edificaciones, cuando una inundación ha afectado a las viviendas, son eventos que se clasifican como avenidas extraordinarias o catastróficas, ya que estos se ubican alejados del cauce o en zonas elevadas. Solamente el municipio de Cuevas del Almanzora se ubica relativamente cercano al lecho del río Almanzora, el resto de los municipios se ubican lejos o en paleoterrazas fluviales del Pleistoceno tardío (Schulte, 2008). Por último, los eventos más catastróficos son registrados en distintas cuencas, en el caso de los ríos Antas y Aguas, o diferentes subcuencas en el caso los ríos Almanzora y Andarax. Cuando el daño es registrado en distintas cuencas se suma un punto a la magnitud con la que ha sido clasificada la avenida (p.e. 1879 es magnitud 3 + 1), ya que fue registrada en tres de las cuencas de estudio, además de en la cuenca adyacente del río Segura. En cambio, la inundación de 1891, por las descripciones, es magnitud 3, pero solamente afectó a la cuenca del río Andarax en su cauce principal, por eso, no se suma 1 a la magnitud final.

3.3. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE LAS INUNDACIONES

A partir de la serie de inundaciones históricas creada, teniendo en cuenta la clasificación según la magnitud, se procedió a realizar el análisis de la frecuencia de inundaciones (FFA, *Flood Frequency Analysis*). La distribución temporal es un aspecto imprescindible en el estudio de las inundaciones históricas (Baker, 1989; Wilhelm et al., 2019), y en este tipo de estudios cobran importancia las inundaciones extremas

de baja frecuencia. Para realizar el FFA se necesita una serie de datos instrumentales con los que comparar las descripciones y posteriormente poder reconstruir los caudales de las avenidas históricas (Viglione et al., 2013; Himmelsbach et al., 2015; Salinas et al., 2016). En los cuatro ríos del área de estudio hay cinco estaciones de aforo, las cuales se pueden ver en la Tabla 3.3. Sin embargo, el periodo de funcionamiento de las mismas es relativamente corto comparado con otras estaciones de España (Balasch et al., 2018) y de Europa (Wetter et al., 2011; Schulte et al., 2019a). Finalmente, se escogió la estación de aforo de Santa Bárbara por la longitud temporal de la serie de datos, cubrir un área mayor de la cuenca y, estar en la cuenca del río Almanzora, río del que se han obtenido más registros de inundaciones históricas.

Tabla 3.3. Estaciones de aforo del área de estudio.

Estación de aforo	Cuenca hidrográfica	Año inicio	Año final	Superficie (km ²)
Sta. Bárbara	Almanzora	1962	1989-2018 ⁴	1850
Cantoria	Almanzora	1964	2018	1100
Serón	Almanzora	1968	2018	237
Alfaix	Jauto	1940	2018	68
Terque	Andarax	1939	2018	616

Una vez se tuvieron los datos instrumentales de los caudales del río Almanzora a su paso por la estación de aforo de Sta. Bárbara, se realizó una extrapolación de datos semi-cuantitativos (magnitudes) definidos según las descripciones de las inundaciones históricas.

Según Himmelsbach et al. (2015) es posible extrapolar los caudales de las inundaciones registradas durante el periodo instrumental a las inundaciones anteriores a dicho periodo, si se tiene una serie suficientemente larga de datos instrumentales en la misma área de estudio. Salinas et al. (2016) y Bösmeyer et al. (2017) lo demuestran en sendos estudios corroborándolos con estudios de error. La estación de Sta. Bárbara, tal y como se puede observar en la Tabla 3.3, estuvo activa desde 1962 hasta el año 1989, momento en que se acabó de construir el embalse de Cuevas del Almanzora. Posteriormente, la serie sigue registrando datos de caudal, desde 1989 hasta 2018, aunque está sesgada por la influencia del embalse. Durante los 56 años que ha estado activa, hubo hasta 11 inundaciones de diferentes magnitudes. También se utilizaron los datos más recientes de entrada de caudal al embalse, aunque estos últimos son datos no continuos.

Como factores clasificadores de la magnitud de los eventos, se contempla un factor de suma que depende de la superficie afectada por la inundación. Para la

⁴ Se diferencian dos finales para esta estación de aforo ya que en 1989 pasó a tener el embalse de Cuevas del Almanzora y los datos cambian la dinámica.

extrapolación de los datos instrumentales se ha eliminado este factor sumatorio, ya que no es definitorio en cuanto a los daños de las avenidas durante el transcurso de un flujo superficial. Por lo tanto, en todos los eventos en los que se había sumado un punto como consecuencia de que había sido una inundación que había afectado a más de una cuenca (o sub-cuenca), se le restó para el FFA. Sin embargo, como consecuencia de la gran amplitud de los datos instrumentales, siendo cero el caudal medio de algunos años (p.e. 1988) y $5.600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ el caudal máximo instantáneo en otros (1973), en el momento de extrapolar los caudales estimados para las diferentes magnitudes, se optó por otorgar el caudal máximo registrado a las inundaciones que habían causado más daño a largo de toda la serie de datos, siendo los daños comparables a nivel cualitativo (número de víctimas, casas dañadas, puentes, etc.). De este modo el caudal máximo se representó para tres inundaciones más a parte de la avenida de 1973 (1550, 1729 y 1879).

Así, la metodología que se siguió para realizar la validación estadística (Viglione et al., 2013; Himmelsbach et al., 2015; Salinas et al., 2016; Bösmeier et al., 2017) se ha basado en calcular los cuartiles de los caudales instrumentales cuando había habido una inundación y a partir de los cuartiles calcular los rangos de cada una de las magnitudes. En la Figura 3.7 se puede observar los rangos de las tres diferentes magnitudes. Al rango máximo de la magnitud 3, se le ha otorgado el caudal máximo para las inundaciones que han causado más destrozos.

De esta manera, la mediana de los valores de las inundaciones medidas instrumentalmente, representa el caudal estimado para cada una de las magnitudes, divididas en tres niveles, aunque habiendo un cuarto relacionado directamente con el máximo caudal instantáneo instrumental.

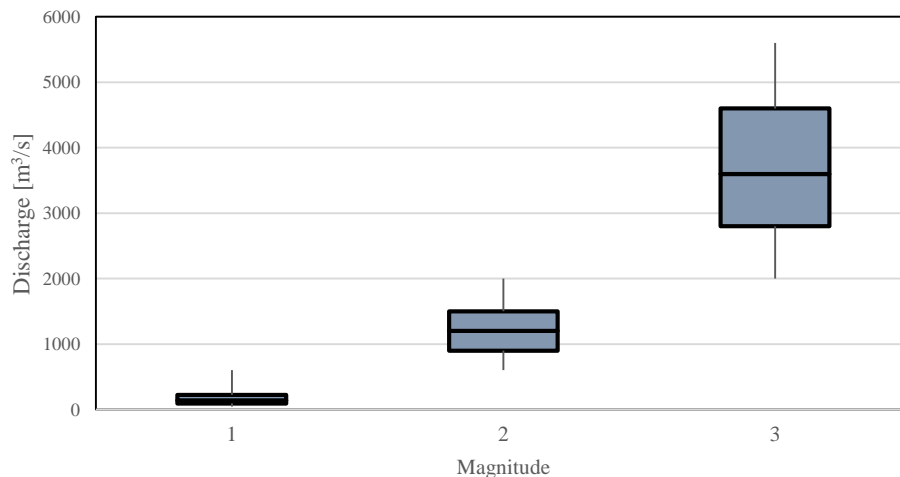


Figura 3.7. Gráfica correspondiente a los rangos resultantes de la extrapolación de los caudales a toda la serie (Sánchez-García et al., 2019).

La mayor variabilidad se encuentra en las inundaciones de magnitud 3 como consecuencia de que durante el período de datos instrumentales solamente hubo dos casos de eventos de magnitud 3. Si se suman los rangos de las tres magnitudes, se

obtiene un error cuadrático de 5,7%. Se ha considerado que el valor del error cuadrático es suficientemente bajo como para considerar el método válido.

3.3.1. Cálculo del período de retorno

El método estadístico más común para realizar el FFA y calcular los períodos de retorno es a partir de un análisis Bayesiano (Viglione et al., 2013; Salinas et al., 2016; Gaume et al., 2010, 2018), aunque para los cálculos del periodo de retorno en el río Almanzora se han probado otros métodos (Macdonald y Sangster, 2017) que han resultado encajar mejor, tal y como se muestra en los resultados del CAPITULO 5.

El método Bayesiano se realiza a partir de datos instrumentales y la incorporación de datos no sistemáticos (históricos) de los que se tiene un caudal máximo estimado. En el caso de nuestro estudio se tuvieron en cuenta los 30 años de datos instrumentales de la estación de Sta. Bárbara y además datos instrumentales no sistemáticos de entrada de caudal en el embalse de Cuevas del Almanzora. En total, por tanto, se han contabilizado 54 datos instrumentales.

En cuanto a los datos históricos que se utilizaron para realizar el análisis Bayesiano, fueron los datos de 2 inundaciones históricas de las que se conoce el caudal (1888 y 1924) y de los caudales estimados para las inundaciones de toda la serie temporal de datos.

El método matemático que se ha seguido es *Markov chain Monte Carlo* (MCMC) que incluye el algoritmo aleatorio de movimiento *Monte Carlo* (Viglione et al., 2013). Este método es usualmente utilizado en los estudios de FFA desde finales del Siglo XX (e.g. Kuczera, 1999; Reis y Stedinger, 2005; Ribadet et al., 2007; Gaume et al., 2010), y aunque presenta incertidumbres en el resultado, como consecuencia de incluir datos estimados (Payraastre et al., 2011; Salinas et al., 2016), los resultados son admitidos por la comunidad científica (Gaume et al., 2016; Balasch et al., 2018).

De este modo, a partir de la utilización del software R[®] y en concreto de los paquetes *nsRFA*, referido al FFA, y *MCMCpack*, referido a los algoritmos relacionados con MCMC, se llevó a cabo una prueba del método. La función probabilística que se utiliza para el MCMC es del tipo GEV (*Generalized Extreme Value*), ya que es el que mejor se ajusta a las características de los datos obtenidos. La función de probabilidad GEV trabaja con los datos máximos de caudal medidos durante una serie de años instrumental (Bodoque et al., 2015; Garrote et al., 2016; Wilhelm et al., 2018). Y la ecuación se representa de la siguiente manera:

(1)

$$F(x) = -\exp\left\{-\exp\left[-\frac{x-\mu}{\sigma}\right]\right\} \quad \xi = 0$$

Donde μ es la posición de origen de la distribución, σ es la dispersión de los datos y ξ es el parámetro que controla la rugosidad y la curtosis de la distribución. En nuestro caso, cuando se ha utilizado esta fórmula, se ha considerado $\xi = 0$, representándose así la función de GEV, en forma de distribución de Gumbel.

Por lo tanto, para correcta implementación en el paquete del software R, es necesario crear dos bases de datos. La primera representa la serie puramente instrumental

(Tabla 3.4) y la segunda representa los caudales de las inundaciones históricas, el caudal que no se supera durante un tiempo determinado y el tiempo que pasa entre un caudal máximo y otro caudal máximo que lo supere (Tabla 3.5).

Tabla 3.4. Datos de los caudales máximos anuales en estación de aforo de Sta. Bárbara.

Year	Discharge	Year	Discharge
1963	1.63	1990	13.00
1964	20.00	1991	0.10
1965	47.00	1992	6.00
1966	130.00	1993	15.00
1967	1.20	1994	3.00
1968	0.10	1995	4.00
1969	45.00	1996	147.00
1970	1.10	1997	150.00
1971	10.00	1998	6.00
1972	160.00	1999	5.00
1973	5600.00	2000	1.00
1974	53.92	2001	63.00
1975	5.60	2002	85.00
1976	7.20	2003	4.00
1977	1000.00	2004	5.00
1978	1.50	2005	69.00
1979	49.00	2006	41.00
1980	330.00	2007	3.00
1981	12.00	2008	5.00
1982	138.00	2009	15.00
1983	0.10	2010	3.00
1984	41.60	2011	1.00
1985	1.10	2012	3600.00
1986	141.00	2013	3.00
1987	133.00	2014	2.00
1988	36.00	2015	5.00
1989	289.67	2016	50.00

Tabla 3.5. Datos para el tratamiento estadístico con el software R.

Discharge	Discharge threshold	Time not superated
-1	5600	50
5600	5600	30
3600	3600	7
1300	3600	60
1300	3600	3
3600	3600	4
3600	3600	22
1300	3600	63
5600	5600	24
1300	3600	13
1300	3600	8
3600	3600	51
1300	3600	1
138	3600	19
1300	3600	1
138	3600	1
1300	3600	1
5600	5600	1
1300	3600	2
1300	3600	1
1300	3600	1
138	3600	2
1600	1600	2
1300	3600	0
1300	3600	4
1300	3600	1
3600	3600	14
1300	3600	8
138	3600	1
2000	2000	12
138	3600	13
138	3600	7

138	3600	4
1300	3600	3
138	3600	2
138	3600	0

Cuando se incorporan la Tabla 3.4 y la Tabla 3.5 a la función de probabilidad de MCMC y se obtiene la probabilidad de que un caudal sea o no sea superado en un determinado periodo de tiempo. Este concepto es conocido como periodo de retorno si se invierte la probabilidad. Para el correcto análisis de la frecuencia se incorpora también un límite de confianza en el límite superior y en el límite inferior, siendo estos del 95% y del 5%, respectivamente.

Sin embargo, los resultados aplicando este método no se ajustaban correctamente ya que no se había añadido un umbral de caudal mínimo para tenerlo en cuenta en el FFA. Para ello se aplicaron otros métodos como la *pooling* distribución, que aglomera la distribución GLO (Macdonald et al., 2014; Sánchez-García et al., 2019). De este modo, se consideró las inundaciones que superaban los 3600 m³s⁻¹ (M3) aptas para el FFA. Así, la falta de datos de inundaciones de alta frecuencia en el pasado no afecta a los resultados del periodo de retorno. Sin aplicar un umbral inferior, las inundaciones de alta frecuencia (M1 y M2) se sobreestiman en cuanto a caudal (Macdonald y Sangster, 2017).

La ecuación para realizar el FFA mediante la *pooling* distribución se representa de la siguiente manera:

(2)

$$P_i = \frac{k}{n} + \frac{n-k}{n} \frac{i-k-\alpha}{ns-e+1-2\alpha}$$

Donde k es el número total de inundaciones extremas que han superado el umbral definido; e, número de inundaciones extremas durante el periodo instrumental; h, longitud en años de la serie de inundaciones históricas (pre-instrumental); s, longitud en años de la serie sistemática (instrumental); n, representa el número combinado de años con datos (h + s); y α, 0.44 constante que representa el trazado de la posición introducida. Se optó por representar el periodo de retorno mediante este método.

Finalmente, en Figura 3.8 se puede observar la metodología utilizada en los apartados anteriores de una manera sintetizada.

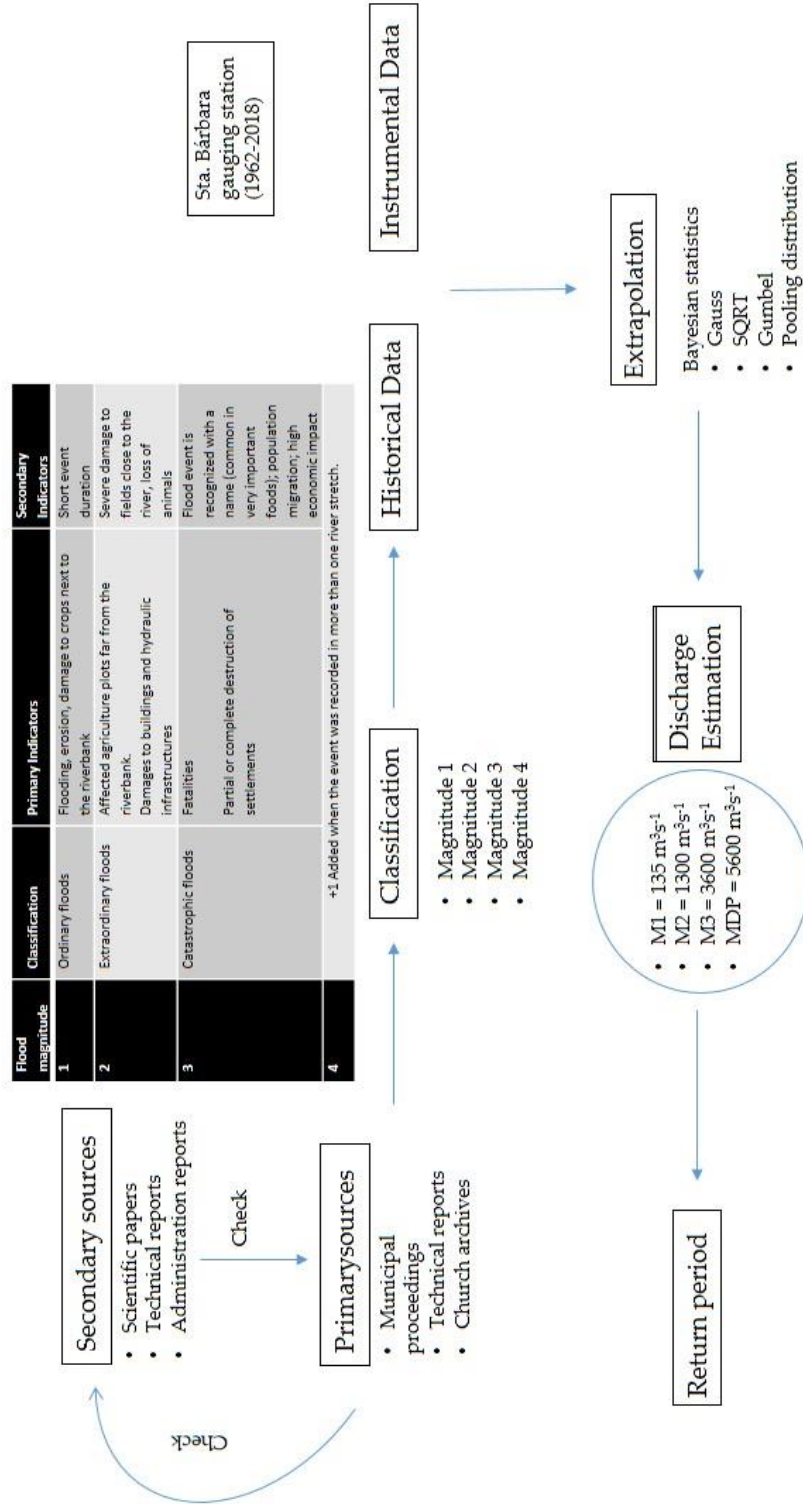


Figura 3.8. Esquema metodológico del Capítulo 4 y 5 de la tesis.

3.4. INUNDACIÓN DEL 28 DE SEPTIEMBRE DE 2012

La inundación del 28 de septiembre de 2012 tuvo un gran impacto en todo el sudeste de la Península Ibérica. Los daños económicos fueron muy importantes, declarándose el área como desastre natural (DGPC, 2013). Como consecuencia de las grandes lluvias que se produjeron en toda la cuenca del río Antas, Aguas y Almanzora, los tres ríos registraron gran cantidad de caudal. Para saber cuáles fueron los desencadenantes de las inundaciones, las causas de que hubiera tantos destrozos y las consecuencias posteriores del evento, se ha procedido a la modelización y al análisis del episodio desde diversos puntos de vista.

A pesar de que la inundación de 2012 haya tenido tanta repercusión mediática, anteriormente hubo otra que también asoló todo el sureste de España. La inundación de 1973 no se ha reconstruido, ya que a pesar de que se tienen registros gráficos (Fig. 3.9 y Fig. 3.10), no son suficientes para la reconstrucción de las alturas de la lámina de agua. En 2012 las fuentes documentales (Diarios locales) indican que podría ser parecida a la anterior en relación a la magnitud de los daños. Este último evento se reconstruyó para el río Antas. No se hizo para el río Almanzora ya que el tramo inferior está canalizado y controlado por el embalse, por lo que la avenida de 2012 no causó daños materiales ni personales en la cuenca baja del río Almanzora.

Por tanto, para la modelización de la inundación de 2012, se utilizó documentación gráfica, tales como fotografías o videos (Gómez Armisen, 2016). Posteriormente se procedió a la medición en campo de las alturas a las que había llegado la lámina de agua. Finalmente, se incorporaron los datos de las mediciones en el software HECRAS ®. También se ha realizado un estudio de los desencadenantes atmosféricos de la inundación.

3.4.1. Archivos gráficos

La modelización hidráulica de los grandes eventos ha sido posible gracias a los archivos gráficos distribuidos por las redes sociales que se conservan de las inundaciones ocurridas durante el período de estudio. La información ha sido encontrada en las distintas fuentes de información locales de la zona como: diarios locales, televisiones provinciales y archivos personales privados.

En un primer momento se intentó reconstruir la inundación de 1973 en el río Almanzora. Sin embargo, durante este evento no se registraron suficientes archivos gráficos como para realizar la reconstrucción únicamente a partir de éstos. Por otra parte, sí que existe documentación gráfica desde el puente de Sta. Bárbara hasta la desembocadura, ya que hay imágenes durante la inundación e fotografías de las consecuencias de la misma. No son muchas, pero, gracias a estas imágenes y los comentarios personales de varios habitantes de Cuevas del Almanzora se podrá modelizar la inundación de 1973 a su paso por este municipio en posteriores estudios. En la Figura 3.7 se puede observar los destrozos causados a las afueras de la población mientras que en la Figura 3.8 se muestra el río Almanzora a su paso por el Puente de Sta. Bárbara destruido precisamente durante ese evento.



Figura 3.9. Imagen de los daños causados en las inmediaciones de la población de Cuevas, concretamente en el barrio del Pilar. Fuente: Archivo privado.



Figura 3.10. Vista del río Almanzora a su paso por el Puente de Sta. Bárbara, que fuera destruido durante esa misma inundación, con un caudal punta estimado de $5.600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

La modelización del evento que asoló el levante almeriense el 28 de septiembre del 2012 ha sido mucho más precisa gracias a la cantidad de información gráfica y escrita de la se dispone. Como consecuencia de los enormes daños materiales que ocasionó, hubo noticias sobre la zona en los periódicos de todo el estado, de la comunidad y varios especiales en los diarios locales. Los días posteriores las noticias sobre los efectos del temporal eran constantes, con muchas imágenes e informaciones acerca de las causas y consecuencias de la avenida se podían ver en las redes sociales y en los diarios locales y nacionales.

En las Figura 3.11, se puede observar la magnitud de la altura del nivel del agua y las consecuencias en la desembocadura del río de Antas. Aunque no solo fue afectada la desembocadura del río Antas, también lo fue la desembocadura del río Aguas, en la Figura 3.11 se puede observar el área inundada justo antes de la desembocadura en la localidad de Mojácar. Por otra parte, la cuenca del río Almanzora no se vio muy afectada en la cuenca inferior como consecuencia de la ubicación del embalse y la canalización del tramo inferior del río, tal y como se ha comentado anteriormente.



Figura 3.11. Superior: Río Antas a su paso por la Urbanización de Vera playa. Fuente: Ayuntamiento de Vera. Centro: Desembocadura del río Antas en la localidad de Vera. Fuente: Ministerio del Interior. Inferior: Imagen aérea del río Antas en el momento de máxima crecida a su paso por la localidad de Antas, se puede observar como el puente quedó totalmente destruido. Fuente: Ministerio del Interior y Ayuntamiento de Antas.

3.4.2. Trabajo de campo

Durante la campaña de campo de noviembre de 2015 se realizó la medición de la altura de la lámina de agua en cada una de las fotos y capturas de videos. En la Figura 3.13 se puede observar un ejemplo de la metodología que se siguió. De esta manera se midieron un total de 80 puntos. Todos estos puntos están ubicados en la barriada de Puerto Rey, perteneciente al municipio de Vera (Fig. 3.12).

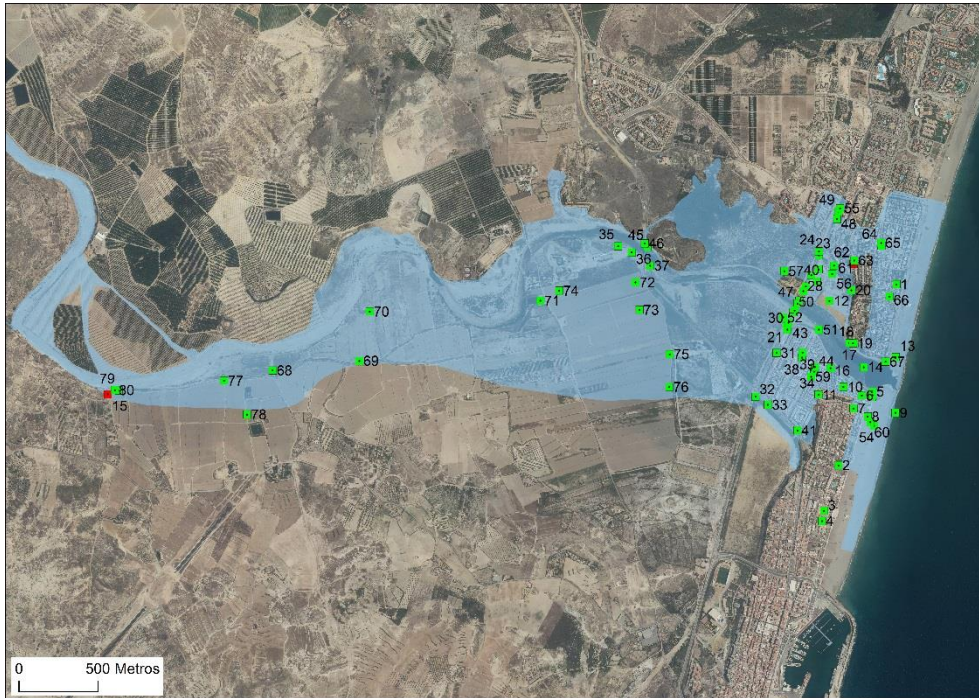


Figura 3.12. Mapa de la distribución de los puntos de muestreo y de la zona inundable.

En las Figuras 3.13 se puede observar un ejemplo de la metodología de campo que se siguió. En primer lugar, se imprimieron las 80 fotografías y posteriormente en campo se midieron la altura del agua que había alcanzado con una regla (Fig. 3.13).





Figura 3.13. Ejemplo de la metodología seguida durante la campaña de campo de noviembre de 2015 para así poder cartografiar la inundación. Este método se llevó a cabo para cada una de las fotografías de la Figura 3.12.

3.4.3. Modelización hidráulica de la inundación de 2012

Los picos de caudal de la inundación de 2012 se pudieron reconstruir a partir del software HEC-RAS (HEC-USACE, 2010). El software ofrece la reconstrucción en 1D y en 2D, la que se llevó a cabo fue en 2D por el miembro del Grupo de Investigación el Dr. Carvalho, quien prestó los datos para realización de este trabajo, de esta manera se tienen en cuenta la relación entre diferentes transectos y las alturas que hay entre cada uno de ellos (Fig. 3.14). El mapa base que se utilizó para trazar los transectos fue un MDT-LiDAR, correspondientes al año 2016. Esta cartografía se encuentra disponible en la web de la Junta de Andalucía. En la Figura 3.14 se pueden observar los 46 transectos que se diseñaron para la medición de la altura del nivel de agua durante la inundación. Se diseñaron de tal manera que toda el área quedara cartografiada y teniendo en cuenta las curvas de nivel de toda la llanura de inundación.

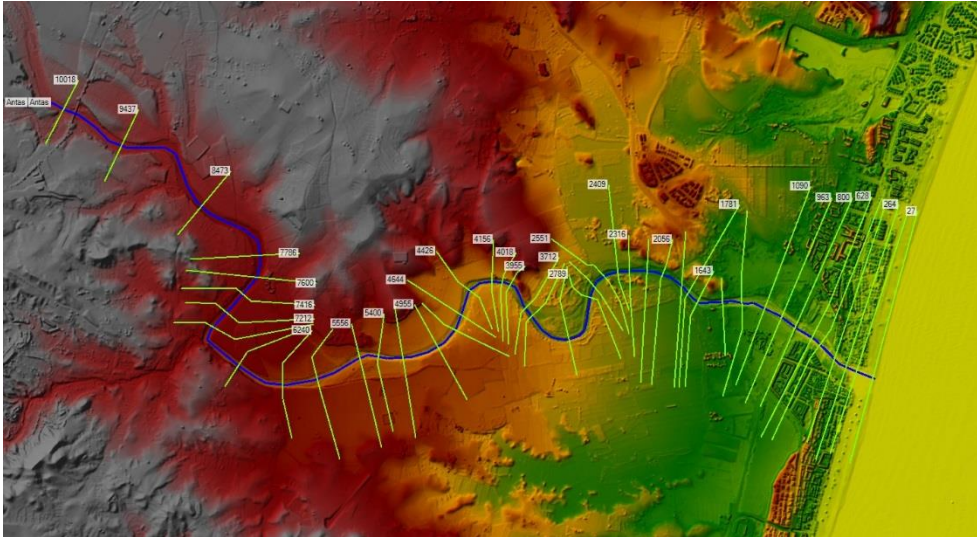


Figura 3.14. Transectos diseñados para la aplicación del modelo de inundación.

Los parámetros que se tienen en cuenta con el HEC-RAS son: la rugosidad, la altura del terreno y la altura de la lámina de agua (Machado et al., 2015). También se tiene que añadir cómo es el tipo de flujo por cada transecto, existen tres posibilidades: subcrítico, crítico y supercrítico, estos parámetros dependen directamente de las características del lecho del río y del perfil longitudinal del tramo del río.

La rugosidad viene marcada por unos estándares (HEC-USACE, 2010) disponibles en la base de ayuda del programa. En la Figura 3.15 se pueden observar los diferentes valores de rugosidad que hay. El coeficiente de rugosidad que ha sido escogido para los casos de zonas próximas a la desembocadura ha sido en *Cursos en planicies inundadas*, en concreto el valor es 0.35. Para las zonas alejadas de las zonas urbanas se escogió 0.100 correspondiente a *Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa*. Esto es debido a las características de zona de cultivo con poca vegetación de porte herbáceo pero con mucha vegetación arbustiva durante todo el curso fluvial.

Coeficientes de rugosidad de Manning	
Tipo de canal	Coefficiente (n)
I. Conductos parcialmente llenos	
Acero	0,012
Fundición	0,014
Vidrio	0,010
Cemento	0,011
Mortero	0,013
Hormigón	0,013
Cerámico	0,014
Ladrillo	0,015
Manpostería	0,025
II.- Canales abiertos revestidos o acueductos	
Metal	0,013
Cemento	0,011
Mortero	0,013
Hormigón acabado a llana	0,013
Hormigón acabado en bruto	0,017
Gunita	0,022
Ladrillo	0,015
Manpostería	0,025
III.- Canales excavados	
Tierra canal recto	0,022
Grava canal recto	0,025
Tierra canal con curvas	0,025
Tierra canal con curvas y vegetación	0,030
Tierra canal con curvas y mucha vegetación	0,035
Excavación en roca	0,035
	0,040
IV.- Cauces naturales	
Ríos de meseta rectos y sin ollas	0,030
Ríos de meseta con curvas, piedras y vegetación	0,040
Anterior con ollas y maleza	0,070
Ríos de montaña	0,040
V.- Cauces naturales en avenidas	
Inundaciones en pastizales	0,030
Sobre sembrados no nacidos	0,030
Sobre sembrados nacido	0,040
Sobre monte bajo	0,060
Sobre bosques	0,070

Figura 3.15. Tabla con los diferentes coeficientes de Manning dependiendo del tipo de superficie.

3.4.4. Reconstrucción de la situación sinóptica

La modelización sinóptica de la inundación del 2012 se ha basado en la secuencia sinóptica desde el día de la inundación hasta 6 días antes. Esto permite el análisis de la evolución de las condiciones meteorológicas antes del evento. Este análisis lo llevo a cabo el miembro del Grupo de Investigación el Dr. Peña.

Los patrones sinópticos fueron obtenidos a partir del reanálisis de las celdas de la presión a nivel de mar (SLP), de la temperatura a 850 hPa (T850) y del geopotencial a 500 hPa (Z500). Las celdas fueron tomadas del 20th Century V2 Reanalysis Project (20CRP), dadas por el NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado (Compo et al., 2011) y la extensión de la cubierta temporal de NCEP/NCAR Reanalysis Project (Kalnay et al., 1996). Los datos del 20CRP empiezan en 1871 y tiene una resolución espacial horizontal de 2°.

3.5. EVOLUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO ANTAS

El área que se ha escogido para analizar los cambios de usos del suelo ha sido la cuenca baja del río Antas, ya que el trabajo de campo del grupo de investigación se ha desarrollado en esta área. El Investigador Principal del Proyecto hizo en el año 1993 una cartografía de los usos de suelo y sistemas de regadío a partir de trabajo de campo (Schulte, 1994). Se han analizado los cambios que ha habido a nivel de uso del suelo. Además, se ha analizado los cambios morfológicos que ha sufrido el lecho del río en un tramo de cinco kilómetros a falta de diez kilómetros para su desembocadura.

3.5.1. Mapas históricos de usos del suelo

La evolución de los cambios de usos del suelo se ha hecho a partir de la cartografía de usos del suelo que ha desarrollado la Junta de Andalucía. Los años disponibles en la cartografía desarrollada por la Junta corresponden a los años: 1956, 1977, 1984, 1999, 2003 y 2007. A partir de la fotografía aérea del 2016, se cartografió los usos de suelo existentes en ese momento, con el objetivo de alargar el análisis de la evolución de los usos del suelo hasta la actualidad.

Además de los mapas descargados de la administración se han analizado las fotografías aéreas históricas disponibles en la FOTOTECA del visor online del IGN se procedió a analizar la evolución de los cambios de uso del suelo en los últimos 70 años. Las fotografías disponibles son las correspondientes a los vuelos americanos de 1946-1947 y 1956-1957, y los vuelos nacionales de 1973-1986 y 1998-2000. A partir del año 2000, se hicieron pasadas cada 3 años. De los años disponibles se escogió años claves relacionados con las inundaciones que han ocurrido en desde ese mismo año. Por tanto, las fotografías más recientes se han analizado han sido del año 2010 (antes de la inundación del 2012), 2013 (después) y la más reciente, 2016.

De estas fotografías aéreas se analizó la evolución de los cambios geomorfológicos, comparando las fotografías de cada año. Además, se ha analizado la cartografía LiDar disponible para la zona de estudio, correspondiente al año 2016. Mediante la herramienta el software ArcGis 10.3.1 (Environmental System Research Institute, 2004) se han calculado los cambios de uso del suelo en porcentaje. Se ha elaborado la cartografía de los cambios en el lecho del río y la dinámica de estos cambios a lo largo de cada uno de los años de las fotografías aéreas.

3.5.2. Análisis de infraestructuras tradicionales para el regadío

El sistema tradicional de regadío de toda la Depresión de Vera se basaba en el aprovechamiento de las lluvias para regar todos los campos. Por ello se construyeron diversas estructuras para el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas de las precipitaciones a partir de los cauces de los ríos. En el tramo de la cuenca baja del río Antas se construyeron diversas estructuras de este tipo tales como acequias, boqueras y azudes.

Mediante las descripciones obtenidas del archivo histórico del municipio de Antas, se ha recreado la cronología de una boquera que tuvo importancia en toda la cuenca baja, denominada Presa de La Jara (la nomenclatura de La Jara, hace referencia al nombre de todos los campos regados a partir de esta boquera). Por lo tanto, a partir de las descripciones y de diversos mapas y planos de finales del Siglo XIX se ha recreado la importancia que tenía este tipo de infraestructuras. Para ello, durante las campañas de trabajo de campo también el Grupo de Investigación analizó los distintos niveles de construcción y arreglo que ha tenido el muro (Información por cortesía de L. Schulte, 2018).

Finalmente, como consecuencia de la inundación del 2012, parte de los muros que formaban la Presa de La Jara quedaron destruidos. Parte del estudio de este tipo de infraestructuras se ha basado en las implicaciones que ha tenido la pérdida de muro en la morfología del lecho del río Antas desde el punto de construcción hasta la desembocadura. Mediante la herramienta de ArcGis, se ha analizado la pérdida de material y ganancia de material en distintos puntos. De igual manera, también se ha analizado que consecuencias han tenido los cambios a regadío intensivo en este tipo de infraestructuras.

3.5.3. Cartografía de los cambios morfológicos del lecho del río Antas

Para identificar los cambios morfológicos del río Antas se han analizado seis ortofotos descargadas del visor del IGN, correspondientes a 1956, 1985, 2004, 2010, 2013 y 2016. De esta manera se han podido distinguir las diferencias entre las barras laterales, diagonales y las distintas direcciones del flujo que ha tenido el río Antas en estos 60 años. La reconstrucción de las formas morfológicas de 1956 fueron publicadas en Schulte (1995, 2002a). Con la digitalización de las formas morfológicas del lecho del río se han calculado los porcentajes de superficie correspondientes a cada una de ellas. De esta manera, también se ha podido ver el impacto antrópico en la dinámica hidráulica del río durante estos últimos 60 años.

Una vez se tenía la digitalización de la morfología del lecho del río, se compararon los mapas teniendo en cuenta si había habido un evento de inundación durante el período de tiempo comprendido entre un mapa y otro. Comparando la evolución de las barras laterales o de las barras diagonales activas, además de los antiguos canales de riego que había en la zona.

4.

INUNDACIONES HISTÓRICAS DE LA PROVINCIA DE ALMERÍA

Las inundaciones han afectado durante toda la historia a los asentamientos humanos (Barriendos et al., 2019). Analizar y entender una serie de inundaciones históricas, desde que hay registros escritos hasta la actualidad, ayuda a representar el mecanismo de este proceso natural. Para la identificación de los eventos extremos es necesario consultar las fuentes primarias (Bràdzil et al., 2006; Schulte et al., 2019b). A partir de estas fuentes se puede crear una serie de inundaciones históricas. La obtención de menor o mayor proporción de escritos sobre inundaciones durante periodos históricos puede deberse a factores antrópicos, aunque también a situaciones climáticas temporales.

En este capítulo se describen los resultados obtenidos en la búsqueda de información de las fuentes primarias y secundarias de los ríos que forman parte del área de estudio. Como punto de origen, en el primer apartado se hace una revisión bibliográfica sobre los trabajos de inundaciones históricas, desde escalas mundiales hasta escalas locales. Posteriormente, se describen las inundaciones históricas que han sido encontradas en los distintos archivos históricos, separado por cuencas. A continuación, se hace un análisis de las tendencias y de las incertidumbres de las series de inundaciones de los cuatro ríos y, por un lado, se observa si hay relación directa o indirecta con los patrones sinópticos que afectan a Europa, y por otro, si existe relación entre los patrones climáticos históricos. Finalmente, se presentan una serie de conclusiones que han surgido después de haber tenido en consideración todos los aspectos tratados en el presente capítulo.

4.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Los asentamientos humanos se han situado cerca de los cruces de caminos, de las líneas de costa y de los ríos (Carrión, 2009). De esta manera se han aprovechado de la conectividad, de los aportes de energía hidráulica y del aporte de material fértil para el cultivo en forma de sedimentos finos, después de los eventos de avenidas. Un ejemplo claro fueron los primeros pobladores entre los ríos Tigris y Éufrates en la actual Irak, o la civilización egipcia, ubicada en el delta del río Nilo (Brown y Chanson, 2012). El río les aportaba energía, tierra cultivable y conectividad (Mumford, 1979; Dardel, 2013). Con todo, tenían un conocimiento absoluto de la dinámica fluvial de estos ríos, ya que dependían directamente de ellos. Ya se conocía por entonces que los aportes sedimentológicos eran beneficiosos para las tierras cultivadas, pero también se tenía conocimiento de la peligrosidad de las inundaciones que podían producir los ríos.

El río, por tanto, en todos los casos actúa como generador de energía, conectividad entre comunidades y centro de lo social desde los primeros asentamientos sedentarios (Mumford, 1979). Son muchos los casos de las ciudades históricas europeas, de las cuales se obtienen series completas de inundaciones históricas, que están ubicadas en la vereda de los ríos, Viena con el Danubio, París con el Sena, Londres con el Támesis, Berlín con el Spree y el Havel o Basilea con el Rin.

También ocurre en las ciudades históricas de España como en Salamanca con el Tormes, Zaragoza con el Ebro o Sevilla con el Guadalquivir. La dependencia hacia el río era tan grande que era necesario conocer su comportamiento, a veces cíclico claramente como en el caso del Nilo, a veces no tan claramente cíclico como en el caso Zaragoza (Balasch et al., 2018). Por lo tanto, cada vez que ocurría un evento extraordinario se escribían crónicas describiendo la altura del río, el daño que había causado o el material que había depositado a lo largo de la llanura de inundación (Fig. 4.1).



Figura 4.1. Grabado histórico de la población de Cuevas del Almanzora. Retrata la inundación catastrófica que asoló la población en 1879. Archivo histórico de Cuevas del Almanzora.

Las descripciones eran transversales, lo cual significa que varios estamentos sociales se encargaban de describir los eventos extremos. En los primeros escritos que se han encontrado, los registros se realizaban desde la administración local (Barriendos, 1996; Wetter et al., 2011), en ciudades como Colonia o Praga los registros se remontan al año 1000 AD (Elleder, 2015). En Europa, con la expansión del cristianismo y la importancia que había tomado dentro de la sociedad en la Edad Media, algunos de estos registros fueron tomados desde el estamento eclesiástico (Barriendos, 1994). Precisamente en las crónicas eclesiásticas, también se relataban las rogativas por sequía o por los daños que habían ocasionado las lluvias. Era una manera de tener constancia de las inclemencias meteorológicas, que hasta el momento se creía que Dios estaba ofreciendo. Otro método de catalogar las inundaciones era a través de las marcas de inundación en edificios históricos, tales como iglesias, calles emblemáticas, capillas o ayuntamientos (Balasch et al., 2011).

Según la Real Academia de la Lengua Española, inundación se define como, la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, como

consecuencia del desbordamiento de ríos, torrentes o ramblas. Asimismo, la Comunidad Europea define inundación en la Directiva Marco del Agua como, terreno cubierto de agua que normalmente no lo está” (CEC, 2006). En cuanto a inundaciones históricas, Baker (1987, 2008) las define como, inundaciones que han ocurrido en el pasado y de las que se tiene constancia escrita o grabada de ellas.

Las descripciones de las inundaciones históricas están sesgadas por la condición humana y la relación que tenga el redactor con el lugar dañado por el evento (Alexandre, 1987). Brádzil et al. (2006, 2012) describen tres tipos de documentos que ayudan a la reconstrucción de las inundaciones. En primer lugar: los documentos manuscritos que se pueden encontrar en los archivos históricos municipales o en los documentos de las iglesias; en segundo lugar los archivos impresos, este segundo grupo hay que considerarlo dentro de un marco de fuentes secundarias en su mayoría. Si bien, el redactor puede estar directamente implicado por lo tanto se considera como tal. Y en tercer y lugar, las fuentes iconográficas tales como limnimarcas, fotografías históricas o retratos de una situación (Fig. 4.1)

Por definición, las fuentes de información más objetivas serán las fuentes iconográficas como las limnimarcas, por la imposibilidad de una implicación emocional a la hora de describir un evento. Primero Baker (2008) describe un *modus operandi* a la hora de representar una inundación desde el punto de vista geomorfológico, y es seguir un orden de prioridades a la hora de escoger los elementos descriptivos. En primer lugar las limnimarcas, marcas en casas, marcas en rocas, etc. En segundo lugar, descripción de carreteras o caminos inundados, en tercer lugar descripción de edificios icónicos no-inundados, y por último, descripciones a partir de la comparación con inundaciones anteriores que ya se tengan descritas. Más tarde Brádzil et al. (2006), también describe una manera de estudiar las inundaciones históricas de un río. El primer paso es estudiar los archivos históricos, Barriendos et al. (2019) lo corrobora en su estudio sobre inundaciones históricas de gran parte de la costa mediterránea española.

La reconstrucción de la cronología de las inundaciones a partir de datos históricos ha aumentado en todo el Mundo en los últimos 30 años exponencialmente (Pfister, 1999; Benito et al., 2003; Glaser et al., 2010; Benito et al., 2015; Barriendos et al., 2019; Sánchez-García et al., 2019; Elleder et al., 2019). Los primeros registros históricos de inundaciones se remontan a más de 2000 años de antigüedad en sitios como China (Cook, 1987), mientras que en Europa las primeras descripciones de inundaciones explican los eventos que afectaron durante la conquista del Imperio Romano (Romero Díaz et al., 2007). Por otra parte, desde el Siglo XVIII se han recogido sistemáticamente datos de inundaciones históricas en algunas partes de Europa como en Austria (Pilgram, 1788) o en Alemania (Pöttsch, 1784). Ya en el Siglo XX se publicaron varias cronologías de inundaciones históricas en Europa (p.e. Girgus y Strupczewski, 1965; Jones et al., 1984; Kotyza et al., 1995; Barriendos y Martín-Vide, 1998; etc.).

Además, en los últimos 30 años se han desarrollado múltiples estudios sobre cronologías de inundaciones históricas a nivel europeo (Glaser et al., 2010; Hall et

al., 2014). También se han llevado a cabo estudios regionales, como en Austria (Rohr, 2003, 2004; Strömmer, 2003), en República Checa (Brázdil, 1998; Brázdil y Bukáček, 2000; Brázdil et al., 2004, 2005), Alemania (Glaser y Hagerdorn, 1990; Krahe, 1997; Militzer et al., 1999; Deutsch, 2000; Schmidt, 2000; Deutsch y Pörtge, 2001, 2002; Glaser, 2001; Sturm et al., 2001; Glaser et al., 2002; Jacobeit et al., 2003; Mudelsee et al., 2003, 2004; Deutsch et al., 2004; Glaser y Stangl, 2004; Pohl, 2004; Toonen et al., 2015), Países Bajos (Tol y Langen, 2000), Eslovaquia (Svoboda et al., 2000; Horváthová, 2003) o Suiza (Pfister, 1988, 1999; Pfister y Hächler, 1991; Gees, 1997; Wetter et al., 2011; Schulte et al., 2015; Wetter, 2017), y en el Reino Unido (Archer, 1999; Williams y Archer, 2002; Macdonald, 2013; Macdonald y Sangster, 2017).

Los archivos históricos más antiguos se encuentran en las ciudades europeas más importantes históricamente como Colonia, Viena o Praga, remontándose las descripciones de las inundaciones históricas hasta 1100 AD, y siguiendo hasta la actualidad de forma más o menos continua, teniendo en cuenta los periodos vacíos de información como consecuencia de las guerras (Brázdil et al., 2012)

En los países mediterráneos o del sur de Europa, también se han llevado a cabo estudios a partir de descripciones de eventos históricos puntuales, como en Francia (Coeur, 2003; Naulet et al., 2005), Italia (Pavese et al., 1992; Camuffo y Enzi, 1996; Guidoboni, 1998; Alessandrini y Remedina, 2002), España (Benito et al., 1996, 2003; Barriandos y Martín-Vide, 1998; Llasat et al., 2003, 2005a; Balasch et al., 2018; Sánchez-García et al., 2019), Portugal (Santos et al., 2018) o en los países balcánicos (Prohaska et al., 2009) y del Este de Europa (Romanescu y Stoleriu, 2017a; Romanescu et al., 2017b). Más recientemente se han hecho algunos estudios sobre inundaciones históricas en Asia (Luo, 1987; Ballesteros-Cánovas et al., 2017).

A parte de los trabajos sobre series de datos completadas a partir de archivos históricos, algunos trabajos se centran en eventos históricos extraordinarios singulares (Demarée, 2006; Wetter y Pfister, 2013; Kiss y Laszlovszky, 2013; Herget et al., 2015; Wetter, 2017; Ruiz-Bellet et al., 2015, 2017; Martín-Vide y Llasat, 2018).

Sin embargo, en el continente Americano no se han hecho prácticamente estudios sobre inundaciones históricas ya que la historia escrita empieza mucho más tarde que en el resto de los continentes (Brázdil, 2006). Los estudios de inundaciones históricas recogen un periodo relativamente corto en comparación a los estudios hechos en Europa (St. George y Mudelsee, 2018; St. George y Esper, 2018). Por otra parte, sí que se han llevado a cabo estudios sobre paleoinundaciones a partir de *proxies* climáticos como anillos de árboles (Ballesteros-Cánovas et al., 2015; Esper et al., 2018) o a partir de depósitos de remanso (*slackwater deposits*) (Baker, 1989, 2003, 2008) y depósitos lacustres.

En cuanto a los estudios sobre inundaciones históricas que se han desarrollado en la Península Ibérica, el bagaje histórico es relativamente alto pero no es constante hasta los años 60 del Siglo pasado (Barriandos, 1996). Es en los años 70 cuando Fontana Tarrats, un ministro de la dictadura de Franco, empieza a recopilar los datos históricos de varias zonas del estado (Fontana Tarrats, 1978). De esta manera, consigue darle un enfoque climático a los desastres sociales que están ocurriendo en

ese momento. Sus trabajos se desarrollan entre 1971 y 1978 y se centran en las catástrofes naturales que están ocurriendo. Fontana Tarrats (Fontana Tarrats, 1978) las relaciona con los eventos históricos que hace que le envíen los archiveros de los municipios donde se conservan las actas municipales más antiguas (c.o. Barriendos, 2017). Es en la década de los 90 cuando se escriben las dos primeras tesis doctorales sobre climatología históricas y se tratan las inundaciones históricas (Barriendos, 1994; Rodrigo, 1994). Además, Barriendos (1999), publica un compendio de referencias bibliográficas centradas en la climatología histórica, aunque hay un apartado único para inundaciones históricas.

A nivel de superficie estudiada, el espectro es limitado (Barriendos y Rodrigo, 2006). Los estudios a partir de documentos escritos se centran en los ríos Tajo (Fernández de Villalta et al., 2001; Benito et al., 2003), Duero (Machado et al., 2015, 2018), Ebro (Balasch et al., 2018), Guadalquivir y Segura (Rodrigo et al., 1999), Llobregat (Barriendos y Martín-Vide, 1998; Llasat et al., 2005a; Barrera et al., 2006) y los ríos de la Provincia de Almería (Ferre Bueno, 1979; Capel Molina, 1987; Sánchez-García et al., 2019). Los estudios que cubren un periodo histórico mayor dependen de las fuentes históricas, principalmente encontradas en archivos históricos municipales o estatales. El más antiguo es el estudio de las inundaciones históricas del río Ebro. La serie empieza de forma discontinua a partir del Siglo VIII, aunque no es continua hasta el Siglo XIV. El estudio sobre el río Segura empieza de forma discontinua alrededor del 1000 AD, y no es hasta el Siglo XIV-XV cuando los datos empiezan a ser más continuos.

4.2. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL RÍO ALMANZORA

El río Almanzora fue definido como: *“Otro Nilo en sus crecidas y decrecidas después de alcanzar sus límites”*.

Esta descripción fue escrita por Ibn Al-Jatib, responsable del levante de Almería durante la dinastía árabe Nasrid, dentro del Califato de Granada. Esta frase podría indicar que durante esos Siglos (XI, XII y XIII) el río Almanzora tenía probablemente bastantes inundaciones, cíclicas y con un régimen distinto al que hoy en día tiene (Bermejo, 1972). El primer nombre que corresponde al actual río Almanzora es *wadi⁵ Vira*. Nombre que por su etimología representa perfectamente la frase anterior.

Debido a la importancia histórica de la población de Cuevas del Almanzora, el archivo histórico de esta población es más completo y continuo que el archivo histórico de Albox. Además, el archivo histórico de Albox fue expoliado durante la Guerra Civil Española (GCE) y solo se conservan documentos desde 1902, aunque algunos legajos se conservaron y ha sido posible consultarlos. Por otra parte, el ayuntamiento de Albox tiene una colección fotográfica de las inundaciones del último Siglo muy extensa, y ésta se consultó durante la campaña de trabajo de campo del 2016.

⁵ Wadi, del árabe clásico, cauce.

Los eventos que han afectado a Cuevas del Almanzora han sido muchos a lo largo de la historia y la mayoría de ellos están muy bien documentados en las actas municipales que se pueden consultar en el archivo municipal. De estas actas se han podido corroborar la mayoría de las inundaciones históricas de las que se tenía constancia en las fuentes secundarias tales como el Catálogo de Inundaciones Históricas (DGPC, 2011), además de encontrar algunas más de las que no se tenía constancia.

Asimismo, Cuevas del Almanzora fue muy importante a finales del Siglo XIX en relación con la industria minera que se desarrollaba en la Sierra de Almagreda, esto trajo al municipio muchísima población que venía a trabajar a la industria minera (Fernández-Bolea, 2006). Comportó por tanto un aumento de la población que llegó a máximos históricos de más de 26.000 habitantes; actualmente viven poco más de 12.000 habitantes. Dada la importancia de la población en esos años se creó un diario de tirada comarcal en el que se trataban noticias relacionadas con la industria minera de la zona y con noticias de interés general. El Diario *El Minero de Almagreda* fue muy importante desde su creación en 1870 hasta su clausura en 1910 (Fernández-Bolea, 2014). Al ser un diario tan cercano a la zona de estudio, se han podido encontrar muchas noticias sobre las inundaciones que afectaron a la zona de estudio durante esos 30 años, periodo además, que tuvo un número de inundaciones inusualmente elevado, llegando hasta a 8 eventos catalogados como catastróficos.

La primera de las inundaciones históricas catastróficas de las que se tiene una descripción pormenorizada en la cuenca del río Almanzora es la avenida que afectó en 1729 a la población de Albox. Esta descripción corresponde a uno de los legajos antiguos que se conservan en el archivo municipal de Albox, concretamente al Libro Capitular Concejo año 1729, Legajo 6.

<< después de una gran tempestad de relámpagos, truenos y granizo y agua, fue. Dios servido de que una abenida de agua turbia arruinara muy zerca de quarenta casas de las de la vezindad de esta villa que estaban inmediatas a la Rambla de ella y entre otras muchas que se llenaron de agua fu una de Gines Oller Navarro, en que había mucha porción de trigo del Caudal del Posito de esta villa (...) después de haverse llevado el agua mucho trigo que lo sacó por debajo de las puertas de dicha casa, se mojó mucho más, quedando enzima del que havia en dus quartos muchas vasuras y tarquín⁶ del que introdujeran las aguas de dicha avenida>>

Sin embargo, la inundación de 1879, es considerada una de las grandes inundaciones de la Península Ibérica por los cuantiosos daños que ocasionó, no solo en la cuenca del Río Almanzora, sino en todo el Sureste peninsular. Tal daño ocasionó un gran número de publicaciones que se escribieron sobre esta inundación (Capel Molina, 1987), poemarios (c.o. Juan Grima, 2013) y hasta se editó un periódico en Paris para recaudar dinero para ayudar a la zona afectada. Una de tantas descripciones fue la siguiente:

⁶ Fango, elementos finos y gruesos, cañas, maderas y todo tipo de material que deposita el río después de una riada. El término Tarquín es muy común en la jerga popular de Almería.

<<durante el verano y principios del otoño hubo fuerte sequía, a partir del 12 de octubre, comenzaron a verse nubes de desarrollo vertical en sierra de Filabres, sierra Cabrera, sierra de Las Estancias y sierra de Almagro. Durante el día 14 cambió la situación, se formalizó un fuerte viento de Levante. A las dos de la tarde el cielo tomó un color verdoso nunca visto, y desde entonces a la súbita explosión del rayo sucedía el estampido del trueno que resonaba sin cesar (...) Pero esto respondía a una causa más, que pudiera explicarnos de mejor manera el fenómeno; ya que hemos dicho que uno de los extremos de la nube se apoyaba en sierra Cabrera, cuyo pie lame el mar; pues bien, una enorme manga de agua se levantaba de su superficie hasta la nube, viniendo así a aumentar su caudal>>.

Esta descripción corresponde al libro monotemático titulado “Memoria de la Inundación de Murcia, Alicante y Almería. Acaecidos en los días 14 y 15 de octubre de 1879” (Junta de Socorros de los vecinos de Madrid, 1882). Capel Molina (1987) comenta que las aguas torrenciales que se produjeron tanto en el río Almanzora como en todas sus ramblas se elevaban hasta 5 metros por encima de su cauce, superando el kilómetro y medio de ancho a cada lado del cauce en la cuenca media del río, a la altura de los municipios de Arboleas y Zurgena. También se hacía eco de la misma inundación el diario *El Minero de Almagrera* y comentaba lo siguiente:

<<Conocida como del “Santo Negro” (...) 3000 m³/s en el puente de Cuevas. 23 muertos (la mayoría en La Muleria) (...) El agua subió hasta la era de D. Manuel Márquez, altura jamás alcanzada según recuerdan los hombres de la época (...) Inundó minas en la Sierra Almagrera: Sta. Matilde, Huerta y Herminia (...) El malecón del Pilar está casi destruido, las murallas de contención del Pago de Campos fueron arrollados. (...) El camino Nuevo se encuentra convertido en un montón de ruinas, los azudes de riego rotos y destruidos, las fincas rústicas situadas al N. del camino son cubiertas de gruesas capas de infecunda arena...>>

En 1888, el río Almanzora se volvió a desbordar interrumpiendo las obras de construcción en ese momento de lo que sería posteriormente el puente de Santa Bárbara (c.o. Juan Grima, 2013). Según la descripción que se detalla en la *Crónica Meridional*, el 11 de septiembre de ese mismo año:

<<La avenida del Almanzora nunca vista tuvo lugar a las ocho de la noche, inundando la vega de toda su cuenca, cubriendo en multitud de los puntos que recorre de cerro a cerro en ambas márgenes (...) La altura de las aguas llegó a 17 metros sobre su nivel ordinario, ocasionando la total devastación de los predios, ribera y la destrucción total de siete molinos harineros>>

En el *Minero de Almagrera* se encuentra todavía más información sobre esta inundación:

<<La del “Naranja” (...) 3 muertos en Cuevas de Almanzora (...) Obligó a parar el desagüe de las minas e Sierra Almagrera (...) Visitó la localidad el Ministro de Fomento D. José Canalejas (...) Corta la carretera hacia Aguilas en el cruce que señala la entrada al pueblo>>

Habría que esperar hasta la gran inundación de 1973 que afectó por completo el sureste de la Península Ibérica para encontrar otra inundación de magnitudes similares a las anteriores en cuanto a daños materiales y personales. La inundación

que ocurrió los días 18 y 19 de octubre de 1973 fue la más catastrófica de todo el Siglo XX en el la cuenca del río Almanzora. Según Vallejos Izquierdo (1994) el caudal máximo que se registró a la altura del puente de Sta. Bárbara se estimó en $5.600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Este caudal estimado y la altura del Puente, que es más de 17 metros de altura, nos indica que esta inundación previsiblemente tuvo un caudal mayor a la de 1888. El mismo puente de Sta. Bárbara fue destruido durante esa inundación, en la Figura 4.2 se puede ver una fotografía tomada desde el puente momentos antes de que colapsara. En ella se puede apreciar la gran cantidad de agua que transportaba el río Almanzora en esos momentos.

El evento también fue excepcional en cuanto a la pluviometría registrando una lluvia extraordinariamente torrencial en el municipio de Zurgena, donde se alcanzaron más de 700 mm en un día. Ese mismo día, parte del edificio del ayuntamiento de Zurgena y por consiguiente el archivo histórico, fueron destruidos como consecuencia de las riadas y de las lluvias. La pedanía de la Mulería ubicada cerca del cauce de la Rambla de Canalejas también sufrió importantes daños económicos y 2 muertos que se encontraban trabando el campo (Diario de Almería, 1973, consultado el 14 de marzo del 2016)



Figura 4.2. Río Almanzora a su paso por el Puente de Santa Bárbara en el municipio de Huércal-Overa. Momentos previos a la destrucción del puente y con un punta de caudal máximo estimada en $5.600 \text{ m}^3/\text{s}$. Fotografía cedida por el Ayuntamiento de Cuevas del Almanzora.

A partir de ese momento se empiezan a tomar medidas por parte de las distintas administraciones locales en toda la cuenca del Almanzora para reducir la peligrosidad de las avenidas del río. Una medida que se toma entonces es la de encauzar el río después de pasar la sierra de Almagro. También se empieza a pensar en la construcción de un embalse en ese mismo punto con el objetivo de almacenar agua para el regadío que está surgiendo y para controlar las avenidas. Como consecuencia de todas esas medidas que se toman en ese momento, las inundaciones que ocurrieron posteriormente en ríos cercanos al Almanzora no afectaron a la

cuenca del Almanzora. El evento del 2012 apenas tuvo consecuencias en la cuenca del Almanzora gracias al embalse y a la canalización del tramo bajo del río.

Por lo tanto, teniendo todas las descripciones de las avenidas registradas, se han clasificado en órdenes de magnitud. En la Figura 4.3 se puede observar la serie completa de las inundaciones históricas que han afectado a la Cuenca del Almanzora desde que se tienen registros.

Hay cuatro grandes inundaciones, en 1550, 1729, 1879 y 1973. Estos cuatro eventos, asociados a la magnitud más elevada (4) tienen una frecuencia más o menos regular en la serie. Aunque la distancia temporal de los últimos dos es más corta que entre los 1550 y 1729 (179 años), y 1729 y 1879 (150), entre los dos últimos eventos (1879 y 1973) hay menos de 100 años de diferencia. La inundación de 2012, podría haber sido de magnitud 4 si no fuese por la canalización y el embalse que se construyeron en el tramo final del río Almanzora. En ese caso, solamente habrían pasado 39 años, siendo el periodo más corto, y mostrando un aumento de la frecuencia de las inundaciones más catastróficas. Sin embargo, como consecuencia de las construcciones antrópicas no se puede afirmar este último punto.

En cuanto a las inundaciones de magnitud 3, están más repartidas a lo largo del tiempo. Se han contabilizado 7 eventos catastróficos que han reunido las características que se marcaban para definir una inundación como magnitud 3. Estos eventos, tal y como se puede observar en la Figura 4.3 se registran en los siguientes años: 1580, 1650, 1654, 1778, 1888, 1899 y 1924. La distribución de estas inundaciones es bastante heterogénea en el tiempo, en algunos casos deben pasar más de 100 años para que quede registrada una inundación con las características específicas, como en el caso de 1654-1778 y 1778-1888, y en otros casos ocurre a los cuatro años (1650-1654). Sin embargo, si añadimos las inundaciones de magnitud 4 al análisis se puede observar como solamente entre 1778 y 1879 pasan más de 100 años sin una inundación catastrófica. Todos estos periodos de tiempo tan largos sin registros de inundaciones catastróficas pueden deberse a periodos más secos o a la falta de registros históricos de las inundaciones (Barriandos et al., 2019; Schulte et al., 2019a).

Las inundaciones con magnitud 2 están repartidas a lo largo de la serie de una manera bastante homogénea. Éstas, representan perfectamente los *clusters* que más adelante se explicarán en profundidad. La frecuencia de este tipo de eventos es bastante continuo al principio de la serie, aunque no es hasta la aparición de los diarios locales cuando se hacen realmente frecuentes. En total han ocurrido 16 eventos de esta magnitud. Si observamos la Figura 4.3 se puede apreciar como la primera afectó en el año 1587 y no hay otra hasta 1647. Sin duda, el *cluster* de inundaciones de 1870-1900, está compuesto en su mayoría por inundaciones de magnitud 2. Durante este periodo de tiempo ocurrieron 7 inundaciones de magnitud 2, siendo además, muy seguidas en el tiempo. En 1894 ocurrieron dos inundaciones de magnitud 2, y entre 1880 y 1994, 5. Este aumento de la proporción no solo de inundaciones de magnitud 2, sino en general de todas las magnitudes, es debido a la aparición de los documentos gráficos y escritos en los diarios locales (*La Crónica Meridional* y *El Minero de Almagrera*). A partir de este momento, la proporción de las

inundaciones y la calidad de las descripciones que han llegado a la actualidad son mucho mayor.

La falta de datos anteriores a la fecha de 1870, puede deberse a la pérdida de información, también a la ubicación tradicional de las poblaciones y al aprovechamiento de los caudales extraordinarios resultantes de las lluvias torrenciales que producían estas inundaciones (Jódar-Abellán et al., 2019).

Estos últimos factores también afectan a las inundaciones de magnitud 1. Estas son las más numerosas de los últimos 140 años, sin embargo, si se observa la serie al completo no se tienen registros de avenidas con las características necesarias hasta 1831. En el caso de las inundaciones de magnitud 1, el factor predominante en la falta de datos es la falta de información. La ubicación de las poblaciones y el aprovechamiento de los caudales para el riego tradicional, hacía que incluso se agradeciera este tipo de inundaciones. Cuando se empiezan a urbanizar las áreas cercanas al río y a abandonar el tipo de regadío tradicional es cuando este tipo de avenidas empiezan a causar más daños. En total se han registrado 22 eventos de magnitud 1, la mayoría de ellos, en los últimos 100 años.

En la Figura 4.3 se puede observar el inicio de la publicación de los diarios locales históricos, además de la fecha de la construcción del Embalse del Almanzora que tanto ha afectado a la reducción de los daños por inundaciones en el tramo final del río Almanzora.

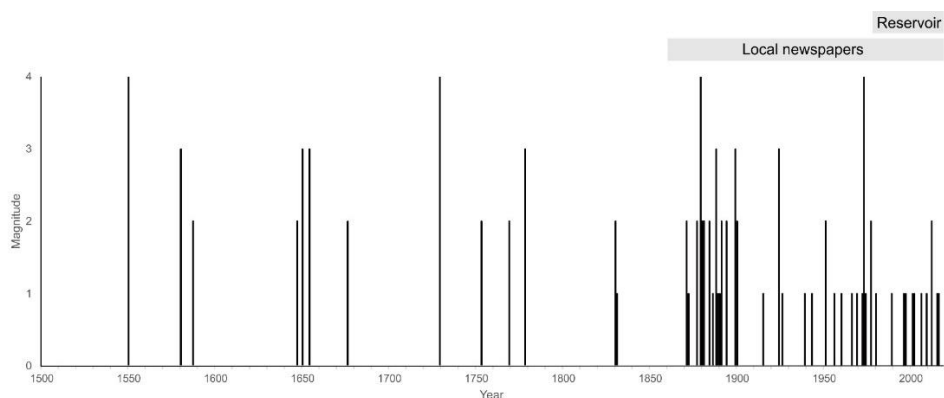


Figura 4.3. Serie de inundaciones históricas del río Almanzora desde el año 1500 hasta la actualidad clasificadas por órdenes de magnitud.

4.3. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DEL RÍO ANDARAX

El río Andarax es el segundo río en longitud y en superficie de la Provincia de Almería. Atraviesa algunos de los municipios más importantes a nivel de población de toda la provincia. Además, desemboca en la ciudad de Almería. Con todo, se tiene información de inundaciones que han ocurrido desde el año 1550, inundación que también afectó a los demás ríos del área de estudio.

El hecho de pasar por la ciudad de Almería podría parecer que es sinónimo de mayor número de registros. Sin duda se tienen muchas descripciones, pero muchas

de las inundaciones que han afectado a lo largo de la historia a Almería provienen de las ramblas de la Sierra de Gádor y que pasan por el centro urbano. En concreto, la que ha producido más daños es la Rambla de Belén. La primera inundación que produjo dicha rambla está datada de 1550 y fue realmente destructiva, tal y como se detalla en este legajo (55) del Archivo Municipal de Almería y del que Capel Molina (1987) se hace eco:

<<Don Carlos (...) A vos, el nuestro corregidor o juez de residencia de la ciudad de Almería e vuestro lugar teniente en el dicho oficio, salud e gracia: que Juan Perez, jurado y vezino de esta ciudad y en nombre del concejo della, nos hizo relación por supetición, diciendo que la principal hacienda y granjera que los vezinos de esta dicha ciudad tienen son las huertas y heredades que confinan con el barrio que llaman larrambla que pasa por junto a esta dicha ciudad y acusa de las muchas y grandes avenidas que an venido sea llevado y comido mucha parte de las dichas huertas así de los arboles como de las cercas dellas para el remedio de lo qual el consejo, justitia y regidores desea esta dicha çibdad an hecho çierta ordenança...>>

De este legajo se puede extraer información muy concisa de como dicha crecida de la rambla afectó a todo un barrio de la ciudad (Larrambla), y los daños que causó en las huertas y en los campos que eran aprovechados por los habitantes de la ciudad. Años después el río Andarax fue el que ocasionó inundaciones catastróficas, explicadas en el legajo 918, del Archivo Municipal de Almería, también detallado por Capel Molina (1987), la inundación corresponde al año 1619 e inusualmente ocurre en abril, a continuación, se transcribe una parte del legajo:

<<Bernabe Nabarro vezino de Benadux (...) diçe que la avenida del Rio que vino Ará catorze días con la gran fuerza y pujança de agua que truxo le derribo un cerro de sierra y la acequia que estaba Arribada a el dicho cerro por donde baja el agua y Riegan los herederos de benadux y quercal los otros lugares dejando los estrechos y que no puede bajar ni venir agua por ella (...) ya que fue caso fortuito y que no se puede prevenir ni reparar y que la Acequia... (...). En el Ciudad de Almería, a veint y seis días del mes de abril Mil Seiscientos diecinueve años>>

El Siglo XVIII es muy activo desde el punto de vista hidrológico, hasta 5 grandes avenidas se dan lugar, en 1725, 1729, 1769, 1787 y 1799. Siendo la crecida de 1769 la más importante en cuanto a los daños. En el Legajo 1 del Archivo de la Catedral de Almería y en las Memorias nº1 del Archivo de la Catedral de Almería. Seguidamente se transcribe una parte del texto:

<<que habiéndose llevado el ímpetu y torrente de la ultima avenida del rio la primera presa compuesta meramente de faginas por donde toma el agua la acequia madre, que sirve para el riego de la oya y pagos inferiores y que su repaso es de obligación común sería muy oportuno y útil substituir a dicha presa una mina, como de 20 varas que facilitase en todo tiempo el debido curso de las aguas y la proporción de que pudiera moler su molino...>>

De este fragmento se puede entender que la avenida destruyó una presa que tenían en el río Andarax, que, si bien no estaba construida con los mejores materiales, sí que hacía una función importante. Por tanto, lo que estaban pidiendo era ayuda para reconstruir la presa del río Andarax.

El siguiente Siglo, tal y como ocurre en el río Almanzora, los eventos son mejor descritos y además ocurren gran cantidad de crecidas a finales de Siglo. Las crecidas que Capel Molina (1987) considera que son las más destructivas del Siglo son las que ocurren en 1814, 1829, 1830, 1871, 1888, 1891. Para la cuenca del río Andarax, la más catastrófica del Siglo se considera que es la crecida de 1891, con descripciones de la *Crónica Meridional* como la siguiente:

<<Desde anteayer, densas nubes cubrían nuestro horizonte, manteniéndose el barómetro algunos milímetros sobre la normal, coincidiendo con el viento de Levante que persiste de hace días en esta región. En la noche comenzó a descender la columna barométrica, anticipándose a la intensa tempestad eléctrica que ayer descargó sobre esta capital, la cual coincidió con la presión inferior de 756 milímetros anotada ayer, cuatro bajo la normal. (...) Como detalle, basta señalar que en la inundación de 1888, arrojó el pluviómetro una altura de 63 milímetros, menos de la mitad de la medida ayer. La altura alcanzada por la lluvia de ayer, hay que tener en cuenta que corresponde a las tres horas en que ocurrió el máximo trastorno atmosférico. En un dato importante que prueba lo horrible de la catástrofe acaecida>>

En este relato, se comparan la inundación de 1888 y la de 1891. Siendo mucho más torrenciales las lluvias de 1891 y causando más daños en la población que la crecida anterior. En la Figura 4.4 se puede observar una fotografía de cómo quedaron algunas partes de la ciudad de Almería.

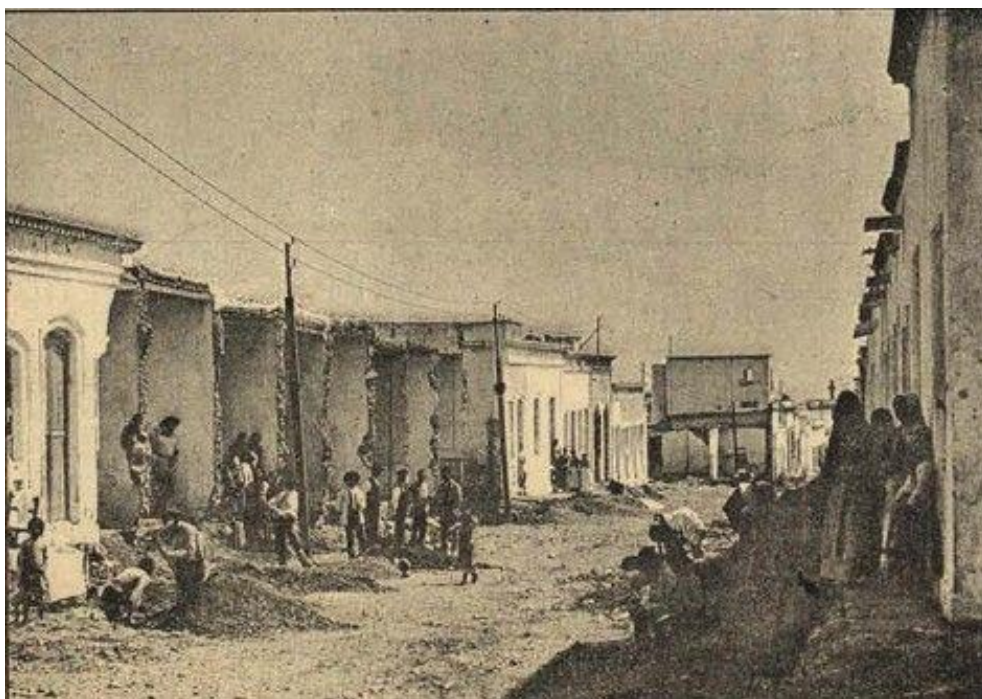


Figura 4.4. Fotografía publicada en la *Crónica Meridional*. En la imagen se puede ver el estado de la calle alta de Regocijos, después de la avenida. A un lado se ven todos los edificios sin pared frontal y a lo largo de toda la calle escombros a un lado y otro de la calle.

En el Siglo XX, las inundaciones más importantes a nivel de daños se concentran en los años 70. Justamente en 1970, ocurrió una crecida del río Andarax y en sus ramblas, llevándose coches hasta el mar, como consecuencia de la fuerza del flujo en

las ramblas Belén y de la Chanca. La gran inundación de 1973 que afectó a los ríos Almanzora, Antas y Aguas, no produjo ningún daño reseñable en el río Andarax.

En los últimos años ha ocurrido algo parecido al río Almanzora, el tramo final del río Andarax está canalizado y las ramblas que pasan por el centro de la ciudad están mediantemente controladas por canalizaciones internas.

Teniendo en cuenta todas las descripciones que se han recogido de las inundaciones que han afectado a la cuenca del río Andarax, en la Figura 4.5 se muestra la serie de inundaciones históricas. Esta serie de inundaciones históricas fue principalmente elaborada por Carla Brembilla (Brembilla, 2016) y ampliada por Sánchez-García, para el presente trabajo.

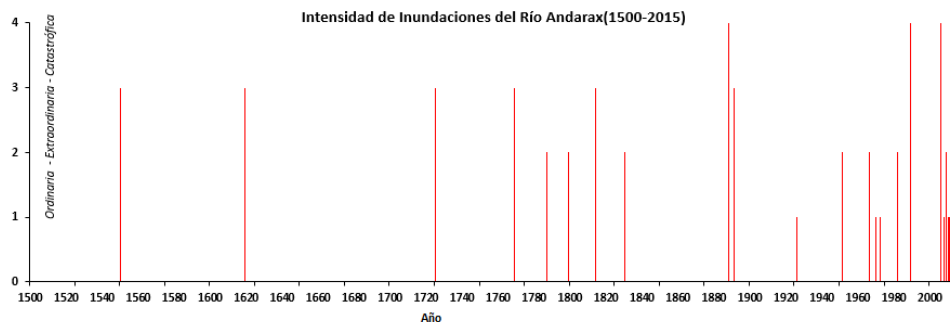


Figura 4.5. Serie de inundaciones históricas del río Andarax. Brembilla, 2016.

Tal y como se puede observar en la Figura 4.5, la serie de inundaciones del río Andarax es bastante discontinua durante los primeros siglos y, tal y como ocurre en la serie de inundaciones del río Almanzora, a partir de la aparición de los diarios locales históricos, hay un aumento en la proporción de inundaciones registradas.

En los análisis de las fuentes secundarias llevados a cabo por Carla Brembilla, se puede observar como existen una serie de inundaciones de magnitudes 3 y 4, que son muy importantes en cuanto a daños. La inundación del 11 de septiembre de 1891, es recordada como la gran avenida que asoló la ciudad de Almería y que ha causado más daños a las infraestructuras en los últimos 150 años.

En la serie histórica se puede observar como no aparecen inundaciones de magnitud 4 hasta la ya mencionada inundación de 1891. Posteriormente a esta avenida, han ocurrido dos inundaciones más de características similares que son de magnitud 4, en 1989 y en 2006. En el caso de las dos últimas avenidas de magnitud alta, se tiene que considerar el cambio de usos de suelo como factor esencial para entender el daño material que pudieron acontecer. La extrema urbanización de la ciudad de Almería, en comparación con la situación de la ciudad en 1891, y el cambio a regadío y campos de invernaderos, hizo que la escorrentía superficial aumentara y causara daños en muchas de estas infraestructuras.

En cuanto a las inundaciones de magnitud 3, se puede observar como la distribución de éstas es más uniforme a lo largo del tiempo. Han ocurrido desde el año 1500, 7 eventos con características similares. El primero de ellos coincide con la gran inundación de 1550 en el río Almanzora. Ésta, que aunque no fue tan grave como al

norte de la Provincia, si que produjo algunos daños estructurales en calles importantes de la ciudad de Almería. La principal rambla que se desbordó fue a Rambla Belén, y asoló lo que era la calle más transitada de la ciudad en aquellos años. La falta de datos en los archivos de la cuenca del río Andarax y bastante importante. Por lo tanto, se puede presuponer que alguna de estas inundaciones pueda haber sido más catastróficas, o que haya alguna inundación que no se haya podido haber por la pérdida del registro.

Las avenidas de magnitud 2 no aparecen en la serie de inundaciones históricas hasta finales del Siglo XVIII. Seguramente, igual que pasaba en el río Almanzora, por la falta de datos en los archivos históricos. A partir de entonces se han registrado siete inundaciones con características similares y consideradas de magnitud 2. Lo mismo ocurre con las inundaciones de magnitud 1. La primera se ha registrado en 1921 y posteriormente han ocurrido 5 más. De estas últimas dos de ellas han sucedido en los últimos veinte años y están estrictamente relacionadas con los cambios de usos del suelo y el aumento de la exposición de algunas viviendas al riesgo de avenidas.

La serie de inundaciones del río Andarax se caracteriza por tener unos datos dispersos en el tiempo, pero repartidos frecuentemente en el tiempo. Solamente existe un periodo con muchas inundaciones que es desde 1820 hasta 1950. Durante estos 130 años solo se han registrado 3 inundaciones, aunque lo que más sorprende es que en la serie de inundaciones del río Almanzora, el *cluster* más importante en cuanto a número y magnitud de inundaciones es desde 1870 hasta 1900. Durante estos 30 años, en el río Andarax se han registrado dos avenidas. Este hecho pudiera deberse a la falta de datos históricos, aunque en esos años ya existían los periódicos locales. Por lo tanto, simplemente la generación de las avenidas es diferente entre ambos ríos. Es necesaria una situación sinóptica diferente para la generación de lluvias torrenciales.

4.4. INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS ANTAS Y AGUAS

Los ríos Antas y Aguas son los dos ríos con menor longitud del área de estudio. A lo largo de su recorrido pasan por pocos municipios y por tanto los archivos históricos que hacen referencia a las inundaciones que han ocasionado son escasas. Por otra parte, las crecidas de estos dos ríos cuando han afectado a las poblaciones han solido ser de gran magnitud, posiblemente por la distancia que existe entre los centros urbanos y el lecho del río.

Solamente, las riadas de 1989 y 2012 afectaron a los núcleos urbanos de Mojácar, en el caso del río Aguas, y de Vera y Garrucha, en el caso del río Antas, aunque no las partes históricas de las poblaciones. Seguramente como consecuencia de la construcción de los complejos turísticos en la costa cerca de las desembocaduras (Martín García, 2010; Benito et al., 2012), sobre los antiguos paleocanales del río Antas (Schulte, 2002a).

En el caso del río Antas, a lo largo de todo su recorrido atraviesa cuatro núcleos urbanos, Lubrín, Antas, Vera y Garrucha, los dos últimos ya en la desembocadura. El río Aguas por su parte, atraviesa otros tres núcleos urbanos, Sorbas, Turre y Mojácar, solamente este último en la parte de la desembocadura. En todos los casos los municipios están situados alejados del cauce del río, o en una posición elevada, inalcanzable por el río en las inundaciones extraordinarias. Sin embargo, el Archivo Histórico Municipal de Vera, conserva una colección de relatos, actas capitulares, informes técnicos, informes eclesiásticos, etc. que datan de antes del Siglo XVI. En ellos se han podido encontrar relatos de inundaciones desde 1550 d.C. hasta la actualidad. Además, es uno de los pocos archivos municipales que está siendo digitalizado, por lo tanto, la búsqueda de información no ha hecho falta que haya sido hecha durante las campañas de campo exclusivamente.

Pese a tener relatos de inundaciones desde varios Siglos atrás en los archivos históricos de Antas y Vera, como en 1550 o en 1729, estas crecidas no han afectado ni al río Antas ni al río Aguas, sino al Almanzora. Para encontrar las primeras avenidas que afectaron a terrenos dentro de las cuencas de estos dos ríos hay que remontarse hasta 1783 en el caso del río Antas, y hasta 1871 en el caso del río Aguas. Por otro lado, las descripciones que se tienen a partir de ese momento suelen ser bastante específicas en cuanto a los daños causados.

Históricamente, los municipios de Antas y de Vera han tenido muchas luchas internas sobre el poder del agua del río Antas y de sus fuentes. En muchos de los documentos encontrados en los archivos históricos de estos dos municipios se hacen referencia a tales desencuentros entre los *hacendados* de los campos que están en los límites administrativos de los dos municipios. Algunas de las obras de construcción o reconstrucción de acequias, boqueras o azudes están descritas como conflictos entre dos o más partes en las actas municipales de los ayuntamientos. Por ejemplo, el informe técnico de la inundación de 1888 que afectó al río Antas, a parte de la descripción de la inundación y qué daños ocasionó en los *pagos*, trata con mucho cuidado quién debe ser la localidad que se haga cargo de las reparaciones. Igual que este caso, en 1924 paso algo parecido, cuando no se ponen de acuerdo en quién tiene que pagar las obras de mejoras en la acequia mayor entre los municipios de Vera y de Antas.

Además del Archivo Municipal de Antas existen dos informes extraordinarios de las inundaciones de 1877 y de 1899. En ellos se especifican cuáles fueron los daños ocasionados por ambas inundaciones. En cuanto a informes extraordinarios existen dos más, uno de las lluvias torrenciales que hubo en 1986, en el que no se especifican tanto los daños ocasionados por la crecida del río como los daños ocasionados por las lluvias torrenciales. El siguiente informe pertenece a la avenida de 1989, avenida que ocasionó importantes daños en los campos agrícolas del municipio de Antas, también en los primeros apartamentos de la costa, ubicados en el barrio de Vera Playa y Puerto Rey (Benito et al., 2012).

En cuanto a las riadas históricas del río Aguas, se ha podido encontrar poco en los archivos históricos de los municipios que atraviesa. El Archivo Municipal de Sorbas

está en reconstrucción y apenas se ha podido explorar. Aunque se hicieron varias entrevistas a algunos de los habitantes más ancianos del municipio. El Archivo Municipal de Turre, tampoco se pudo consultar, pero se pudo tener una entrevista con el turrero Juan Grima, historiador y estudioso del municipio de Turre. De las conversaciones con Grima se pudieron obtener muchas descripciones de inundaciones históricas, ya que él sí que había consultado los archivos históricos de Turre y de Sorbas. La inundación histórica más importante del río Aguas es la que asoló toda la cuenca en 1899, denominada como la riada de “*El Señor*”. Se la denomina de este modo por que fue el día 1 junio, y fue especialmente destructiva porque días antes se había recogido el cereal y estaba apilado en los campos, las aguas del río Aguas se llevaron todos los fardos de cereales y otros cultivos.

Ya en el Siglo XX, la inundación más importante fue la de 1924, inundación que afectó a toda la cuenca del río Aguas y del río Antas. El río Antas también registró inundaciones en 1956 aunque no sería hasta 1973 cuando registraría otra inundación igual de destructiva que la avenida de 1888. Por lo que acontece al río Aguas, registró avenidas en 1943 y en 1970, también en 1973, aunque no afectó tanto como en las cuencas vecinas.

La última gran inundación fue en 2012. Evento que causo numerosos daños materiales en las dos cuencas del levante almeriense además de daños personales, ocasionando dos muertes en el municipio de Mojácar y otros dos en el municipio de Vera. En el CAPITULO 6 se explicará en profundidad este evento para los dos ríos. En la Figura 4.6 se pueden ver dos fotografías de los ríos Aguas y Antas durante el evento del 2012.



Figura 4.6. Arriba: Fotografía del río Antas a su paso por el municipio de Antas. Se aprecia como el río transporta gran cantidad de material sólido y está empezando a colapsar el puente nuevo de Antas, que actuaba como presa. Abajo: Fotografía del río Aguas a su paso por la Vega de Mojácar en dirección sureste, inundando todos los campos y afectando a varias infraestructuras como las carreteras que unen las poblaciones de Mojácar y Turre, y Mojácar y Garrucha.

En la Figura 4.7, se pueden observar las series de inundaciones históricas para los ríos Antas y Aguas después de haber tenido en cuenta todas las descripciones.

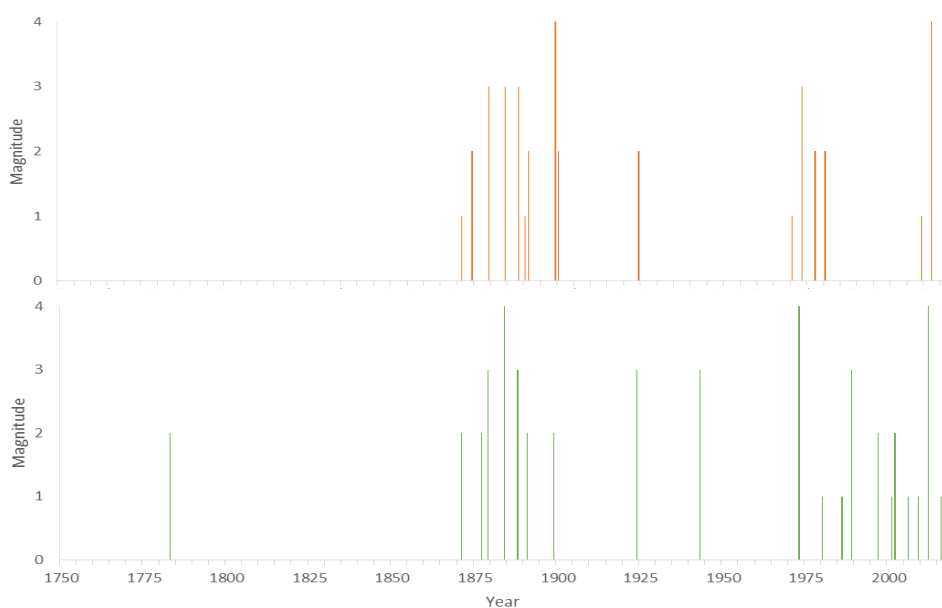


Figura 4.7. Series de inundaciones históricas de los ríos Aguas (arriba) y Antas (abajo).

Tanto en el río Antas como en el río Aguas, la serie de inundaciones históricas empieza relativamente tarde si los comparamos con las series de inundaciones de los ríos Almanzora y Andarax. La escasez de datos antes de 1870 es debida a varios factores: el primero es la falta de archivos históricos que se remonten hasta esos años. El archivo histórico de Vera sí que llega hasta el Siglo XV, pero las aportaciones que hace en los años pre-1870 son para el río Almanzora y no para el río Antas. Otro de los factores determinantes es la disposición histórica de las poblaciones. Como se ha comentado anteriormente los pueblos se ubicaban en zonas altas donde las aguas de los ríos no alcanzaban. Solamente Cuevas de Almanzora está en una posición que puede ser inundada cuando viene alguna avenida severa. La falta de archivos históricos es una consecuencia directa de la postguerra civil española. Los papeles que componían las actas se utilizaron para uso diario y de hogar por la falta de recursos. Solamente se conservaron los archivos que se remontaban a la fecha de nacimiento de la persona más mayor en ese momento en los municipios (c.p. Fernández Bolea).

A continuación se analizan e interpretan las características de las series históricas de los ríos Aguas y Antas:

La primera inundación que se registra en la cuenca del río Aguas afectó varios municipios en 1871. Sin embargo, tal y como se puede observar el Figura 4.7 es de magnitud 1. Las dos grandes inundaciones que son consideradas como las más catastróficas y están clasificadas como eventos extremos de magnitud 4 son los que ocurrieron en 1899 y en 2012. La inundación de 1899 ocurrió el 1 de junio, fecha poco habitual para que se sucedan eventos extremos (Fig. 4.9.). Este evento fue denominado como *“La riada del Señor”* ya que ocurrió en el día del señor y afectó a todos los campos que tenían el cultivo segado, aunque todavía no se había recogido. La siguiente inundación de magnitud 4 ha sido en 2012. Este evento afectó no solo

al río Aguas, sino también a los ríos Antas y Almanzora, además de toda la costa del sudeste de la Península Ibérica y la costa de Málaga y Granada.

Las inundaciones de magnitud 3 se concentran en su mayoría a finales del Siglo XIX. Este periodo, igual que ocurre en el río Almanzora también es muy activo desde el punto de vista de las avenidas. Las tres inundaciones (M3) que afectaron a la cuenca del río Aguas durante ese periodo ocurrieron en 1879, 1884 y 1888. Es decir, en 9 años, fueron tres grandes avenidas las que asolaron sobre todo, el tramo medio y bajo del río. Para encontrar otra inundación con descripciones similares hay que avanzar en el tiempo hasta la inundación de 1973. Esta riada afectó a todo el sureste de la Península Ibérica y fue muy catastrófica en algunas poblaciones. En el río Aguas, afectó a las poblaciones de Mojácar y Turre, y en menor medida a Sorbas.

Teniendo en cuenta el corto periodo de tiempo que tiene esta serie de inundaciones históricas, solamente se han registrado 7 inundaciones de magnitud 2. Como ocurre en el caso anterior, la mayoría de ellas están incluidas en el *cluster* de finales del Siglo XIX. Posteriormente las siguientes son en 1924, coincidente con las otras cuencas de estudio, 1977 y 1980, y finalmente en 2006.

Finalmente, en el plano de las inundaciones de magnitud 1, están registradas 4 inundaciones. Que el número de inundaciones de baja intensidad sea tan pequeño es porque la mayoría de las poblaciones están alejadas del área de inundación, y con pequeños caudales los campos adyacentes y las pocas viviendas o infraestructuras que hay no son afectadas.

El río Antas tiene una serie de inundaciones históricas similar al río Aguas. Las inundaciones con un orden de magnitud más elevado que han afectado a los campos y poblaciones de la cuenca del río Antas son 3: en 1884, 1973 y 2012. Cada una de las tres inundaciones ha tenido unas consecuencias de daños muy elevados. En los dos primeros casos los usos del suelo estaban ligados al regadío tradicional, es decir, utilizando acequias, presas y azudes. En la última, el factor más importante ha sido la exposición de parte de las urbanizaciones ubicadas cerca del mar y en zona inundable.

Las inundaciones de magnitud 3 que se representan en la serie de inundaciones históricas son 5: en 1879, 1888, 1924, 1943 y 1989. Tal y como se puede observar, las inundaciones catastróficas están bastante repartidas a lo largo de la serie y tienen cierta ciclicidad. Además, las dos primeras coinciden con el periodo de tiempo en el que hubo tantas inundaciones graves y no tan graves.

La primera inundación de la serie es de magnitud 2 y se registró en 1780. Es curioso que sin haber registro de otras inundaciones, las descripciones de la primera coincidan con las características que deben cumplir las inundaciones para caracterizarse como riadas de magnitud 2. No es hasta 1870 cuando se registran las siguientes inundaciones de este orden de magnitud. En total se han registrado siete inundaciones de magnitud dos, cuatro de ellas completan el *cluster* de inundaciones de finales del Siglo XIX.

Finalmente, las inundaciones menos severas, de magnitud 1, se empiezan a registrar en 1980. Como se puede apreciar, muy tarde en comparación a las otras tres cuencas de estudio. Este hecho, es consecuencia de la poca infraestructura que había con anterioridad en toda la cuenca del río Antas. En el momento en que se empiezan a transformar los usos del suelo, se empiezan a registrar inundaciones de menor magnitud. Éstas son representadas con siete eventos, cinco de ellos, en los últimos 20 años.

4.5. TENDENCIAS E INCERTIDUMBRES

Si observamos las cuatro cuencas en conjunto se pueden distinguir periodos con más evento extremos y otros con ausencia de inundaciones en los archivos históricos. En los casos de los ríos Almanzora y Andarax, se pueden analizar las inundaciones históricas desde el año 1500, siendo en 1550 el primer caso. En el caso del río Antas los archivos empiezan en 1750 y en el caso del río Aguas, en 1850. En la Figura 4.8, se pueden observar todas las inundaciones de todas las cuencas. De esta manera, se han unido todas las inundaciones en un mismo gráfico, con el fin de poder comparar los distintos periodos con más crecidas y los periodos en los que no se han registrado ningún evento.

La mayoría de periodos sin registros de inundaciones ha ocurrido en los primeros años de las series. Se puede suponer que estos vacíos (*gaps* a partir de ahora) son consecuencia de la falta de información que ha podido llegar a hoy en día, de la poca influencia que tenían las inundaciones de menor magnitud sobre las personas siglos atrás y de periodos cuando realmente no ha habido inundaciones. Para poder discernir entre estas tres opciones, es necesaria la comparación de las cuatro cuencas del área de estudio con otras cuencas del Mundo, cuanto más cercanas mejor, que tengan una serie de inundaciones más constante.

En la Figura 4.8 además del número de inundaciones por año, están representados también los *clusters* de inundaciones y los *gaps* de información a lo largo de toda la serie. Se distinguen cuatro *clusters* principales y cinco *gaps* principales. Como se puede observar, los *gaps* son más comunes cuanto más en el pasado va la serie de inundaciones, seguramente como consecuencia de la pérdida de información, o de la falta de transmisión de la información mediante textos. Por otra parte, el número de inundaciones registradas aumenta cuanto más al presente se acerca la serie. A continuación, se analizan cada uno de los periodos destacados.

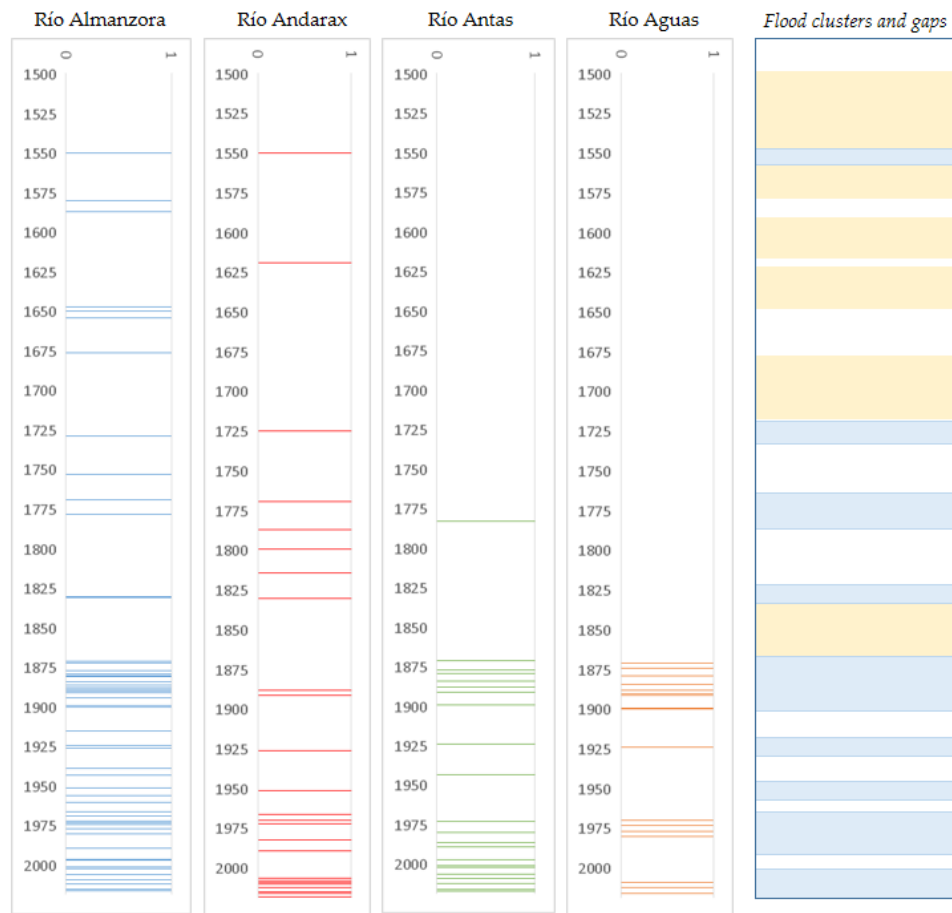


Figura 4.8. Inundaciones de las cuatro cuencas de estudio. En ocre están resaltados los periodos donde no hay existencia de registros de inundaciones y en gris los periodos donde hay más eventos registrados.

En la serie de datos de inundaciones históricas hasta el año 1550 no se tiene constancia de ningún evento en el área de estudio, aunque en algunos estudios se hacen referencias a inundaciones en el Siglo XII, XIII y XIV (Bermejo, 1972) aunque sin especificar una fecha concreta. Sin embargo, no es así en otras cuencas cercanas como la serie de inundaciones históricas del río Segura (Barriendos y Rodrigo, 2006; Machado et al., 2011). En la serie que desarrollan Barriendos y Rodrigo (2006), sugieren que hubo hasta cinco eventos anteriormente. Por otra parte, en otras cuencas más alejadas al sureste de la Península Ibérica, pero en la misma vertiente, Barrera et al. (2006) apuntan a que hubo hasta 5 eventos desde 1350 hasta 1550 para los ríos que desembocan cerca de Barcelona, al noreste de la Península Ibérica. Posteriormente, Barriendos et al. (2014) subrayan más de 100 eventos desde el año 1000 hasta 1550, dentro de toda la Comunidad de Cataluña. También dentro del marco de la Península Ibérica, Benito et al. (2003), afirman que existen más de 15 eventos desde el año 1100 hasta el 1550, en la cuenca del río Tajo.

En cuanto a estudios en el ámbito centro-europeo, Wetter et al. (2011), apunta que desde el 1250 hasta el 1550, ocurrieron hasta 13 eventos importantes del río Rin a su paso por la ciudad suiza de Basilea. Por otra parte, Brázdil et al. (2012) destacan que desde 1500 ha habido bastantes inundaciones en varios ríos europeos (Vitava, Ohre,

Elba y Morava). En el Reino Unido, Macdonald (2013), resume en al menos 4 eventos anteriores al 1550 para el Río Trent, ubicado en Inglaterra.

Por tanto, los *gaps* que se destacan hasta 1550 en la Península Ibérica, pueden ser como consecuencia de la falta de archivos históricos que prueben la existencia de inundaciones, siendo entonces 1550AD el límite temporal de la serie para nuestra área de estudio. Ya que, a nivel peninsular existen evidencias de que hubo varios episodios de inundaciones en todas las vertientes de la península, y nada indica que no hubiera en el área de estudio. Con todo, hay que tener en cuenta que el archivo histórico más antiguo de la Provincia de Almería es el Archivo de Vera, que se remonta hasta poco antes del 1500, aunque los archivos anteriores a esa fecha están en mal estado y no son consultables.

Posteriormente a 1550 en el área de estudio se tiene constancia de cuatro eventos importantes hasta el primer *cluster*, sin embargo en todos los estudios anteriormente mencionados existen archivos históricos o limnimarcas (marcas epigráficas) que evidencian que hubo ciertos periodos con más influencia de inundaciones (Benito et al., 2003; Barriendos y Rodrigo, 2006; Barrera et al., 2006; Machado et al., 2011, 2015, 2018; Wetter, 2017; Wetter et al., 2011; Brázdil et al., 2012; Macdonald, 2013; Barriendos et al., 2014; Schulte et al., 2015; Sangster et al., 2018; Balasch et al., 2018), hasta el primer *cluster* que sería entre 1647 y 1676, donde se concentran hasta cinco eventos en esos años, la mayoría de ellos repartidos durante los primeros años del periodo, posteriormente, hay otro evento extraordinario en 1674.

Para el primer *cluster* (1647-1676), la cuenca vecina del río Segura, tiene una dinámica de inundaciones similar a la del área de estudio, incluso coincidiendo en la mayor parte de los eventos (Barriendos y Martín-Vide, 1998; Machado et al., 2011). En otras cuencas de la Península Ibérica ubicadas al oeste, no existen evidencias de un *cluster* de inundaciones (Benito et al., 2003; Machado et al., 2015), para otras ubicadas al este sí que existe tal evidencia de inundaciones históricas (Llasat et al., 2005a; Barrera et al., 2006), aunque no con muchos casos para este período. Por el contrario, como por ejemplo el Río Ebro, no registra inundaciones importantes durante este período (Balasch et al., 2018).

A continuación de la inundación de 1673 hay un *gap* de información hasta principios del Siglo XVIII, concretamente la siguiente inundación registrada ocurrió en 1725, casi 50 años después de la última. Durante ese *gap* en la cuenca vecina del río Segura, concretamente en el Río Guadalentín, tributario del Segura, ocurrieron cinco eventos extraordinarios, de los cuales uno afectó a la ciudad de Lorca, ubicada muy cerca de la cuenca del río Almanzora (Machado et al., 2011). Es anodino que durante esos 50 años no se produjera ninguna inundación en las cuencas de estudio teniendo en cuenta los datos de los archivos de la Región de Murcia.

En las cuencas del nordeste de la Península Ibérica, concretamente en los ríos que desembocan en Barcelona, solamente se registró un evento y fue entre 1651 y 1700, por lo tanto, puede ser que tal evento tampoco fuera registrado durante los 50 años del *gap* (Barrera et al., 2006), aunque en el conjunto de Cataluña se registraron hasta 7 inundaciones extraordinarias y catastróficas (Llasat et al., 2005a). También en el

nordeste pero centrándose en el río Ebro y sus principales afluentes Balasch et al. (2018) tampoco destacan que sea un periodo con eventos extraordinarios. En cuanto a los ríos de la vertiente Atlántica peninsular, el río Tajo registró tres eventos durante el *gap* a la altura de Aranjuez y de Talavera de la Reina (Machado et al., 2015), pero no así en Toledo, donde no se registró crecida alguna (Benito et al., 2003). Por otra parte, a nivel de cuenca atlántica hay un pequeño aumento de inundaciones hasta finales del Siglo XVII, pero el principio del siguiente Siglo no hay muchos registros que demuestren que haya inundaciones (Barriendos y Rodrigo, 2006). A nivel estatal, según Barriendos y Martín-Vide (1998), durante ese periodo hay una bajada en el número de inundaciones.

Si comparamos la serie de los ríos de Almería con series de inundaciones históricas europeas, se puede comprobar como en la vertiente mediterránea, tampoco hubo muchos eventos (Pavese et al., 1992) y en relación con los Siglos anteriores y posteriores existe un descenso en el Siglo XVIII (Alessandroni y Remedia, 2002). En el Reino Unido solamente hubo dos eventos extraordinarios (Macdonald, 2013) y en los ríos centroeuropeos hay cuatro eventos para el río Vitava en Praga (Brázdil et al., 2006), pero el Rin a la altura de Basilea según Wetter et al., (2011), registró otros 3 eventos.

Por lo tanto, se puede afirmar que el inicio del Siglo XVIII no está caracterizado por una gran frecuencia de inundaciones a nivel europeo, aunque seguramente, en el área de estudio pudo ocurrir alguna crecida no registrada en los archivos históricos.

Después del evento de 1725, ocurrió otra crecida relativamente cercana en el tiempo en 1728, aunque no es hasta 1752 cuando empieza el segundo *cluster* que se puede identificar en la serie de datos. Si comparamos nuestra serie de datos con la cuenca vecina del río Segura, entre 1728 y 1750 hubo tres eventos extraordinarios que no afectaron al área de estudio (Machado et al., 2011). Por el contrario, el río Ebro solo registró una avenida a la altura de Tortosa (Balasch et al., 2018) y los ríos de la vertiente mediterránea en general menos de 10 en total (Barriendos y Martín-Vide, 1998) y tres inundaciones en Cataluña (Llasat et al., 2005a). En la vertiente atlántica hubo menos de 10 eventos (Barriendos y Rodrigo, 2006), aunque no se observan inundaciones en el Tajo a su paso por Aranjuez (Machado et al., 2015). A nivel europeo hubo 3 en el Rin (Wetter et al., 2011; Schulte et al., 2015), fue un periodo relativamente activo en los ríos polacos y checos (Brázdil et al., 2012), y sin registro de inundaciones en los ríos trabajados por Macdonald (2013).

El siguiente *cluster* cubre una ventana temporal de 30 años, entre 1750 y 1780 en el cual se produjeron hasta 6 episodios de inundaciones extraordinarias en el área de estudio. Si comparamos el comportamiento del área de estudio con otras cuencas, en el caso de la cuenca del río Segura y las inundaciones que han afectado a la ciudad de Murcia, durante esos 30 años hubo dos crecidas importantes (Machado et al., 2011). Siguiendo hacia el norte, la cuenca baja del río Ebro sufrió dos eventos de inundaciones (Llasat et al., 2005a; Balasch et al., 2018). En Barcelona, en cambio, hubo hasta ocho casos de inundaciones (Llasat et al., 2005a; Barrera et al., 2006), y si se tienen en cuenta muchas de las cuencas de la vertiente mediterránea de la península,

hubo más de 15 eventos extraordinarios, siendo uno de los periodos más activos de la serie descrita por Barriendos y Martín-Vide (1998). En la vertiente atlántica de la península, los 30 años también representan uno de los periodos con más crecidas (Barriendos y Rodrigo, 2006), aunque en el tramo alto del río Tajo no se registraron eventos extraordinarios (Machado et al., 2015).

En el contexto europeo, el río Aare en Suiza antes de unirse al río Rin, registró una de las mayores crecidas (Schulte et al., 2015), en cambio a nivel de cuenca no tuvo tanta repercusión. Dicha crecida del río Aare quedó muy atenuada por el paso de los lagos (Lago Brienz y Lago Thun) que tiene antes de unirse con el río Rin ya que en Basilea se registraron dos crecidas en el *cluster* pero no fueron muy importantes (Wetter et al., 2011; Schulte et al., 2019a, 2019b). En otros ríos centroeuropeos tampoco se registraron gran cantidad de avenidas, de hecho, este periodo se muestra como muy poco activo (Brázdil et al., 2012). En el contexto de las Islas Británicas, solamente se registró un evento para el Río Trent (Macdonald, 2013) y otro en el condado de Sussex, siendo éste uno de los más grandes registrados (Macdonald et al., 2014).

Desde 1780 hasta 1831, no se considera *cluster* de inundaciones ya que hay cierta distancia temporal entre las crecidas que hubo, pero tampoco se puede considerar *gap*, por la misma razón. Durante este periodo hubo cinco eventos en el área de estudio, mientras que la cuenca del Segura hubo solamente tres (Machado et al., 2011). Durante todo este periodo en la cuenca del río Ebro hubo solamente un evento (Balasch et al., 2018) y en las cuencas del Llobregat y Besós prácticamente 10 eventos extraordinarios (Barrera et al., 2006). En general en las cuencas mediterráneas hubo más de 20 siendo uno de los periodos más activos (Barriendos y Martín-Vide, 1998). En cambio, en las cuencas atlánticas de la Península Ibérica hay una bajada en la frecuencia de las inundaciones (Barriendos y Rodrigo, 2006), aunque no en el río Tajo, siendo este un periodo de gran actividad del río (Machado et al., 2015).

A nivel europeo, en la cuenca del río Rin, en la cuenca alta solamente hubo un evento mientras que en la cuenca media dos (Wetter et al., 2011; Schulte et al., 2015). En los ríos centroeuropeos solamente el Elba registra un aumento de crecidas respecto al periodo anterior (Brázdil et al., 2012) y en el Reino Unido tan solo hubo una avenida en el río Trent (Macdonald, 2013) y más activo en Sussex (Macdonald et al., 2014).

Después de un periodo que no se puede considerar ni *cluster* ni *gap* hay unos años que se pueden considerar el quinto *gap* de la serie. Este vacío de información o de inundaciones va desde 1831 hasta 1870, son prácticamente 40 años donde no se registra ninguna inundación en las cuencas del área de estudio. Coincide también con un periodo de tiempo en el que tampoco se registran ninguna inundación en la cuenca del río Segura (Machado et al., 2011). En cambio, en las cuencas que cercanas a Barcelona es un periodo especialmente activo (Barrera et al., 2006), y en la cuenca del río Ebro hay dos eventos, no siendo especialmente activo (Balasch et al., 2018). En general en las cuencas mediterráneas se considera un periodo muy activo (Barriendos y Martín-Vide, 1998), y en las cuencas atlánticas no es muy activo con 5 eventos (Barriendos y Rodrigo, 2006).

En las cuencas que tienen la cabecera en los Alpes, en la vertiente norte, el Aare es especialmente activo con muchos eventos, sobre todo al final del *gap* que se caracteriza en el área de estudio (Schulte et al., 2015), no comportándose así el río Rin con solamente dos eventos durante todo este periodo (Wetter et al., 2011). En los ríos de la República Checa son especialmente activos el río Vitava y Morava (Brázdil et al., 2012). Hasta cuatro eventos son registrados en los archivos históricos de la cuenca del río Trent en Inglaterra (Macdonald, 2013).

A partir de 1870 hasta 1900 hay una frecuencia prácticamente bianual en las inundaciones en el área de estudio habiendo más de 30 eventos en total. Además, en este periodo las avenidas suelen tener descripciones muy precisas dado que ya existen periódicos locales y la mayoría de los archivos históricos alcanzan estas fechas. Coincide con bastantes eventos en la cuenca del Segura (Machado et al., 2011). También es un periodo especialmente activo en la cuenca del río Ebro (Balasch et al., 2018), también es así en el centro de Cataluña (Barrera et al., 2006), aunque no en el total de la cuenca mediterránea (Barriandos y Martín-Vide, 1998) y medianamente activa en las cuencas de Cataluña (Llasat et al., 2005a), ni en el general de las cuencas atlánticas peninsulares (Barriandos y Rodrigo, 2006), aunque Machado et al. (2015) sí que destacan este periodo como bastante activo en la cuenca alta del río Tajo.

En Europa es un periodo muy poco activo, tanto en el Aare (Schulte et al., 2015, 2019b) como en el Rin (Wetter et al., 2011), hay un *gap* de inundaciones. En los ríos descritos por Brázdil et al. (2012) solamente el Vitava registra actividad en cuanto a eventos extremos hidrológicos. Por el contrario, Macdonald (2013) afirma que hay registros de hasta cuatro eventos para ese periodo en una cuenca del Reino Unido, y por el contrario ningún evento en el condado de Sussex (Macdonald et al., 2014).

Durante todo el Siglo XX la frecuencia de inundaciones es relativamente alta, aunque a partir de 1965 aumenta significativamente. En este último Siglo, la cuenca del río Segura solamente ha sufrido una inundación en 1973, según Machado et al. (2011). Algo parecido ocurre en la cuenca del río Ebro, donde solamente se registran dos eventos hasta 1965 (Balasch et al., 2018). También es especialmente activo en el Llobregat y en el Besós (Barrera et al., 2006), pero no así en el resto de cuencas mediterráneas peninsulares (Barriandos y Martín-Vide, 2006), se corrobora como un periodo poco activo en Cataluña, si incluimos el estudio de Llasat et al. (2005a). Este dato coincide con las cuencas atlánticas peninsulares, donde tampoco es especialmente activo ese periodo (Barriandos y Rodrigo, 2006), según Machado et al. (2015), puede ser por la gestión del río Tajo a partir de 1950.

En general en Europa tampoco es un periodo con muchos eventos extraordinarios, aunque algunos sí que se han registrado (Wetter et al., 2011; Brázdil et al., 2012; Macdonald, 2012; Schulte et al., 2015) y la mayoría de ellos con datos instrumentales que son susceptibles de ser comparados entre las diferentes cuencas (Brázdil et al., 2012; Macdonald y Sangster, 2017).

Finalmente, el último *cluster* sería desde 1966 hasta el 2018, aunque hay que tener en cuenta que en 1989 se construyó la presa del Almanzora, infraestructura que cambia

la dinámica hidrológica del río Almanzora. Durante este periodo de tiempo, ha aumentado la frecuencia de eventos extremos, aunque también es consecuencia de los cambios de usos del suelo, este proceso se tratara en profundidad en CAPITULO 7.

En general para las cuencas con las que se ha ido comparando el área de estudio no tienen datos sobre estos últimos años. En las cuencas mediterráneas se representa como un periodo muy activo desde el punto de vista hidrológico (Barriendos y Martín-Vide, 1998; Barrera et al., 2006; Balasch et al., 2018), también como consecuencia de los cambios de usos del suelo y de la urbanización de áreas inundables cerca de las desembocaduras. A nivel europeo es un periodo activo con bastantes eventos, pero ligeramente inferior a otros periodos donde ha habido más crecidas, seguramente por las medidas de seguridad como canalizaciones y embalses (Wetter et al., 2011; Brázdil et al., 2012; Macdonald, 2013; Peña et al., 2014; Schulte et al., 2015).

4.6. RELACIONES CLIMÁTICAS DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS DEL SURESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

4.6.1. Influencia del *Global Warming* sobre la tendencia de los eventos extraordinarios

Analizando la serie de inundaciones de los cuatro ríos, se puede observar como en las últimas décadas ha habido un aumento del número de inundaciones, relacionado directamente con el aumento de la información principalmente (Schulte et al., 2019b). Además, otro de los factores del aumento podría deberse a los cambios de usos del suelo y de la extrema urbanización que se ha originado en las zonas costeras de la Provincia de Almería. El efecto del aumento del número de inundaciones como consecuencia del aumento demográfico también se puede observar en las últimas décadas del Siglo XIX concretamente en el río Almanzora (Sánchez-García et al., 2019).

La relación entre el aumento de la temperatura global como consecuencia del calentamiento global, y la relación entre los eventos extremos en el futuro sigue siendo un tema de estudio global (Andersen y Marshall Shepherd, 2013; Arnell y Gosling, 2014; Alfieri et al., 2015), otros lo afirman ya, relacionándolo con los cambios antropogénicos de la atmosfera (Milly et al., 2002; Blösch et al., 2017), aunque enfocados a cuencas grandes de más 200.000 km² e inundaciones que superen los 100 años de periodo de retorno. El aumento de la humedad atmosférica o del agua precipitable indica que puede haber un aumento en los eventos extremos (Pall et al., 2007; Allan y Soden 2008), aunque posteriormente se ha negado (Schulte et al., 2019b). Este concepto tampoco es del todo aplicable al área de estudio en cuestión, ya que el IPCC (2014) considera el sudeste de la Península Ibérica como una de las zonas que se están volviendo más áridas del Planeta. Así lo atestiguan también Andersen y Sepherd (2013), refiriéndose al aumento de las precipitaciones

(de lluvia), como factor determinante en el aumento de los eventos extremos, como fenómeno global, pero con incertidumbres. El estudio de paleoinundaciones a partir de sedimentos, llevado a cabo por Benito et al. (2010) en la cuenca del río Guadalentín, situado al norte del área de estudio, certifican este cambio desde 950 AD.

Por lo tanto, no se puede afirmar que el aumento de las inundaciones sea consecuencia directa el calentamiento global, al menos en el área de estudio. Como se ha comentado anteriormente, el factor cambios de usos del suelo tiene más influencia en las intensidades de las avenidas. Sin embargo, no solo los cambios de usos del suelo, sino también la falta de gestión de los cauces de los ríos ha hecho que inundaciones que en el pasado no hubieran causado tantos daños, actualmente sean eventos catastróficos que producen muchos daños económicos y en ocasiones, personales.

4.6.2. Estacionalidad de las inundaciones históricas

Haciendo un repaso las inundaciones históricas se puede observar como la distribución de las inundaciones está marcada estacionalmente. En el caso del río Almanzora, el 63% de los eventos han ocurrido en otoño. Si además se suman las inundaciones de verano, ya que hay que tener en cuenta que las situaciones sinópticas típicas que desencadenan las avenidas suelen ser por Depresiones Aisladas (DANA) (Ducrocq et al., 2014; Sánchez-García et al., 2019) generadas por la alta energía acumulada en el Mediterráneo a finales de verano, el porcentaje de inundaciones alcanza un 84% (Fig. 4.9).

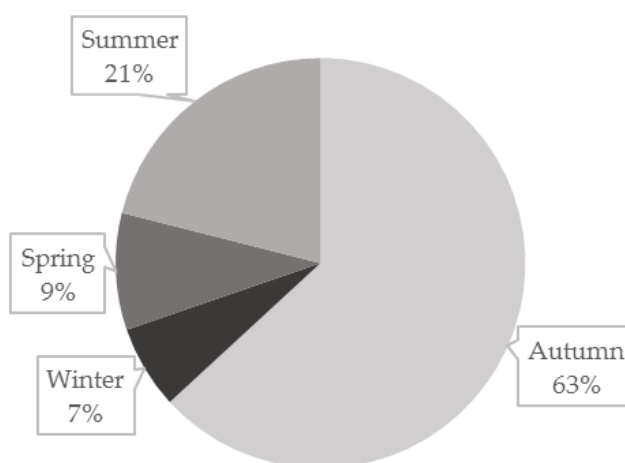


Figura 4.9. Estacionalidad de las inundaciones en el río Almanzora para el periodo entre 1500 y 2018.

Esta situación de generación de las inundaciones es común en toda la vertiente mediterránea (Llasat y Ramis, 1996). No solo en la Península Ibérica, sino que

también en todo el Mediterráneo Occidental (Gaume et al., 2016). Las lluvias torrenciales son consecuencia de la orografía tan cercana a la línea costera, hecho que hace que el tiempo de concentración del flujo sea muy elevado (Llasat et al., 2010). En cambio, en el Mediterráneo Oriental el tiempo de concentración es menor y además las inundaciones repentinas no suelen causar tantos daños (Diakakis y Deligiannakis, 2015; Gaume et al., 2016).

En el presente estudio se ha llevado a cabo una simulación de los desencadenantes de las inundaciones históricas más catastróficas en el río Almanzora (1550, 1729, 1879 y 1973). En el estudio, se puede constatar que estos eventos históricos extremos se han formado por los mismos desencadenantes que en otras partes del Mediterráneo (Llasat y Ramis, 1996; Llasat et al., 2010; Gaume et al., 2016). En las Figuras 4.10 y 4.11 se puede observar las simulaciones de las secuencias para los cuatro eventos catastróficos del río Almanzora.

4.6.3. Simulación de la situación sinóptica de las inundaciones de 1550, 1729, 1879 y 1973

Para entender las condiciones meteorológicas de las inundaciones de alta magnitud, fue llevado a cabo el análisis de las situaciones sinópticas clave por parte del Dr. Juan Carlos Peña, miembro del grupo de investigación FluvAlps. Las situaciones sinópticas que se simularon fueron especialmente para los eventos de mayor intensidad (1550, 1729, 1879 y 1973). Por otra parte, el evento extremo que se produjo en 2012 se analizará separadamente en el CAPÍTULO 6. La Figura. 4.10, muestra la configuración sinóptica de los dos primeros eventos, 1550 y 1729.

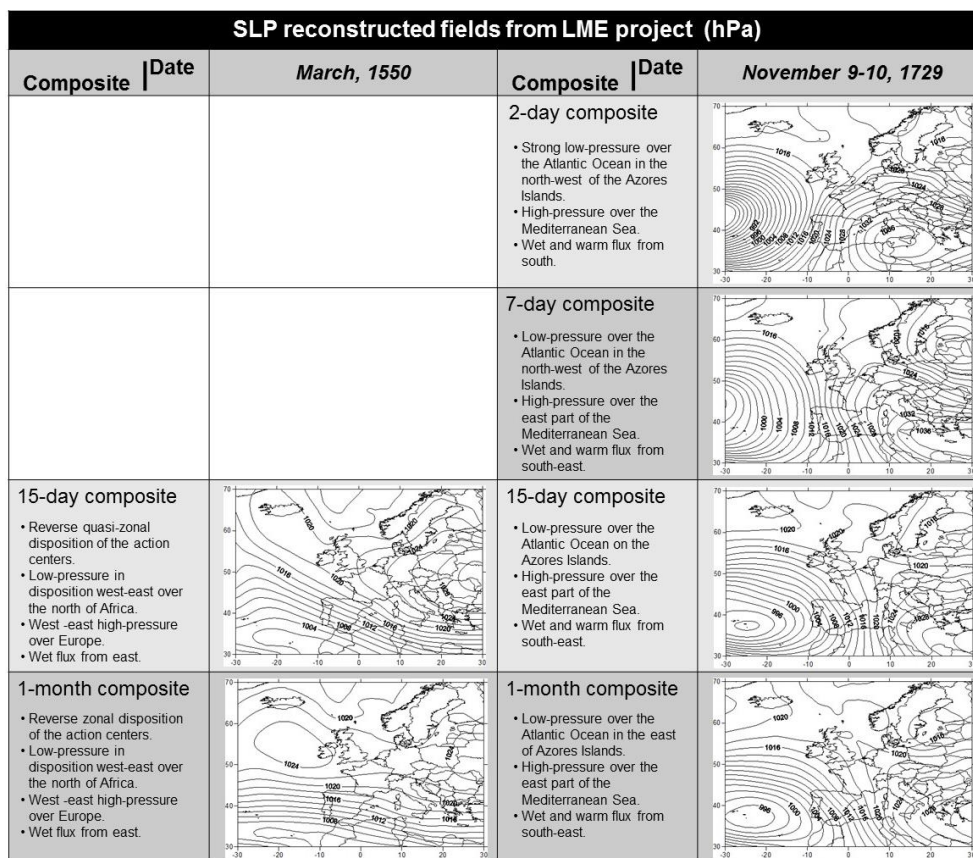


Figura 4.10. Izquierda. Marzo, inundación de 1550. Compósito de la situación sinóptica en SLP fields (en hPa), de las 13 veces de todas las fuerzas. Derecha: misma imagen que el panel izquierdo pero del 9-10 de noviembre del año 1729. Fuente: Análisis llevado a cabo por Juan Carlos (SMC).

Las dos inundaciones más catastróficas desde 1850 ocurrieron en 1879 y en 1973. El análisis incluye una secuencia de las condiciones meteorológicas 7 días previos al evento. Las condiciones meteorológicas de la inundación que ocurrió el 14 de octubre de 1879 fueron definidas por un anticiclón bloqueado en el continente europeo. Éste generó un flujo persistente del sudeste, transfiriendo masas de aire advectivas cálidas y húmedas desde el Mediterráneo a la cuenca (Fig. 4.11). La configuración fue realizada por la presencia de un área de bajas presiones, localizada el sudoeste de la Península Ibérica. Además, el aire a 850 hPa, entre el segundo y el cuarto día de la secuencia de 7 días, era frío. Por otra parte, a niveles medios de la troposfera no muestra condiciones de convección.

La secuencia de la configuración sinóptica de 7 días del 18 al 19 de octubre de 1973 (Fig. 4.11) se caracterizó por una baja presión centrada en el noroeste de la Península Ibérica, asociada a un frente frío. El paso del frente generó una configuración de *cut-off* en el quinto día de la secuencia de tiempo de 7 días, junto con un flujo oriental cálido-húmedo que entró en la cuenca del río Almanzora en los niveles bajos de la troposfera. La dinámica de esta configuración se vio fortalecida por la presencia de aire frío a nivel de 850 hPa y anomalías negativas del geopotencial en los niveles medios de la troposfera. Este patrón atmosférico contribuyó a una severa inestabilidad convectiva, causando grandes cantidades de precipitación.

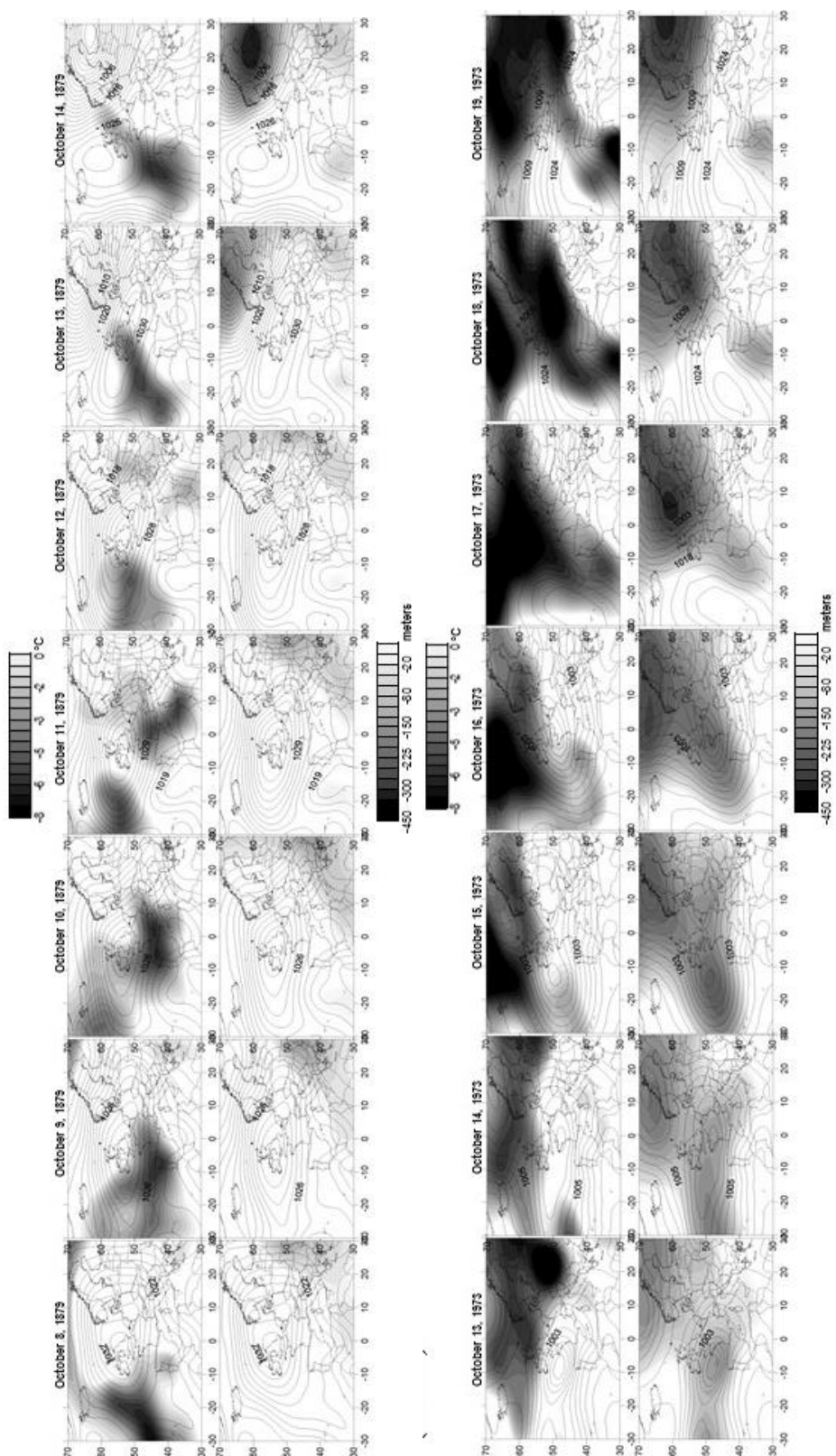


Figura 4.11. Izquierda: 14 de octubre del año 1879. Situación sinóptica. Panel de arriba: presión a nivel del mar en hPa (líneas) y anomalías de la temperatura estandarizadas a 850 hPa en $^{\circ}\text{C}$ (relleno). Panel de abajo: presión a nivel del mar (líneas) y anomalías del geopotencial estandarizado a 500 hPa en metros. Derecha: misma representación que arriba pero la imagen corresponde a los días 18 y 19 de octubre del año 1973.

Respecto a la caracterización meteorológica de los cuatro eventos de alta magnitud 1550, 1729, 1879 y 1973, podemos verificar que estas inundaciones se caracterizan por sistemas de bajas presiones que contribuyen a la advección de aire cálido y húmedo hacia niveles bajos de la troposfera, procedente del mar Mediterráneo en la región costera de la Provincia de Almería. Este tipo de patrones atmosféricos estimulan la aparición de sistemas convectivos severos a mesoescala. Estas configuraciones meteorológicas son comparables a la dinámica de otros eventos de inundación en la región mediterránea. Martin-Vide y Llasat (2018) analizan el evento de inundación repentina de 1962 en el noreste de la Península Ibérica y muestran un desencadenante sinóptico similar al de las inundaciones de 1879 y 1973. Capel Molina (1989, 2000) describió otro evento de inundación de 1989 que afectó la Península Ibérica oriental, que también tuvo una situación sinóptica similar.

Además de reconstruir las situaciones sinópticas de las inundaciones históricas más catastróficas, también se han analizado los patrones sinópticos más comunes a la hora de provocar las inundaciones, y la relación que hay entre los patrones sinópticos y las magnitudes de las inundaciones. En la Figura 4.12 se puede ver la reconstrucción de los cuatro patrones más comunes.

El PSPA fue elaborado por el Dr. Juan Carlos Peña, miembro del Grupo de Investigación FluvAlps, y relaciona las inundaciones más catastróficas en el sureste de la Península Ibérica y el patrón sinóptico.

Los resultados muestran diferentes niveles de situación sinóptica (Fig. 4.12):

- SP 1 está relacionado con un frente que desarrolla una DANA desde el D-3 (día 3 antes del evento) hasta el día del evento, con una intensificación en el flujo de sureste. Este tipo de situación sinóptica provoca inundaciones de magnitud 1,98 de media en el área de estudio.
- SP 2 definido por el paso de un frente frío que desarrolla una DANA desde el D-1 hasta el día del evento con un flujo del sureste. Hay dos días de secuencia que provoca inundaciones con una magnitud media de 0.98.
- SP 3 conecta un anticiclón bloqueado en el norte de Europa con un flujo intenso de sureste durante toda la secuencia de 7 días antes del evento. Este tipo de patrón sinóptico es el más destructivo y provoca inundaciones con una magnitud media de 2.33.
- SP 4 está definido por un flujo de sureste desde el D-1 hasta el día del evento. Por lo tanto, después de dos días de secuencia, provoca inundaciones con una magnitud media de 0.80.

Si se analiza evento a evento durante toda la serie de datos, se puede observar como el SP 1, está aumentando conforme se acerca al presente y el SP 3, el patrón sinóptico que representa a las inundaciones de mayor magnitud está perdiendo importancia en el análisis de los datos.

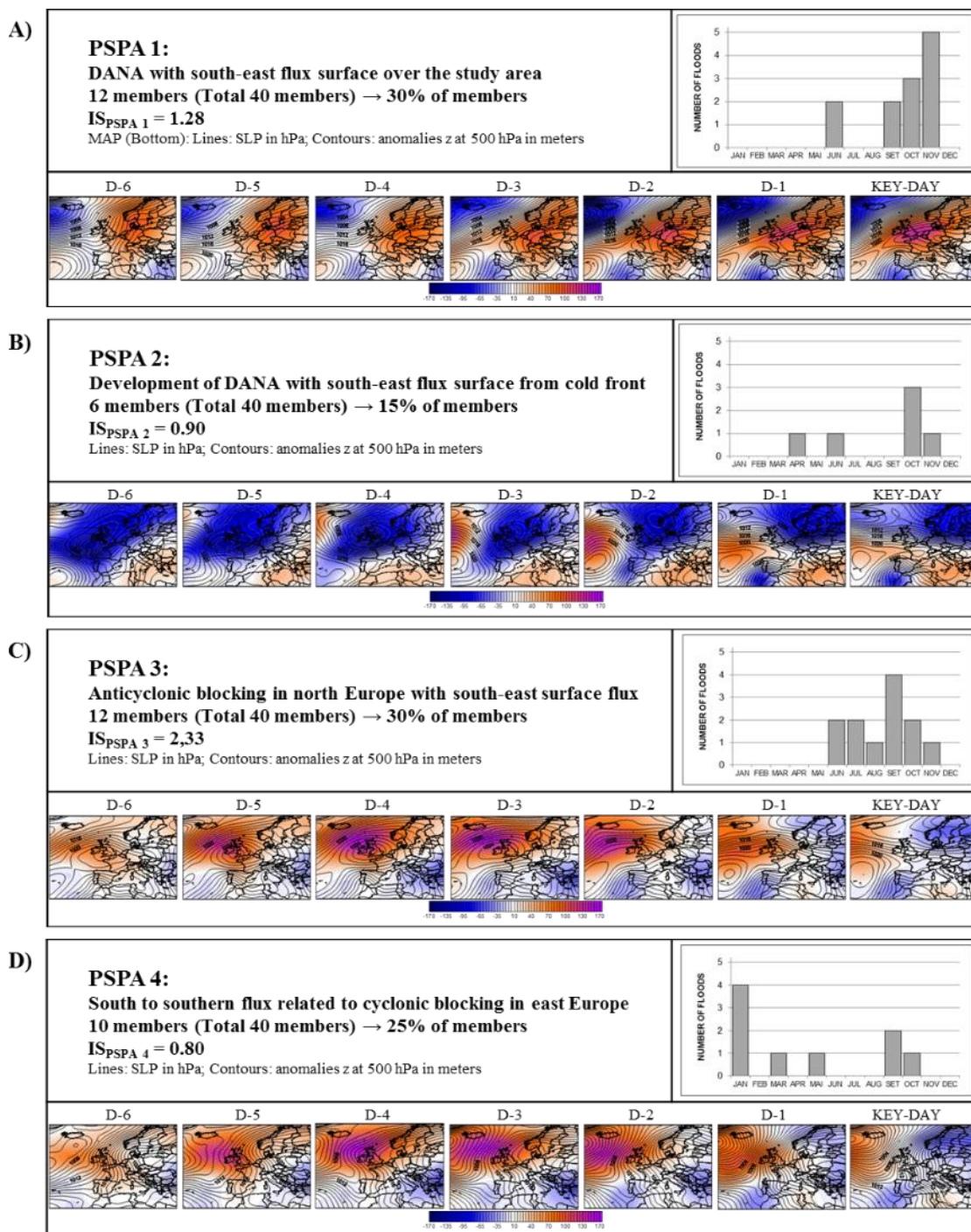


Figura 4.12. Simulación de las situaciones sinópticas más comunes en la generación de las inundaciones. El análisis y la simulación se ha llevado a cabo por el Dr. Juan Carlos Peña, a partir del tratamiento de datos de magnitud de inundaciones y de la reconstrucción sinóptica del 20th Reanalysis.

4.6.4. North Atlantic Oscillation y Western Mediterranean Oscillation

Los eventos extremos en el área de estudio ocurren en más de un 90% como consecuencia de lluvias torrenciales. Éstas, están controladas por patrones sinópticos en la mayor parte de la vertiente mediterránea de la Península Ibérica (González-

Hidalgo et al., 2009). En la Península Ibérica existen dos teleconexiones sinópticas principales entre otras, que controlan los patrones de precipitaciones, estas son el NAO (*North Atlantic Oscillation*) y el WeMO (*Western Mediterranean Oscillation*) (Martín-Vide y López-Bustins, 2006; Oliva y Moreno, 2008; López y Francés, 2010). Sin embargo, el NAO no funciona del todo correctamente en el levante español en los meses de invierno y otoño que es cuando tiene más influencia en el resto de Europa (Luterbacher et al., 2002). En el sureste peninsular prácticamente no tiene influencia, como consecuencia de la ubicación. Peña et al. (2015) afirman que no tiene una relación significativa en el sudeste, y que esto puede ser por estar al sur de las *westerlies* y de las barreras orográficas que existen entre el Atlántico y el área de estudio (Luterbacher et al., 2002; Martín-Vide y López-Bustins, 2006; Barriendos et al., 2019).

El WeMO se define como un dipolo de presión atmosférica, igual que cualquier teleconexión, en este caso entre el Golfo de Liguria y el Golfo de Cádiz (Martín-Vide y López-Bustins, 2006). Afecta principalmente a la región que comprende la vertiente mediterránea de la Península Ibérica, sur de Francia y vertiente del mar Tirreno en Italia. Para que haya precipitaciones en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica, Martín-Vide y López-Bustins (2006) definen que la conexión tiene que ser negativa.

El NAO se define como un dipolo de presión atmosférica entre las Azores e Islandia (Walker y Bliss, 1937; Jones et al., 1997; Luterbacher et al., 2002), teniendo influencia en el oeste de la Península Ibérica pero no así en la vertiente mediterránea, como consecuencia de las barreras orográficas que deben atravesar las depresiones provenientes del Atlántico.

Sin embargo, el área de estudio está dividida por la influencia en el área más occidental del NAO. En ambos casos el índice debe ser negativo (Luterbacher et al., 2002; Oliva et al., 2006). Para que el índice se considere negativo, la correlación entre los dipolos tiene que ser menor a -1, para que sea positivo, superior a +1, mientras que si está en la franja entre +1 y -1, se considera que el índice es neutro. Por lo tanto, si comparamos cada una de las series de inundaciones históricas con las teleconexiones NAO y WeMO, se puede saber si los eventos en el sureste tienen relación a nivel climático con las teleconexiones.

Mientras que el WeMO está reconstruido desde el año 1500 (Martín-Vide y López-Bustins, 2006) mensualmente, el NAO, está reconstruido, también desde 1500 (Luterbacher et al., 2002). Si comparamos la serie de inundaciones históricas con la serie de WeMO, se puede comprobar como en durante los *clusters* descritos de la serie de inundaciones, el WeMO tiende a ser más negativa. Sobre todo, coincide en el periodo de finales del Siglo XIX y en los últimos 30 años. También coincide el último *cluster* desde 1966 hasta 2017, durante todo este periodo el WeMO está en fase negativa, salvo un breve periodo cuando el WeMO supera el 0, y durante unos años está en fase positiva.

Pasado el año 1900 hubo un periodo en el que fue negativo y, sin embargo, no se ve reflejado en las series de inundaciones. Si focalizamos la comparación con las

inundaciones ocurridas en la cuenca del río Almanzora, tal y como se puede observar en la Fig. 4.13, se puede constatar cómo no hay una correlación muy clara entre el índice WeMO y la magnitud de las inundaciones, ya que un índice negativo se considera a partir de -1.

De todas formas, tal y como se puede observar sí que existe una cierta tendencia hacia la negatividad del índice cuando ocurren las inundaciones. En azul están sombreados los clústeres que entran dentro del periodo reconstruido de WEMO (1821-2017) ([Climatology Group Data, 2018](#)). Además, en grandes eventos como en 1924, coincide con una cierta negatividad del índice. Por lo tanto, a pesar de no tener una correlación clara, se puede subrayar cierta tendencia positiva entre magnitud de las inundaciones en el río Almanzora y el índice WeMO.

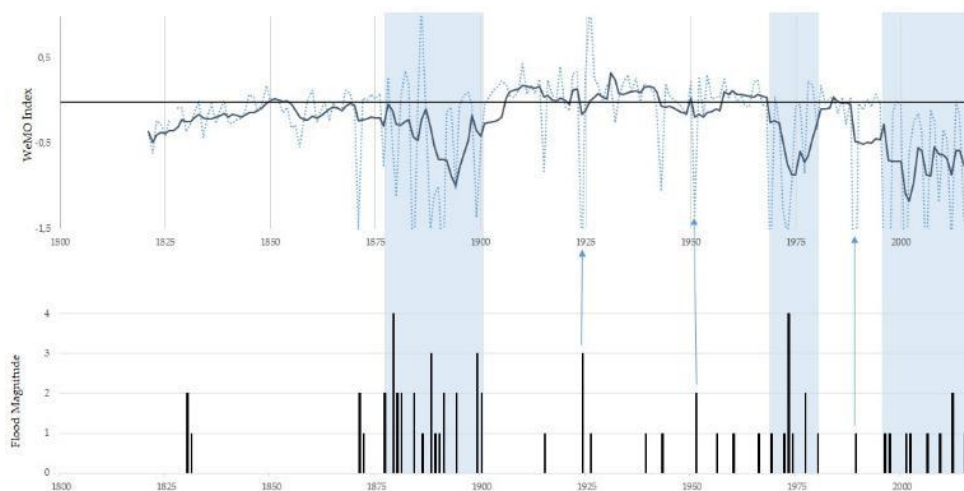


Figura 4.13. Comparación entre la serie de inundaciones del río Almanzora (magnitud) y el índice WeMO en invierno normalizado. En azul marcados los periodos coincidentes entre índice WeMO negativo e inundaciones.

Esto puede ser debido a que el índice no correlaciona del todo bien tan al sur de la Península y que hay una parte del área de estudio que está más influenciada por el NAO (oeste de la cuenca del río Andarax) (Martín-Vide y López-Bustins., 2006). Sin embargo, Luterbacher et al. (2002), sugieren que ninguna de las cuencas de estudio está influenciada por el índice NAO.

En los últimos 20 años se puede observar como hay un aumento del número de inundaciones. Este aumento no es debido tanto al cambio de dinámica de inundaciones como al aumento de información diaria. Además, tal y como se ha comentado anteriormente, la exposición de la población construyendo en zonas inundables ha hecho que aumente el número de inundaciones (Blösch et al., 2017; Petrucci et al., 2019).

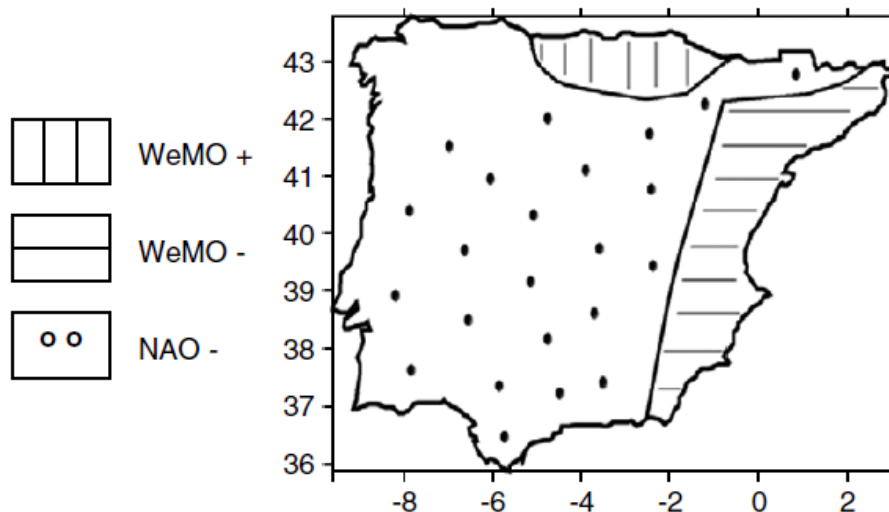


Figura 4.14. Arriba: mapa de la Península Ibérica. Se expresa la influencia que tienen las teleconexiones en esta área geográfica y en qué modo afectan territorialmente. Fuente: Martín-Vide y López-Bustins, 2006.

4.7. CONCLUSIONES

A partir del análisis de las series de inundaciones históricas de las cuatro cuencas de estudio, la frecuencia y las incertidumbres que se ofrecen, se pueden interpretar una serie de conclusiones. Asimismo, desde la relación que tiene la frecuencia de inundaciones con los diferentes patrones de teleconexiones que afectan mayoritariamente a Europa y, en concreto al suroeste de Europa, se establecen algunas conclusiones relacionadas con los desencadenantes climáticos.

En relación con las series de inundaciones, se puede concluir que cuanto más cerca de la actualidad, más registros hay y más descriptivos son. Por otra parte, las inundaciones dentro de las cuatro cuencas estudiadas coinciden en un gran número de eventos. La proximidad de las cuencas, en algún caso, separadas simplemente por un pequeño cerro en las cuencas bajas como es el caso de las cuencas de los ríos Antas y Aguas, es un factor importante a tener en cuenta. Existen muchos más registros en las dos cuencas de mayor tamaño, ya que en las riveras de los ríos Almanzora y Andarax se localizaan poblaciones cerca del cauce, y además se conservan más archivos históricos que los demás casos.

Con respecto con otras cuencas cercanas, la frecuencia de inundaciones tiene mucha coincidencia con la cuenca del río Segura. Aunque la serie de inundaciones del río Segura tiene más datos y durante los *gaps* mantiene una frecuencia bastante uniforme. Las cuencas mediterráneas de la Península Ibérica tienen una relación dispar, mientras que hay periodos en los que sí coincide un aumento del número de inundaciones por década, en otros no hay tanta correlación. Por lo que respecta a las cuencas atlánticas de la Península, hay correlación, pero en menos medida que con la vertiente oriental. En cuanto a las cuencas europeas, no hay mucha conexión entre

los episodios con más eventos, posiblemente porque está mucho más influenciadas por los *westerlies* que el área de estudio.

Las situaciones sinópticas que incrementan la ocurrencia de las crecidas no se puede afirmar que estén directamente relacionadas con ninguna de las teleconexiones aquí expuestas. Si bien, el WeMO, tiene más relación con la ocurrencia de eventos extremos y tiende a tener más aún según la serie se acerca al presente. En cuanto al NAO, no se puede afirmar que exista tal relación.

5.

FRECUENCIA Y MAGNITUD DE
LAS INUNDACIONES
HISTÓRICAS DEL RÍO
ALMANZORA

Uno de los objetivos principales de crear una serie de inundaciones para una cuenca hidrográfica es poder estimar la magnitud y las características de las avenidas en el futuro, además de la frecuencia de las mismas. Para ello, es necesario transformar los datos cualitativos de los que se compone una serie histórica (descripciones) en datos cuantitativos (caudales) (Salinas et al., 2016). De este modo la serie de inundaciones con niveles intensidad de avenidas es comparable a la existente en otras cuencas que tengan unas características similares en cuanto a magnitudes de inundaciones (Barriendos et al., 2019). Además, la estimación de periodos de retorno de caudales extraordinarios permite mejorar la ordenación del territorio en áreas sensibles a eventos extraordinarios.

En este capítulo se consideran las descripciones tratadas en el capítulo anterior desde otro punto de vista. Primeramente, se presenta el marco teórico del capítulo haciendo hincapié en el análisis de frecuencia de inundaciones⁷ (en adelante FFA) a partir de inundaciones históricas. Utilizando las descripciones y de las magnitudes aplicadas se reconstruyen los caudales que pudieron llegar a tener. Posteriormente, se aplican varios métodos para el cálculo de periodos de retorno a partir de los caudales estimados y de los caudales instrumentales que se tienen en la cuenca del río Almanzora. Finalmente, se presentan una serie de conclusiones extraídas a partir de los resultados de la estimación de caudales y del periodo de retorno en el río Almanzora.

5.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El análisis de las frecuencias de las inundaciones es un método cada vez más habitual en los estudios de inundaciones históricas y paleoinundaciones (Schulte et al., 2019b). Los primeros estudios sobre la frecuencia de los eventos extremos se iniciaron en los años 1920 (Fréchet, 1927; Fisher y Tippett, 1928), en ellos se hacía especial énfasis en la evaluación de datos estadísticamente extremos y poco probables dentro de una serie relativamente larga (Baker, 1989; Gaume, 2018). Posteriormente, en los años 1980, el método desarrollado en los años 1920 se mejoró gracias a los trabajos de Cook, (1987) y Sutcliffe (1987), además de los aportes en materia de divulgación de Baker (1989). La mejora se centró en el perfeccionamiento de ecuaciones ya existentes, y el desarrollo de nuevas metodologías mediante todo tipo de fórmulas matemáticas, con el objetivo de hacer un cálculo con menos incertidumbre y más cercano a la realidad (Bradley y Potter, 1992; Reis y Stedinger, 2005; Viglione et al., 2013).

Actualmente el FFA es una técnica muy común en el estudio de las series largas de inundaciones de baja frecuencia. En las últimas décadas se ha ampliado la literatura (Reis y Stedinger, 2005; Zaman et al., 2012; Viglione et al., 2013; Himmelsbach et al., 2015; Salinas et al., 2016; Hailegeorgis y Alfredsen, 2017; Gaume, 2018; etc.). A partir de los avances teóricos que se han ido presentando durante los últimos 20 años, expuestos por Reis y Stedinger (2005) y por Salinas et al. (2016), se ha podido

⁷ En inglés *Flood Frequency Analysis*.

desarrollar un FFA con incertidumbres, pero sin tanto rango de error como antes de los avances teóricos comentados anteriormente (Gaume, 2018).

La reconstrucción de inundaciones (paleoinundaciones) y caudales (paleocaudales) se realiza a partir de diferentes tipos de registros (Viglione et al., 2013). En la escuela norteamericana el registro más usado ha sido el geomorfológico, por la influencia que tuvieron los estudios de Baker (1987, 1989) en los años 1990. Sin embargo, este criterio no solo se ha aplicado en Estados Unidos, sino que también ha habido diversos estudios centrados en el continente europeo (Thorndycraft y Benito, 2006; Benito et al., 2011; Machado et al., 2011; Schulte et al., 2015; Wilhelm et al., 2018a) bajo el amparo de la geomorfología, por la gran cantidad de *proxies* que se pueden utilizar para reconstruir las series de inundaciones, y aumentar la precisión de éstas (Schulte et al., 2019b).

Más recientemente se han empezado a aplicar técnicas de los estudios dendrocronológicos y dendromorfológicos al FFA (Kundzewicz et al., 2017; Ballesteros et al., 2017; St. George y Mundelsee, 2018). En cuanto a modelos matemáticos relacionados con alturas de inundaciones marcadas en el terreno (puentes, edificios, murallas), existen diversos trabajos, aunque estos son menos abundantes por la componente efímera de las construcciones antrópicas (Wetter et al., 2011; Ruiz-Bellet et al., 2015; Balasch et al., 2018). Finalmente, los archivos históricos son la última metodología que ha sido aplicada a los FFA, ya que suelen tener valor cualitativo pero no cuantitativo, factor determinante para ser empleado como registro en el FFA (Barriendos et al., 2014). Los estudios más recientes que han fundamentado el FFA en archivos históricos, teniendo en cuenta el trabajo que desarrollaron Reis y Stedinger (2005), ambos con áreas de estudio en la Península Ibérica, son los que fueron llevado a cabo por Balasch et al. (2018) y por Sánchez-García et al. (2019).

Los trabajos que construyen un FFA tienen un objetivo común, a pesar de contar con diferentes herramientas de análisis. Éste es, mediante el cálculo del FFA, analizar el riesgo de inundaciones de baja frecuencia y evaluar la peligrosidad que tienen para la población. Este riesgo se analiza a través del tiempo que puede pasar entre un evento catastrófico y otro, así es como se conoce conceptualmente el término de frecuencia de inundaciones (Baker, 2008; Viglione et al., 2013; Salinas et al., 2016; Gaume, 2018). La forma más habitual de presentar un FFA son los periodos de retorno, siendo la inundación de 100 años las más usual en los estudios de riesgos de inundación (St. George y Mundelsee, 2018).

La elección de la distribución en los primeros pasos del estudio está justificado por el buen ajuste que tiene en ríos de latitudes medias (Chbab et al., 2006; Te Linde et al., 2010) y en ríos de cuencas mediterráneas (Barrera et al., 2006; Barriendos et al., 2014). Concretamente para el río Almanzora se utilizó también la función de probabilidad de Gumbel (Stokes et al., 2012), teniendo en cuenta el periodo instrumental (1963-2009) registrado de la estación de Sta. Bárbara.

Sin embargo, la distribución de GEV no es la única que se ha utilizado en los trabajos de FFA, otros trabajos relacionados con las inundaciones históricas aplican un límite

inferior aplicando la distribución logística generalizada (GLO, *Generalised Logistic Distribution*) (Castellarin et al., 2012; Macdonald et al., 2006, 2014) y también la *pooling distribution* (Cunnane, 1978; Bayless y Reed, 2001). En los estudios de inundaciones históricas existe la problemática de la pérdida de información acerca de las inundaciones de bajas intensidades (Macdonald et al., 2014). Por lo tanto, en el análisis de frecuencias se aplica un límite inferior para tener en cuenta solamente las inundaciones que lo superen. De esta manera, el FFA tienen en cuenta inundaciones históricas de altas intensidades y es mucho más real la reconstrucción del periodo de retorno para las inundaciones de baja frecuencia. Sin tener en cuenta un límite inferior, las intensidades de alta frecuencia, como por ejemplo los periodos de retorno de 1, 5 y 10 años ($T= 1, 5, 10$) suelen tener caudales sobreestimados (Macdonald y Sangster, 2017)

El límite inferior que se aplica en este tipo de distribuciones para las inundaciones históricas, puede ser una altura o un caudal, y se utiliza con el objetivo de disminuir la importancia en el FFA de las inundaciones históricas de alta frecuencia. Las inundaciones de alta frecuencia no han sido registradas en los archivos históricos o en las fuentes secundarias como consecuencia de la poca influencia que hayan podido tener en la población y en los campos cercanos, a pesar de haber tenido un caudal o una altura fuera del promedio anual (Macdonald et al., 2014).

Existen dos ecuaciones para aplicar estas distribuciones donde se tiene en cuenta un umbral determinado a partir del cual se tiene en cuenta un evento histórico. La ecuación (3) representa la distribución GLO:

(3)

$$f_x(x) = \frac{\alpha^{-1} e^{-(1-\kappa)y}}{(1 + e^{-y})^2}$$

$$y = \begin{cases} -\kappa^{-1} \ln\left(1 - \frac{\kappa(x - \xi)}{\alpha}\right), & \text{cuando } \kappa \neq 0 \\ \frac{x - \xi}{\alpha}, & \text{cuando } \kappa = 0 \end{cases}$$

Donde ξ , α y κ son los parámetros de localización, escala y forma, respectivamente. Dependiendo del valor del parámetro de forma κ , el valor de x , está limitado de la siguiente manera: $-\infty < x \leq \xi + \alpha/\kappa$ si $\kappa > 0$; $-\infty < x < \infty$ si $\kappa = 0$; $\xi + \alpha/\kappa < x < \infty$ si $\kappa < 0$. Esta fórmula fue desarrollada por *Flood Studies Report* (FSR) y publicada por NERC (1975) y Stedinger y Cohn (1986) (Macdonald et al., 2014).

Por otra parte, para aplicar la *pooling distribution* la ecuación (4) es diferente y se define de la siguiente manera:

(4)

$$P_i = \frac{k}{n} + \frac{n-k}{n} \frac{i-k-\alpha}{ns-e+1-2\alpha}$$

Donde k es el número total de inundaciones extremas que han superado el umbral definido; e , número de inundaciones extremas durante el periodo instrumental; h , longitud en años de la serie de inundaciones históricas (pre-instrumental); s ,

longitud en años de la serie sistemática (instrumental); n , representa el número combinado de años con datos ($h + s$); y α , 0.44 constante que representa el trazado de la posición introducida.

Estas ecuaciones se ajustan correctamente en muchos estudios y en concreto, para el trabajo del FFA en el río Almanzora (Sánchez-García et al., 2019). De tal manera que la ecuación (4) es la que mejor ajusta los datos que se obtuvieron de los archivos históricos y que posteriormente se trataron (Fig. 5.2). La aplicación de un umbral inferior garantiza la aplicabilidad del método en inundaciones históricas de baja frecuencia.

Aunque la aplicación de la GLO y *pooling distribution* se ajustaba perfectamente a los datos de los que se disponen en la cuenca del río Almanzora, se realizaron otros análisis con el objetivo de descartar otras técnicas para aplicar un FFA, y que tuvieran en cuenta otras variables. Una herramienta que se utilizó fueron algunos paquetes del *software R*® (R Core Team, 2013) donde se desarrollan ecuaciones secuenciales bayesianas (5) (Viglione et al., 2013; Salinas et al., 2016). En esta herramienta se tiene en cuenta también la incorporación de datos históricos como también datos instrumentales, sin embargo, se ajusta mejor a caudales estimados a partir de alturas (Viglione et al., 2013, 2018).

La última actualización del paquete de R que se utilizó fue en junio del 2018, el paquete que se utilizó fue nsRFA (Viglione et al., 2018), donde se ha programado una serie de operaciones bayesianas, las cuales el algoritmo que se utiliza para el cálculo de periodos de retorno más comúnmente es el *Bayesian Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) (Reis y Stedinger, 2005; Gaál et al., 2010; Viglione et al., 2013; Salinas et al., 2016; Bösmeier et al., 2017; Gaume, 2010, 2018; Evin et al., 2019). Este tipo de operaciones permiten estudiar un área concreta, siendo una cuenca hidrográfica media o pequeña. Sin embargo, con este algoritmo existe la opción de realizar estudios regionales (paquete RFFA) a escala de más de una cuenca hidrográfica (Zaman et al., 2012; Hailegeorgis y Alfredsen, 2017), o de una cuenca hidrográfica de grandes dimensiones.

El MCMC incorpora al cálculo del periodo de retorno los valores de caudales estimados de las inundaciones históricas y tiene en cuenta los umbrales de caudal que no se han superado en un tiempo concreto y el periodo de tiempo que ha pasado entre un caudal límite extremo de otro extremo (Halbert, 2018). Sin embargo, en el caso de estudio se siguen teniendo incertidumbres por los pocos valores con caudales naturales o inundaciones de alta frecuencia. Como consecuencia de que no se tienen suficientes muestras, y el error es más elevado a periodos de retorno bajos (Baker, 2017). De este modo, como se discute en los trabajos de inundaciones históricas, los archivos históricos y las fuentes secundarias solamente quedan reflejadas las inundaciones catastróficas de baja frecuencia y alta intensidad (Macdonald et al., 2014). La ecuación de MCMC se basa en un cálculo mediante iteración, repitiéndose de 3 a 5 veces el cálculo del periodo de retorno hasta que los resultados se ajustan con menos errores. La ecuación simplificada que se utiliza es la siguiente:

(5)

$$dx = f(x)dt + g(x)dq$$

Donde: dq describe el vector de *Brownian* del proceso de movimiento de la covarianza Qdt (Salinas et al., 2016).

Para contrarrestar la incertidumbre generada por la utilización de datos instrumentales, los cuales tienen una secuencia temporal corta, Baker (2017) afirma que la inclusión de datos históricos en el FFA aumenta la fiabilidad a largo plazo, aunque hay que tener en cuenta que los valores de inundaciones menores o los valores de caudales normales, están sobreestimados.

Para la correcta aplicación de un FFA se necesita que el río que sea objeto de estudio tenga una estación de aforos, con una serie de datos instrumentales lo más larga posible y más continua posible (Himmelsbach et al., 2015). Sin embargo, se ha diseñado un método para poder hacer un FFA en cuencas parcialmente monitorizadas a partir de datos históricos o caudales estimados (Gaume et al., 2010; N'Guyen et al., 2014; Salinas et al., 2016). Este es el método para la estimación de caudales para inundaciones históricas a partir de extrapolación.

Además de R, existen otros softwares para el cálculo de periodos de retorno que se han utilizado aunque con poca fiabilidad en el caso del Río Almanzora. El programa Afins 2.0 desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia es capaz de ajustar la distribución sin límite superior a las siguientes funciones: Exponencial, LogNormal 2 parámetros, Gumbel, Pareto 3 parámetros, GEV, TCEV y SQRT-ETmáx. Y con límite superior: EV4, LN4 y TDF. Este software ha sido utilizado para algunos trabajos de FFA (Ruiz-Bellet et al., 2015; Machado et al., 2015; Ruiz-Pérez et al., 2016; Puertes y Francés, 2016; Hernández-López y Francés, 2017; etc.), aunque no ha sido útil en el caso de estudio como se podrá comprobar más adelante.

El FFA se ha elaborado por todo el mundo utilizando los diferentes métodos. A nivel de varias cuencas hidrográficas de grandes dimensiones (Zaman et al., 2012; Benito et al., 2015; Hailegeorgis y Alfredsen, 2017; Mangini et al., 2018), en cuencas grandes (Himmelsbach et al., 2016; Pino et al., 2016; Balasch et al., 2018; Santos et al., 2018), cuencas de escala más local (Gaál et al., 2010; Sánchez-García et al., 2019). En la Península Ibérica es necesario aumentar el número de trabajos relacionados con el FFA ya que proporcionan una información muy valiosa a la administración pública. Hasta ahora se han hecho varios estudios (Machado et al., 2015; Benito et al., 2015; Balasch et al., 2018; Sánchez-García et al., 2019) pero aún son necesarios muchos más para tener completa la red hidrográfica nacional.

5.2. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE INUNDACIONES

En el Capítulo 4 se ha analizado la frecuencia de inundaciones desde el punto de vista temporal. Mientras que en este capítulo se analiza la frecuencia de tales eventos desde el punto de vista de la frecuencia de las magnitudes. Además se exponen los resultados de la estimación de los caudales de las crecidas históricas y, a partir de

estos caudales reconstruidos, se representa el periodo de retorno que resulta del cálculo para el río Almanzora. Todo ello se realiza teniendo en cuenta tanto datos instrumentales, de la estación de aforo de Santa Bárbara (1962-2018) como también datos estimados (1500-1962). Finalmente se muestra la discusión de los resultados comparándolos con otras cuencas de similares características.

5.2.1. Estimación de caudales históricos

Se debe incidir en la diferencia entre el periodo de calibración, correspondiente a los datos instrumentales (1962-1992 y 1992-2017), y del periodo reconstruido (1500-1962) (Wetter, 2017). En el periodo instrumental se diferencian dos periodos de medición del caudal como consecuencia de la construcción del embalse de Cuevas del Almanzora, el primero desde 1962 hasta 1992 y el segundo, desde 1993 hasta 2017.

Se ha aplicado la técnica de reconstrucción de caudales históricos a partir de la metodología explicada por Salinas et al. (2016) y Bösmeier et al. (2017). De esta manera, se ha dado un valor numérico (caudal) a las inundaciones históricas dependiendo de la magnitud de cada una de ellas. Así, se diferencian tres clases de caudales correspondientes cada uno de ellos a una magnitud diferente. Sin embargo, según las descripciones hay tres avenidas que deberían tener un caudal mayor. Por lo tanto, mediante esta estimación se subestiman tres avenidas históricas que según las descripciones deberían tener un caudal como mínimo similar a la inundación de 1973.

De este modo, hay cuatro excepciones: las inundaciones que han ocasionado más daños según las descripciones se les han atribuido el caudal máximo registrado en 1973 durante el periodo instrumental, y siendo estimado posteriormente en $5.600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Vallejos et al., 1994).

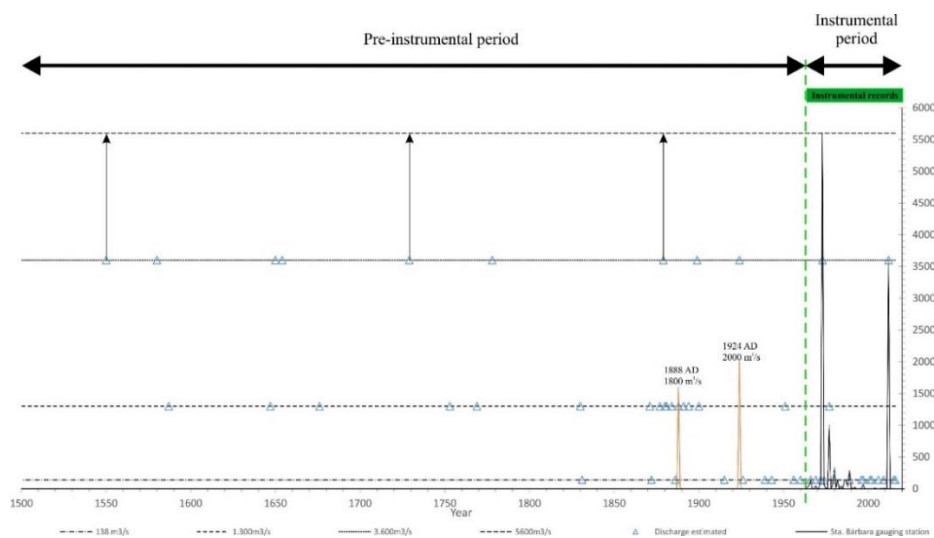


Figura 5.1. Serie de caudales históricos reconstruidos a partir de la estación de aforo de Sta. Bárbara (1962-1992, 1992-2018). Se han utilizado los métodos de extrapolación de caudales instrumentales a caudales (magnitud) proyectados (Salinas et al., 2016). Sánchez-García et al., 2019.

En la Figura 5.1 se presentan los resultados de la estimación de los caudales históricos. En la serie se puede observar como existe cierta ciclicidad en cuanto a la frecuencia de las inundaciones de magnitud 4. Los eventos que fueron caracterizados como crecidas de magnitud 3, están directamente relacionados con los *clusters* explicados en el capítulo anterior. El pico máximo de caudal que ha sido alcanzado en la estación de aforo de Sta. Bárbara ha sido de $5600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ durante el evento de 1973 (17/10/1973). Mientras que el pico mínimo de caudal registrado ha sido para las inundaciones de magnitud 1, correspondiendo un intervalo comprendido entre 45 y $800 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Esta amplitud en el orden de magnitud de los caudales anuales en el río Almanzora, indica el tipo de flujo repentino y con características marcadamente mediterráneas (Llasat y Ramis, 1996).

A partir de los picos máximos de caudal anual (MCA en adelante), registrados en la estación de Aforo de Sta. Bárbara durante el periodo instrumental (1962-2017), se extrapolaron los caudales estimados según las 3 magnitudes de inundación que se habían preestablecido anteriormente. Los caudales estimados fueron asignados para las inundaciones históricas del periodo comprendido entre 1500 y 1962.

Otro dato a destacar de la serie de caudales estimados es la poca variabilidad de caudales hasta mediados del Siglo XIX. Estas faltas de valores son consecuencia de la falta de registros históricos de inundaciones de magnitudes bajas. Por ello, las inundaciones de Magnitud 1 y, probablemente, algunas inundaciones de Magnitud 2 que realmente pudieron ocurrir, no están representadas en el gráfico. Este hecho en ciudades históricas Europeas no se ve reflejado por la cantidad de datos históricos que se tienen (Brázdil et al., 2006; Wetter, 2017). Los datos instrumentales con los que se cuenta en estas zonas son mucho más amplios que la serie instrumental del río Almanzora (Wetter et al., 2011; Brázdil et al., 2014).

La Figura 5.1 muestra la distribución de los datos instrumentales registrados en la estación de aforo de Sta. Bárbara, además de cada caudal estimado para las diferentes magnitudes de las inundaciones históricas y de las inundaciones que han ocurrido durante el periodo instrumental. A partir de la estimación del caudal y de la distribución de las inundaciones históricas, se ha obtenido la mediana del caudal de cada clase de magnitud. La mediana por tanto, ha sido utilizada como valor estimado para los eventos históricos. La Figura 5.1, también muestra que el caudal medio está cercano a los valores bajos de caudal, y que las inundaciones con caudales registrados en los cuartiles 3º y 4º son menos frecuentes que las inundaciones que se ubican en los cuartiles 1º y 2º. Según los resultados, los eventos no registrados de magnitud 1, corresponden a un caudal de $138 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, los eventos de magnitud 2 a un caudal de $1300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; magnitud 3, a un caudal de $3600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, y finalmente los eventos que han sido asignados como magnitud 4, han sido estimados con el valor del pico máximo, siendo este de $5600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

La frecuencia de las inundaciones, entendiendo los dos periodos de datos por separado, 1500-1961 y 1962-2018 (datos instrumentales y datos estimados), muestran que ha habido al menos tres eventos extremos (1550, 1729 y 1879), los cuales con toda probabilidad alcanzaron el pico máximo de caudal, comparado al evento de 1973. A

partir del análisis de la Figura 5.1, es posible observar cierta variabilidad en los caudales obtenidos de los datos instrumentales, donde es clara la irregularidad de las inundaciones de los últimos 50 años, como consecuencia de las pocas inundaciones de magnitud elevada que ha habido en este periodo (1973 y 2012).

Durante el periodo instrumental, solamente ha habido tres inundaciones con magnitudes 3 y 4, es decir, que hayan superado el umbral descrito en el FFA: $3600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. El FFA utilizado para este estudio muestra la importancia de extender la base de datos de inundaciones (Sánchez-García et al., 2016), mediante inundaciones históricas (Sánchez-García et al., 2019), incluyendo periodos pasados sin datos instrumentales. De hecho, la inclusión de datos históricos junto con caudales estimados para cada magnitud de inundación contribuye a bajar significativamente el periodo de retorno de las grandes inundaciones, y conseguir unos resultados teniendo en cuenta un periodo de tiempo más largo y por tanto, controlando inundaciones que han ocurrido fuera del periodo instrumental. Esto claramente se ve reflejado en la comparación de los periodos de retorno calculados por nuestro estudio (Sánchez-García et al., 2019), a partir de inundaciones históricas y el periodo de retorno calculado por la Agencia Andaluza del Agua (AAA, 2011; CEDEX, 2011) (Tabla 1). Otros estudios también subrayan la importancia de incluir inundaciones históricas para corregir la subestimación de los cálculos de FFA, que han tenido en cuenta periodos cortos de datos instrumentales (Balasch et al., 2010, Barriendos et al., 2014, Salinas et al., 2016). Con un periodo de tiempo más corto, hay menos posibilidades de encontrar un evento con un caudal extraordinario (Balasch et al., 2010). Por lo tanto, una serie de inundaciones larga es requerida para elaborar un FFA más fiable (Himmelsbach et al., 2015; Wetter, 2017).

Finalmente, cabe mencionar que existen otras incertidumbres relacionadas con el FFA que pueden ser introducidas por los cambios en la dinámica de la magnitud de las inundaciones en las últimas décadas, sobretudo como consecuencia de los cambios recientes de uso del suelo. También a partir de la diferencia que se observa entre la relación de caudales y de magnitud como consecuencia de la construcción del embalse del Almanzora. Los errores en el FFA son consecuencia también de algunas afectaciones producidas por algunos datos inconsistentes de las inundaciones. La pérdida de datos históricos y discontinuidad en los datos de caudal son la mayor fuente de error a partir de una aproximación tentativa para reconstruir caudales a partir de fuentes históricas o instrumentales.

Los datos instrumentales comprenden un periodo total de 53 años, desde 1962 hasta 2018. Sin embargo, en el año 1992 se puso en funcionamiento el embalse de Cuevas del Almanzora, hecho que cambia por completo la dinámica hidrológica del río. La principal consecuencia del cambio es la bajada de los caudales medios. A partir de 1992 los caudales medios son sustancialmente más bajos. Únicamente son elevados cuando se encuentran afectados por las aguas de remanso producidas por el embalse. Por lo tanto, a partir de la construcción del embalse del río Almanzora no se han registrado inundaciones de magnitud 2 o mayor. Solamente la crecida del 2012 fue de magnitud 2, como consecuencia de las precipitaciones torrenciales que

hubo en las zonas de cabecera del río Almanzora y de sus ramblas (Canalejas y El Saltador) (Benito et al., 2012; Sánchez-García et al., 2019).

Además de los datos instrumentales, existen dos datos estimados de caudal correspondientes a las crecidas de 1888 y 1924, con un caudal de $1800 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $2000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, respectivamente (Stokes et al., 2012). Estos valores también se tuvieron en cuenta a la hora de estimar los caudales históricos. Por lo tanto, las inundaciones que pertenecen a la Magnitud 1, la estimación da un rango desde 45 hasta $600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, Magnitud 2 entre 600 y $2000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y Magnitud 3, entre 2000 y $5600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. hay que considerar que las inundaciones con descripciones similares, y que además representan las más catastróficas se les ha considerado como inundaciones en el umbral más alto de la estimación de Magnitud 3, por lo tanto, se les ha atribuido un caudal estimado de $5600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

A partir de 1850 se ve como aumentan los eventos de M1 y M2, como consecuencia de la aparición de los periódicos locales y el aumento de la exposición de los habitantes a las inundaciones (Sánchez-García et al., 2019), ya que hubo un aumento demográfico gracias a la industria de la minería muy elevado (Fernández-Bolea, 2014). El *cluster* de 1870-1900 se caracteriza por tener 10 eventos de M2 y 2 de M3, siendo uno de ellos calificado como M4.

5.2.2. Estimación de los periodos de retorno para el Río Almanzora

La Agencia Andaluza del Agua (2011) realizó una estimación del periodo de retorno para el río Almanzora teniendo en cuenta los datos instrumentales pertenecientes a la estación de aforo de Sta. Bárbara (1962-2011). En el trabajo no se tenía en cuenta el valor máximo registrado en 1973, ya que fue estimado posteriormente y no medido directamente (Vallejos et al., 1994). Además el siguiente valor más elevado de la serie, correspondiente al año 2012 aún no se había dado. Por lo tanto, el periodo de retorno resultante de los cálculos realizados por la AAA (2011), están infravalorados si tenemos en cuenta una serie temporal ligeramente más larga (Tabla 5.1).

En cambio, Sánchez-García et al. (2019) elaboraron una estimación del periodo de retorno teniendo en cuenta los caudales históricos estimados (1500-1962) además de los datos instrumentales (1962-2017). A partir de la aplicación de un método Bayesiano (5) (Salinas et al., 2016; Gaume, 2018), se obtiene el periodo de retorno para el río Almanzora teniendo en cuenta valores históricos (Sánchez-García et al., 2019) (Fig. 5.2), aunque como se puede observar el resultado es difícil de interpretar como consecuencia de la alta variabilidad de los límites de confianza y la no aplicación de un umbral inferior.

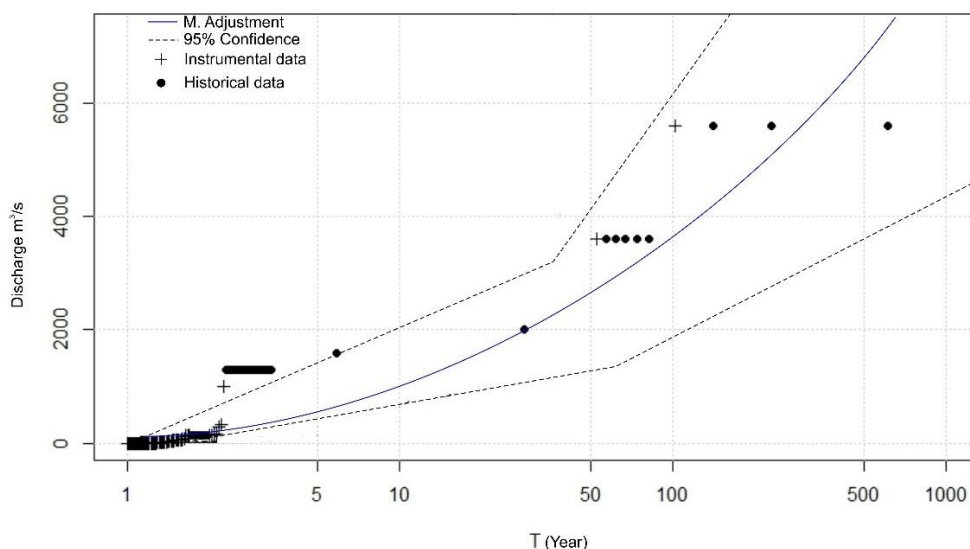


Figura 5.2. Periodo de retorno para el río Almanzora, resultante de la aplicación de un MCMC (5). Las cruces representan las inundaciones con datos instrumentales y los puntos negros las inundaciones con datos reconstruidos. La línea continua es la media de todos los valores y las dos líneas la confianza del 95%.

En este gráfico se puede observar como las inundaciones están distribuidas a lo largo del tiempo según un único caudal. La distancia temporal que hay entre un punto de caudal igual y otro, es la misma que hay entre esas dos mismas inundaciones en la serie de inundaciones históricas con los caudales reconstruidos. Tal y como se puede observar, la mayor parte de los datos de inundaciones con caudales elevados están dentro de las líneas de ajuste de confianza del 95%. Sin embargo, en caudales más bajos, el error aumenta y es por ello que no se ajusta del todo correctamente. Este error se observa sobretodo en las inundaciones de Magnitud 2, como consecuencia del gran número de inundaciones que hay de esa intensidad en un periodo de tiempo tan corto como el de 1870-1900.

También se probaron otros métodos como los desarrollados por el software Afins, tal y como se puede observar en la Figura 5.3. Sin embargo, los datos obtenidos para el río Almanzora tampoco correlacionan del todo bien aplicando esta metodología que sí que había sido utilizada por Ruiz-Bellet et al. (2015).

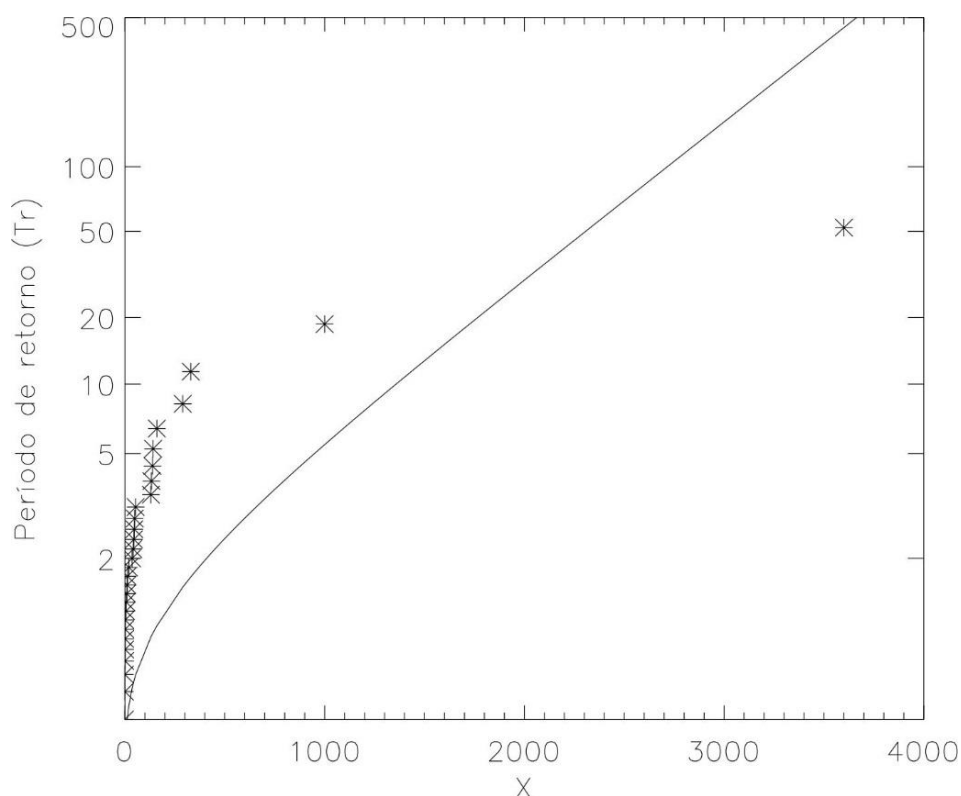


Figura 5.3. Período de retorno para el río Almanzora, resultante de la aplicación del software Afins, en este caso la distribución es exponencial.

En la Figura 5.3, se puede observar una distribución Gumbel, que no correlacionó correctamente.

Finalmente, se optó por la aplicación por el método explicado por [Macdonald et al. \(2014\)](#), [Macdonald y Sangster \(2017\)](#) y [Sangster et al. \(2017\)](#) desarrollado por *Flood Studies Report (FSR)* y publicada por NERC (1975) y Stedinger y Cohn (1986). Aplicando un umbral inferior a partir de $3600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Los resultados de la aplicación de *pooling distribution* se pueden observar en la Tabla 1 y en la Figura 5.4.

Tabla 5.1. Comparativa del periodo de retorno estimado teniendo en cuenta datos pre-instrumentales e instrumentales (1500-2018), los datos instrumentales y estimados (1879-2018) y el periodo de retorno teniendo en cuenta datos instrumentales elaborados por el AAA (1962-2011). Sánchez-García et al., 2019.

T (years)	Discharge (m^3/s) [1500-2018]	Discharge (m^3/s) [1879-2018]	AWA Discharge (m^3/s) [1962-2009]
5	385	250	65
10	684	809	
50	3082	4010	661
100	6076	>10.000	

Baker (1989), sugiere que para reducir el error por la falta de datos pequeños, una opción pasa por eliminar los caudales pequeños reconstruidos, o coger un valor medio cada 5 inundaciones. Otros autores, prefieren reducir el error eligiendo el valor mínimo de las inundaciones más elevadas (Gaume et al., 2010).

En la Figura 5.4, se puede observar el gráfico del periodo de retorno para el río Almanzora teniendo en cuenta datos.

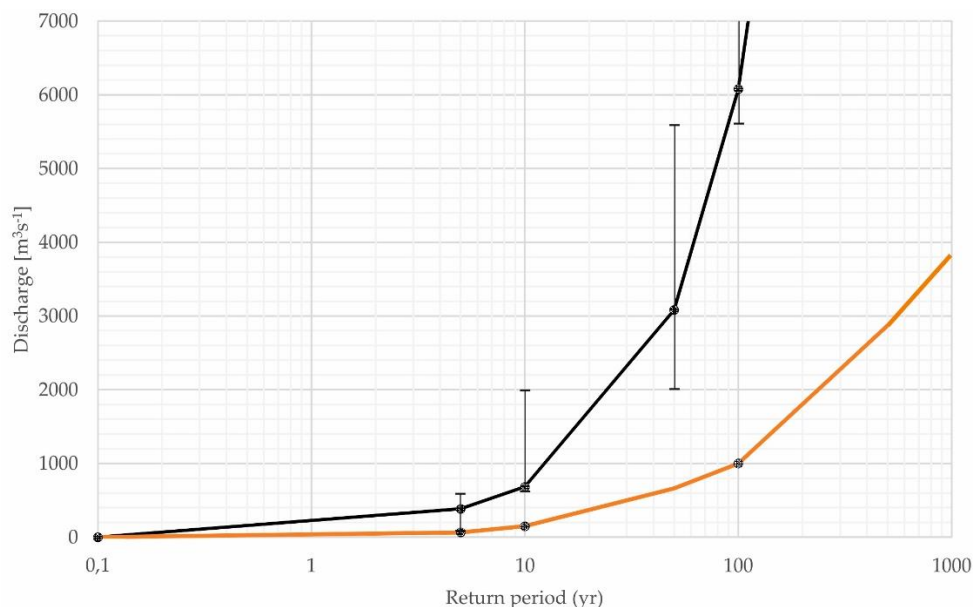


Figura 5.4. Periodo de retorno de las inundaciones históricas de la cuenca del río Almanzora (línea negra) después de la aplicación del método de *pooling distribution* a partir de datos instrumentales y reconstruidos, y Periodo de retorno elaborado por la Agencia Andaluza de las Aguas (línea naranja) a partir de datos instrumentales (1962-2009). Datos instrumentales pertenecientes a la estación de aforo de Sta. Bárbara (1962-2018) rangos establecidos a partir de la extrapolación de datos instrumentales de caudal a datos de magnitudes de las inundaciones históricas del río Almanzora.

El cálculo del periodo de retorno a partir de los datos instrumentales y de los caudales estimados de las inundaciones históricas (Fig. 5.4 y Tabla 5.1) muestran que los eventos de magnitud 1 pueden ocurrir prácticamente cada año, los eventos de magnitud 2, cada 5 años, los eventos de magnitud 3, cada 20 años y los eventos como la inundación de 1973, con un caudal de $5600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, pueden ocurrir aproximadamente cada 100 años.

Sin embargo, se ha detectado que para inundaciones de bajas magnitudes (M1 y M2), el periodo de retorno de nuestra serie de inundaciones históricas puede producir una sobreestimación de los valores. Nuestra serie completa se forma por 53 eventos, de los cuales 30 inundaciones tienen datos instrumentales de caudal y quedan 23 avenidas que se han estimado los caudales. Este número de eventos parece ser insuficiente para la correcta realización de un FFA con las magnitudes bajas (Sánchez-García et al., 2019).

Por ello se utilizó el método descrito en Macdonald et al. (2014), aplicando un umbral inferior, a fin de tener en cuenta solamente las inundaciones que lo hayan superado.

Este umbral, tal y como se ha descrito anteriormente, es de $3600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, con el objetivo de tener en cuenta los eventos de magnitudes altas.

El hecho de no tener en cuenta las inundaciones de bajas magnitudes en el proceso de obtención del FFA, reduce el problema derivado por la falta de registros de inundaciones entre el Siglo XVI y mediados del Siglo XIX. Ya que para los eventos de magnitudes 1 y 2, hay una falta de datos que va desde 1500 hasta 1952. De esta manera, el FFA estaría fuertemente influenciado por la inexistencia de inundaciones de alta frecuencia, subestimando su periodo de retorno.

Si se reduce el tiempo de la serie, calculando el periodo de retorno teniendo en cuenta el periodo cuando tenemos la serie más completa de M1 y M2 (1870-2018), el periodo de retorno cambia drásticamente. De esta manera, los resultados son: $250 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para 5 años, $809 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a 10 años y $4010 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para 50 años.

El periodo de retorno muestra una periodicidad de aproximadamente 100 años para un caudal de $5.600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ como pico máximo, estimado a partir de la inundación de 1973. Para periodos de retorno más bajos, cada 10 años se ha estimado que puede ocurrir un evento con un caudal de $684 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, y $385 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para un periodo de retorno de 5 años.

La comparación de nuestros cálculos, con los periodos de retorno estimados por la Agencia Andaluza del Agua (Tabla 5.1), indica una subestimación significativa en este último estudio, el cual se puede atribuir a la incorporación de los caudales de las inundaciones históricas de nuestra serie. A partir de la Figura 5.4, es posible verificar que el periodo de retorno para los picos de caudal más altos tiene un error considerablemente más alto que las inundaciones de bajas magnitudes. Esto se atribuye al bajo número de inundaciones con un pico de caudal superior a $2000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (10 casos), en comparación a la cantidad de caudales medios anuales que están por debajo de esta cifra.

Stokes et al. (2012) utilizan los datos instrumentales de la estación de Sta. Bárbara para calcular los periodos de retorno del río Almanzora. La inundación de 1973 representaría un evento extremo con un periodo de retorno de más de 1000 años, mientras que para Álvarez (2009) representa un evento con un periodo de retorno de 500 años. En ambos casos, igual que ocurre con los resultados de la Agencia Andaluza del Agua, el hecho de que solamente utilicen datos instrumentales y que el periodo de éstos sea tan corto, hace que se sobreestimen las frecuencias de inundaciones. Una vez se incluyen los datos históricos se puede observar que el caudal de la inundación de 1973 fue extremo pero no excepcional (Sánchez-García et al., 2019).

5.3. CONCLUSIONES

Las descripciones de las inundaciones históricas aportan información acerca de la magnitud de las avenidas. Sin embargo, la cuantificación mediante la estimación de los caudales es imprescindible para comparar los resultados con cuencas de unas características similares. Así, la estimación de los caudales de las avenidas históricas

que han afectado al río Almanzora en los últimos 500 años permite tener una perspectiva amplia de la magnitud de este riesgo natural en la zona. La inundación de 1973 se puede considerar el evento más importante del Siglo XX, pero no así de la historia. A partir de las descripciones que se han utilizado para clasificar primeramente las inundaciones por magnitud, para posteriormente estimar el caudal a partir de los datos instrumentales (1962-2018), se ha constatado que ha habido 3 inundaciones más que pudieron haber tenido un caudal similar a ese evento extraordinario, estas fueron en 1580, 1729 y 1879.

Por lo tanto, a partir del cálculo del periodo de retorno incluyendo los caudales estimados de las inundaciones históricas, se ha llegado a unos resultados más precisos en cuanto a la minimización de la subestimación o sobreestimación del periodo de retorno. La relación que existe entre los periodos de retorno y los caudales se ajustan más a la realidad cuanto más larga sea la serie de datos.

De este modo, las riadas con un mayor caudal registrado, pueden ocurrir cada 95 años, mientras las inundaciones de M3 con un caudal de $3.600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ pueden ocurrir cada aproximadamente 55 años. Por otra parte, las inundaciones catalogadas como M2 y con un caudal estimado de $1.300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y las inundaciones M1, con un caudal de $138 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, pueden ocurrir cada 15 años y 2 años, respectivamente.

6.

INUNDACIÓN DEL 28 DE
SEPTIEMBRE DEL 2012 EN LA
CUENCA DEL RÍO ANTAS

En este capítulo se presentan resultados del análisis de la inundación del 28 de septiembre del año 2012. El estudio de las características del evento se ha centrado en un área de la cuenca baja del río Antas, aunque la avenida afectó a todo el sudeste de la Península Ibérica. A pesar de la cantidad de información que se generó posteriormente en los medios de comunicación, solamente se ha publicado un artículo científico que ha tratado el tema en profundidad (Benito et al., 2012) para el río Antas y dos para las consecuencias de las inundaciones en Murcia (Hooke, 2016; Giordano et al., 2017). Por ello, es un reto analizar el evento desde el punto de vista geomorfológico, hidrológico y climatológico.

En este capítulo, se ha procedido a describir y analizar la inundación. Primeramente, se ha realizado un estado de la cuestión sobre los eventos extremos. El siguiente apartado, concierne al análisis de los desencadenantes y las consecuencias de la inundación del 2012 que afectó a la cuenca baja del río Antas. Posteriormente, se ha reconstruido la situación sinóptica y las características de las precipitaciones. A continuación, se ha modelizado la zona de inundación de la avenida. Finalmente se exponen las principales conclusiones que se han extraído del estudio.

6.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Uno de los objetivos de las administraciones que sufren en mayor medida este tipo de fenómenos extremos es buscar estrategias para mitigar el daño producido por estas inundaciones. Para ello se han aplicado Leyes y Ordenanzas a nivel estatal y comunitario (Real Decreto 903/2010, del 9 de julio, Evaluación y Gestión de inundaciones).

Los eventos catastróficos se pueden analizar desde diferentes puntos de vista. En primer lugar, los desencadenantes y las consecuencias a nivel de gestión y de daños personales y económicos (como realizaron Martín-Vide y Llasat (2018) de la inundación de 1962 que afectó a una cuenca pequeña en Cataluña). Asimismo, la reconstrucción de la situación sinóptica de los días previos y del día del evento, nos da información para posteriores inundaciones y la forma en la que podemos controlar los efectos que puedan tener en el futuro. Finalmente, la modelización hidráulica de la inundación nos muestra qué caudal y altura pudo alcanzar la inundación y nos da una idea de la magnitud del desastre, teniendo al menos un caudal de $3200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en el tramo final del río Antas, y si ha sido consecuencia, en parte la gestión del territorio en los últimos 20 años.

El episodio del año 2012 afectó no solo a la parte baja del río Antas, sino también la cuenca baja del río Aguas. El evento también afectó a otras ramblas de todo el sudeste de España como el río Guadalentín que atraviesa la ciudad de Lorca, la rambla de Nogalte a su paso por Puerto Lumbreras, la rambla Nogalte a su paso por Pulpí y finalmente, como objeto de estudio, la cuenca baja del río Antas, especialmente en la pedanía de Vera cercana a la playa (Benito et al., 2012).

Tal y como se ha descrito en el Capítulo 4, las inundaciones catastróficas en las cuencas de los ríos del sudeste, suelen concentrarse a finales de verano y principios

de otoño. Por lo tanto, la inundación del 2012 está perfectamente enmarcada en la dinámica estacional de las grandes inundaciones del Mediterráneo (Llasat et al., 2003; Sánchez-García et al., 2019). Según algunos autores (Bull et al., 1999; Hooke y Mant, 2000; Hooke, 2016) la ocurrencia de inundaciones catastróficas en las últimas décadas está cada vez más ligada a los cambios de usos del suelo y, al consecuente cambio geomorfológico del cauce fluvial.

Algunos estudios se han centrado en las inundaciones de alta intensidad y, las fuerzas y dinámicas de estos eventos han sido analizadas desde el punto de vista de los cambios geomorfológicos (Fuller, 2008; Hauer y Habersack, 2009; Dean y Schmidt, 2013; Thompson y Croke, 2013). De este modo, los estudios de inundaciones catastróficas en zonas semiáridas son excepcionales (Hooke, 2016).

La mayoría de estudios sobre inundaciones singulares generalmente se enmarcan en zonas húmedas y en ríos perennes (Hooke, 2016). Sin embargo, existen algunos estudios sobre inundaciones repentinas en ríos efímeros como los llevados a cabo por Harvey (1984) u Ortega y Garzón Heydt (2009), en zonas similares al río Antas. A lo largo de todo el Mediterráneo semiárido se han realizado otros trabajos sobre inundaciones catastróficas analizándolas desde el punto de vista de los cambios geomorfológicos (Schick y Lekach, 1987; Wainwright, 1996; Schulte, 2002b, 2008; Arnaud-Fassetta et al., 2003; Greenbaum y Bergman, 2006; Grodek et al., 2012; Nardi y Rinaldi, 2015). También existían estudios centrados en zonas semiáridas de Estados Unidos (Nichols et al., 2008; Powell et al., 2008) y en las zonas semiáridas de Asia (Yousefi et al., 2018). Por otra parte, el primer trabajo que se publicó y que trataba las inundaciones desde el mismo punto de vista que aquí se está tratando, fue el trabajo realizado por Baker y Costa (1987), donde se tenían en cuenta todos los datos geomorfológicos e instrumentales para el estudio de las inundaciones y las paleoinundaciones en una cuenca efímera de Estados Unidos.

La inundación del 2012 fue estudiada desde el punto de vista geomorfológico e histórico por Hooke (2016). Sin embargo, el mismo autor se centra en las ramblas de Nogalte y Torrealvilla, las dos ubicadas en la Región de Murcia, al norte del río Antas. Las características de su área de estudio son muy similares a las características geomorfológicas, climatológicas y de uso del suelo de la cuenca baja del río Antas. Según los estudios de las grandes inundaciones australianas (Thompson y Croke, 2013) donde se compara el caudal con el área de cuenca, tanto las inundaciones de los ríos murcianos, como el río Antas, estarían en la parte alta del gráfico, siendo, por lo tanto, un evento extremo.

Las precipitaciones torrenciales son comunes en todas las zonas caracterizadas por tener un clima mediterráneo (Gaume et al., 2016); aunque suelen tener más repercusión en las zonas donde además, existe una cordillera próxima a la línea de costa (Llasat et al., 2010). Los estudios sobre las precipitaciones torrenciales relacionadas con inundaciones se han centrado en su mayoría en las zonas mediterráneas de la Península Ibérica (Llasat y Ramis, 1996; Llasat et al., 2010; Sánchez-García et al., 2019), aunque también se han estudiado otras zonas del

Mediterráneo, comparando las distintas cuencas de Este a Oeste (E-O) (Diakakis y Deligiannakis, 2015; Gaume et al., 2016).

A lo largo de la historia se han desarrollado varios *softwares* para calcular el área inundada, o la altura alcanzada por un determinado caudal. Estos *softwares* trabajan en una sola dimensión (1D), es decir, el modelo asume que el flujo de agua siempre va en dirección longitudinal, y representa el terreno con una estimación de la media de la velocidad y la altura del agua en cada sección definida (Bates et al., 2005; Cook, 2008; Saksena y Merwade, 2015).

Sin embargo, en la simulación en 2D, el modelo asume que es posible que el flujo se mueva en dirección longitudinal (dirección normal del flujo), pero también en dirección lateral (hacia las orillas del río). Además, en el modelo en 2D, el modelo representa el terreno como una malla continua sobre la superficie definida por el Modelo Digital del Terreno (MDT en adelante) (HEC, 1997; Horritt y Bates, 2002; Cook, 2008).

El *software* desarrollado por la US Army Corps of Engineers en el Hydrologic Engineering Center, en 1995, fue el primero en hacer estimaciones de áreas inundadas en 1D (HEC, 1997). En él ya se explicaba que lo más importante a la hora de modelizar una inundación era la precisión del mapa base donde se definen las alturas de la lámina de agua (HEC, 1997; Horritt y Bates, 2002; Merwade et al., 2008; Merwade, 2009). El denominado *terrain* (Cook y Merwade, 2009) definirá por tanto la calidad de modelización de un río (Cook, 2008).

A partir de la versión HEC RAS 2.0 (HEC-USACE, 2002), se pueden incluir modelos en 2D, donde se tienen en cuenta las propiedades de rugosidad de todo el canal, aguas arriba a la sección definida, y aguas debajo de la sección (Cook y Merwade, 2009). La calidad de la resolución del MDT aumenta la precisión en los resultados, de manera que cuanto menor sea la resolución en 1D y 2D, la inundación puede resultar en una sobreestimación o en una subestimación del área inundada (Cook, 2008).

6.2. DESENCADENANTES Y CONSECUENCIAS DE LA INUNDACIÓN

Para estudiar los desencadenantes y las consecuencias del episodio que asoló todo el sudeste de la Península Ibérica, se han tenido en cuenta los cambios de usos del suelo de carácter estructural. Este tipo de cambios, que se han producido en toda la cuenca baja del río Antas y que caracterizan todo el levante almeriense, son los que han sido analizados. Una de las consecuencias fundamentales de este tipo de cambios es la afección en la geomorfología, y por lo tanto, la escorrentía de toda la zona (Martin García, 2010; Gil Meseguer et al., 2012).

Las consecuencias de la inundación fueron redactadas en muchos medios de comunicación. A nivel provincial, se redactaron varias noticias en el diario, La Voz de Almería, publicándose un monográfico el día 29 de septiembre del 2012. A nivel nacional los periódicos que se hicieron más eco fueron el ABC y el País, en sus secciones provinciales y autonómicas (Almería y Andalucía). Desde el municipio de

Vera, profundamente afectado por la inundación, se redactó un informe técnico con el fin de conseguir que se declarara la zona como “zona catastrófica”. No solo fue Vera, el municipio de Antas también redactó un informe técnico con los daños que había causado la inundación y el porqué de éstos, para conseguir ayuda para arreglar los desperfectos.

El Gobierno de la Comunidad Autónoma de Andalucía estimó las pérdidas económicas ocasionadas directamente por la avenida en más de 185.6 Millones de Euros entre el daño valorado por el consorcio de seguros (68.3 M€) y la inversión para los arreglos de los desperfectos hechos por la administración (117.3 M€) (Diario de Almería, 2013).

Además de los daños económicos, hubo hasta cuatro pérdidas de vidas humanas durante el evento. En la cuenca del río Antas hubo dos de ellas, el resto fueron en cuencas vecinas como la rambla de la Muleria (2) en la cuenca del río Almanzora, y en la Región de Murcia, concretamente en la Rambla de Nogalte y el río Guadalentín, y en Granada, en la rambla de la Rábita, hubo más de veinte. En la Figura 6.1 se pueden observar algunos de los daños ocasionados en la pedanía de Vera Playa.



Figura 6.1. Daños en el municipio de Vera como consecuencia de la avenida.

Los desperfectos en los cultivos de regadío intensivo cercanos al río fueron cuantiosos. Varias hectáreas de cultivos fueron totalmente destruidos por el paso del agua aprovechando antiguos canales de riego, destruyendo en muchos casos las infraestructuras de regadío intensivo que estaban instaladas (Fig. 6.2) y derruyendo construcciones de riego tradicional como la presa de la Jara.



Figura 6.2. Daños en los campos cercanos al río Antas en las parcelas de La Jara.

Otra de las zonas que sufrieron más daños fueron las áreas costeras. El complejo hotelero y turístico, asentado en la llanura de inundación del río Antas actuó de canales del río. Un ejemplo claro es el marcado urbanismo que se ha ido construyendo en todo el litoral del levante almeriense y del impacto en la dinámica de la escorrentía superficial. Este fue fuertemente afectado por la avenida, tal y como se puede observar en la Figura 6.3.



Figura 6.3. Paso del agua por una de las calles de la urbanización costera de Vera Playa.

El mayor problema de los cambios de usos del suelo en el área de estudio es que, éstos se llevaron a cabo durante un periodo de tiempo muy corto, tal y como puede observarse en la Figura 6.4. Por lo tanto, no solo la pérdida de las granjas es importante, sino que también los cambios que ha habido en la desembocadura durante las últimas dos décadas en relación al urbanismo en zonas de alta peligrosidad por inundaciones.

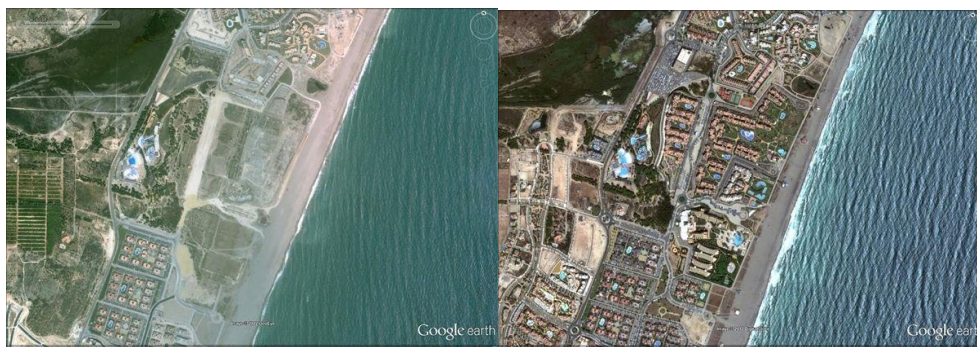


Figura 6.4. Izquierda: área cercana a la desembocadura del río Antas en el año 2002. Derecha: fotografía aérea de la misma zona en el año 2016.

Teniendo en cuentas los daños causados y el impacto social que tuvo la avenida de 2012, este evento es una de las avenidas más destructivas durante el periodo de estudio. Hay algunas razones que hacen que esto sea así. En primer lugar, son los cambios de usos del suelo que ha habido en la cuenca baja del río Antas. Teniendo en cuenta varios factores como el área de la cuenca, el caudal estimado a partir del trabajo de campo y, el área inundada, el evento es parecido en cuanto a daños y repercusión social y cultural a otros eventos catastróficos pasados como los

ocurridos en 1879 y en 1973 (Capel Molina, 1989; Sánchez-García et al., 2019). Sin embargo, los datos de precipitación durante la inundación de 1973 son ligeramente diferentes

Martín García (2010), sugiere que los cambios de usos del suelo podrían incrementar los daños en algunas áreas inundables. Sin embargo Trimble y Crosson (2000) argumentan que los modelos de pérdida de suelo no apoyan esta teoría en cuanto a los usos del suelo y a los recursos hídricos en Estados Unidos. Benito et al. (2012) en el estudio que llevaron a cabo de la inundación del 2012, comentan que los usos del suelo son un factor importante en la diferencia en cuanto a daños, que tiene este evento en comparación con las avenidas del 1973 y 1989 en el río Antas.

Sin embargo, durante las últimas décadas del Siglo XX, hay también cambios relacionados con la minería (Fernández Bolea, 2014). Estos cambios están mayoritariamente concentrados en la cuenca del río Almanzora y en las partes altas de la cuenca del río Antas, por ello, los daños de las inundaciones de finales del Siglo XX no están tan relacionados con los usos del suelo de la época.

En segundo lugar, hay varios estudios (Cantón et al., 2001; Barrera et al., 2006) que sugieren que en ambientes semiáridos donde las lluvias pueden ser torrenciales, el riesgo de inundaciones es mayor que en áreas donde las precipitaciones anuales son más elevadas, pero no se concentran en pocos eventos. Por lo tanto, las inundaciones repentinas son comunes en todo el sudeste de la Península Ibérica y en partes del litoral Mediterráneo (Llasat et al., 2010). La superficie de la cuenca del río Antas es relativamente pequeña (261 km²) y el tiempo de respuesta de las lluvias es muy alto. De este modo, los daños son muy intensos en pocas horas. La población que se sitúa en las áreas inundables no tiene el tiempo suficiente para ser avisado de la llegada de la inundación.

6.3. SITUACIÓN SINÓPTICA

Para comprender la génesis de la inundación y el porqué de los daños es necesario un análisis de la situación sinóptica que predominó durante los días anteriores al evento e incluso durante el mismo día. El patrón sinóptico de la inundación de 2012 (Fig. 6.5) fue muy similar a las situaciones sinópticas analizadas en el Capítulo 4 (1550, 1729 y 1879). Un sistema severo convectivo a mesoescala fue impulsado por una baja presión centrada en el nordeste de la Península Ibérica que causó una configuración de *cut-off* en la llegada al mar Mediterráneo. Un flujo de sudeste a este circuló a niveles superficiales por el sudeste de España durante los días seis y siete de la secuencia de 7 días. Una bolsa de aire frío afectó al nivel de 850 hPa y unas anomalías negativas del geopotencial dominaban los niveles medios de la troposfera, promoviendo la inestabilidad de la atmósfera.

La situación sinóptica era lo que se denomina Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA) o comúnmente denominada “gota fría”. De esta manera, el flujo en superficie empujó la humedad con hacia la península y la proximidad de sierras de más 300 m.s.n.m. hizo que precipitaran torrencialmente y con poca respuesta por

parte de la administración local. El nivel de alerta máximo se activó una vez cuando la avenida del río estaba afectando a algunas poblaciones (AEMET, 2012). Las condiciones previas al evento no habían sido suficientemente precavidas, ya que la noche anterior se había dado el aviso naranja por precipitaciones, aunque no el nivel máximo de alerta ni para la Provincia de Almería ni (nota de prensa de AEMET el 27 de septiembre de 2012) tampoco para la Región de Murcia (Giordano et al., 2017). Por lo tanto, fue una avenida que no se había gestionado previamente.

En cuanto a la teleconexión atmosférica que predomina en el sudeste peninsular, la WeMO, durante esos días se mostraba marcadamente negativa (Climatology Group Data, 2018) con un índice de -2,02. En este contexto se dio lugar a una inestabilidad en altura y en superficie, tal y como se ha explicado anteriormente. Esta inestabilidad se puede comprobar en la Figura 6.5. Donde se muestran las situaciones sinópticas de la secuencia de 6 días antes y el día del evento. En cuanto a la teleconexión menos predominante, la NAO, se considera que estaba con un índice neutro, ligeramente positivo 0,26 (Deser et al., 2017).

Este tipo de situación sinóptica, una Depresión Aislada en Niveles Altos es común en prácticamente todas las inundaciones históricas catastróficas del río Almanzora, ubicado al norte del río Antas. Asimismo, la tipología de inestabilidad es la predominante en toda la costa mediterránea de la Península Ibérica (Llasat y Ramis, 1996), y la situación sinótica coincide además con uno de los eventos catastróficos más importantes del Siglo XX, la inundación que asoló Rubí y Terrassa en 1962 (Martín-Vide y Llasat, 2018).

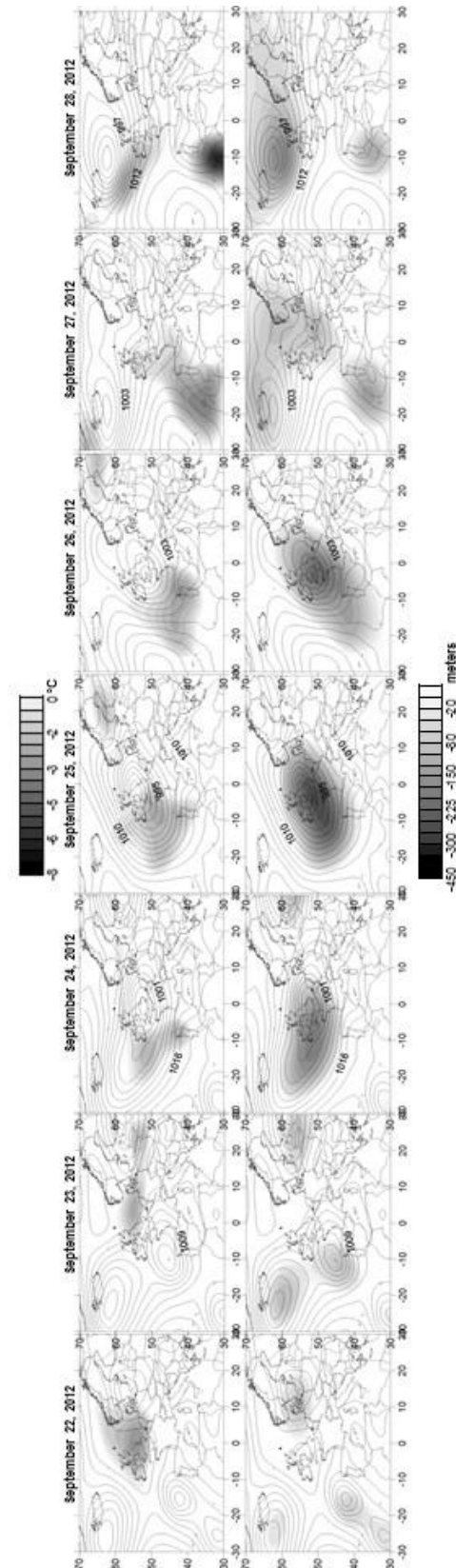


Figura 6.5. Inundación de 28 de septiembre del 2012. Configuración sinóptica Reconstruido a partir de 20th Reanalysis. Parte de arriba: presión a nivel del mar en hPa (líneas) y anomalías de las temperaturas estandarizadas a 850 hPa en °C (contornos). Panel de abajo: presión a nivel del mar en hPa (líneas) y anomalías del geopotencial estandarizado a 500 hPa en metros (contorno). (Sánchez-García et al., 2019).

Tal y como se puede ver en la Figura 6.6, las precipitaciones más cuantiosas se registraron en la Sierra de Almagro. Concretamente la estación pluviométrica de Huércal-Overa registró más de 245 litros en menos de 24 horas. Otras dos estaciones (Embalse de Cuevas del Almanzora y Sierra de Almagro) registraron más de 200 litros. Sin embargo, toda esa precipitación quedó almacenada en el embalse y, por lo tanto, no causó mayores problemas en la cuenca baja del río Almanzora. A pesar de ello, en la cuenca baja del río Antas se registraron precipitaciones cuantiosas y, en este caso, no hay ninguna infraestructura capaz de almacenar la precipitación torrencial.

La estación de Lubrín fue la que registró la cantidad más elevada de la cuenca, superando los 150 litros. En toda la Sierra de Filabres, se registraron precipitaciones superiores a los 100 litros en menos de 24 horas. Además, las precipitaciones cayeron de forma torrencial y la respuesta del río fue una avenida repentina (*flashflood*).

Tabla 6.1. Volumen de las lluvias durante el episodio del 28 de septiembre de 2012. Los datos han sido obtenidos de la red de estaciones automáticas de AEMET y de la red de estaciones automáticas de la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS).

Estación	Precipitación (l.)	Cuenca
Lorca	120	Segura
Puerto Lumbreras	229	Segura
Rambla Nogalte	130	Segura
Cuevas del Almanzora	50,6	Almanzora
Virgen de Fátima	86,6	Almanzora
Embalse de Cuevas	195,5	Almanzora
Pulpí	150	Almanzora
Sierra de Almagro	242,5	Almanzora
Huércal-Overa	223	Almanzora
El Saltador	243,8	Almanzora
Cantoria	127,9	Almanzora
Albox	36,5	Almanzora
Oria	54,4	Almanzora
Tíjola	38,8	Almanzora
Serón	39,9	Almanzora
Sorbas	119,6	Aguas
Tahal	68,8	Aguas
Velefique	44,1	Aguas
Sierra de los Filabres	30	Aguas

Tal y como se puede observar en la Tabla 6.1, las cantidades más elevadas ocurrieron al norte del área de estudio sobrepasando los 200 litros por metro cuadrado. En cambio en el interior las precipitaciones fueron menos cuantiosas. Un aspecto negativo de las estadísticas de precipitación es la falta de datos de precipitación para ninguna población de la cuenca del río Antas.

En general en toda la costa mediterránea los eventos catastróficos se caracterizan por ser generados a partir de unas las lluvias torrenciales en un lapso de tiempo muy

corto (Barriendos y Martín-Vide, 1998). Este tipo de eventos son muy difíciles de gestionar previamente por la rapidez de su formación y la súbita torrencialidad por la que se caracterizan (Doswell et al., 1996). Además, de a las zonas mediterráneas este tipo de eventos repentinos también han afectado a zonas montañosas como el evento de Biescas (Huesca) en 1996 (Riosalido, 1998) o en la Val d'Aran en el año 2013 (Pino et al., 2016; Victoriano et al., 2016).

6.4. MODELIZACIÓN DE LA INUNDACIÓN DE 2012 EN EL RÍO ANTAS

Durante la campaña de trabajo de campo del año 2015 se tomaron anotaciones de las alturas de la lámina de agua. A partir de estas alturas se ha creado un mapa donde se representa el área inundada reconstruida (Fig. 6.6). Las alturas de los puntos han sido incluidas en un MDT y en la Figura 6.6 se pueden observar sobre una fotografía aérea. En ella se proponen los flujos máximos de caudal a partir del MDT y el área inundada que resultó de la inundación. Las flechas más anchas indican los flujos de agua con más velocidad y potencia a partir del trabajo de campo y las flechas más estrechas los flujos de velocidad más lenta. Asimismo, una vez el río llega a la entrada de la población, es bloqueado por un puente y la lámina de agua se expande por una mayor superficie. Solamente las zonas más elevadas de Vera Playa (norte del río) y Garrucha (sur del río), y las zonas más alejadas del cauce principal quedan fuera del área inundada. Como se puede observar, todas las parcelas de La Jara quedan inundadas, aunque la velocidad fue previsiblemente muy lenta. Por otra parte, donde se ubicaba la depuradora del río Antas, la velocidad fue más elevada ya que hay un estrechamiento del cauce principal y por lo tanto la energía y la erosión fueron mayores. Finalmente, el agua circula por las calles de la pedanía costera de tal manera que la altura y la fuerza son elevadas y, como consecuencia de estas características, los daños materiales fueron muy elevados en esos puntos.

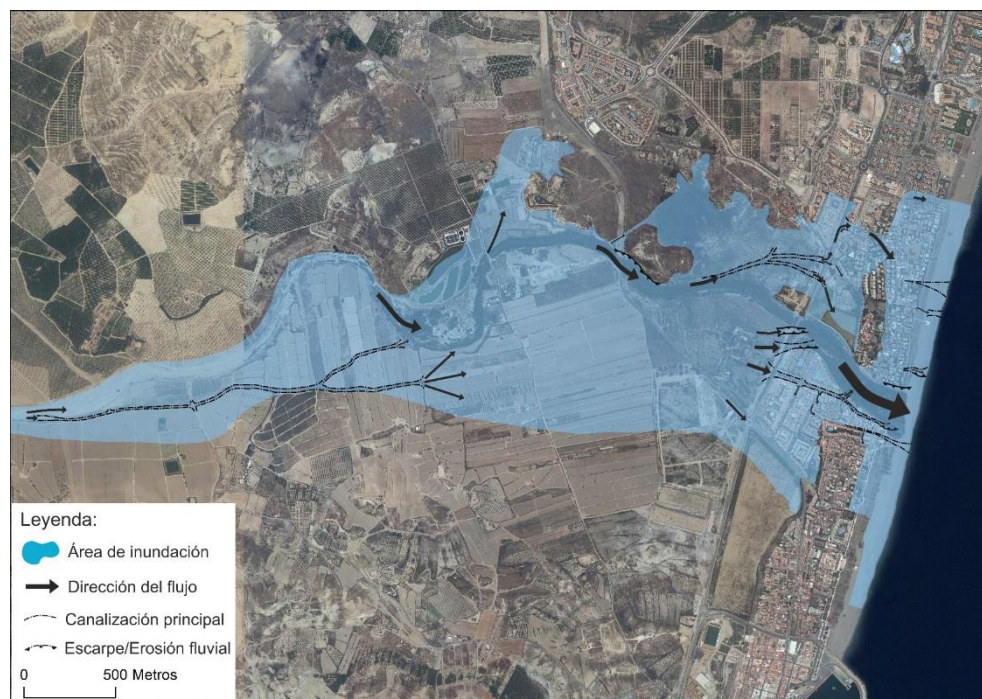


Figura 6.6. Mapa del área inundada del año 2012 elaborado a partir de la toma de muestras durante el trabajo de campo del año 2016.

Autores como Benito et al. (2012) también generaron un mapa de la zona inundada, además de estimar el caudal en poco más de $1000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Si comparamos los resultados que obtuvieron con los resultados que hemos obtenido nosotros, se puede afirmar que la inundación fue subestimada. La zona inundada que resulta del trabajo de campo es mucho mayor que la superficie que estimaron Benito et al. (2012).

En el presente estudio, teniendo en cuenta el área inundada, se establecieron varios caudales estimativos en el modelo hidráulico (HEC RAS). Las estimaciones indican que el río Antas en la desembocadura transportaba un caudal máximo entre $2500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $3200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Los resultados en cuanto a la superficie inundada se pueden observar en la Figura 6.7.

Por todo ello, los resultados de la superficie inundada obtenida a partir del trabajo de campo, guardan diferencias significativas con los resultados de la aplicación del modelo hidráulico (Fig. 6.7). En primer lugar, el modelo no atribuye la lámina de agua a los campos de La Jara, aunque gracias al trabajo de campo sabemos que quedó bajo las aguas del río. En segundo lugar, se menosprecia la altura de la lámina de agua que circula por el pueblo, siendo mucho menor la superficie inundada. Este hecho puede ser como consecuencia de que para la aplicación del modelo de inundación se ha utilizado el MDT LiDAR, considerando como superficie el primer retorno. Por lo tanto, en el primer retorno, se tienen en cuenta los edificios y los árboles, todos ellos unidades que no quedaron bajo las aguas.

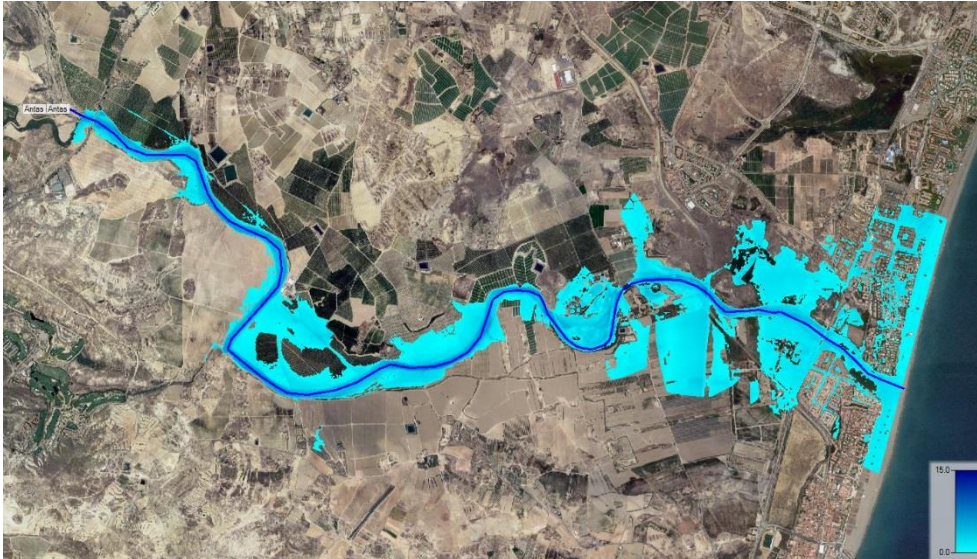


Figura 6.7. Mapa del área inundada generada a partir de la aplicación de la modelización.

En cuanto a las características del flujo, en la Figura 6.8 se puede observar como la energía más elevada se concentra en las zonas donde el cauce es más estrecho y a la vez más profundo. Además, en las zonas de meandros la energía también aumenta en la parte exterior del mismo. Por otra parte, en las partes del curso en el que el río se expande más en superficie hacia el área de inundación, la energía del flujo disminuye. Este factor es consecuencia de que la superficie mojada es mayor y por tanto la energía y velocidad es menor.

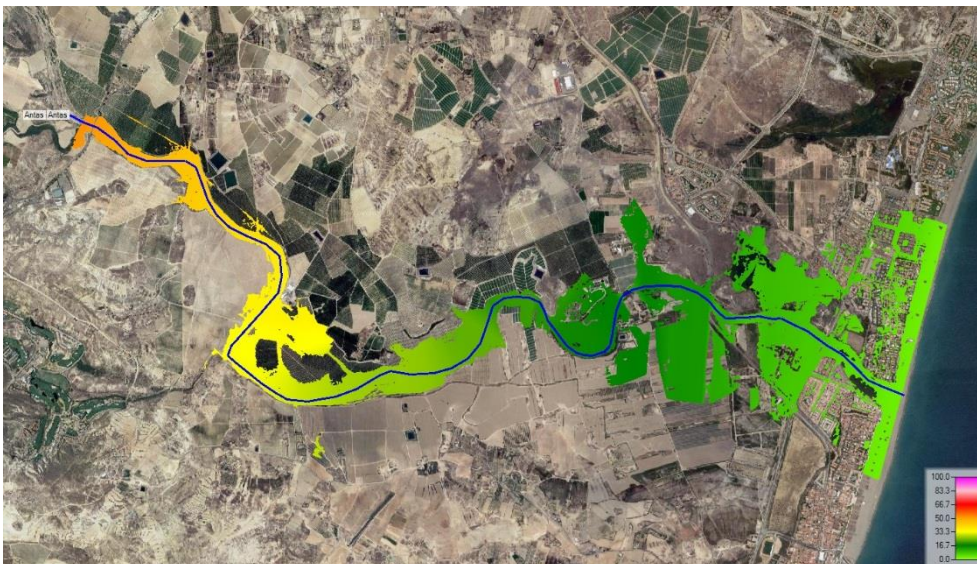


Figura 6.8. Mapa de la energía del flujo generado a partir del modelo hidráulico.

Asimismo, si se tiene en cuenta el perfil longitudinal del río en el tramo estudiado, se puede ver que la energía es dependiente también de la pendiente. En las zonas del curso donde la pendiente es mayor, la energía (velocidad) aumenta. En la Figura 6.9 se puede observar el efecto de los puentes en el tramo final del río. En estos puntos la altura de la lámina de agua se considera que disminuye, ya que se queda o al mismo nivel o ligeramente por encima para el caudal estimado de la inundación

del 2012, que como se ha comentado estaría entre los $2500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y los $3200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, siendo sustancialmente superior al caudal estimado por Benito et al. (2012) ($1000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$).

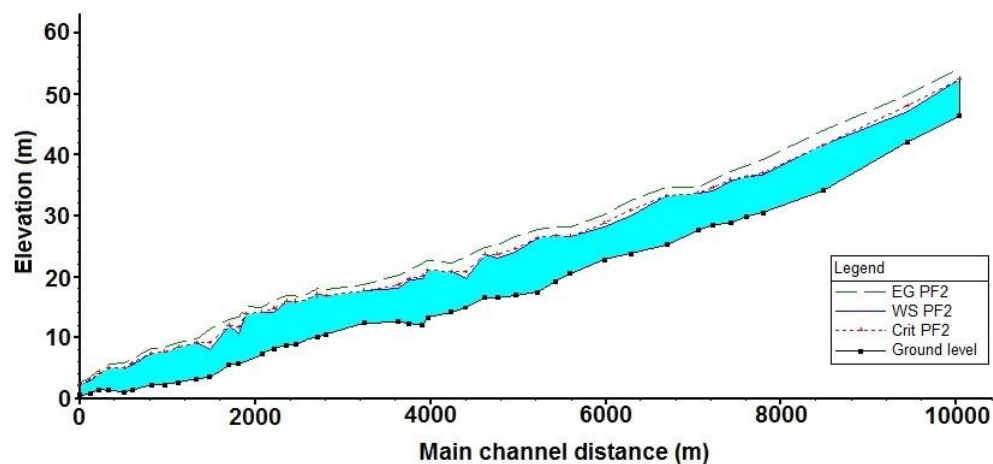


Figura 6.9. Perfil longitudinal del tramo del río Antas estudiado. Altura del flujo para un caudal de $2500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. En la leyenda se explica en primer lugar la altura de la ola, en segundo lugar la altura del flujo y en tercero lugar la variación de la altura real después de la ola.

Un problema importante que ha ocurrido a la hora de analizar el perfil longitudinal del río Antas, es que el mapa utilizado ha sido el LiDAR, perteneciente al año 2016. Desde el año 2012 (cuando ocurrió la inundación) hasta el 2016 (cuando se publicó el MDT), ha habido cambios significativos en la base del río. Estos cambios han venido marcados por la extracción de áridos en varios puntos del río. A la altura de la Presa de La Jara y a la altura del puente de la A-352, estas extracciones alteran altamente la composición del lecho del río e inducen a errores en los modelos reconstruidos con el HEC RAS. Por otra parte, la reconstrucción que se llevó a cabo a partir de fotografías y vídeos de los afectados, nos muestra que los dos mapas son bastante parecidos y, aunque hay errores, no son prohibitivos.

6.5. CONCLUSIONES

Durante el evento del año 2012, el abandono del uso tradicional del territorio, ganado y agricultura, a un uso mecanizado, sumado a la urbanización de las zonas inundables de la desembocadura, hicieron aumentar los daños provocados por la inundación.

Por lo tanto, la dinámica de escorrentía ha cambiado, igual que el flujo. Estos son algunos de los cambios que han hecho que los daños ocurridos por la inundación de 1973 sean tan diferentes a la inundación del 2012. A pesar de que la inundación de 1973 pudo ser más extrema, como consecuencia de los cambios de usos del suelo, no hubo tantos daños como en el evento de 2012.

El ganado (mediante la actividad de pastoreo y la alimentación de los rumiantes) limpiaba el lecho del río y, por lo tanto, no había vegetación. En el caso de la inundación del 2012, el hecho del abandono de la práctica ganadera y

consecuentemente desnsidad de vegetación en el cauce, fue uno de los factores desencadenantes de los daños aguas abajo. Los puentes actuaron como presas y una vez se destruyó el puente nuevo del municipio de Antas, la ola que creó, hizo estragos aguas abajo y causó la destrucción de dos puentes más y el aumento de daños en los cultivos.

La mejor gestión del territorio y un diseño de los usos del suelo acorde con las características geomorfológicas, climatológicas e hidrológicas, es necesario. De este modo, riadas de similares características a la de 2012 no ocasionarán tanto daño. Además, la educación ambiental de los habitantes de estas zonas es necesaria para que sepan como deben actuar en momento de eventos hidrológicos extremos.

7.

CAMBIOS MORFOLÓGICOS Y DE
USOS DEL SUELO EN LA
CUENCA BAJA DEL RÍO ANTAS
(1946-2018)

Las formas del relieve cercanas a los cauces y a las llanuras de inundación se caracterizan por una serie de factores como clima, pendiente, litología, cubierta del suelo y usos del suelo que se desarrollan en estas áreas. Todos estos factores y características determinan los índices de escorrentía, la magnitud de las inundaciones y los procesos de erosión y agradación en las áreas de inundación fluviales (Schulte, 2002b; Schulte et al., 2008; Sanjuán et al., 2014). DeFries y Eshleman (2004) destacan la importancia de entender el impacto de los cambios de usos del suelo en los recursos hídricos. Por ello, los usos del suelo que están ubicados en las márgenes de los ríos son tan importantes a la hora de analizar la dinámica superficial de las inundaciones (Rodríguez-Caballero et al., 2018). El estudio del impacto de los usos de suelo sobre la dinámica de la escorrentía se ha estudiado desde los años 70 y 80 (Vita-Finzi, 1969, 1972; 1976; Torrent, 1976; Brückner, 1986; 1986) y continuarían en los 90 (Faust, 1991; Schulte, 1994, 1995).

Los cambios de usos del suelo afectan directamente a la dinámica superficial del terreno a nivel geomorfológico (Bellin et al., 2013). Para ello se ha escogido un área representativa donde hay una cartografía geomorfológica cuaternaria de detalle (Schulte, 2002a), la descripción estratigráfica de depósitos aluviales (Schulte, 1995) y un mapa de uso de suelo (Schulte, 1995). Además desde 2015 el grupo de investigación FluvApls está estudiando depósitos de llanura de inundación y estructuras geoarqueológicas de regadío de boquera. El regadío tradicional se distribuye a lo largo de todo el curso bajo del río Antas, en este capítulo se presenta el estudio de un tramo de 5 km del río Antas.

En el tramo de 5 km estudiado se desarrollan: i) cambios sustanciales del uso del suelo y, ii) afectación a estructuras históricas relacionadas con el uso tradicional del suelo. A partir de ortofotos y mapas de usos del suelo se ha analizado cómo ha afectado el cambio de usos suelo a la dinámica superficial y los cambios morfológicos del lecho del río. El periodo de tiempo analizado comprende desde 1946, para los cambios de usos del suelo, y 1956, para los cambios morfológicos del lecho del río, hasta la actualidad.

En este capítulo, primeramente se presenta un marco teórico de lo estudiado a nivel mundial, europeo, de ambientes áridos y dentro de territorios cercanos al área de estudio relacionado con eventos extremos y cambios de usos del suelo. Posteriormente, se analizan los cambios de usos del suelo desde 1946 hasta la actualidad, mediante los mapas de usos del suelo elaborados por la Junta de Andalucía (2019). El siguiente apartado está dirigido a los cambios morfológicos que ha sufrido el área estudiada como consecuencia del cambio de los usos del suelo en el río Antas de 1956 a 2016, a partir de ortofotos. Finalmente, se analizan los cambios morfológicos del lecho del río. Como apartado final, se sugieren una serie de conclusiones.

7.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Los posibles cambios en el sistema fluvial e hidrológico han sido estudiados desde los años 1970 en áreas de Estados Unidos (Patric y Reinhart, 1971). Asimismo, el cambio de uso del suelo es un componente esencial para el estudio de la dinámica hídrica superficial (Fohrer et al., 2001). Dependiendo de la cubierta vegetal y del uso del suelo que haya en una determinada zona de estudio la escorrentía superficial se comporta de una manera u otra (Rogger et al., 2017). En algunos casos, el aumento de la cubierta vegetal ha hecho que la escorrentía superficial baje (Naef et al., 2002). Por otra parte, el cambio de usos del suelo puede tener efectos positivos, estabilizadores del terreno (Bronstert et al., 2007; Hooke y Sandercock, 2012). Aunque, dependiendo del cambio de uso del suelo que se lleve a cabo, éste puede tener efectos sobre el daño que las inundaciones pueden llegar a provocar (Rodríguez-Lloveras et al., 2015). Climent-Soler et al. (2009) sugieren que existe un gran impacto en la escorrentía por los cambios de usos del suelo durante las inundaciones que son de baja intensidad. Asimismo, Wheater y Evans (2009) postulan que estos cambios en la escorrentía afectan a las inundaciones de gran magnitud si son cambios que implican la urbanización y el consecuente sellado del terreno. Sin embargo, O'Connell et al. (2007) afirman que estos cambios en los regímenes de escorrentía no se ven reflejados aguas abajo, si no son cambios que impliquen un área muy amplia. Trimble (1999) estudia la evolución histórica de las ratios de sedimentos en un tramo de un río. Según sus resultados el transporte de sedimentos ha bajado a pesar del cambio de usos de suelo y del aprovechamiento hídrico que ha habido a mediados del Siglo XX, en comparación con las tasas de erosión que había a finales del Siglo XIX.

Los cambios de usos del suelo que se han producido a lo largo de la historia a nivel mundial han tenido diferentes fases Kaplan et al. (2009). Desde los primeros cambios, partiendo de una sociedad nómada a una sociedad sedentaria (Chapman et al., 2000), hasta los cambios actuales llevados a cabo en lugares como Brasil, relacionados con la deforestación (Foley et al., 2005).

En el caso de Brasil, los cambios en los usos del suelo en las cuencas del río Tocantins han comportado un aumento de más del 20% en el caudal del río, no siendo correspondido con un aumento de la precipitación (Costa et al., 2003). En este caso, no solamente ha afectado la deforestación, sino también la extrema urbanización a partir de mediados del Siglo XX, evolución similar a lo que se ha producido en el sureste de la Península Ibérica.

Los cambios de uso del suelo que han comportado un efecto más importante a la dinámica hidrológica superficial son: por un lado, la urbanización de áreas agrícolas o forestales y, por otro lado, el cambio de usos tradicionales a usos con nuevas tecnologías, tales como irrigación mecanizada. Por lo tanto, grandes superficies nunca afectadas por la actividad antrópica, finalmente han sido afectadas en los últimos Siglos, con el objetivo del aprovechamiento humano (Balée, 1998).

El impacto del cambio en los usos del suelo y a la cobertura del suelo durante procesos hidrológicos, ha sido ampliamente estudiado a nivel mundial en las últimas décadas (Niehoff et al., 2002; DeFries y Eshleman, 2004; Zimmermann et al., 2006; Chen et al., 2009; Price et al., 2011; Baker y Miller, 2013; Boongaling et al., 2018). El objetivo del estudio de los cambios de usos del suelo a escala mundial es como consecuencia del alto impacto que tienen estos cambios no solo en la topografía y, por lo tanto, en la dinámica de escorrentía superficial, sino que también a nivel económico, social y cultural. Estos cambios afectan directamente a los procesos de erosión y sedimentación, mayoritariamente en áreas pequeñas. Sin embargo, el proceso se ha extendido a lo largo de todo el globo, provocando que estos datos afecten a áreas más grandes (Miller et al., 2002). A nivel europeo el cambio de usos del suelo ha sido ampliamente estudiado en zonas de Centroeuropa (De Roo et al., 2001; Hundecha y Bárdossy, 2004; Ashagrie et al., 2006; Schulte et al., 2008; Climent-Soler et al., 2009; Abbaspour et al., 2015). La mayoría de estos estudios están focalizados en las cuencas del río Rin y afluentes, aunque hay otros que han trabajado áreas de Europa del Este (Jordan et al., 2005; Popovici et al., 2013) y del Reino Unido (Climent-Soler et al., 2009; Wheeler y Evans, 2009; O'Connell et al., 2004

En las regiones áridas y semiáridas se han llevado a cabo cambios en los usos del suelo durante las últimas décadas (Brandt y Thornes, 1996; Burke y Thornes, 2004). El cambio de usos del suelo afecta principalmente como consecuencia del régimen de precipitación, que caracteriza estas regiones (Cantón et al., 2001; Schulte, 2002a; Capel Molina, 2008). Además, en cuencas pequeñas de pocos kilómetros cuadrados cercanos a zonas montañosas, la respuesta a las lluvias torrenciales se traduce rápidamente como *flash-floods*. Las lluvias torrenciales producen caudales muy elevados comparados a la media de caudal anual que tienen los ríos (Bodoque et al., 2019).

El impacto del cambio de usos del suelo es tan importante en zonas áridas y semiáridas que se han llevado a cabo estudios para saber el efecto que tienen estos cambios en las regiones que los han sufrido (Barredo y Engelen, 2010; Durán et al., 2013; Carasa-Belmonte et al., 2018; Jódar-Abellán et al., 2019). Uno de los cambios más importantes que ha habido en las últimas décadas ha sido el abandono de las ramblas como vía de transporte de ganado. En algunos casos el abandono se ha traducido en el aprovechamiento del lecho del río para la extracción de gravas (Ortega-Becerril et al., 2016). Esta actividad ha sido una constante a lo largo de la historia en el río Antas (Schulte, 1995). Otro de los impactos que han tenido gran repercusión en estas áreas ha sido la destrucción de las formas del relieve para allanarlas con el objetivo de instalar sistemas de regadío. Este factor es importante ya que la compactación del suelo por el paso de la maquinaria pesada implica una disminución de la infiltración y un aumento de la escorrentía (Symeonakis et al., 2007). Además, las demandas hídricas también han cambiado como consecuencia de la implementación del regadío, hecho que ha provocado un cambio en la decisión de uso de los recursos hídricos, administrando más agua para zonas áridas y semiáridas, que desde 1990 se han implantado grandes superficies de regadío. La transformación de regadío tradicional (acequias, boqueras y azudes) a regadío

intensivo (goteo, por inundación) es objeto de estudio recurrente en las últimas décadas (DeFries y Eshleman, 2004).

El área de estudio se caracteriza por haber sufrido varios cambios de uso de suelo a lo largo de la historia, desde que se instalaron en la zona los primeros asentamientos (Castro, 1998; Pardo Barrionuevo, 2009; Bellín et al., 2013). El sudeste de España se identifica por tener un régimen de precipitaciones torrencial, que hace que sea un área especialmente vulnerable a los cambios en la dinámica de escorrentía y erosión. Este proceso se desarrolla como consecuencia del clima, la litología, y especialmente los cambios de usos del suelo y de la cobertura vegetal (Cantón et al., 2011). Una de las afectaciones más importantes del cambio de uso del suelo ha sido el aumento de la escorrentía. Este factor cambiante podría tener repercusiones en la disminución de la infiltración de nutrientes en el suelo, ya que en su mayoría se lavan superficialmente (Arnau-Rosalén et al., 2008).

La mayoría de los episodios de inundaciones y lluvias torrenciales se concentran a finales de verano y otoño (Llasat et al., 2010). Estas lluvias torrenciales ocasionan inundaciones repentinas, ocasionando daños económicos y humanos desde que se tienen registros (Barriendos et al., 2019; Sánchez-García et al., 2019). Sin embargo, el número de daños económicos ocasionados por inundaciones ha aumentado en las últimas décadas como consecuencia de la construcción en zonas inundables (Martín-García, 2010) y de la industrialización del sistema de regadío (Pulido-Bosch et al., 2000).

En el río Antas desde mediados del Siglo XIX se han sucedido diversos episodios de inundaciones. A finales del Siglo XIX se destacan 3 eventos, 1879, 1884 y en 1899. Posteriormente, hasta el año 1924 no ocurrió ninguna inundación que causara daños severos en el río (Fig. 4.7). Durante el Siglo XX, los eventos catastróficos más severos se sitúan en el tercio final del curso, siendo especialmente catastróficas las inundaciones de 1973 y 1989. Finalmente, la inundación del 2012 se considera como el evento que ha causado más daños económicos en la zona, como consecuencia del aumento de la exposición en las últimas décadas.

7.2. CAMBIOS DE LOS USOS DEL SUELO DESDE 1946 HASTA 2016

El levante de la provincia de Almería es una de las zonas que ha sufrido los cambios de usos del suelo más drásticos de toda la Península Ibérica. Ha pasado de tener un uso agrícola de secano y regadío por boquera/acequia, a un regadío por inundación fuertemente industrializado en los últimos 30 años, siendo cada vez más importante. El cambio de uso del suelo no solo ha sido importante desde el punto de vista agrícola, sino que también, en la zona marítima se han construido complejos turísticos que han ocupado zonas inundables (Benito et al., 2012). Estos complejos, se sitúan cerca de los cauces de los ríos, y sobre todo, en el caso de la desembocadura del río Antas, se ha construido en zonas altamente inundables. Con estos cambios, debido a la impermeabilización del suelo como consecuencia de la construcción por una parte y la agricultura intensiva por otro, ha hecho que la escorrentía haya

aumentado, y las inundaciones, sin tener que ser extremas, causen daños materiales importantes.

Con el objetivo de identificar estos cambios de usos del suelo, se ha analizado la secuencia de fotografías aéreas. Éstas, muestran cambios significativos en cuanto a los usos del suelo entre la fotografía más antigua (1956) y la fotografía más actual (2016) (Fig. 7.2). Los cambios de usos del suelo han sido una actuación habitual en todo el sureste de la Península (Jódar-Abellán et al., 2019), también en otras partes, como en el Pirineo, como consecuencia del abandono de las áreas rurales (Poyatos et al., 2003; Lasanta et al., 2010; Sánchez-García, 2015). El abandono de las zonas rurales ubicadas en zonas montañosas, afecta al aporte hídrico a las zonas costeras como consecuencia de la colonización de antiguas áreas agrícolas por áreas forestales, como en el caso del aporte hídrico del río Llobregat a la ciudad de Barcelona (Lasanta et al., 2010).

Después de la migración de muchos habitantes de toda la provincia de Almería a otras zonas con más posibilidades de trabajo, y acentuado por la pobreza generada después de la GCE (1936-1939) (Puig i Valls, 1995), se abandonó parte del terreno que había sido destinado a uso agrícola y ganadero.

De la fotografía de 1956 a la fotografía de 1977 (Fig. 7.2) hay muchos cambios en la cobertura vegetal y en los usos del suelo. Se puede apreciar como se empiezan a implantar los primeros cultivos de regadío en la margen izquierda del río. También cabe destacar que después de la inundación catastrófica de 1973 no se aprecian grandes daños. Eso indica que en los años 70 se arreglaban los daños causados por las inundaciones para poder seguir aprovechándose de las infraestructuras tradicionales. Sin embargo, los cambios más importantes se observan entre las fotografías de 1977 y 1985 (Fig. 7.2), ya que es cuando los habitantes que se habían quedado empiezan a incrementar su nivel adquisitivo y pueden empezar a instalar los primeros cultivos regados de la zona, muy localizados en zonas alejadas del cauce durante las primeras fases de la industrialización del regadío. Este cambio es gracias a la vuelta de los emigrantes con capital extranjero.

En esta primera fase se instalan los cultivos leñosos regados, referidos a cítricos y prácticamente desaparecen los “otros cultivos herbáceos regados”. En su lugar se mezclan los cultivos de secano y regadío con cultivos herbáceos y leñosos. Este proceso es común en otras partes del sudeste de la Península Ibérica (Jódar-Abellán et al., 2019), de esta manera se recupera parte de las infraestructuras tradicionales de regadío, aprovechando las acequias y las boqueras, como es el caso de la Presa de La Jara.

Posteriormente, en el año 1999, el paisaje en mosaico no regado se reduce al norte y oeste del río Antas mientras que aumenta la superficie del matorral disperso con pastizal y otros cultivos leñosos regados. Se observa como los cultivos regados aumentan la superficie de influencia exponencialmente. Todo el sur del río tiene como uso del suelo un mosaico de secano y regadío con cultivos herbáceos. Se empiezan a mezclar las grandes extensiones de regadío, con los cultivos tradicionales de secano o regadío extensivo. La aportación de inversión procedente

de otras partes del sureste en ese momento es esencial para el crecimiento del regadío intensivo, en concreto de zonas como Granada o Murcia (c.o. Domingo-Ortiz, 2016). Tales inversiones afectan sobre todo a los municipios de Vera y de Antas, empezando a ser áreas muy extensas en el curso bajo del río Antas. Además todos estos cambios afectan a la infiltración de los suelos con la redistribución de las tierras y el trabajo de éstas con maquinaria pesada, y la destrucción de bancales que actúan de sumideros de sedimento (Sánchez-García, 2015). El paso de maquinaria pesada para allanar el terreno e instalar el sistema hidráulico de regado afecta también a la permeabilización de los suelo (Symeonakis et al., 2007).

Afortunadamente, en el proceso de instalación de la red de regado no hay registro de avenidas extraordinarias. En ese momento también se estaba construyendo los complejos turísticos de toda la costa del levante almeriense. En la Figura 7.1, se puede ver una comparativa entre dos fotografías tomadas en 1956 y en 2016. En ellas se puede ver el proceso de urbanización que ha habido en toda la línea costera, no solo de Almería sino de toda la costa mediterránea de la Península Ibérica (Gil Meseguer, 2012). Además también se puede apreciar, los cambios de usos del suelo que ha habido en la desembocadura del río Antas. Los antiguos canales de desagüe del río durante las avenidas, actualmente están bajo la urbanización costera de Vera-Playa y de Puerto Rey (Schulte, 2002a). Este factor hace que la escorrentía en el curso final del río haya aumentado sustancialmente en 60 años, desde la primera fotografía hasta la última.



Figura 7.1. Comparación de una fotografía aérea de 1956 (izquierda) y una ortofoto del 2016 (derecha) de la desembocadura del río Antas. (Sánchez-García et al., 2018).

Una vez han empezado los cambios de regadío tradicional a regadío industrial se aprecian cambios sustanciales en las fotografías aéreas de la secuencia (Fig. 7.2). La siguiente imagen de la secuencia que en este apartado se está presentando corresponde al año 2003 (Fig. 7.2). Si se comparan las dos imágenes (1999-2003), se aprecian muy pocos cambios en comparación a la imagen tomada en 1999. En esta comparación se puede apreciar que hay una redistribución entre los usos del suelo

al norte del río. Las zonas de cultivos leñosos en regadío y otros cultivos leñosos regados aumentan al norte del río, justo en el codo situado al oeste.

En otras partes del sudeste peninsular este periodo también es escaso en cuanto a cambios sustanciales de usos de suelo (Symeonakis et al., 2007; Jódar-Abellán et al., 2019). Esos cuatro años sirven mayormente para darle otro impulso a la industrialización del regadío en toda la Provincia de Almería, más en concreto en la zona del Levante Almeriense.

Los dos últimos mapas pertenecientes a la clasificación de la Junta de Andalucía que se han utilizado para este estudio, corresponden a los años 2003 y 2007 (Fig. 7.2). En ellas se confirma la tendencia que se seguía en el periodo anterior, es decir, sin haber cambios de usos del suelo sustanciales. Hay pequeños cambios fuera del área de influencia fluvial, y estos cambios son ampliaciones de áreas de regadío intensivo, tal y como ocurre en el periodo anterior. En la costa, sí que se puede ver como se ha ampliado mayoritariamente hacia el norte (Vera Playa). Estas urbanizaciones se sitúan en una zona altamente vulnerable al riesgo por inundaciones. En la Figura 7.3 se pueden apreciar como muchos de los canales secundarios del río Antas se dirigen directamente a esta última urbanización construida.

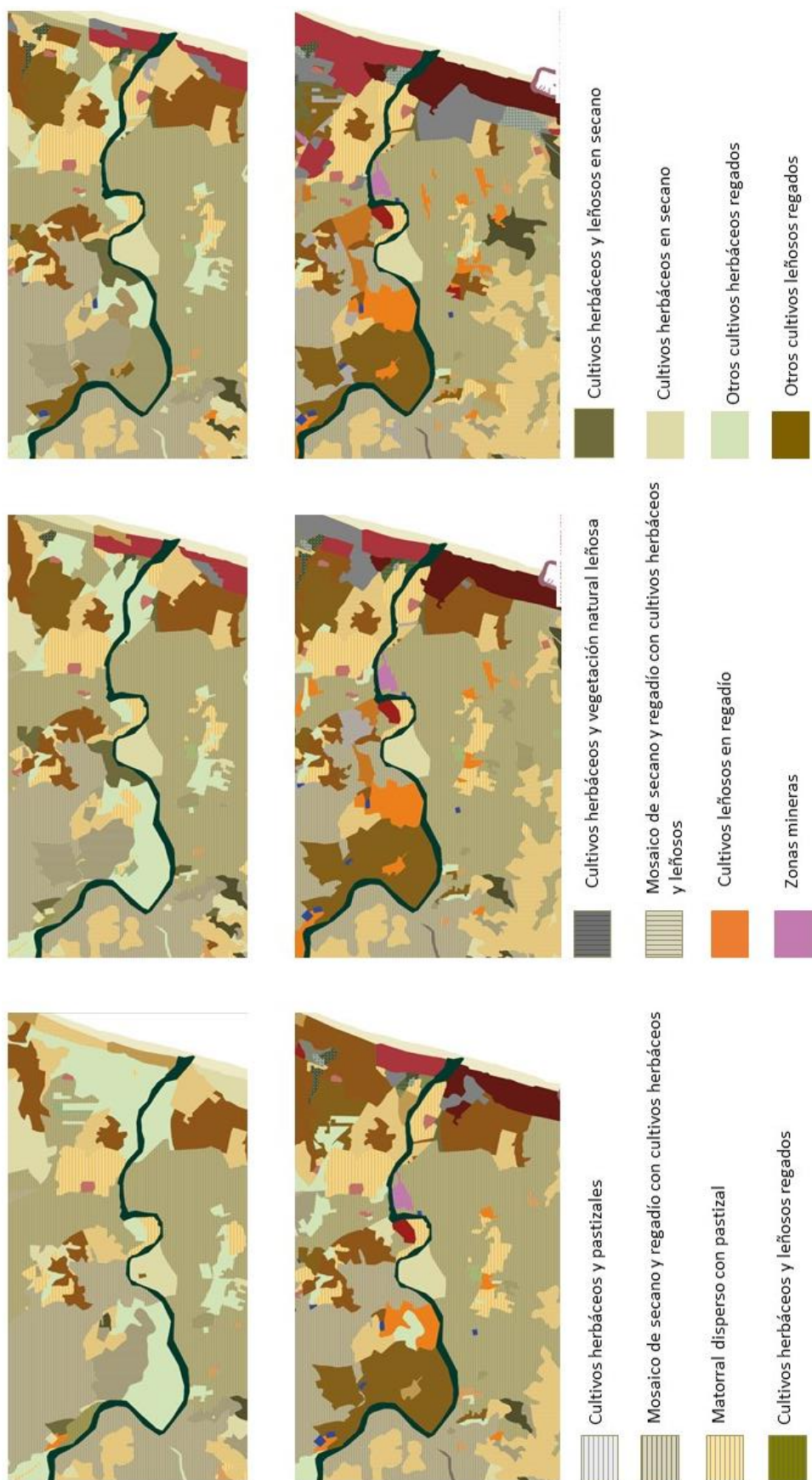


Figura 7.2. Evolución del uso del suelo en la cuenca baja del Río Antas. Junta de Andalucía (2015).

En la Figura 7.3 se puede observar una fotografía aérea del 2016. Analizado conjuntamente esta figura con el mapa de usos del suelo del 2007 se pueden diferenciar varios cambios singulares. En primer lugar la expansión completa de los cultivos leñosos regados, cítricos en este caso, al norte del río Antas, que se han extendido por toda la zona. En segundo lugar, al sur del río se concentran los cultivos herbáceos regados, con la inversión de grupos económicos que exportan el producto hacia todo el estado e incluso fuera de las fronteras de la Península Ibérica. La zona de pastizal y matorral queda reducido a áreas dispersas y los cultivos leñosos de regadío referidos al olivo también quedan reducido al sur del río Antas. Por lo tanto, el terreno aprovechado para el regadío intensivo se ha generalizado prácticamente por toda el área apta para la instalación de este tipo de ingeniería agrícola. Así, el regadío intensivo se ha extendido por toda el área de estudio reduciéndose notablemente las áreas de regadío extensivo o de secano.



Figura 7.3. Fotografía aérea del tramo bajo de la cuenca del río Antas, correspondiente al año 2016. Fuente: Centro Nacional de Información Geográfica.

Si comparamos la secuencia de cambios de usos del suelo del área de estudio con áreas similares en regiones de características parecidas, se puede observar como el cambio de riego tradicional a riego mecanizado es un factor común (Pulido-Bosch et al., 2000; Martín-García, 2010). En la cuenca vecina del río Guadalentín se llevó a cabo un proceso de cambios de usos del suelo similar al área de estudio. Desde mediados del Siglo XX se ha pasado de un uso tradicionalmente de secano y forestal (sin aprovechamiento económico), a un regadío industrializado que ha aumentado la productividad económica y, también en cuanto a cantidad de producción (Barberá et al., 1997). Sin embargo, la consecuencia en relación al aumento de la peligrosidad de los eventos extremos también ha aumentado, tal y como se comprobó en la inundación que ocurrió en 2012.

7.3. CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL RÍO ANTAS DESDE 1946 HASTA 2016

A partir de las ortofotos disponibles en el CNIG (2018) se ha llevado a cabo un análisis de los cambios morfológicos que ha habido como consecuencia directa de los cambios de los usos del suelo y después de la inundación del 2012 en el mismo tramo del río Antas que se ha analizado en el apartado anterior.

Los cambios más significativos, conciernen a los usos del suelo, aunque como consecuencia de estos, ha sido totalmente necesaria la adaptación geomorfológica de toda el área para el aprovechamiento del terreno con un rendimiento óptimo de los cultivos. Se debe tener en cuenta que en las regiones semiáridas como es en este caso, la disponibilidad de recursos hídricos proviene en un 50-90% de la escorrentía (Viviroli y Weingartner, 2004; Viviroli et al., 2007; García-Ruiz et al., 2011). Por lo tanto, se tuvo que adaptar más el terreno para el aprovechamiento agrícola, comparado con otras áreas como las montañosas. En este otro tipo de ambientes montañosos el aporte de la escorrentía al sistema hidrológico es solamente del 20% al 50% (Ives et al., 1997; Viviroli y Weingartner, 2004; De Jong et al., 2009; García-Ruiz et al., 2011).

En la Figura 7.4 se puede observar la secuencia de ortofotos del área de estudio, cada una corresponde a un vuelo distinto. La primera es de 1946-1947, la segunda de 1956-1957, seguida de 1973-1986, a continuación de 1998-2003, para finalizar con las ortofotos del 2013 y del 2016.

Entre la primera ortofoto (Fig. 7.4), perteneciente al vuelo americano que se llevó a cabo en 1946-1947, y la segunda ortofoto, correspondiente al año 1956, se han podido detectar algunos cambios significativos relacionados con la geomorfología cercana a las zonas inundadas durante el evento extraordinario del 2012. En el codo ubicado al oeste de la imagen se puede observar como después de la inundación de 1943 se erosionó la margen derecha. En ese punto se observa una pérdida de material en el talud, donde el río va erosionando en dirección sur. Por lo tanto, la diferencia más importante entre las fotografías aéreas de 1946 y de 1956 es que el talud se socaba como consecuencia de la erosión fluvial. Además, el canal de riego que sale aguas abajo de la Presa de La Jara a su paso por las parcelas regadas, incide mucho más. De este modo el canal se ve más socavado que en la fotografía anterior y produce una salida hacia el río aguas abajo. Se puede observar como después del evento de 1943, el cauce del canal saliente de la boquera aparece limpio, este aspecto indica que los efectos de la inundación fueron subsanados para que volviera a tener uso el canal.

Todos estos cambios se ven representados no solo en el área de estudio sino en otras cuencas similares en cuanto a los usos del suelo y a las condiciones climáticas (Camarasa-Belmonte et al., 2011; Jódar-Abellán et al., 2019).

La siguiente comparación es entre las ortofotos de 1956 y 1973-1986 (Fig. 7.4). Durante ese periodo ocurrió uno de los grandes eventos extraordinarios, concretamente los días 17-18 de octubre de 1973. Por lo tanto, los cambios geomorfológicos que se aprecian en esta comparación son debidos a la aparición de

los cambios de usos del suelo analizados en el apartado anterior, ya importantes, y a la gran inundación del año 1973.

En la ortofoto de 1973-1986 (Fig. 7.4) se puede observar todo el material acumulado en la presa que llega hasta prácticamente el codo del río. No solo se aprecia ese cambio, sino que también la erosión que sufrió el meandro que queda ubicado más al este de la imagen, siendo mucho más irregular el talud que divide el lecho del río y la ladera.

La siguiente secuencia es la que concierne a las imágenes de 1973-1986 y 1998-2003. Entre estas dos imágenes existen varios cambios: En primer lugar el uso del suelo, como se ha comentado anteriormente, es muy acusado, apareciendo los primeros campos de cultivo de regadío intensivo. También se puede observar la construcción de la depuradora del río Antas y la destrucción parcial de la Presa de La Jara. Cabe destacar que el escarpe anterior a la presa es mucho más rectilíneo.

Finalmente, las dos últimas ortofotografías corresponden a los años 2013 y 2016. Las principales diferencias con la siguiente imagen (2013), justo después del siguiente evento catastrófico (28 de septiembre de 2012), es el aumento de las hectáreas dedicadas al regadío intensivo al norte del río Antas, la desaparición de los caballones de arena y grava, y la destrucción de 50 metros de muro que formaba parte de la Presa. Todos estos cambios fueron como consecuencia directa del gran caudal y del sedimento y agua que fueron transportados durante la avenida. A partir de entonces queda en desuso el canal de riego que salía de la presa. Uno de los mayores impactos que supuso la inundación del 2012 fue la destrucción de la depuradora del río Antas.

Para acabar la secuencia de ortofotos, las diferencias entre las dos imágenes más recientes son el aumento de los campos dedicados al cultivo de regadío intensivo a los dos lados del río. Estos cambios de usos del suelo comportaron una eliminación del relieve más abrupto con el objetivo de aumentar la productividad del regadío intensivo que en esta imagen, está totalmente instalado a ambos lados del cauce del río. En el tramo más cercano a la boquera, cabe destacar la erosión que sufrió el lecho del río aguas debajo de la Presa, como consecuencia directa de la desaparición de los muros de contención que la formaban, y las primeras obras de restauración de la depuradora. También se pueden observar las primeras extracciones de gravas en la zona, industria que actualmente está más presente a lo largo de todo el curso bajo del río Antas. Este tipo de cambios que se observan a partir de la comparativa de las ortofotos es muy común no solo en los ambientes áridos, sino que también en otros en lugares más montañosos (Muñoz-Narciso et al., 2018).

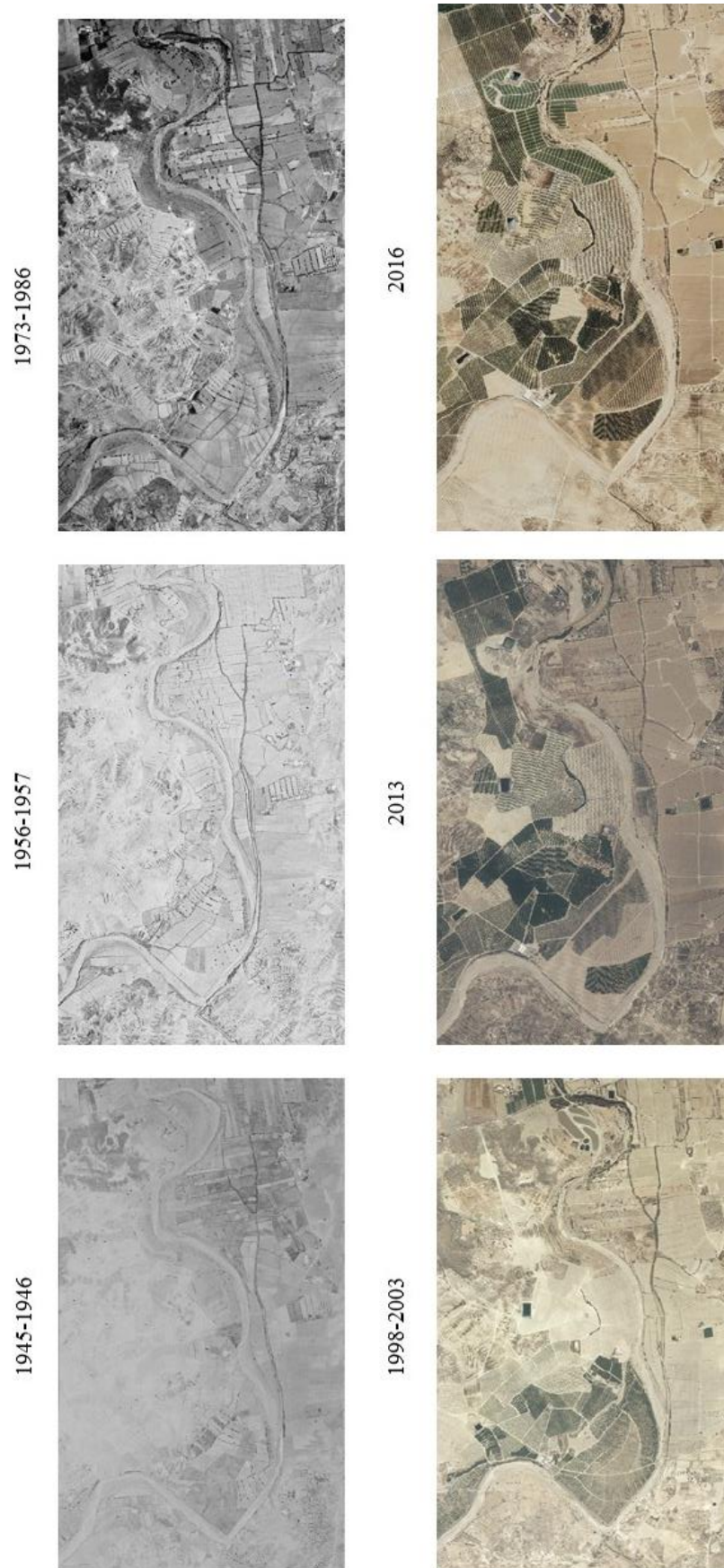


Figura 7.4. Secuencia de Fotografías aéreas de la zona de estudio. Fuente: Fototeca del IGN.

Los cambios a nivel morfológico del área de estudio se distinguen mejor si se utiliza un Modelo Digital del Terreno creado a partir de una cartografía LiDar, ya que esta herramienta tiene una mayor resolución por celda, en el caso de la Provincia de Almería de 1 metro. El mapa LiDar para la Provincia de Almería fue elaborado en 2016. Si centramos la imagen en el tramo de la presa de La Jara se observa como después de la destrucción de la presa de La Jara la dinámica de erosión y sedimentación en el lado sur de la boquera ha cambiado totalmente (Fig. 7.5).

En la actualidad, tal y como se representa en la Figura 7.5, existe una socavación al sur de la boquera, que con el abandono del uso de la presa a partir de los años 90 se ha ido incrementando. Se puede observar a partir de los tonos claros del mapa que aumentan justo en el punto de la presa.

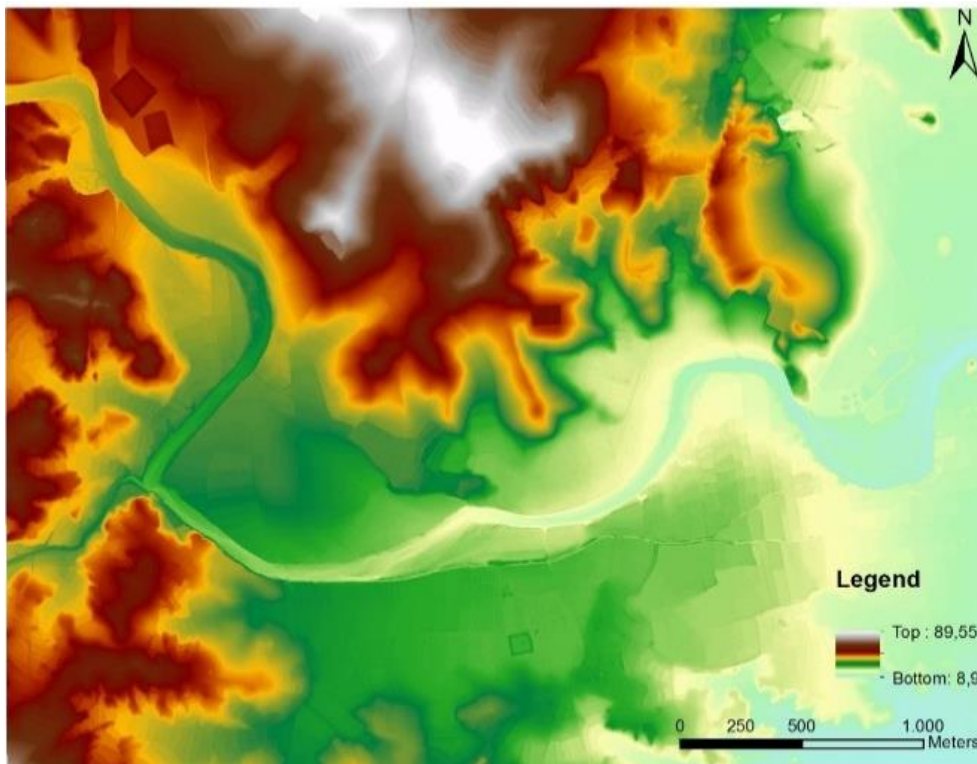


Figura 7.5. Modelo Digital del Terreno elaborado a partir de LiDar (2016). Mapa de elaboración propia.

7.3.1. Cambios morfológicos del lecho fluvial en el área de la Presa de la Jara en el río Antas desde 1956 hasta 2016

Uno de los factores que hacen que cambie más la morfología de los ríos son las inundaciones. La erosión y la agradación que resultan de los eventos extraordinarios se pueden analizar a través de las imágenes históricas. A partir de la secuencia de ortofotos que existe en el área de estudio se han analizado los cambios que se han dado en el río Antas en un tramo de 5 km. En este tramo está ubicada una antigua boquera que data al menos de 1544 AD.

En 1887 se desarrolló un mapa-plano para la reconstrucción y ampliación de la presa. Las inundaciones de 1884 habían destruido gran parte de la Presa y era necesaria la reconstrucción completa y la ampliación vertical de la infraestructura, ya que había sobrepasado muy por encima el nivel de agua en 1879 y en 1884, tal y como se explica en la memoria del proyecto de reconstrucción de la Presa de La Jara.

El diseño se encomendó a José Moreno, un ingeniero de Almería que ya tenía experiencia en obras de remodelación o reconstrucción de infraestructuras hidráulicas (c.o. Ortiz, 2017). Además de la reconstrucción en si misma, en él se analizaban los riegos que se distribuían desde La Presa de La Jara hacia los campos de La Jara, Palmerales, Espesura, Morisco y Jaray (Fig. 7.6).

En el plano del tramo de la presa se tienen en cuenta los diferentes muros que se construyen para la correcta distribución de las aguas (Fig. 7.7). Con todo, se elaboró un estudio de cómo se debe construir la presa para que se sostenga bien a los cimientos (Fig. 7.8). Por lo tanto, a partir de todos estos datos descriptivos sabemos que la Presa era de vital importancia para el regadío de la zona antes de la industrialización del regadío.



Figura 7.6. Plano-Croquis de La Jara. Fuente: Proyecto de remodelación de la Presa de La Jara, 1887.

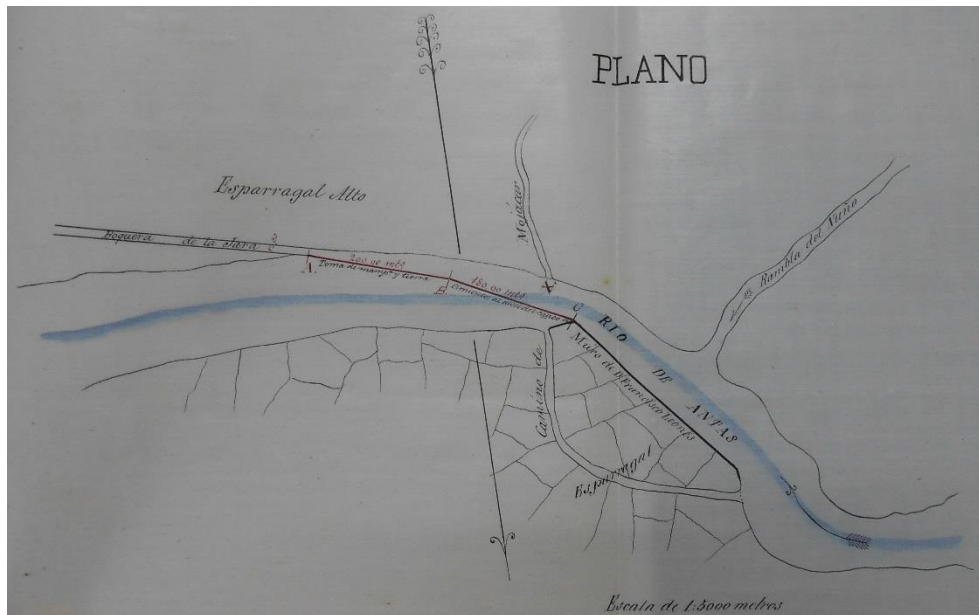


Figura 7.7. Plano de detalle del tramo de la Presa de La Jara.

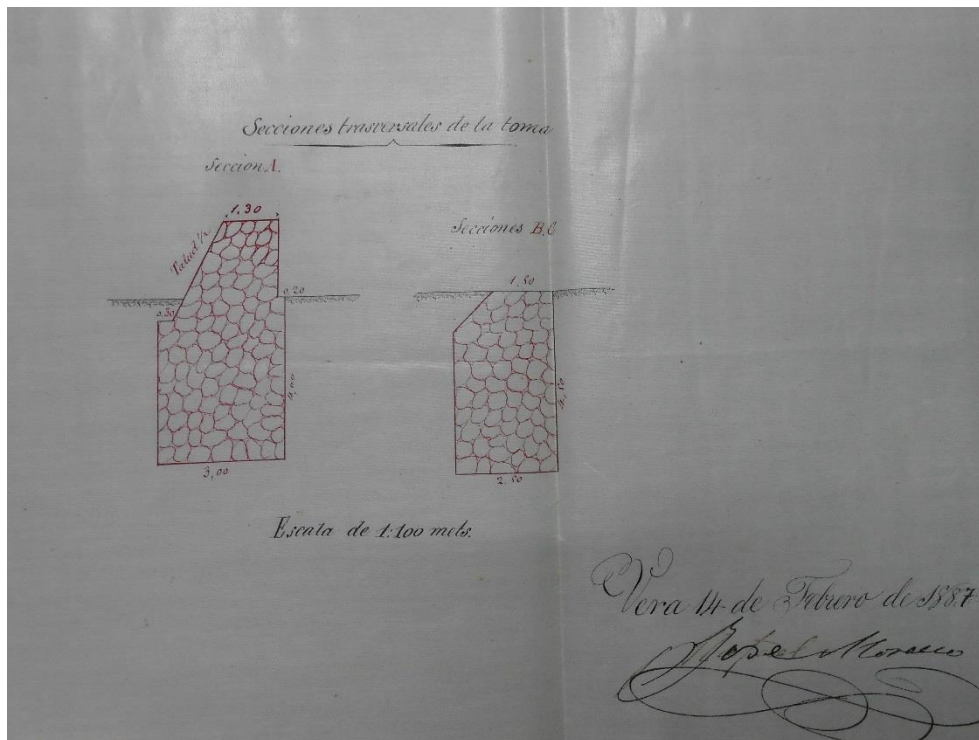


Figura 7.8. Perfil transversal del muro de la Presa de La Jara.

Además de la descripción de la Presa y de los campos regados gracias a ésta, también se describe la sección del canal desde donde se distribuyen las aguas después de ser encauzadas por la presa. En la Figura 7.9 se puede observar como un factor que se tenía muy en cuenta era la limpieza del cauce, hecho que también se puede leer en las páginas anejas al plano-sección.

El factor determinante para que se realizaran estas obras de mejora tan amplias, tal y como se ha comentado anteriormente, reside en que años antes, en 1879 y en 1884, había habido sendas inundaciones catastróficas que habían dejado muy mermadas

las infraestructuras hidráulicas. Tanto la Presa de La Jara como la acequia Real que llegaba a Vera y algunas acequias menores, que se utilizaban para el regadío, tal y como se puede leer en las páginas del periódico de la época *El Minero de Almagrera* (núm. 273, 1879). Los últimos años del Siglo XX se caracterizan por la ocurrencia frecuente de inundaciones de magnitudes relativamente altas, de 2, 3 y 4 (Véase *Capítulo 4*). Por lo tanto, la reconstrucción de las infraestructuras era relativamente costosa y después del evento de 1884, los propietarios de las tierras se deciden a hacer un proyecto de mejora de la Presa más costoso. Así se lo hacen saber a los alcaldes de los municipios afectados; Vera y Antas. Es así como en 1885 se proyecta la realización de obras importantes de mejora en La Jara, sin embargo en 1886 hay una pequeña riada que hace que se retrase el proyecto, que no se escribió hasta 1887, y no se llevó a cabo hasta 1889.

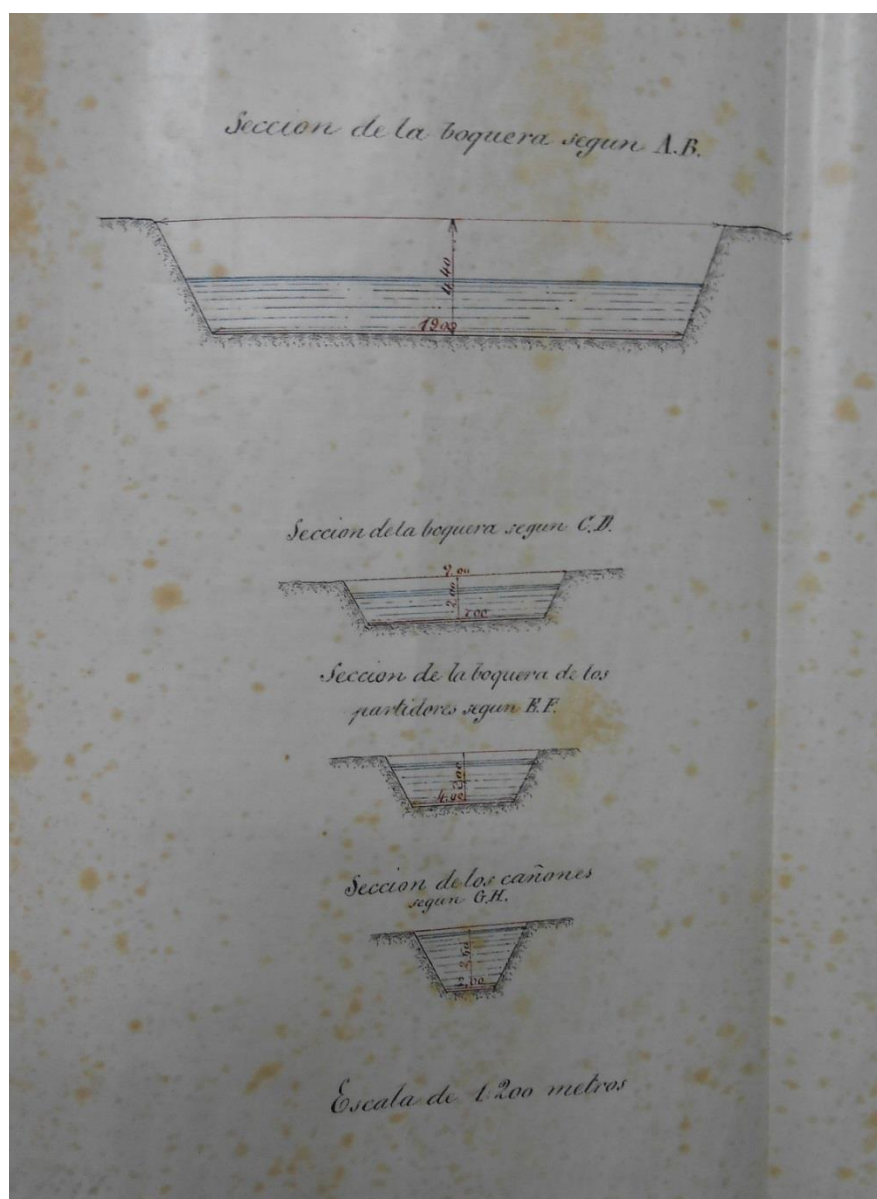


Figura 7.9. Perfil transversal del canal de riego saliente de la Presa de La Jara.

Después del proyecto descrito, no se ha llevado ninguna obra de reparación o reconstrucción importante, al menos que esté documentada en los archivos históricos o en informes técnicos. Sin embargo, sí que se han llevado algunas obras de mejora tal y como se pueden observar en campo. En la Figura 7.10, se puede observar el estado actual de la Presa de La Jara. Como se puede apreciar la infraestructura es una obra de una importancia clara, con más de 4 metros de altura. En la imagen se observa una construcción relativamente nueva, de cemento y que tiene varios anclajes de hierro que seguramente datan del Siglo XX. Seguramente estas obras de mejora son como consecuencia de i) la destrucción parcial del muro por algún evento catastrófico que puede ser el ocurrido en 1924; ii) la colmatación después de varios eventos relativamente importantes y que hacen que la altura del lecho del río suba, respecto al muro. La subida de la altura del muro tenía el objetivo de encauzar mayor caudal que con un muro que fuera más bajo.



Figura 7.10. Fotografía del desagüe de la Presa de La Jara en la actualidad. Fotografía, Dr. Lothar Schulte, 2017.

La morfología del río Antas en este tramo, se mantuvo relativamente igual hasta la inundación de 1973. La evolución que ha tenido este tramo en los últimos 50 años está muy marcada, por dos eventos; el primero es la inundación de 1973, cuando la boquera aún estaba en uso. El segundo fue en 2012, cuando la boquera estaba en desuso. Este factor se ha notado ya que después de los destrozos que produjera la inundación de 1973, parte de las infraestructuras se renovaron y además se mejoraron otras. En cambio, tras el catastrófico evento del 2012, el hecho de que la boquera y el canal estuvieran en desuso ha causado un abandono total de estas infraestructuras. La única actividad que se puede apreciar en el lecho del río es la extracción de gravas.

Los perfiles descritos durante las diferentes campañas de campo (2016, 2017, 2019), muestran que la lámina de agua superó el umbral que cubría la presa. En las

inundaciones catastróficas de 1973 y 2012 este nivel de agua superó la altura de los perfiles descritos, inundando gran parte de los terrenos de La Jara y produciendo daños y destrozos en la desembocadura del río Antas (Benito et al., 2012). Por lo tanto, la inundación del 2012 afectó en todo el curso inferior del río Antas, afectando a las parcelas dedicadas al cultivo intensivo, depositando mucho material en estas áreas y cambiando las formas del relieve en algunos casos. En la Figura 7.11 se puede observar algunos de los efectos de la inundación del 2012, la imagen corresponde a la zona de La Jara.



Figura 7.11. Daños ocasionados por la inundación del 28 de septiembre del 2012 en los campos de La Jara (29 de septiembre 2012, Jaime Serrano, propietario de las parcelas afectadas).

Teniendo en cuenta todos estos factores se ha procedido a digitalizar la morfología del cauce del río a partir de una secuencia de ortofotos. Las ortofotos que se han utilizado como base de la digitalización corresponden a los años: 1956-1957 (1956), 1975-1986 (1985), 2004, 2010, 2013 y 2016 (Fig. 7.12). En ella se muestran las diferencias entre las barras laterales y diagonales, las diferencias entre los canales activos y no activos del río, y la evolución del cauce antes y después de la destrucción de la Presa de La Jara en el 2012.

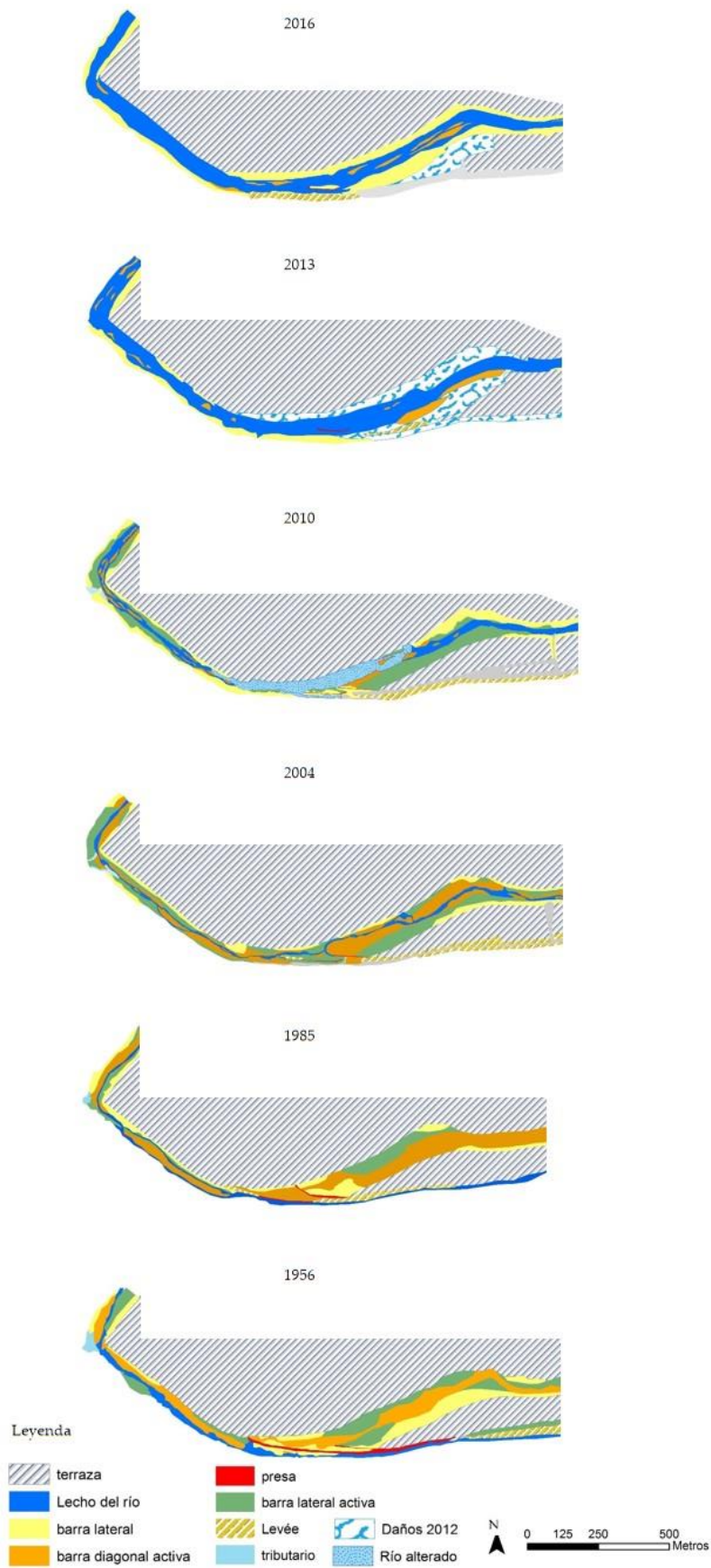


Figura 7.12. Secuencia de la evolución de las características morfológicas del lecho del río Antas.

De los elementos antrópicos que se pueden destacar en las ortofotos, el más representativo y continuado en el tiempo es la boquera de la Jara, también conocida como la Presa de La Jara. Dicha presa, ha sufrido cambios a lo largo de todo el periodo, ocupando más superficie en los mapas de 1956 y 1985, que en los siguientes mapas de la secuencia, terminando en 2012 prácticamente destruida, como consecuencia de la inundación que se produjo el mismo año.

A partir del tratamiento de la digitalización con el software ArcGis 10.3.1 ®, se han podido calcular las superficies de cada una de las tipologías de áreas (Muñoz-Narciso et al, 2018) en el tramo del río Antas. En la Tabla 7.1. se puede observar la evolución del área (ha) para las distintas formas morfológicas que se identificaron. En él se distinguen varios aspectos que cabe destacar.

Tabla 7.1. Área (ha) de las distintas formas morfológicas del río Antas, obtenidas a partir de la digitalización de la secuencia de las ortofotos obtenidas del visor del Instituto Geográfico Nacional. En rojo están representados las bajadas importantes en cuanto a superficie, en verde están representadas las subidas importantes en superficie.

Año	Río	Barra lateral	Barra diagonal	Presa	Barra lateral activa	Levé	Tributario	Afectación 2012
1956	2,775	4,503	5,312	0,694	5,038	1,293	0,256	
1985	2,126	3,047	7,183	0,173	2,438	0,878	0,084	
2004	1,967	2,484	5,304	0,058	5,208	1,960	0,135	
2006	3,508	3,697	3,541	0,051	6,327	0,651	0,651	
2010	2,881	4,428	1,018	0,042	4,640	1,227	0,121	
2013	10,660		1,265	0,040	2,724	0,313		6,965
2016	10,043		0,799	0,037	7,453	0,826		1,932

En primer lugar, hay que tener en cuenta que es un río alterado desde hace 30 años prácticamente, cuando se empezaron las actividades de extracción de áridos. A partir de este hecho los cambios en las barras y en el lecho del río, son consecuencia directa de la actuación antrópica y de las riadas más catastróficas que han ocurrido durante el periodo de estudio para este caso en concreto (1973, 1989 y 2012).

Por lo tanto, hay que destacar que a partir de la inundación del 2012 hay un aumento de la superficie del río activo. Este hecho es como consecuencia de la limpieza que ocasionó el gran caudal que fue transportado durante dicho evento y de la extracción de áridos. Mientras que anteriormente, la superficie había sido bastante constante, ya que había un equilibrio entre los caudales efímeros del río Antas y los usos del suelo que se aprovechaban del caudal de regadío generado a partir de la boquera.

Por otro lado, las barras laterales son la forma morfológica que se mantiene más constante en superficie a lo largo de la secuencia digitalizada. Esto se produce como

consecuencia de la no dependencia del cambio de los usos del suelo y, al ser barras marginales en los laterales del lecho fluvial (Llena et al., 2018, 2019). Sin embargo, en los mapas de 2013 y 2016 desaparecen. La causa está ligada a la inundación de 2012, ya que se modificó todo el cauce, eliminando toda forma de barra lateral. En un futuro, por la propia dinámica sedimentológica del cauce es previsible que se vuelvan a formar. Asimismo, la barra diagonal, más activa por definición, tiene una dinámica más inestable, dependiendo de las inundaciones de 1973 (área de 1985) y posteriormente, nota fuertemente la extracción de gravas.

La superficie de la Presa de La Jara se ve afectada fuertemente por el cambio de usos del suelo que se han dado en estos años. Es notable el decrecimiento de la superficie del muro y de los caballones que la forman. La superficie que ocupa en 2016 representa solamente el 5% del total de la superficie que ocupaba en 1956. La diferencia más notable fue cuando se cambió el uso del suelo al sur del cauce, cuando se abandona el canal de riego como uso principal, entre la superficie que ocupaba en 1985 y la que ocupó en 2004 hay una bajada del 66%. Aunque la bajada entre 1956 y 1985 es mayor (75%), ésta es debida a la eliminación de los caballones, no del muro físico.

De este modo, comparando las superficies que ocupan la presa y el lecho activo del río, existe una relación directa. Con todo, cuanto mayor es la superficie de la presa menor es la superficie del cauce. El único año que no sigue esta correlación es en el mapa de 2006, donde se equiparan ambos valores, seguramente por la reconstrucción parcial de una parte de la presa para proteger el posterior proceso de extracción de gravas.

En cuanto a las barras laterales activas, tienen una tendencia opuesta a las barras diagonales, los procesos de extracción de gravas tienen un impacto en la superficie de este tipo de barras. La superficie ha tenido una tendencia ligeramente estable, aunque con máximos y mínimos, siendo el mínimo absoluto en 1985, quizás como consecuencia de un periodo estable a nivel de inundaciones, y el máximo absoluto, en la última imagen (2016). El hecho de que el máximo absoluto sea justamente en la última imagen, puede ser como consecuencia de un proceso de lateralización de la barra y estabilización después de la avenida del 2012.

El levé se ubica entre el canal principal del río y el canal secundario formado a partir de la boquera. Tiene una superficie muy estable durante toda la secuencia, solamente sufre una prácticamente desaparición en 2013, seguramente como consecuencia de los efectos de la gran cantidad de material transportado en la avenida de 2012.

Finalmente, las superficies del tributario ubicado al oeste, justamente en el codo, el paleocanal, la extracción de grabas (río alterado) y el área afectada por la riada del 2012, son superficies mucho menores en su mayoría en comparación con las otras formas sedimentológicas. Solamente el área digitalizada como zona afectada directamente por la avenida tiene una superficie similar a las otras formas. Esto demuestra la magnitud que pudo tener en ese punto, en cuanto a caudal líquido y en cuanto a caudal sólido.

El cambio más evidente que se detecta como consecuencia de la avenida de 1973, en algunos lugares del río se puede ver los grandes cambios introducidos por la actividad antrópica. En el tramo en cuestión, de todas formas, son 29 años sin datos (1956-1985) en los que se incluyen ya las transformaciones humanas (extracción y reconstrucción de la boquera). A nivel morfológico, se aprecia es la bajada de las barras laterales activas, y el aumento de las barras diagonales. No hay que olvidar que han pasado 12 años desde el evento hasta la ortofoto que ha sido digitalizada. Así, los cambios puede que estén más borrados, no solo por el paso del tiempo, sino también por el uso del suelo que había durante esos años, ya que el lecho del río se seguía utilizando como sitio de paso con el ganado.

Mientras que hasta 1985 el cauce activo del río se encauzaba a partir de la presa, a partir de la inundación de 1989, la presa se rompe y el cauce activo empieza a pasar por el lecho principal del río. Finalmente, como factor más importante, hay que tener en cuenta el abandono de las terrazas con regadío extensivo (tradicional) por regadío intensivo (aplicando tecnología), hace que el canal de la boquera quede abandonado.

En el mapa del 2010, aparece un factor antrópico muy importante a nivel de cambios en la dinámica fluvial en el lecho del río. En este mapa se empiezan a apreciar los cambios morfológicos consecuentes de la extracción de gravas, éstos empezarán entre 1993 y 1999. Esta actividad se ve truncada en la siguiente imagen (2013) como consecuencia de la gran inundación de 2012. En dicho mapa se puede observar el área afectada por la inundación y como las barras laterales y diagonales prácticamente han desaparecido, ya que el gran caudal limpió toda la llanura de inundación, como también la desaparición parcial de la Presa de La Jara.

Durante la inundación del 2012 la depuradora que está en la margen izquierda después del uno de los meandros, como también las parcelas regadas que quedan ubicadas en La Jara queda totalmente destruidas. El río aprovechó los canales de riego antiguos como vía de escape para el enorme caudal que transportaba, inundando así parcelas que quedaban más alejadas.

En la última imagen (2016), se muestra como después de 4 años el lecho del río ha evolucionado hasta formar de nuevo diversas barras laterales activas y barras diagonales. Aunque en la parte oeste, el lecho del río sigue siendo mucho más ancho que en las primeras imágenes de la secuencia, esto se ve representado por el área que ocupa el río, que no ha disminuido prácticamente entre el mapa del 2013 y 2016.

La topografía del río Antas desde su nacimiento también aporta factores determinantes en los efectos de los cambios de usos del suelo y las repercusiones que puedan generar en la escorrentía. Según Millares et al. (2014), los gradientes topográficos en áreas montañosas resultantes de la alta variabilidad de la distribución de la temperatura y de la precipitación pueden ocasionar grandes contribuciones de sedimentos a lecho del río. En el caso del área de estudio, el área montañosa está a unos 20 km al oeste, estos han sufrido un abandono de los usos de suelo de montaña.

Para todo el periodo de estudio (1956-2016) ha habido periodos riadas severas ni catastróficas. Los grandes eventos ocurrieron en 1973, 1989 y 2012. Entre los tres, han pasado 16 y 23 años, respectivamente. En estos casos se pueden apreciar las consecuencias de la antropización de un cauce de río efímero.

Después de una inundación el canal principal del río puede cambiar a antiguos canales secundarios (Schulte, 2002a, b; Millares et al., 2014; Schulte et al., 2009, 2015). Esto es común en los ríos con un caudal efímero y en zonas llanas con canales secos en *braided*.

En la Figura 7.13, se puede observar la zona de La Jara con mucho más detalle. En ella están representadas las alturas a gran resolución. El MDT se ha generado a partir de datos LiDar, por lo tanto, la resolución es de 50x50 cm por celda. Uno de los aspectos más destacables es que la zona que había sido de sedimentación en la Jara, está más baja que el resto del lecho. Este hecho puede ser como consecuencia de la desaparición del muro de contención que había anteriormente a la riada del 2012, ya que sin tal muro en esa zona se forma un embudo y la velocidad y la capacidad erosiva es mayor durante los eventos extraordinarios. La velocidad del flujo por lo tanto ocasiona erosión vertical (Bull, 1960; Schumm, 1993).

Por otra parte, al otro lado de lo que queda de Presa, hay una agradación del lecho fluvial. De este modo, el curso principal del río ha cambiado, pasando ahora por zonas anteriormente dedicadas a distribuir el agua hacia los campos regados.

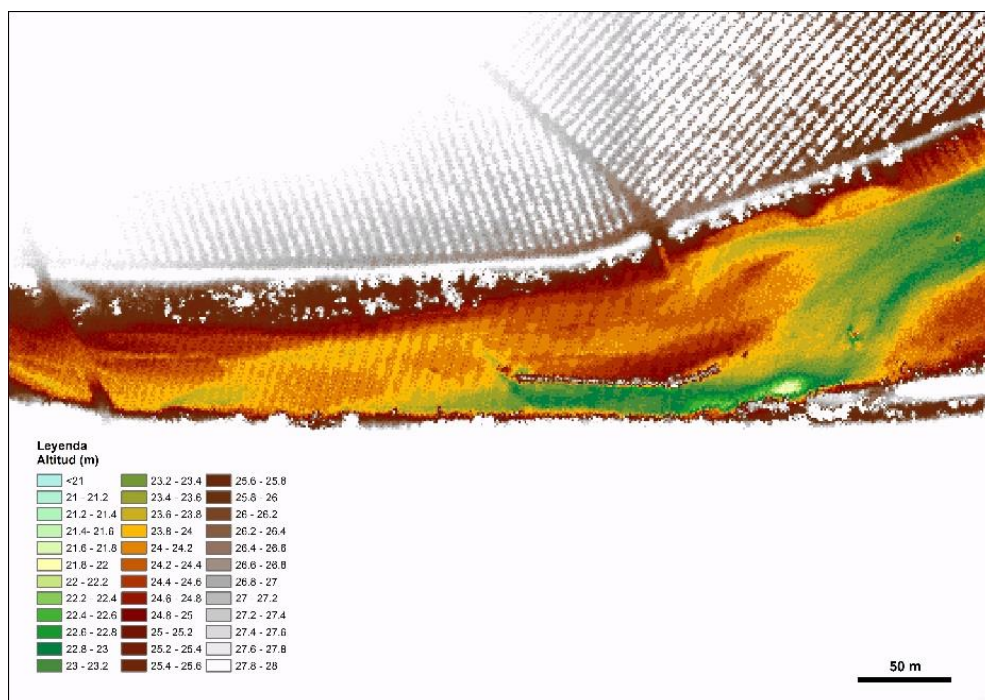


Figura 7.13. Altimetría a partir de LiDAR de la zona de la Presa de La Jara en el Río Antas.

Uno de los perfiles que se diseñaron para la modelización de la inundación cruza el río justo aguas abajo de la presa. Tal y como se puede observar en la Figura 7.14, el cauce estaba totalmente inundado y, además, el canal que antiguamente se había utilizado para el regadía de todas las parcelas de La Jara estaba también cubierto por

la lámina de agua. Este hecho demuestra la magnitud de la inundación y la importancia que podía haber tenido la presa cuando estaba en uso.

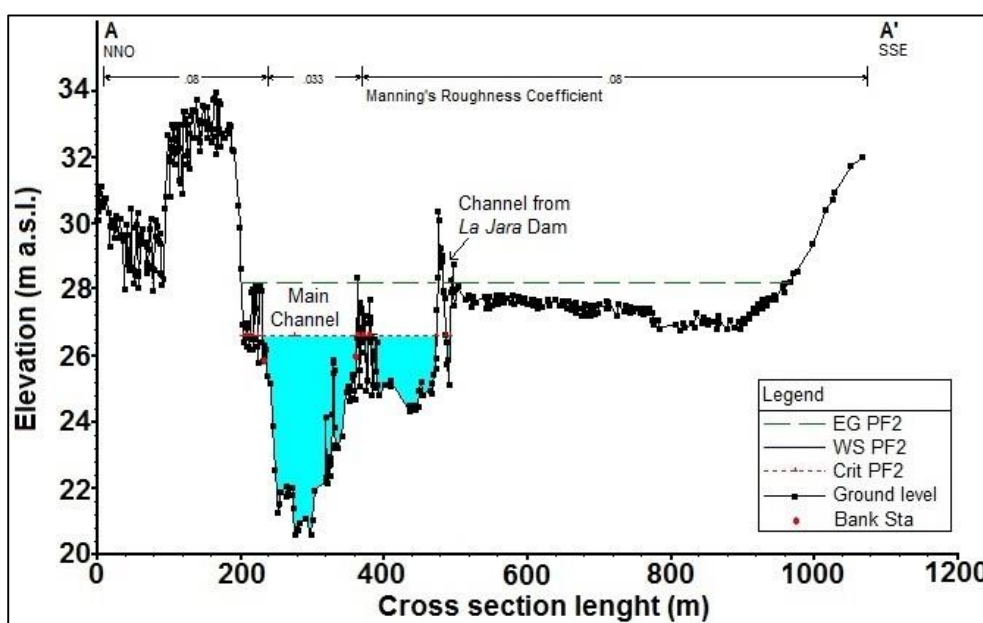


Figura 7.14. Perfil transversal a la altura de La Jara. Representa la modelización de la inundación del 28 de septiembre de 2012. Arriba: mapa de situación del perfil transversal (A-A').

7.4. CONCLUSIONES

El análisis del uso del suelo y del cambio en la morfología en el curso bajo del río Antas, a través de las fotografías aéreas de los últimos 60-70 años, muestra que estos cambios han afectado de una manera muy notable en el daño de las inundaciones. Las inundaciones de magnitudes bajas que históricamente no sobrevinían en daños importantes para campos o en infraestructuras, hoy en día sí que lo hacen, la cementación y la compactación han hecho aumentar la escorrentía. Si añadimos el aumento de la exposición de los habitantes del área de estudio hace que inundaciones como en 2016, 2017 o 2018, que en principio no ocasionaron ningún

daño en el tramo estudiado, sí que causaron daños personales en la desembocadura del río.

El paso de la agricultura tradicional y el pastoreo a agricultura intensiva y abandono prácticamente completamente del pastoreo, sumado a la urbanización de grandes áreas cercanas a zonas inundables ha contribuido a aumentar los daños por las inundaciones. Este aspecto se ve reflejado en las inundaciones de baja intensidad que han ocasionado daños en infraestructuras urbanas en los años 2015-2017. En cambio, las inundaciones de baja intensidad de los años 70-80, no ocasionaban a penas daños, solamente a los cultivos que estaban más cerca del cauce del río.

Además, las antiguas acequias y azudes, ahora abandonados, actúan como canales de inundación. Así, se ve reflejado en la inundación del 2012, el último gran evento que ha ocurrido en el sudeste de la Península Ibérica.

8.

CONSIDERACIONES FINALES

La elaboración de las series de inundaciones históricas en la Provincia de Almería desde el Siglo XVI, a partir de archivos históricos, y la reconstrucción pluridisciplinar de los eventos hidrológicos extremos, a partir de fotografías aéreas y modelización hidráulica, ha permitido estudiar los aspectos geomorfológicos, climatológicos, hidrológicos y de usos del suelo, más importantes de cuatro cuencas del sureste de la Península Ibérica.

El presente estudio aporta una mejora en el conocimiento de la Geografía de la Provincia de Almería. Éste resulta extrapolable al sureste de la Península Ibérica (Murcia y Alicante), pues las características geográficas en general son similares. Sin embargo, en situaciones particulares cada cuenca funciona distinta y tiene sus propios umbrales del sistema (Schulte et al., 2009a, 2009b). Las cuencas se analizaron de forma distinta, pues los datos que se disponían de cada una eran distintos. Gracias a los aportes del trabajo, se podrán implementar mejoras en la gestión del territorio en aspectos de urbanismo y protección al riesgo de inundaciones. Asimismo, el progreso en entender el funcionamiento y los desencadenantes de los eventos hidrológicos extremos, permitirá optimizar los avisos por riesgo de avenida a los entes administrativos.

En este apartado se presentan las consideraciones finales de la Tesis teniendo en cuenta los objetivos descritos en el Capítulo 1.

1. Reconstrucción de las inundaciones históricas y clasificación de las avenidas según un índice de magnitudes.

La elaboración de las series de inundaciones históricas de los ríos Almanzora, Andarax, Antas y Aguas, a partir de 16 archivos históricos y de diferentes fuentes secundarias, muestra una correlación directa entre las tres cuencas del este del área de estudio y algo menos directa con la cuenca del río Andarax (Capítulo 4, Fig. 4.8). Un factor coincidente es el aumento del número de inundaciones registradas en las cuatro cuencas desde finales del Siglo XIX. La aparición de periódicos locales y posteriormente, de los medios de comunicación actuales y redes sociales, hacen circular una gran cantidad de información sobre cualquier evento extremo, y las inundaciones no son una excepción. Además del aumento de la información, otro factor clave en el aumento del número de inundaciones ha sido la urbanización en áreas inundables y el consiguiente aumento de la vulnerabilidad y la peligrosidad en esas zonas, cercanas a la costa y a las desembocaduras.

Las inundaciones catastróficas se concentran en su mayoría a finales de verano y otoño, con algunas excepciones en junio (1 de junio de 1899, río Aguas). Una situación como la DANA suele ser el desencadenante de las inundaciones más catastróficas que se han podido identificar, para el río Almanzora en 1580, 1729, 1879 y 1973.

La influencia climática se diferencia principalmente por los flujos de este en las cuencas de los ríos Almanzora, Antas y Aguas por un lado, mientras que los registros muestran una relación más directa con los flujos del oeste en el caso de la cuenca del río Andarax (Capítulo 4, Fig 4.12). Por otra parte, la relación de las

inundaciones con las dos principales teleconexiones que tienen marcada influencia en la Península Ibérica no tiene una correlación perfecta con las inundaciones en el extremo sureste. La WeMo tiene cierta correlación durante los eventos de magnitudes altas, la NAO en cambio, no muestra una relación representativa en ninguno de los casos

2. Creación de períodos de retorno para los ríos estudiados.

Mediante la estimación de los caudales históricos de las inundaciones históricas del río Almanzora se ha podido reconstruir el periodo de retorno, teniendo en cuenta un periodo de estudio de casi 500 años. De este modo se ha realizado un FFA que ha permitido describir el aumento de la frecuencia de inundaciones catastróficas en los últimos 50 años. A partir del análisis de los caudales estimados, se puede afirmar que los caudales punta que debe superar el río Almanzora para causar una inundación catastrófica de M3, son extraordinarios. Alcanzando cifras superiores a ríos cercanos y con similares características.

La aplicación de diferentes métodos estadísticos para calcular el periodo de retorno ha permitido optar por el método que finalmente se adecuaba mejor a las características de los datos de los que se disponía del río Almanzora, ya que los datos instrumentales y reconstruidos alcanzaban un umbral de datos suficiente para aplicar un FFA. Por lo tanto, el resultado del periodo de retorno de los diferentes caudales del río Almanzora teniendo en cuenta todos estos datos permite la comparación de los resultados con diferentes cálculos de periodo de retorno que se habían realizado anteriormente por otros agentes y estudios. Además, con los datos cuantitativos relativos a los caudales ayudan a tener una visión comparativa con ríos de similares características cercanos al río Almanzora. La ampliación del periodo de estudio permite tener una mejor concepción histórica del comportamiento del río Almanzora y las consecuencias que puede tener las diferentes maneras de gestión del territorio.

3. Analizar la última avenida de 2012 desde el punto de vista hidrológico, hidráulico, climático y antrópico.

El análisis multidisciplinar de la inundación del 28 de septiembre de 2012 ha permitido un mayor conocimiento de los desencadenantes y las consecuencias del evento. Por una parte, la reconstrucción del área inundada llevada a cabo a partir de la cartografía de diferentes imágenes y videos, muestra como la superficie inundada fue mayor que la que previamente se había descrito en otros trabajos (Benito et al., 2012). La cartografía de este caudal en un MDT manifiesta como el río circuló por antiguos meandros y canales, cartografiados en el mapa geomorfológico por Schulte (2002a), inundando áreas que actualmente están urbanizadas cerca de la costa.

Por otra parte, la modelización de la avenida resulta en la estimación de un caudal punta que oscila entre $2.800 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $3.200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Un caudal mucho mayor de lo que se pudiera pensar a la hora de gestionar de manera correcta la urbanización de la zona. Sin embargo, en este apartado hay que tener en cuenta la incisión del río en algunas zonas, entre 2012 (inundación) y 2016 (cartografía LiDar). El factor de la erosión

vertical en puntos como en la Presa de La Jara hace difícil la reconstrucción exacta del caudal y del área inundada y añade un factor de error en el análisis de la modelización.

Las condiciones meteorológicas que generaron las lluvias torrenciales en todo el sureste de la Península Ibérica tienen características muy similares a las que previamente se han estudiado (1580, 1729, 1879 y 1973) en el Capítulo 4 para el río Almanzora. La generación del caudal punta fue extremadamente rápido y la gestión de las alertas por parte de la administración fue deficitario en ese aspecto, sin embargo, la mejor de la comunicación puede realizarse siendo extremos en el sistema de alertas por inundación en este tipo de áreas.

4. Identificar los cambios de usos del suelo a partir de fotografías aéreas y mapas de usos del suelo.

El análisis de la secuencia de fotografías aéreas desde 1956 hasta 2016 en el tramo final del río Antas y de los diferentes mapas de usos del suelo desde 1946 hasta 2016 muestran la evolución que ha habido en los usos del suelo y la morfología del paisaje. Además, a través de las fotografías aéreas la morfología del lecho del río en un tramo de 5 kilómetros en el río Antas ha sido analizado.

El paso de la agricultura tradicional donde predominaba el cultivo de secano y el cultivo de regadío a partir de infraestructuras tradicionales, tales como acequias, azudes, presas o aljibes, al cultivo intensivo de regadío, donde el paisaje es dominado por grandes extensiones de cultivo regado, puede modificar la dinámica de la escorrentía del área estudiada. Este hecho se traduce en mayor número de inundaciones en los últimos 30 años. Además, hay que añadir una superficie más extensa urbanizada, hecho que también hace aumentar la escorrentía. Por otro lado, el aumento de la información sobre eventos hidrológicos extremos puede incurrir a pensar que hay más inundaciones hoy en día.

En cuanto a la morfología del lecho fluvial, se ha visto como la evolución de los usos del suelo también ha tenido consecuencias. Mientras que en los primeros mapas el río se comportaba como un río más natural, a pesar estar antropizado desde hace siglos, en los siguientes mapas se ve afectado por la extracción de áridos, el abandono primero y la posterior destrucción de infraestructuras tradicionales, y finalmente la inundación de 2012.

Se puede intuir pero no afirmar una relación directa entre los cambios de usos del suelo y el aumento sistemático de la magnitud de las inundaciones. El análisis que se ha llevado a cabo en el Capítulo 7, debe proporcionar a la administración pública una herramienta para mejorar la gestión del territorio en zonas marcadamente afectadas por riadas catastróficas.

POSIBLES LINÉAS DE CONTINUACIÓN DEL TRABAJO

El trabajo aquí presentado puede actuar de base para futuros proyectos en el sureste de la Península Ibérica relacionados con los riesgos naturales, la modelización hidráulica, el análisis de usos del suelo y por último pero no menos importante, para la reconstrucción paleoambiental y de paleoinundaciones de la zona.

Una vez obtenida las series de inundaciones históricas, la reconstrucción de una serie de paleoinundaciones a partir de sedimentos fluviales es más precisa debido a la posibilidad de cambiar el modelo geocronológico a partir de archivos sedimentarios fluviales. La datación de los sedimentos fluviales depositados en los márgenes elevados de las ramblas y ríos del área de estudio, deberían servir para extender el periodo de reconstrucción hacia el pasado. De esta manera se podría entender mucho mejor la dinámica de inundaciones. La serie de paleoinundaciones también podría compararse con *proxies* paleoclimáticos y hacer una correlación entre éstos. De esta manera, se podría profundizar mucho más en las características paleoambientales, paleoecológicas, paleoclimáticas y la variabilidad climática en las áreas de los ríos estudiados.

El avance en los estudios de erosión mediante la herramienta de SIG (SWAT) y su correlación con los cambios de usos del suelo está avanzando. Con esta nueva herramienta se puede avanzar en el estudio del impacto de cambios de uso de suelo, escorrentía y cambios en la dinámica de inundaciones. Igualmente, puede servir para cuantificar el volumen de sedimento erosionado como consecuencia de un cambio de uso tradicional a uso actual (intensivo). Sobre los estudios de cambios morfológicos en el lecho del río, se podría aplicar SfM y MVS, de esta manera se reduciría el error introducido por el tamaño de celda de un LiDar, aunque no es muy elevado.

Otro aspecto muy interesante a tener en cuenta en el futuro son los agentes locales. Involucrar en el estudio a administraciones locales como ayuntamientos y asociaciones de vecinos, administraciones regionales como la Diputación de Almería o la Junta de Andalucía, e incluso administraciones nacionales como el Ministerio que tenga la competencia en la gestión y el diseño del territorio, sería de gran ayudara para poder gestionar los recursos hídricos que proporciona el río y los acuíferos de una manera más sostenible. De esta manera, mediante entrevistas a la población local, se podría llegar a un punto de encuentro y tratar de analizar el aspecto social o, más social, del impacto de las inundaciones extremas en las poblaciones. Éstas, si son educadas bajo el conocimiento del comportamiento del río, podrán reaccionar de una manera mejor en situaciones de eventos hidrológicos extremos.

Por último, este trabajo ha servido para ayudar a entender la dinámica de cuatro ríos del sureste de la Península Ibérica. Sin embargo, la relación de las cuatro series históricas con otras series históricas en áreas similares es necesaria para acabar de entender como se comportan los ríos efímeros y la evolución que han tenido éstos a lo largo de los siglos.

9.

FINAL REMARKS

The elaboration of the series of historical floods in the Province of Almeria since the 16th century, from historical archives, and the multidisciplinary reconstruction of extreme hydrological events, from aerial photographs and hydraulic modelling, has made it possible to study the most important geomorphological, climatological, hydrological and land use properties of four basins in the southeastern of Iberian Peninsula.

This study provides an improvement in the knowledge of the Geography of the Province of Almeria. This can be extrapolated to the southeastern of Iberian Peninsula (Murcia and Alicante), as the geographical characteristics in general are similar. However, in particular situations each basin functions differently and has its own system thresholds (Schulte et al., 2009a, 2009b). Giving the contributions of this thesis, it should be possible to implement improvements in the management of the territory in aspects of urbanism and protection against the flood hazards. Likewise, progress in understanding the functioning and triggers of extreme hydrological events will allow the optimization of flood risk warnings to administration.

This section presents the final considerations of the Thesis taking into account the objectives described in Chapter 1.

1. Reconstruction of historical floods and classification of floods according to an index of magnitudes.

The elaboration of the series of historical floods of the Almanzora, Andarax, Antas and Aguas rivers, from 16 historical archives and different secondary sources, shows a direct correlation between the three basins of the east of the study area and less direct with the basin of the Andarax river (Chapter 4, Fig. 4.8). A coincident factor is the increase in the number of floods recorded in the four basins since the end of the 19th Century. The appearance of local newspapers and later, of the current media and social networks, circulate a large amount of information about any extreme event, and floods are no exception. In addition to the increase in information, another key factor in the increase of the number of floods has been the urbanization in flooding areas and the consequent increase in vulnerability and hazard in those areas near the coast and mouths.

Catastrophic floods are mostly concentrated in late summer and autumn, with a few exceptions in June (1 June 1899, River Waters). A situation such as DANA is usually the trigger for the most catastrophic floods that could be identified for the Almanzora river in 1580, 1729, 1879 and 1973.

The climatic influence is mainly differentiated by the eastern flows in the basins of the Almanzora, Antas and Aguas rivers on the one hand, while the records show a more direct relationship with the western flows in the case of the Andarax river basin (Chapter 4, Fig. 4.12). On the other hand, the relationship of floods with the two main teleconnections that have a marked influence on the Iberian Peninsula does not have a perfect correlation with floods in the extreme southeast. The WeMo

has a certain correlation during events of high magnitudes, the NAO, on the other hand, does not show a representative relationship in any of the cases.

2. Creation of return periods for the rivers studied.

By estimating the historical discharges of the historical floods of the Almanzora river, it has been possible to reconstruct the return period of this river, taking into account a study period of almost 500 years. In this way, an FFA has been carried out which has made it possible to describe the increase in the frequency of catastrophic floods over the last 50 years. From the analysis of the estimated discharges, it can be stated that the peak flows that the Almanzora River must exceed to cause a catastrophic flood of M3, are extraordinary. These figures are higher than those of nearby rivers with similar characteristics.

The application of different statistical methods to calculate the return period has allowed us to opt for the method that finally best suited the characteristics of the data available from the Almanzora river. Therefore, the result of the return period of the different discharges of the Almanzora river taking into account all these data allows the comparison of the results with different return period calculations that had been carried out previously by other agents and studies. In addition, with the quantitative data relating to discharges help to have a comparative view with rivers of similar characteristics near the river Almanzora. The extension of the study period allows us to have a better historical conception of the behaviour of the Almanzora river and the consequences that the different ways of managing the territory may have.

3. Analyze the last catastrophic flood of 2012 from the hydrological, hydraulic, climatic and anthropic point of view.

The multidisciplinary analysis of the flood of 28th September 2012 has allowed a better knowledge of the triggers and consequences of the extreme event. On the one hand, the reconstruction of the flooded area carried out from the cartography of different images and videos, shows how the flooded surface was greater than that previously described in other works (Benito et al., 2012). The cartography of this water level in a DTM shows how the river flowed through old meanders and channels, mapped in the geomorphological map by Schulte (2002a), inundating areas that are currently urbanized near the coast.

On the other hand, flood modelling results in the estimation of a peak discharge ranging from 2,800 m³s⁻¹ to 3,200 m³s⁻¹. A much greater discharge than one might think when it comes to correctly managing the urbanisation of the area. However, in this section it is necessary to take into account the incision of the river in some areas, between 2012 (flood) and 2016 (LiDar cartography). The vertical erosion factor at points such as *La Presa de La Jara* makes it difficult to accurately reconstruct the flow and the flooded area and adds an error factor in the analysis of the modelling.

The meteorological conditions generated by torrential rains throughout the southeastern of Iberian Peninsula have characteristics very similar to those

previously studied (1580, 1729, 1879 and 1973) in Chapter 4 for the Almanzora river. The generation of the peak discharge was extremely fast and the management of the alerts by the administration was deficient in that aspect, however, the best communication can be done being extremes in the system of flood alerts in this type of areas.

4. Identify land use changes from aerial photographs and land use maps.

Analysis of the sequence of aerial photographs from 1956 to 2016 in the final stretch of the Antas river and of the different land use maps from 1946 to 2016 show the evolution of land use and landscape morphology. In addition, through aerial photographs the morphology of the river bed in a stretch of 5 kilometers in the river Antas has been analyzed.

The passage from traditional agriculture, where dry farming and irrigation from traditional infrastructures, such as irrigation ditches, weirs, dams or cisterns, to intensive irrigation, can modify the dynamics of runoff in the study area. This becomes into a greater number of floods in the last 30 years. In addition, it is necessary to add a more extensive urbanized surface, a fact that also increases the runoff. On the other hand, the increase in information on extreme hydrological events may lead us to believe that there are more floods today.

As far as the morphology of the river bed is concerned, the evolution of land use has also had consequences. While in the first maps the river behaved like a more natural river, in spite of being anthropised for centuries, in the following maps it is affected by the extraction of aggregates, the first abandonment and the subsequent destruction of traditional infrastructures, and finally the flood in 2012.

A direct relationship between changes in land use and the systematic increase in the magnitude of floods can be intuited but not affirmed. The analysis carried out in Chapter 7 should provide the public administration with a tool to improve land management in areas markedly affected by catastrophic floods.

POSSIBLE LINES OF CONTINUATION OF WORK

The work presented here may act as a basis for future projects in the southeastern of Iberian Peninsula related to natural hazards, hydraulic modelling, analysis of land uses and last but not least, for the paleoenvironmental and paleoinundation reconstruction of the area.

Once the series of historical floods have been obtained, the reconstruction of a series of paleoinundations from fluvial sediments is more accurate due to the possibility of changing the geochronological model from fluvial sedimentary archives. The dating of the fluvial sediments deposited on the elevated margins of the *ramblas* and rivers of the study area should be used to extend back in time the study period. In this way, the dynamics of floods could be better understood. The series of paleofloods could also be compared with paleo-climatic proxies and correlated it. In this

way, paleoenvironmental, paleoecological, paleoclimatic characteristics and climatic variability in the areas of the rivers studied could be further explored.

Progress in erosion studies through GIS software (SWAT) and its correlation with changes in land use is advancing. With this new tool it is possible to advance in the study of the impact of changes in soil use, runoff and changes in flood dynamics. It can also be used to quantify the volume of sediment eroded as a consequence of a change from traditional use to current (intensive) land use. On the studies of morphological changes in the river bed, SfM and MVS could be applied, thus reducing the error introduced by the cell size of a LiDar, although it is not very high.

Another very interesting aspect to take into account in the future are the local agents. Involving in the study local administrations (such as town councils and neighbourhood associations), regional administrations (such as the *Diputación de Almería* or the *Junta de Andalucía*) and even, national administrations (such as the Ministry that is responsible for the management and design of the territory), would be of great help. In this sense, managing the water resources provided by the river and aquifers, would be more sustainable. In this way, by means of interviews to local people, a meeting point could be reached and an attempt could be made to analyse the social or, more social, aspect of the impact of extreme floods on populations. These, if educated under the knowledge of the behaviour of the river, will be able to behave more correctly in the moments in which extreme hydrological events are generated.

Finally, this work has helped to understand the dynamics of four rivers in the southeast of the Iberian Peninsula. However, the relationship of the four historical series with other historical series in similar areas is necessary to understand how the ephemeral rivers behave and the evolution they have had throughout the centuries.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H. y Klove, B., 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733-752. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027>.
- Agencia Andaluza del Agua, 2009. *Demarcación hidrográfica de las cuencas mediterráneas andaluzas*. Estudio general de la demarcación. Málaga, 298pp.
- Alessandroni, M.G. y Remedia, G., 2002. The most severe flood of the Tiber River in Rome. En: *The Extremes of the Extremes: Extraordinary Floods* (ed. por Á. Snorrason, H. P. Finnsdóttir y M. E. Moss), 129-132. IAHS Publ. 271. IAHS Press, Wallingford, RU.
- Alexandre, P., 1987. *Le climat en Europe au moyen âge*. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, París.
- Alfieri, L., Burek, P., Feyen, L. y Forzieri, G., 2015. Global warming increases the frequency of river floods in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 2247-2260. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2247-2015>.
- Allan, R. P. y Soden, B. J., 2008. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. *Science* 321 (5895), 1481-1484.
- Álvarez, A.J., 2009. Mapa de Caudales Máximos en España. http://www.marm.es/es/agua/publicaciones/Mapa_caudales_maximos_Espana_tcm7-28761.pdf. [Consultado por última vez el 29 de mayo del 2018].
- Andersen, F. H, 2008. *Hydrological modeling in a semi-arid area using remote sensing data*. University of Copenhagen, PhD tesis, 120 pp.
- Andersen, T. K. y Marshall Shepherd, J., 2013. Floods in a changing climate. *Geography Compass*, 7, 95-115. <https://doi.org/10.1111/gec3.12025>.
- Arche, A. (ed). 2010. *Sedimentología. Del proceso físico a la Cuenca sedimentaria*. CSIC, Madrid, 1288 pp.
- Archer, D., 1999. Practical application of historical flood information to flood estimation. En: *Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating* (ed. por L. Gottschalk, J.-C. Olivry, D. Reed & D. Rosbjerg), 191-199. IAHS Publ. 255. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Arnau-Rosalén, E., Calvo-Cases, A., Boix-Fayos, C., Lavee, H. y Sarah, P., 2008. Analysis of soil Surface component patterns affecting runoff generation. An example of method applied to Mediterranean hillslopes in Alicante (Spain). *Geomorphology*, 101, 595-606. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.03.001>.
- Arnaud-Fassetta, G., 2003. River channel changes in the Rhone Delta (France) since the end of the Little Ice Age: geomorphological adjustment to hydroclimatic

- change and natural resource management. *Catena*, 51, 141-172. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(02\)00093-0](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00093-0).
- Arnell, N. W. y Gosling, S. N., 2014. The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*, 1–15, <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1084-5>.
- Ashagrie, A.G., de Laat, P.J.M., de Wit, M.J.M., Tu, M. y Uhlenbrook, S., 2006. Detecting the influence of land use changes on Floods in the Meuse River Basin? The predictive power of a ninety-year rainfall-runoff relation. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, European Geosciences Union, 3, 529-559. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00298674>.
- Ashley, R. y Cashman, A., 2006. The impacts of change on the long-term future demand for water sector infrastructure. *Infrastructure to 2030. Telecom, Land Transport, Water and Electricity*, 241-349. <https://dx.doi.org/10.1787/9789264023994-en>.
- Baker, T.J. y Miller, S.N., 2013. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. *Journal of Hydrology*, 486, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.041>.
- Baker, V.R., 1987. Paleoflood hydrology and extreme flood events. *Journal of Hydrology* 96, 79–99.
- Baker, V. R., 1989. Magnitude and frequency of palaeofloods. En: K. Beven y P. Carling (eds), *Floods, Their Hydrological, Sedimentological and Geomorphological Implications*, JohnWiley, Chichester, 171-183.
- Baker, V.R., 2003. Palaeofloods and extended discharge records. En: Gregory, K.J., Benito, G. (Eds.), *Palaeohydrology: Understanding Global Change*. Wiley, N.Y., 307–323.
- Baker, V.R., 2008. Paleoflood hydrology: origin, progress, prospects. *Geomorphology*, 101, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.016>.
- Baker, V.R., 2017. Interdisciplinarity and the Earth sciences, *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity*, 88-100. Oxford University Press Oxford.
- Baker, V.R. y Costa, J.E., 1987. Flood power. En Mayer, L. y Nash, D. (Eds), *Catastrophic flooding*. Allen & Unwin; Binghamton Symposia in Geomorphology, International Series, 18, 1-21.
- Balasch, J.C., Ruiz-Bellet, J.L., Tuset, J. y Martín de Oliva, J., 2010. Reconstruction of the 1874 *Santa Tecla's* rainstorm in Western Catalonia (NE Spain) from flood marks and historical accounts. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2317-2325. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-2317-2010>.
- Balasch, J.C., Ruíz-Bellet, J.L. y Tuset, J., 2011. Historical flash floods retromodelling in the Ondara River in Tàrrrega (NE Iberian Peninsula). *Natural Hazards and*

- Earth System Science, 11, 3359-3371. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-3359-2011>.
- Balasch, J.C., Ruiz-Bellet, J.L., Rodríguez, R., Tuset, J., Castelltort, X., Barriendos, M., Mazón, J., Pino, D. y García, D., 2015. The 2-3 November 2015 flood of the Sió River (NE Iberian Peninsula): a flash flood that turns into a mudflow downstream. Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-5934. EGU General Assembly 2016.
- Balasch, J.C., Pino, D., Ruiz-Bellet, J.L., Tuset, J., Barrindos, M., Castelltort, X. y Peña, J.C., 2018. The extreme floods in the Ebro River basin since 1600 CE. Science of The Total Environment, 646, 645-660. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.325>.
- Balée, W., 1998. Historical ecology: premises and postulates. Advances in historical ecology, 13-29.
- Ballesteros-Cánovas, J.A., Márquez-Peñaranda, J.F., Sánchez-Silva, M., Díez-Herrero, A., Ruiz-Villanueva, V., Bodoque, J.M., Eguibar, M.A. y Stoffel, M., 2015. Can tree tilting be used for paleoflood discharge estimations?. Journal of Hydrology, 529, 480-489. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.026>.
- Ballesteros-Cánovas, J.A., Trappmann, D., Shekhar, M., Bhattacharyya, A. y Stoffel, M., 2017. Regional flood-frequency reconstruction for Kullu district, Western Indian Himalayas. Journal of Hydrology, 546, 140-149. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.059>.
- Barberá, G.G., López-Bermúdez, F. y Romero-Díaz, M.A., 1997. Cambios de uso del suelo y desertificación en el Mediterráneo: El caso del Sureste Ibérico. En García-Ruiz, J.M. y López-García, P. (eds). *Acción humana y desertificación en ambientes semiáridos*. Instituto Pirenaico de Ecología, Zaragoza, 9-39.
- Barragán, G., Montenat, C. y Ott d'Estevou, P., 1990. The Vera basin. Paleontologia I Evolució, 2, 35-43.
- Barredo, J.I. y Engelen, G., 2010. Land Use Scenario Modeling for Flood Risk Mitigation. Sustainability, 2, 1327-1344. <http://dx.doi.org.sire.ub.edu/10.3390/su2051327>.
- Barrera, A., Llasat, M.C. y Barriendos, M., 2006. Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1351 to 2005. Natural Hazards and Earth System Science, 6, 505-518. <https://doi.org/10.5194/nhess-6-505-2006>.
- Barriendos, M., 1994. *El clima histórico de Catalunya. Aproximación a sus características generales (ss. XV-XIX)*. Departamento de Geografía Física y AGR, Universidad de Barcelona. Tesis doctoral, 500 pp.
- Barriendos, M., 1996. El clima histórico de Catalunya (Siglos XIV-XIX). Fuentes, métodos y primeros resultados. Revista de Geografía, 30-31, 69-96.

- Barriendos, M., 1999. La Climatología histórica en el marco geográfico de la antigua monarquía hispana. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Universidad de Barcelona, 53. [ISSN 1138-9788]
- Barriendos, M. y Martín-Vide, J., 1998. Secular climatic oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish Mediterranean coastal area (14th-19th centuries). *Climate Change*, 38: 473-491. <https://doi.org/10.1023/A:1005343828552>.
- Barriendos, M. y Rodrigo, F.S., 2006. Study of historical flood events on Spanish rivers using documentary data. *Hydrological Sciences*, 51(5), 765-783. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.765>.
- Barriendos, M., Ruiz-Bellet, J. L., Tuset, J., Mazón, J., Balasch, J. C., Pino, D. y Ayala, J. L., 2014. The “Prediflood” database of historical floods in Catalonia (NE Iberian Peninsula) AD 1035– 2013, and its potential applications in flood analysis. *Hydrology and Earth System Science*, 18, 4807–4823, <https://doi.org/10.5194/hess-18-4807-2014>.
- Barriendos, M., Gil-Guirado, S., Pino, D., Tuset, J., Pérez-Morales, A., Alberola, A., Costa, J., Balasch, J.C., Castellort, X.F., Mazon, J., Ruiz-Bellet, J.L., 2019. Climatic and social factors behind the Spanish Mediterranean flood event chronologies from documentary sources (14th-20th centuries). *Global and Planetary Change*, 102997. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.102997>.
- Bates, P.D., Dawson, R.J., Hall, J.W., Horrit, M.S., Nicholls, R.J., Wicks, J. y Hassan, M., 2005. *Coastal Engineering*, 52, 793-810. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.06.001>.
- Bayliss, A. C. y Reed, D. W., 2001. The use of historical data in flood frequency estimation. Centre for Ecology and Hydrology (NERC), Wallingford.
- Bellin, N., Vanacker, V. y De Baets, S., 2013. Anthropogenic and climatic impact on Holocene sediment dynamics in SE Spain. *Quaternary International*, 308-309, 112-129. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.03.015>.
- Belmonte, A.M. y García, J., 2008. Peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundación en ramblas mediterráneas: Los Llanos de Carraixet y Poyo. *Cuadernos de Geografía*, 83, 1-26. Valencia.
- Benfield, A., 2016. *Analytics Impact Forecasting: Annual Global Climate and Catastrophe Report*. 73 pp.
- Beniston, M., 2007. Linking extreme climate events and economic impacts: Examples from the Swiss Alps. *Energy Policy*, 35:11, 5384-5392. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.01.032>.
- Benito, G., Machado, M.J. y Pérez-González, A., 1996. Climate change and flood sensitivity in Spain. En: *Global Continental Changes: the Context of*

- Palaeohydrology* (ed. por J. Branson, A. G. Brown & K. J. Gregory), 85–98. Geological Society, Special Publication 115, London, UK.
- Benito, G., Díez-Herrero, A. y Fernández De Villalta, M., 2003. Magnitude and frequency of flooding in the Tagus basin (Central Spain) over the last millennium. *Climatic Change*, 58, 171–192. <https://doi.org/10.1023/A:1023417102053>.
- Benito, G., Rico, M., Sánchez-Moya, Y., Sopeña, A., Thordycraft, V. R. y Barriendos, M., 2010. The impact of late Holocene climatic variability and land-use change on flood hydrology (Guadalentin River, SE Spain). *Global and Planetary Change* 70:1-4, 53-63.
- Benito, G., Thorndycraft, V.R., Rico, M.T., Sánchez-Moya, Y., Sopeña, A., Botero, B.A., Machado, M.J., Davis, M. y Pérez-González, A., 2011. Hydrological response of a dryland ephemeral river to southern African climatic variability during the last millennium. *Quaternary Research*, 75: 3, 471-482. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2011.01.004>.
- Benito, G., Machado, M.J. y Rodríguez, X., 2012. Las crecidas del 28 de septiembre de 2012 en el SE de España: Cómo un evento “moderado” puede causar un impacto extremo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 20.3, 207-209. ISSN: 1132-9157. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.11.007>.
- Benito, G., Brázdil, R., Herget, J. y Machado, M.J., 2015. Quantitative historical hydrology in Europe. *Hydrology and Earth System Science Discussions*, 12, 4413-4469. <https://doi.org/10.5194/hess-19-3517-2015>.
- Bermejo, J. V., 1972. *La división territorial en la España Musulmana (II). La cora de Tudmir (Murcial)*. *Al-Andalus*, 37(1), 145.
- Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigao, A. P., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G, T., Bilibaschi, A., Bonacci, O., Borga, M., Canjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G. B., Claps, P., Fiala, K., Frolova, N., Gorbachiva, L., Gül, A., Hannaford, J., Harrigan, S., Kireeva, M., Kiss, A., Kjeldsen, T, R., Kohnová, S., Koskela, J. J., Ledvinka, O., Macdonald, N., Mavrova-Guirguinova, M., Mediero, L., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Murphy, C., Osuch, M., Ovcharuk, V., Radevski, I., Rogger, M., Salinas, J. L., Sauquet, E., Sraj, M., Szolgay, J., Viglione, A., Volpi, E., Wilson, D., Zaimi, K. y Zivkovic, N., 2017. Flooding. Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357, 588-590.
- Bodoque, J.M., Díez-Herrero, A., Eguibar, M.A., Benito, G., Ruiz-Villanueva, V. y Ballesteros-Cánovas, J.A., 2015. Challenges in paleoflood hydrology applied to risk analysis in mountainous watersheds. A review. *Journal of Hydrology*, 529:2, 449-467. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.004>.
- Bodoque, J.M., Díez-Herrero, A., Amerigo, M., García, J.A. y Olcina, J., 2019. Enhancing flash flood risk perception and awareness of mitigation actions

- through risk communication: A pre-post survey design. *Journal of Hydrology*, 568, 769-779. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.007>.
- Boongaling, C.G.K., Faustino-Eslava, D.V. y Lansigan, F.P., 2018. Modeling land use change impacts on hydrology and the use of landscape metrics as tools for watershed management: The case of an ungauged catchment in the Philippines. *Land Use Policy*, 72, 116-128. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.042>.
- Bösmeier, A., Glaser, R., Kerstin, S., Himmelsbach, I. y Schönbein, J., 2017. Designing an expert knowledge based approach for the quantification of historical floods – The case study of the Kinzig in Southwest Germany. *Geophysical Research Abstracts*, 19.
- Bouaakkaz, B., El Morjani, Z. E. A., Bouchaou, L. y Elhimri, H. 2018. Flood risk management in the Swiss watershed. En *E3S Web of Conference*, 37, p. 04005. EDP Sciences
- Bradley, A.A. y Potter, K.W., 1992. Flood Frequency Analysis of Simulated Flows. *Water Resources Research*, 8, no. 9, 2375-2385. <https://doi.org/10.1029/92WR01207>.
- Brandt, C.J. y Thornes, J.B. (Eds), 1996. *Mediterranean desertification and land use*. Wiley & Sons, London.
- Brázdil, R., 1998. The history of floods on the rivers Elbe and Vltava in Bohemia. *Erfurter Geographische Studien* 7, 93–108.
- Brázdil, R., 2006. Climate change and losses through natural disasters: Some remarks from experience in the Czech Republic. *Climate change and disaster losses workshop: understanding and attributing trends and projections*. Munich.
- Brázdil, R. y Bukáček, M., 2000. Chronology of floods in the catchment area of the river Morava (the Czech Republic) since the 16th century. En: *Proceedings of the International Conference on Climate Change and Variability – Past, Present and Future* (Eds. por T. Mikami), 139–144. Tokyo Metropolitan University, Tokyo, Japan.
- Brázdil, R., Dobrovolný, P., Kakos, V. y Kotyza, O., 2004. Historical and recent floods in the Czech Republic: causes, seasonality, trends, impacts. En: *NATO Advanced Research Workshop on Flood Risk Management – Hazards, Vulnerability, Mitigation Measures (Proceedings)*, 35–46. Ostrov u Tisé, Czech Republic.
- Brázdil, R., Dobrovolný, P., Elleder, L., Kakos, V., Kotyza, O., Kveton, V., Macková, J., Müller, M., Štekl, J., Tolasz, R. y Valášek, H., 2005. Historical and Recent Floods in the Czech Republic. Masaryk University and Czech Hydrometeorological Institute, Brno, Prague, Czech Republic.

- Brázdil, R., Kundzewicz, Z. W. y Benito, G., 2006. Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 51, 739–764. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.739>.
- Brázdil, R., Kundzewicz, Z. W., Benito, G., Demarée, G., Macdonald, N. y Roald, L. A., 2012. Historical floods in Europe in the past millennium. En: *Changes in Flood Risk in Europe*. Ed. Kundzewicz, Z. W., IAHS Special Publication 10, IAHS Press.
- Brembilla, C.A., 2016. *Análisis de las inundaciones del río andarax desde el año 1550 hasta 2015. Reconstrucción, prevención y gestión de eventos extremos en el sureste peninsular*. Trabajo Final de Grado, Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona, 68 pp.
- Bronstert, A., Kolokotronis, V., Schwandt, D. y Straub, H., 2007. Comparison and evaluation of regional climate scenarios for hydrological impact analysis: General scheme and application example. *International Journal of Climatology*, 27, 1579-1594. <https://doi.org/10.1002/joc.1621>.
- Brown, R., Chanson, H., 2012. Suspended sediment properties and suspended sediment flux estiamtes in an inundated urban environment during a major flood event. *Water Resources Research*, 48:11. <https://doi.org/10.1029/2012WR012381>.
- Brückner, H., 1986. Man's impact on the Evolution of the Physical Environent in the Mediterranean Region in Historical Times. *GeoJournal*, 13, 1-17.
- Bull, W. B., 1960. *Geomorphic Response to Climate Change*. Oxford University Press, New York, 326 pp.
- Bull, L.J., Kirkby, M.J., Shannon, J., y Hooke, J.M., 1999. The impact of rainstorms on floods in ephemeral channel in southeast Spain. *Catena*, 38, 191-209. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00071-5](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00071-5).
- Burke, S.M. y Thornes, J.B, 2004. A thematic review of EU Mediterranean desertification research in Frameworks III and IV: Preface. *Advanced Environmental Monitoring Model*, 1, 1–14.
- Calaforra, J.M. y Pulido-Bosch, A., 2003. Evolution of gypsum karst of Sorbas (SE Spain). *Geomorphology*, 50, 173-180. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00213-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00213-1).
- Camarasa-Belmonte, A.M., López-García, M.J. y Soriano-García, J., 2011. Mapping temporally-variable exposure to flooding in small Mediterranean basins using land-use indicators. *Applied Geography*, 31(1), 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.03.003>.
- Camarasa-Belmonte, A.M., Caballero López, M.P. y Iranzo García, E., 2018. Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo. Sinergias y compensaciones en una rambla mediterránea (Barranc del Carraixet, 1956-

- 2011). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 78, 127-153. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2714>.
- Camuffo, D. y Enzi, S., 1996. The analysis of two bi-millenary series: Tiber and Po river floods. En: *Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years* (ed. por P. D. Jones, R. S. Bradley y J. Jouzel), 433–450. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Cantón, Y., Domingo, F., Solé-Benet, A. y Puigfàbregas, J., 2001. Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, 252, 65-84. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00450-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00450-4).
- Cantón, Y., Solé-Benet, A. y Domingo, F., 2004. Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain. *Journal of Hydrology*, 285(1-4), 199-214. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.08.018>.
- Capel Molina, J.J., 1974. Génesis de las inundaciones de octubre de 1973 en el Sureste de la P. Ibérica. *Revista Cuadernos Geográficos*. Universidad de Granada. 149-166.
- Capel Molina, J.J., 1981. Los climas de España. Editorial, Oikos-tau.
- Capel Molina, J.J., 1987. Inundaciones y avenidas de los ríos de Almería, una constante secular. *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses*, 7, Ciencias, 25-42.
- Capel Molina, J.J., 1988. Trayectorias de las gotas frías en el flanco sur europeo: Archipiélagos Ibéricos, Mediterráneo y Mar Negro. En, *Avances sobre la investigación en Bioclimatología*. C.S.I.C., Madrid, 489-505.
- Capel Molina, J.J., 1989. Convección profunda sobre el Mediterráneo español. Lluvias torrenciales en los días 4 al 7 de septiembre de 1989 en Andalucía Oriental, Murcia, Levante, Cataluña y Mallorca. *Paralelo 37º*, (13), 51-79.
- Capel Molina, J.J., 2000. Los sistemas convectivos de mesoescala y su influencia en la España Mediterránea. *Papeles de Geografía*, (32), 29-44.
- Capel Molina, J.J., 2008. Situaciones atmosféricas del oeste y su incidencia en la pluviometría de Andalucía. *Nimbus*, 21-22, ISSN 1139-7136, 77-91.
- Carrión, J. S., 2009. Cambios ecológicos y evolución humana. Murcia: Academia de Ciencias de la Región de Murcia, 64.
- Carvalho, F., 2014. Análisis multi-proxy paleoambiental y modelización de registros sedimentarios fluviales en los Alpes Suizos. Ph. D. thesis, Universitat de Barcelona, 259 pp.
- Carvalho, F. y Schulte, L., 2013. Morphological control on sedimentation rates and patterns of delta floodplains in the Swiss Alps. *Geomorphology*, 198, 163-176.

- Castellarin, A., Kohnová, S., Gaál, L., Fleig, A., Salinas, J., Toumazis, A., Kjeldsen, T., Macdonald, N., 2012. Review of Applied-Statistical Methods for Flood-Frequency Analysis in Europe. Centre for Ecology & Hydrology, United Kingdom ISBN: 978-1-906698-32-4.
- Catro, P. (Ed), 1998. *Aguas Project: Paleoclimatic Reconstruction and the Dynamics of Human Settlement and Land-use in the Area of the Middle Aguas (Almería), in the South-east of the Iberian Peninsula: Research Results. European Commission, Directorate General Science, Research and Development.*
- Castro, P., Gili, S., Lull, V., Micó, R., Rihuete, C., Risch, R., Sanahuja, M.A. y Chapman, R., 2000. Archaeology and desertification in the Vera basin (Almería, South-east Spain). *European Journal of Archaeology*, 3(2), 147-166.
- CEC, 2006. COM (2006). 15 final: Proposal for a Directive on the assessment and management of floods. Commission of the European Communities, Brussels, 10 January, 2006.
- CEDEX, 2011. *Mapa de Caudales Máximos; Technical Report.* Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino: Madrid, España, 73 pp.
- Chbab, E.H., Buiteveld, H. y Diermanse, F., 2006. Estimating exceedance frequencies of extreme river discharges using statistical methods and physically based approach. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 58:3-4, 35-43. <https://doi.org/10.1007/BF03165682>.
- Chen, Y., Li, X., Tian, Y. y Tan, M., 2009. Structural change of agricultural land use intensity and its regional disparity in China. *Journal of Geographical Sciences*, 19, 545. <https://doi.org/10.1007/s11442-009-0545-7>.
- Climatology Group Data, 2018. <http://www.ub.edu/gc/en/2019/04/25/aplicacions-de-la-wemo/> (consultado por última vez el 20 de marzo del 2019.).
- Climent-Soler, D., Holman, I.P. y Archer, D.R., 2009. Application of flow variability to identify impacts of agricultural land-use change on the River Axe, southwest England. *Hydrology Research*, 40, 380-393. <https://doi.org/10.2166/nh.2009.093>.
- Coeur, D., 2003. *La Maîtrise des Inondations dans la Plaine de Grenoble (XVIIe-XXe Siècle): Enjeux Techniques, Politiques et Urbains. 3 vols Typescript.* Université Pierre Mendès France, Institut d'Urbanisme de Grenoble, Grenoble, France.
- Compo, G.P., Whitaker, J.S., Sardeshmukh, P.D., Matsui, N., Allan, R.J., Yin, X., Gleason, B.E., Vose, R.S., Rutledge, G., Bessemoulin, P., Brönnimann, S., Brunet, M., Crouthamel, R.I., Grant, A.N., Groisman, P.Y., Jones, P.D., Kruk, M., Kruger, A.C., Marshall, G.J., Mauerer, M., Mok, H.Y., Nordli, Ø., Ross, T.F., Trigo, R.M., Wang, X.L., Woodruff, S.D. y Worley, S.J., 2011. The Twentieth Century Reanalysis Project. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 137, 1-28. <https://doi.org/10.1002/qj.776>.

- Conesa-García, C. y Martínez-Alcocer, P., 1995. Magnitud y frecuencia de sucesos hidromorfológicos del bajo Segura anteriores a su encauzamiento. *Papeles de Geografía*, 22, 67-86.
- Cook, J.L., 1987. Quantifying peak discharges for historical floods. *Journal of Hydrology*, 96, 29–40. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(87\)90141-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(87)90141-7).
- Cook, A.C., 2008. *Comparison of One-Dimensional HEC-RAS with Two-Dimensional FESWMS Model in Flood Inundation Mapping*. Msc tesis, Purdue University, EEUU. 99 pp.
- Cook, A.C. y Merwade, V., 2009. Effect of topographic data, geometric configuration and modelling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 377, 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.015>.
- Costa, M.H., Botta, A. y Cardille, J.A., 2003. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology*, 283, 206-217. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00267-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00267-1).
- Cunnane, C., 1978. Unbiased plotting positions: a review. *Journal of Hydrology*, 37, 205-222. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(78\)90017-3](https://doi.org/10.1016/0022-1694(78)90017-3).
- De Jong, C., Lawler, D. y Essery, R., 2009. Mountain hydroclimatology and snow seasonality and hydrological change in mountain environments. *Hydrological Processes*, 23, 955-961. <https://doi.org/10.1002/hyp.7193>.
- De Roo, A., Odijk, M., Schmuck, G., Koster, E. y Lucieer, A., 2001. Assessing the effects of land use changes on floods in the meuse and oder catchment. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 26, 593-599. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(01\)00054-5](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(01)00054-5).
- Dardel, E., 2013. *El Hombre y la Tierra. Naturaleza de la realidad geográfica*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Dean, D.J., Schmidt, J.C., 2013. The geomorphic effectiveness of a large flood on the Rio Grande in the Big Bend region: Insights on geomorphic response. *Geomorphology*, 201, 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.06.020>.
- DeFries, R. y Eshleman, K.N., 2004. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes*, 18 (11), 2183–2186. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.5584>.
- Demarée, G.R., 2006. The catastrophic inundations of February 1784 in and around Belgium – a little ice age event of frost, snow, river ice and inundations. *Hydrological Sciences Journal*, 51, 878–898. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.878>.
- Deser, C., Simpson, I.R., McKinnon, K.A. y Phillips, A.S., 2017. The Northern Hemisphere Extratropical Atmospheric Circulation Response to ENSO:

- How Well Do We Know It and How Do We Evaluate Models Accordingly?.
Journal of Climate, 30, 5059-5082. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0844.1>.
- Deutsch, M., 2000. Zum Hochwasser der Elbe und Saale Ende Februar/Anfang März 1799. Erfurter Geographische Studien 9, 7–44.
- Deutsch, M. y Pörtge, K.H., 2001. Historische Hochwasserinformationen – Möglichkeiten und Grenzen ihrer Auswertung. En: *Hochwasser – Niedrigwasser – Risiken (Nürnberger Wasserwirtschaftstage)*, 23–38. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e.V., München, Germany.
- Deutsch, M. y Pörtge, K.H., 2002. Hochwasserereignisse in Thüringen. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Schriftenreihe no. 63, Jena, Germany.
- Deutsch, M., Böhner, J., Pörtge, K.H. y Rost, K.T., 2004. Untersuchungen historischer Hochwasserereignisse in Thüringen – dargestellt am Beispiel der Werra. Z. Geomorphol. NF 135(Suppl.), 11–32.
- Diakakis, M. y Deligiannakis, G., 2015. Flood fatalities in Greece: 1970-2010. Journal of Flood Risk Management, 10:1, 115-123. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12166>.
- Diputación de Almería (Dipalme, <http://prensahistorica.mcu.es/>. Consultada por última vez el 25 de mayo de 2018).
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE), 2011. Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas. Ministerio del Interior. Madrid.
- Dollar, E., 2004. Fluvial geomorphology. Progress in Physical Geography 28, 3, 405-450. <https://doi.org/10.1191/0309133304pp419pr>.
- Domingo i Valls, A. y Sabater i Coll, A., 2013. Crisis económica y emigración: la perspectiva demográfica." Inmigración y crisis: entre la continuidad y el cambio. Anuario de Inmigración en España (edición 2012): 61-87.
- Doswell III Ch.A., Brooks H.E. y Maddox R.A., 1996. Flash flood forecasting: an ingredients based methodology .Weather Forecasting, 11, 560-581. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1996\)011<0560:FFFAIB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1996)011<0560:FFFAIB>2.0.CO;2).
- Dronkert, H., 1977. The evaporites of the Sorbas Basin. Revista Institucional. Investigaciones Geológicas. Diputación de Barcelona, 33, 55– 76.
- Ducrocq, V., y Coautores, 2014. HyMeX-SOP1: The field campaign dedicated to heavy precipitation and flash flooding in the northwestern Mediterranean. Bulletin American Meteorological Society, 95, 1083–1100, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00244.1>.
- Duran. V.H., Rodríguez, C.R., Francia, J.R. y Martín, F.J., 2013. Land-use changes in a small watershed in the Mediterranean landscape (SE Spain):

- environmental implications of a shift towards subtropical crops. *Journal of Land Use Science*, 8, 47-58. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2011.620992>.
- Elleder, L., 2015. Historical changes in frequency of extreme floods in Prague. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 4307-4315. <https://doi.org/10.5194/hess-19-4307-2015>.
- Elleder, L., Krejčí, J., Sirová, J., 2019. The 1714 flash flood in the Bohemian-Moravian Highlands – Reconstructing a Catastrophe. *Quaternary International* (In Press). <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.02.002>.
- Environmental System Research Institute, 2004. ArcGIS. Nueva York.
- Esper, J., St George, S., Anchukaitis, K., D'Arrigo, R., Charpentier Ljungqvist, F., Luterbacher, J., Schneider, L., Stoffel, M., Wilson, R. y Büntgen, U., 2018. Large-scale, millennial-length temperature reconstructions from tree-rings. *Dendrochronologia*, 50, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.06.001>.
- Evin, G., Wilhelm, B. y Jenny, J.P., 2019. Flood hazard assessment of the Rhône River revisited with reconstructed discharges from lake sediments. *Global and Planetary Change*, 172, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.09.010>.
- Faust, D., 1991. Die Böden der Monts Kabyè (N-Togo): Eigenschaften, Genese und Aspekte ihrer agrarischen Nutzung. *Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten / Serie D, Physische Geographie* ; 13.
- Fedoroff, N., 1997. Clay illuviation I Red Mediterranean soils. *Catena*, 28, 171-189. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(96\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(96)00036-7).
- Fernández-Bolea, E. 2006. *Agua y vida en Cuevas del Almanzora. Una historia de luchas y anhelos (Siglos XVI-XXI)*. Arráez Editores, Col. CLIO AMA LA HISTORIA (SERIE MAYOR). 336 pp. ISBN: 978-84-96651-02-9.
- Fernández-Bolea, E., 2014. *Minas y mineros en el Pilar de Jaravía y su entorno (Pulpi). Una aproximación histórica y patrimonial (1840-1936)*. Arráez Editores, Col. CLIO AMA LA HISTORIA (SERIE MAYOR). 256 pp. ISBN: 978-84-15387-50-3.
- Fernández de Villalta, M., Benito, G. y Diez-Herrero, A., 2001. Historical flood data analysis using a GIS: The Paleotagus database. En: *The Use of Historical Data in Natural Hazard Assessments*, Ed. Glade, T., Albin, P., y Francés, F., *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, 17, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 101–112.
- Ferrer Bueno, E., 1979. *El Valle del Almanzora*. Publicaciones de la Universidad de Granada. PhD tesis, 494 pp.
- Fisher, R., y Tippett, L. 1928. Limiting forms of frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 24, 180–190.

- Fohrer, N., Haverkamp, S., Eckhardt, K. y Frede, H.G., 2001. Hydrologic Response to land use changes on the catchment scale. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 26, 577-582. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(01\)00052-1](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(01)00052-1).
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N. y Snyder, P.K., 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309 (5734), 570-574.
- Fontana Tarrats, J. M., 1978. Historia del clima en el litoral mediterráneo: Reino de Valencia más Provincia de Murcia, mecanoscrito inédito.
- Fréchet, M. 1927. Sur la loi de probabilité de l'écart maximum. *Annales de la Société Polonaise de Mathématiques*, 6, 93-126.
- Fuller, I.C., 2008. Geomorphic impacts of a 100-year flood: Kiwitea Stream, Manawatu catchment, New Zealand. *Geomorphology*, 98, 84-95. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.02.026>.
- Gaál, L., Szolgay, J., Kohnová, S., Hlavcová, K., Viglione, A., 2010. Inclusion of historical information in flood frequency analysis using a Bayesian MCMC technique: a case study for the power dam Orlik, Czech Republic. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 40:2, 121-147. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.069>.
- García Asensio, E. 1910. *Historia de la Villa de Huércal-Overa*. Almería.
- García Monzón, G. y Kampsuchuur, W., 1973. Memoria del Mapa Geológico de España, Escala 1:50.000; 2ª serie, 1ª edición, Hoja Nº 1014, Vera.
- García-Ruiz, J.M., López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Lasanta-Martínez, T. y Beguería, S., 2011. Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*, 105(3-4), 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.006>.
- Garrote, J., Díez-Herrero, A., Bodoque, J.M., Perucha, M.A., Mayer, P. y Génova, M., 2016. Hydrodynamic characterization of past flash-flood events and their associated hazards from dendrogeomorphological evidence in Caldera de Taburiente National Park (Canary Island, Spain). *Natural Hazards and Earth System Science Discussions*. <https://doi.org/10.5194/nhess-2016-206>.
- Gaume, E., Gaál, L., Viglione, A., Szolgay, J., Kohnová, S. y Blöschl, G. 2010. Bayesian MCMC approach to regional flood frequency analyses involving extraordinary flood events at ungauged sites. *Journal of Hydrology*, 394, 101-117. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.008>.
- Gaume, E., Borga, M., Llasat, M.C., Maouche, S., Lang, M. y Diakakis, M., 2016. Mediterranean extreme floods and flash floods (Sub-chapter 1.3.4). En

- Allenvi (Ed.): *The Mediterranean Region under Climate Change*. A Scientific Update, Coll. Synthèses, IRD Editions, 133-144.
- Gaume, E., 2018. Flood frequency analysis: The Bayesian choice. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, Wiley, 2018, 5 (4), 23 pp.
- Gázquez, F. y Calaforra, J.M., 2014. The Gypsum Karst of Sorbas, Betic Chain. En: Gutiérrez F., Gutiérrez M. (Ed.) *Landscapes and Landforms of Spain. World Geomorphological Landscapes*. Springer, Dordrecht. 127-135. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8628-7_10.
- Gees, A., 1997. Analyse historischer und seltener Hochwasser in der Schweiz. Bedeutung für das Bemessungshochwasser. Geographica Bernensia G53, Bern, Switzerland.
- Geiger, F., 1970. *Die Aridität in Südostspanien. Ursachen und Auswirkungen im Landschaftsbild*. Selbstverl. d. Geograph. Inst. d. Univ. Stuttgart. 173 pp.
- Gil Meseguer, E., Pérez Morales, A. y Gómez Espín, J.M., 2012. Precipitaciones y avenidas del 28 de septiembre de 2012 en el cuadrante suroccidental de la cuenca de Segura (Municipios de Lorca, Puerto Lumbreras y Pulpí). Papeles de Geografía, 55-56, 75-94. ISSN: 0213-1781.
- Giordano, R., Pagano, A., Pluchinotta, I., Olivo del Amo, R., Hernández, S.M. y Lafuente, E.S., 2017. Modelling the complexity of the network of interactions in flood emergency management: The Lorca flash flood case. Environmental Modelling & Software, 95, 180-195. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.026>.
- Girgus, R. y Strupczewski, W., 1965. *Wyjatkami ze źródeł historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologiczno-meteorologicznych na ziemiach polskich w wiekach od X do XVI*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, Poland.
- Glaser, R., 2001. *Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*. Primus Verlag, Darmstadt, Germany.
- Glaser, R. y Hagedorn, H., 1990. Die Überschwemmungskatastrophe von 1784 im Maintal. Eine Chronologie ihrer witterungsklimatischen Voraussetzungen und Auswirkungen. Die Erde 121(1), 1-14.
- Glaser, R., Jacobeit, J., Deutsch, M. y Stangl, H., 2002. Hochwässer als historisches Phänomen. En: Rundgespräche der Kommission für Ökologie 24 "Katastrophe oder Chance? Hochwasser und Ökologie", 15-30. Verlag Dr Friedrich Pfeil, München, Germany.
- Glaser, R. y Stangl, H., 2004. Climate and floods in Central Europe since AD 1000: Data, methods, results and consequences. Surveys Geophysics, 25 (5/6), 485-510. <https://doi.org/10.1007/s10712-004-6201-y>.
- Glaser, R., Riemann, D., Schönbein, J., Barriendos, M., Brázdil, R., Bertolin, C. y Himmelsbach, I., 2010. The variability of European floods since AD 1500. Climatic Change, 101, 235-256. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9816-7>.

- Gnedenko, B. 1943. Sur la distribution limite du terme maximum d'une série aléatoire. *Annales de Mathématiques*, 44, 423–453. DOI: 10.2307/1968974. <http://www.jstor.org/stable/1968974>.
- Gómez Armisen, G. N., 2016. Reconstrucción de daños de inundaciones del río Antas en el curso bajo. Trabajo de Final de Grado de Geografía. Universidad de Barcelona,
- González-Hidalgo, J.C., López-Bustins, J.A., Stepanek, P., Martín-Vide, J. y de Luis, M., 2009. Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951-2000). *International Journal of Climatology*, 29, 1415-1429. <https://doi.org/10.1002/joc.1780>.
- Goy, J. L. y Zazo, C., 1989. The role of neotectonics in the morphologic distribution of the Quaternary marine and continental deposits of the Elche basin, southeastern Spain. *Tectonophysics*, 163, 219-225.
- Greenbaum, N. y Bergman, N., 2006. Formation and evacuation of a large gravel-bar deposited a major flood in a Mediterranean ephemeral stream, Nahal Me'arot, NW Israel. *Geomorphology*, 77, 169-186. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.016>.
- Gregory, K. J., 2006. The human role in changing river channels. *Geomorphology* 79, 172-191. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.018>.
- Grodek, T., Jacoby, Y., Morin, E. y Katz, O., 2012. Effectiveness of an exceptional rainstorm on a small Mediterranean basin. *Geomorphology*, 159-160, 156-168. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.03.016>.
- Guidoboni, E., 1998. Human factors, extreme events and floods in the Lower Po Plain (Northern Italy) in the 16th century. *Environment and History* 4(3), 279–308. DOI: 10.3197/096734098779555556. <https://www.jstor.org/stable/20723078>.
- Hailegeorgis, T. T. y Alfredsen, K., 2017. Regional flood frequency analysis and prediction in ungauged basins including estimation of major uncertainties for mid-Norway. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 9, 104-126. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.11.004>.
- Halbert, K., 2018. Local and regional flood frequency analyses with BayesianMCMC.
- Hall, J., Arheimer, B., Borga, M., Brázdil, R., Claps, P., Kiss, A., Kjeldsen, T.R., Kriauciuniene, J., Kundzewicz, Z.W., Lang, M., Llasat, M.C., Macdonald, N., McIntyre, N., Mediero, L., Merz, B., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Neuhold, C., Parajka, J., Perdigão, R.A.P., Plavcová, L., Rogger, M., Salinas, J.L., Sauquet, E., Schär, C., Szolgay, J., Viglione, A., y Blöschl, G., 2014. Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 2735–2772. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>.

- Harvey, A.M., 1984. Geomorphological response to an extreme flood: A case from southeast Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 9:3, 267-279. <https://doi.org/10.1002/esp.3290090306>.
- Harvey, A.M. y Mather, A. E., 2015. Classic Geology in Europe 12: Almeria. Part I: The Main Themes in the Geology and Geomorphology of Almeria. Part II: Keynote Sites and Itineraries. Dunedin Academic Press, London. 7: 242 pp. ISBN: 978-1-78046-037-6.
- Hauer, C. y Habersack, H., 2009. Morphodynamics of a 1000-year flood in the Kamp River, Austria, and impacts on floodplain morphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 654-682. <https://doi.org/10.1002/esp.1763>.
- HEC (Hydrologic Engineering Center), 1997. HEC-RAS River Analysis System User's Manual, Version 2.0, CPD-68. U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, Davis, California.
- HEC-USACE, 2010. Hydrologic Engineering Center-US Army Corps of Engineers. URL: <http://www.hec.usace.army.mil/> (20 de abril, 2019).
- Herget, J., Kapala, A., Krell, M., Rustemeier, E., Simmer, C. y Wyss, A., 2015. The millennium flood of July 1342 revisited. *Catena*, 130, 82-95. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.12.010>.
- Hernández-López MR, Francés F. 2017. Bayesian joint inference of hydrological and generalized error models with the enforcement of Total Laws. *Hydrology and Earth System Sciences*, <https://doi.org/10.5194/hess-2017-9>.
- Hershfield, D. M., 1962. An empirical comparison of the predictive value of three extreme-value procedures, 67:4, 1535-1542. <https://doi.org/10.1029/JZ067i004p01535>.
- Himmelsbach, I., Glaser, R., Schoenbein, J., Riemann, D. y Martin, B., 2015. Reconstruction of flood events based on documentary data and transnational flood risk analysis of the Upper Rhine and its French and German tributaries since AD 1480. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 4149-4164. <https://doi.org/10.5194/hess-19-4149-2015>.
- Hoffmann, G., 1988. *Holozänstratigraphie und Küstenlinienverlagerung an der andalusischen Mittelmeerküste*. Ver. Fachber. Geowissensch. Univ. Bremen, 2: 173 pp.
- Hooke, J. M., 2016. Geomorphological impacts of an extreme flood in SE Spain. *Geomorphology*, 263, 19-38. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.03.021>.
- Hooke, J.M. y Mant, J.M., 2000. Geomorphological impacts of a flood event on ephemeral channel in SE Spain. *Geomorphology*, 34, 163-180. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00005-2).
- Hooke, J.M. y Sandercock, P., 2012. Use of vegetation to combat desertification and land degradation: Recommendations and guidelines for spatial strategies in

- Mediterranean lands. *Landscape and Urban Planning*, 107, 389-400. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.07.007>.
- Horritt, M.S. y Bates, P.D., 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, 268, 87-99. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X).
- Horváthová, B., 2003. *Povoden to nie len veľká voda*. Veda, Bratislava, Slovakia.
- Hundeche, Y. y Bárdossy, A., 2004. Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model. *Journal of Hydrology*, 292, 281-295. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.002>.
- IPCC, 2014. *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II, and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Core writing team, Pachauri RK, Meyer LA (eds), IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Ives, J.D., Messerli, B. y Spiess, E., 1997. Mountains of the world – A global perspective. En: Messerli, B. y Ives, J.D., (Eds.), *Mountains of the world: A global priority*, Parthenon Publication Group, Oxford, 313-335.
- Jacobeit, J., Glaser, R., Luterbacher, J. y Wanner, H., 2003. Links between flood events in central Europe since AD 1500 and large-scale atmospheric circulation modes. *Geophysical Research Letter*, 30(4), 21-1-21-4. <https://doi.org/10.1029/2002GL016433>.
- Jódar-Abellan, A., Valdes-Abellan, J., Pla, C. y Gomariz-Castillo, F., 2019. Impact of land use changes on flash flood prediction using a sub-daily SWAT model in five Mediterranean ungauged watershed (SE Spain). *Science of The Total Environment*, 657, 1578-1591. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.034>.
- Jones, P. D., Ogilvie, A. E. J. y Wigley, T. M. L., 1984. *Riverflow Data for the United Kingdom: Reconstructed Data Back to 1844 and Historical Data Back to 1556*. Climatic Research Unit, Norwich, UK.
- Jones, P.D., Briffa, K.R., Barnett, T.P. y Tett, S.F.B., 1998. High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with general circulation model control-run temperatures. *The Holocene*, 8, 455-471. <https://doi.org/10.1191/095968398667194956>.
- Jordan, G., von Rompaey, A., Szilassi, P., Csillag, G., Mannaerts, C. y Woldai, T., 2005. Historical land use changes and their impact on sediment fluxes in the Balaton basin (Hungary). *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 108, 119-133. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.013>.
- Junta de Andalucía, 2019. Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía 1:25000. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.ae>

[dc2250f6db83cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=784efa937370f210VgnVCM1000001325e50aRCRD](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2). Consultada por última vez el 9 de febrero de 2019.

- Junta de Socorros de los vecinos de Madrid, 1882. *Memoria de la Inundación de Murcia, Alicante y Almería acaecida los días 14 y 15 de octubre de 1879*. Redactada por el Comité Ejecutivo nominado por la Junta de Socorros de los Vecinos de Madrid. Madrid. Imprenta y litografía de huérfanos.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R. y Joseph, D., 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77 (3), 437-471. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2).
- Kaplan, J.O., Krumhardt, K.M. Zimmermann, N., 2009. The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 28, 3016-3034. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.09.028>.
- Kelly, M., Black, S. y Rowan, J.S., 2000. A calcrete-based U/Th chronology for landform evolution in the Sorbas Basin, southeast Spain. *Quaternary Science Reviews*, 19, 995-1010. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00050-5).
- Kiss, A. y Laszlovszky, J., 2013. 14th – 16th- Century Danube floods and long-term water-level changes in archaeological and sedimentary evidence in the western and central Carpathian basin: an overview with documentary comparison. *Journal of Environmental Geography*, 6, 1-11.
- Köppen, W. P., 1931. *Grundriss der klimakunde*. Walter de Gruyter & Co., Berlin. 388pp.
- Kotzya, O., Cvrk, F. y Pažourek, V., 1995. *Historické povodne na dolním Labi a Vltave*. Okresní muzeum v Decine, Decín, Czech Republic.
- Krahe, P., 1997. Hochwasser und Klimafluktuationen am Rhein seit dem Mittelalter. En: *Natur im Überfluss?* (ed. por R. Immendorf), 57–82. C. F. Müller, Heidelberg, Germany.
- Kuczera, G., 1999. Comprehensive at-site flood frequency analysis using Monte Carlo Bayesian inference. *Water Resources Research*, 35:5, 1551-1557. <https://doi.org/10.1029/1999WR900012>.
- Kundzewicz, Z. W., Luger, N., Dankers, R., Hirabayashi, Y., Döll, P., Pinskiwar, I., Dysarz, T., Horchraier, S. y Matczak, P., 2010. Assessing river flood risk and adaptation in Europe – review of projections for the future. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15:7, 641-656.
- Kundzewicz, Z.W., Krysanovam V., Dankers, R., Hirabayashi, Y., Kanae, S., Hattermann, F.F., Huang, S., Milly, P.C.D., Stoffel, M., Driessen, P.P.J., Matczak, P., Quevauviller, P. y Schellnhuber, H.J., 2017. Differences in flood

hazard projections in Europe – their causes and consequences for decision making. *Hydrological Sciences Journal*, 62:1, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2016.1241398>.

- Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, P., Vicente-Serrano, S.M. y García-Ruiz, J.M., 2010. Escorrentía y erosión tras el abandono de tierras de cultivo en Montaña: Resultados de la estación experimental “Valle de Aísa”. *Pirineos. Revista de Ecología de Montaña*, 165, 115-133. DOI: 10.3989/Pirineos.2010.165006.
- Leese, M.N., 1973. Use of censored data in the estimation of Gumbel distribution parameters for annual maximum flood series. *Water Resources Research*, 9:6, 1534-1542. <https://doi.org/10.1029/WR009i006p01534>.
- Llasat, M.C. y Ramis, C., 1996. The Meteorology of High-Intensity rainfall Events over the West Mediterranean Region. *Remote Sensing Reviews*, 14, 51-90. <https://doi.org/10.1080/02757259609532313>.
- Llasat, M.C., Rigo, T. y Barriendos, M., 2003. The ‘Montserrat-2000’ flash-flood event: a comparison with the floods that have occurred in the northeastern Iberian Peninsula since the 14th century. *International Journal of Climatology*, 23, 453–469. DOI: 10.1002/joc.888.
- Llasat, M.C., Barriendos, M., Barrera, A. y Rigo, T., 2005a. Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *Journal of Hydrology*, 313, 32–47. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.02.004>.
- Llasat, M.C., Rigo, T., Ceperuelo, M. y Barrera-Escoda, A., 2005b. Estimation of convective precipitation: the meteorological radar versus an automatic rain gauge network. *Advances in Geosciences*, 2, 103-109. <https://doi.org/10.5194/adgeo-2-103-2005>.
- Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Prat, M.A., Porcú, F., Price, C., Mugnai, A., Lagourvardos, K., Kotroni, V., Katsanos, D., Michaelides, S., Yair, Y., Savvidou, K. y Nicolaidis, K., 2010. High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the flash preliminary database. *Advances in Geosciences*, 23, 1-9. <https://doi.org/10.5194/adgeo-23-47-2010>.
- Llena, M., Cavalli, M., Vericat, D. y Crema, S., 2018. Assessing changes in landscape associated to anthropic disturbance by means of the application of structure from motion photogrammetry using historical aerial imagery. *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 46, 74-81.
- Llena, M., Vericat, D., Cavalli, M., Crema, S. y Smith, M.W., 2019. The effects of land use and topographic changes on sediment connectivity in mountain catchments. *Science of The Total Environment*, 660, 899-912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.479>.

- Llorca, J., 2016. Agradación fluvial en la llanura deltaica de Haslital (Alpes Suizos). Análisis de facies sedimentarias y modelización cronoestratigráfica. Ph.D. thesis, Universitat de Barcelona, 321 p.
- López, J. y Francés, F., 2013. Non-stationary flood frequency analysis in continental Spanish rivers, using climate and reservoir indices as external covariates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 3189-3203. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-17-3189-2013>.
- López-Bermúdez, F., Conesa-García, C. y Alonso-Sarria, F., 2002. Floods: magnitude and frequency in ephemeral streams of the Spanish Mediterranean region. En; Bull, B., Kirkby, M (Eds), *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels*, John Wiley & Sons, Chichester. 229-350.
- Luo, C.Z., 1987. Investigation and regionalization of historical floods in China. *Journal of Hydrology*, 96: 1-4, 41-51. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(87\)90142-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(87)90142-9).
- Luterbacher, J., Xoplaki, E., Dietrich, D., Rickli, R., Jacobeit, J., Beck, C., Gyalistras, D., Schmutz, C. y Wanner, H., 2002. Reconstruction of sea level pressure fields over the Eastern North Atlantic and Europe back to 1500. *Climate Dynamics*, 18, 545-461. <https://doi.org/10.1007/s00382-001-0196-6>.
- Macdonald, N., 2012. Trends in flood seasonality of the River Ouse (northern England), from archive and instrumental sources since AD 1600. *Climatic Change*, 110, 901-923. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0117-6>.
- Macdonald, N., 2013. Reassessing flood frequency for the River Trent through the inclusion of historical flood information since AD 1320. *Hydrology Research*, 44, 215-233. <https://doi.org/10.2166/nh.2012.188>.
- Macdonald, N., Werritty, A., Black, A.R. y McEwen, L.J., 2006. Historical and pooled flood frequency analysis for the River Tay at Perth, Scotland. *Area*, 38(1), 34-46. <https://doi-org.sire.ub.edu/10.1111/j.1475-4762.2006.00673.x>.
- Macdonald, N., Kjeldsen, T.R., Prosdocimi, I. y Sangster, H., 2014. Reassessing flood frequency for the Sussex Ouse through the inclusion of historical flood information since AD 1650. *Natural Hazards and Earth Systems Science*, 14: 2817-2828. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2817-2014>.
- Macdonald, N. y Sangster, H., 2017. High magnitude flooding across Britain since AD 1750. *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 21, 1631-1650. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1631-2017>.
- Machado, M.J., Benito, G., Barriendos, M. y Rodrigo, F.S., 2011. 500 Years of rainfall variability and extreme hydrological events in southeastern Spain drylands. *Journal of Arid Environments*, 75:12, 1244-1253. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.02.002>.

- Machado, M.J., Botero, B.A., López, J., Francés, F., Díez-Herrero, A. y Benito, G., 2015. Flood frequency analysis of historical flood data under stationary and non-stationary modelling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 2561-2576. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2561-2015>.
- Machado, M.J., Castillo, O., Barriendos, M., Calle, M., greenbaum, N., Medialdea, A., Sánchez-Moya, Y. y Benito, G., 2018. Evaluación de la peligrosidad de las crecidas extraordinarias del río Duero en Zamora: hidrología histórica, hidráulica y patrimonio histórico. En Garcia, C., Gómez-Pujol, L., Morán-Tejeda, E., y Batalla, R.J. (eds). 2018. *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos*. UIB, SEG, Palma.
- Macklin, M. y Passmore, D., 1995. Pleistocene environmental change in the Guadalupe basin, northeast Spain: fluvial and archaeological records. *Mediterranean Quaternary River Environments*, 103-113.
- Madoz, P., 1845-1850. *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de Ultramar*. Ámbito Ediciones, S.A. (Edic.facsímil). Salamanca.
- Mangini, W., Viglione, A., Hall, J., Hundecha, Y., Ceola, S., Montanari, A., Rogger, M., Salinas, J.L., Borzì, I. y Parajka, J., 2018. Detection of trends in magnitude and frequency of flood peaks across Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 63:4, 493-512. <https://doi-org/10.1080/02626667.2018.1444766>.
- Martín Garcia, J., 2010. *La explosión urbana del litoral: Transformación de los usos del suelo en los municipios de Garrucha, Mojácar y Vera*. Colección Desarrollo Territorial. Serie Estudios y Documentos 6. Publicaciones de la Universitat de València. 413 p.
- Martín Penela, J.A., Rodríguez Fernández, J., Barragán Bazán, G., Pascual, A. y Guerra-Mechan, A., 1997. El registro sedimentario de las cuencas neógenas de la provincia de Almería. *Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Sureste Peninsular*. 169-183.
- Martín-Vide, J. y López-Bustins, J.A., 2006. The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26, 1455-1475. <https://doi.org/10.1002/joc.1388>.
- Martín-Vide, J.P. y Llasat, M.C., 2018. The 1962 flash flood in the Rubí stream (Barcelona, Spain). *Journal of Hydrology*, 566, 441-454. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.028>.
- Mather, A. E., Stokes, M. y Whitfield, E., 2016. River terraces and alluvial fans: The case for an integrated Quaternary fluvial archive. *Quaternary Science Reviews*, 166, 74-90. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.09.022>.
- Merwade, V., 2009. Effect of spatial trends on interpolation of river bathymetry. *Journal of Hydrology*, 371, 169-181. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.026>.

- Merwade, V., Cook, A. y Coonrod, J., 2008. GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environmental Modelling & Software*, 23, 1300-1311. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.03.005>.
- Meybeck, M., 2003. Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358, 1935-1955.
- Miltzer, S., Börngen, M. y Tetzlaff, G., 1999. Das Oderhochwasser von 1736. En: *Analogon zum Jahrhunderthochwasser 1997. Geoökodynamik* 20(4), 309-322.
- Millares, A., Polo, M.J., Moñino, A., Herrero, J. y Losada, M.A., 2014. Bedload dynamic and associated snowmelt influence in mountainous and semiarid alluvial rivers. *Geomorphology*, 206, 330-342. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.09.038>.
- Miller, S.N., Kepner, W.G., Mehaffey, M.H., Hernandez, M., Miller, R.C., Goodrich, D.C., Devonald, K.K., Heggem, D.T. y Miller, W.P., 2007. Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis. *Journal of the American Water Resources Association*, 38, 915-959. <https://doi-org./10.1111/j.1752-1688.2002.tb05534.x>.
- Milly, P. C. D., Wetherald, R. T., Funne, K. A. y Delworth, T. L., 2002. Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature* 415, 514-517. <https://doi.org/10.1038/415514a>.
- Montenat, C. y Ott d'Estevou, P., 1990. Eastern Betic Néogene basins – A review. En: *Les bassins Néogènes du Domaine Bétiqne Oriental (Espagne)*. Inst. Geol. A. Lapparent, Documents et Travaux, 12-13: 9-15.
- Mudelsee, M., Börngen, M., Tetzlaff, G. y Grünewald, U., 2003. No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. *Nature* 425, 166-169. <https://doi.org/10.1038/nature01928>.
- Mudelsee, M., Börngen, M., Tetzlaff, G. y Grünewald, U., 2004. Extreme floods in central Europe over the past 500 years: Role of cyclone pathway “Zugstrasse Vb”. *Journal Geophysical Research*, 109, D23. <https://doi.org/10.1029/2004JD005034>.
- Mumford, L., 1979. *La ciudad en la historia*. 2 vols. Buenos Aires: Ediciones Infinito.
- Muñoz-Narciso, E., García, Sierra-Pernas, J.M. y Pérez-Alberti, A., 2018. Estudio de los cambios geomorfológicos (2010-2016) mediante la comparación de MDTs de elevada resolución obtenidos por UAVS y técnicas SFM en los acantilados de A Capelada (Galicia, España). En García, C., Gómez-Pujol, L., Morán-Tejeda, E., y Batalla, R.J. (eds). 2018. *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos*. UIB, SEG, Palma.

- N'Guyen, C., Payrastre, O., y Gaume, E. 2014. Regional flood frequency analyses involving extraordinary flood events at ungauged sites: Further developments and validations. *Journal of Hydrology*, 508, 385–396. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.058>.
- Naef, F., Scherrer, S. y Weiler, M., 2002. A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land use change. *Journal of Hydrology*, 267, 74-79. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00141-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00141-5).
- Nardi, L. y Rinaldi, M., 2015. Spatio-temporal patterns of channel changes in response to a major flood event: the case of the Magra River (central-northern Italy). *Earth Surface Processes and Landforms*, 40, 326-339. <https://doi-org/10.1002/esp.3636>.
- Naulet, R., Lang, M., Ouarda, T. B. M. J., Coeur, D., Bobée, B., Recking, A. y Moussay, D., 2005. Flood frequency analysis on the Ardeche River using French documentary sources from the last two centuries. *Journal of Hydrology*, 313, 58–78. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.02.011>.
- Natural Environment Research Council (NERC), 1975. *Flood Studies Report*. London, RU.
- Navarro-Hervás, F., 1985. Morfoestructura y comportamiento hídrico de la rambla de Nogalte. *Actas IX Coloquio de geografía, T.I., Asociación de Geógrafos españoles*. Murcia.
- Neumann, H., 1960. El clima del sudeste de España. *Estudios Geográficos*, 21(79), 171.
- Nichols, M.H., Stone, J.J. y Nearing, M.A., 2008. Sediment database, Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, United States. *Water Resources Research*, 44:5. <https://doi.org/10.1029/2006WR005682>.
- Niehoff, D., Fritsch, U. y Bronstert, A., 2002. Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany. *Journal of Hydrology*, 267, 80-93. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00142-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00142-7).
- O'Connell, P.E., Beven, K.J., Carney, J.N., Clements, R.O., Ewen, J., Hollis, J., Morris, J., O'Donnell, G.M., Packman, J.C., Parkin, A., Quinn, P.F., Rose, S.C. y Shepherd, M., 2004. *Review of impacts of Rural Land Use and management on Flood Generation. Part B: Research Plan*. RSD Technical Report FD2114/TR, DEFRA, London, RU. 62pp.
- O'Connell, E., Ewen, J., O'Donnell, G. y Quinn, P., 2007. Is there a link between agricultural land-use management and flooding?. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 96-107. <https://doi.org/10.5194/hess-11-96-2007>.

- Oliva, M. y Moreno, I., 2008. Sierra Nevada, nexo entre dos patrones de teleconexión: la NAO y la WeMO. VI Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología celebrado en Tarragona del 8 al 11 de octubre de 2008.
- Oliva, M., López-Bustins, J.A., Barriendos, M., Muedra, C. y Martín-Vide, J., 2006. Reconstrucción histórica de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WEMO) e inundaciones en el Levante Peninsular (1500-2000). Publicaciones de la Asociación de Española de Climatología, 5, 241-250.
- Ortega-Becerril, J.A. y Garzón Heydt, G., 2009. Geomorphological and sedimentological analysis of flash-flood deposits: The case of the 1997 Rivillas flood (Spain). *Geomorphology*, 112, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.05.004>.
- Ortega-Becerril, J.A., Garzón, G., Béjar-Pizarro, M. y Martínez-Díaz, J.J., 2016. Towards an increase of flash flood geomorphic effects due to gravel mining and ground subsidence in Nogalte stream (Murcia, SE Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(10), 2273-2286. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2273-2016>.
- Ortiz Soler, D. y Cara Barrionuevo, L., 2003. *Vera, Agua y Suelo: la historia de la lucha por el agua en una ciudad del levante almeriense*. Ed. Arráez Editores, 144 pp.
- Pall, P., Allen, M.R y Stone, D.A., 2007. Testing the Clausius-Clapeyron constraint on changes in extreme precipitation under CO2 warming. *Climate Dynamics* 28, 351–363. <https://doi.org/10.1007/s00382-006-0180-2>.
- Pardo-Barrionuevo, C., 2009. El poblamiento rural fenicio en el río Aguas (Almería). *Arqueología y Territorio*, 6, 137-149.
- Patric, J.H. y Reinhart, K., 1971. Hydrologic Effects of Deforesting Two Mountain Watersheds in West Virginia. *Water Resources Research*, 7(5), 1182-1188. <https://doi.org/10.1029/WR007i005p01182>.
- Pavese, M. P., Banzon, V., Colacino, M., Gregori, G. P. & Pasqua, M., 1992. Three historical data series on floods and anomalous climatic events in Italy. En: *Climate Since AD 1500* (ed. por R. S. Bradley y P. D. Jones), 155–170. Routledge, London, RU.
- Payraastre, O., Gaume, E. y Andrieu, H., 2011. Usefulness of historical information for flood frequency analyses: Developments based on a case study. *Water Resources Research*, 47(8). <https://doi.org/10.1029/2010WR009812>.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. y McMahon, T.A., 2007. Update world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Science*, 11, 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>.
- Peña, J.C. y Schulte, L., 2014. Effects of solar activities and climate variability on large floods in Switzerland. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 65, 469-475.

- Petrucci, O., Papagiannaki, K., Aceto, L., Boissier, L., Kotroni, V., Grimalt, M., Llasat, M. C., Llasat-Botija, M., Roselló, J., Pasqua, A. A. y Vinet, F., 2019. MEFF: The database of MEditerranean Flood Fatalities (1980 to 2015). *Journal of Flood Risk Management*, 12, 12461.
- Pfister, C., 1988. *Klimageschichte der Schweiz 1525–1860. Das Klima der Schweiz von 1525–1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft*. Paul Haupt, Bern, Switzerland.
- Pfister, C., 1999. *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995)*. Paul Haupt, Bern, Switzerland.
- Pfister, C. y Hächler, S., 1991. Überschwemmungskatastrophen im Schweizer Alpenraum seit dem Spätmittelalter. Raum-zeitliche Rekonstruktion von Schadenmustern auf der Basis historischer Quellen. *Würzburger Geographische Arbeiten* 80, 127–148.
- Pilgram, A., 1788. *Untersuchungen über das Wahrscheinliche der Wetterkunde durch vieljährige Beobachtungen*. Joseph Edlen von Kurzbeck, Viena, Austria.
- Pino, D., Ruiz-Bellet, J.L., Balasch, J.C., Romero-León, L., Tuset, J., Barriendos, M., Mazon, J. y Castellort, X., 2016. Meteorological and hydrological analysis of major floods in NE Iberian Peninsula. *Journal of Hydrology*, 541, 63-89. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.008>.
- Piquer-Rodríguez, M., Kuemmerle, T., Alcaraz-Segura, D., Zurita-Milla, R. y Cabello, J., 2012. Future land use effects on the connectivity of protected area networks in southeastern Spain. *Journal for Nature Conservation*, 20, 326-336. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2012.07.001>.
- Pohl, R., 2004. *Historische Hochwasser aus dem Erzgebirge. Von der Gottleuba bis zur Mulde*. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 28, Dresden, Germany.
- Popovici, E.A., Balteanu, D. y Kucsicsa G., 2013. Assessment of changes in land-use and land-cover pattern in Romania using Corine land cover Database. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8, 195-208.
- Pöttsch, C.G., 1784. *Chronologische Geschichte der grossen Wasserfluthen des Elbstroms seit tausend und mehr Jahren [Nebst Nachtrag und Fortsetzung]*. Dresden, Germany: En el Waltherischen Hofbuchhandlung.
- Price, K., 2011. Effects of watershed topographic, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: a review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 35, 465-492. <https://doi.org/10.1177/0309133311402714>.
- Proharska, S., Ilic, A., Miloradovic, B. y Petkovic, T., 2009. Identification and classification of Serbia's historic floods. *Bulletin of the Serbian Geographical society*, 89:4, 191-199.

- Powel, S.J., Letcher, R.A., Croke, B.F.W., 2008. Modelling floodplain inundation for environmental flows: Gwydir wetlands, Australia. *Ecological modelling*, 211, 350-362. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.09.013>.
- Poyatos, R., Latron, J. y Llorens, P., 2003. Land Use and Land Cover Change After Agricultural Abandonment. *Mountain Research and Development*, 23(4), 362-368. [https://doi.org/10.1659/0276-741\(2003\)023\[0362:LUALCC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-741(2003)023[0362:LUALCC]2.0.CO;2).
- Puertes, C. y Grancés, F., 2016. La riada de Valencia de 1957: reconstrucción hidrológica y sedimentológica y análisis comparativo con la situación actual. *Ingeniería del agua*, 20, 181-199. Universidad Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/ia.2016.4772>.
- Puig i Valls, A., 1995. La Guerra Civil espanyola, una causa de l'emigració andalusa en la dècada dels anys cinquanta?. *Recerques: història, economia, cultura* 31, 53-69.
- Pulido-Bosch, A., 1993. Las ramblas mediterráneas; condicionantes geomorfológicos e hidrológicos. En: *Regeneración de la cubierta vegetal: actas de la V Aula de Ecología*. Las ramblas mediterráneas: actas de la VI Aula de Ecología (pp. 131-140). Instituto de Estudios Almerienses.
- Pulido-Bosch, A., Sánchez-Martos, F., Martínez-Vidal, J.L. y Navarrete, F., 1992. Groundwater problems in a semiarid area (Low Andarax river, Almeria, Spain). *Environmental Geology and Water Sciences*, 20, 195-204. <https://doi.org/10.1007/BF01706162>.
- Pulido-Bosch, A., Pulido-Leboeuf, P., Molina-Sánchez, L., Vallejos, A. y Martín-Rosales, W., 2000. Intensive agricultura, wetlands, quarries and watter management. A case study (Campo de Dalias, SE Spain). *Environmental Geology and Water Sciences*, 40, 163-168. <https://doi.org/10.1007/s002540000118>.
- R Core Team, 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reis, R.S. y Stedinger, J.R., 2005. Bayesian MCMC flood frequency analysis with historical information. *Journal of Hydrology*, 313, 97-116. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.02.028>.
- Ribatet, M., Sauquet, E., Grésillon, J. M. y Ouarda, T. B., 2007. A regional Bayesian POT model for flood frequency analysis. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21(4), 327-339. <https://doi.org/10.1007/s00477-006-0068-z>.
- Riosalido R., 1998. Estudio meteorológico de la situación del 7 de Agosto de 1996 (Biescas). Nota técnica STAP no. 26, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General del INM.

- Rodrigo, F.S., 1994. *Cambio climático natural. La Pequeña Edad del Hielo en Andalucía. Reconstrucción del clima histórico a partir de fuentes documentales.* Departamento de Física Aplicada, Universidad de Granada, Tesis inédita, 393 pp.
- Rodrigo, F.S., Esteban-Parra, M.J., Pozo-Vázquez, D. y Castro-Díez, Y., 1999. A 500-year precipitation record in southern Spain. *International Journal of Climatology*, 19, 1233-1253. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199909\)19:11<1233::AID-JOC413>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199909)19:11<1233::AID-JOC413>3.0.CO;2-L).
- Rodrigo, F.S., 2010. Changes in the probability of extreme daily precipitation observed from 1951 to 2002 in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 30, 1512-1525. <https://doi.org/10.1002/joc.1987>.
- Rodríguez-Caballero, E., Lázaro, R., Cantón, Y., Puigfàbregas, F. y Solé-Benet, A., 2018. Long-term hydrological monitoring in arid-semiarid Almería, SE Spain. What have we learned?. *Geographical Research Letters*, 44(2), 581-600. <http://doi.org/10.18172/cig.3462>.
- Rodríguez-Lloveras, X., Bussi, G., Francés, F., Rodríguez-Caballero, E., Solé-Benet, A., Calle, M. y Benito, G., 2015. Patterns of runoff and sediment production in response to land-use changes in an ungauged Mediterranean catchment. *Journal of Hydrology*, 531, 1054-1066. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.014>.
- Rogger, M., Agnoletti, M., Alaoui, A., Bathurst, J.C., Bodner, G., Borga, M., Chaplot, V., Gallart, F., Glatzel, G., Hall, J., Holden, J., Holko, L., Horn, R., Kiss, A., Kohnová, S., Leitinger, G., Lennartz, B., Parajka, J., Perdigão, R., Peth, S., Plavcová, L., Quinton, J.N., Robinson, M., Salinas, J.L., Santoro, A., Szolgay, J., Tron, S., van den Akker, J.J.H., Viglione, A. y Blöschl, G., 2017. Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research. *Water Resources Research*, 53, 5209-5219. <https://doi.org/10.1002/2017WR020723>.
- Rohr, C., 2003. Der Fluss als Ernährer und Zerstörer. Zur Wahrnehmung, Deutung und Bewältigung von Überschwemmungen an den Flüssen Salzach und Inn, 13.-16. Jahrhundert. *Traverse—Z. Geschichte* 10(3), 37–49.
- Rohr, C., 2004. Überschwemmungen an der Traun zwischen Alltag und Katastrophe. Die Welser Traunbrücke im Spiegel der Bruckamtsrechnung der 15. und 16. Jahrhunderts. En: 33. Jahrbuch des Musealvereines Wels (2001/2002/2003), 281–327. Musealverein Wels, Austria.
- Romanescu, G. y Stoleriu, C. C., 2017a. Exceptional floods in the Prut basin, Romania, in the context of heavy rains in the summer of 2010. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17, 381-396. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-381-2017>.

- Romanescu, G., Cimpianu, C. I., Miha-Pintilie, A. y Stoleriu, C. C., 2017b. Historic flood events in NE Romania (post-1990). *Journal of Maps*, 13:2, 787-798. <https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1383944>.
- Romero Díaz, A., Marín Sanleandro, P., Sánchez Soriano, A., Belmonte Serrato, F. y Faulkner, H., 2007. The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. *Catena*, 69, 282-293. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.07.008>.
- Ruiz-Bellet, J. L., Balasch, J.C., Tuset, J., Monserrate, A. y Sánchez, A., 2015. Improvement of flood frequency analysis with historical information in different types of catchments and data series within the Ebro River Basin. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 59(3), 127–157. https://doi.org/10.1127/zfg_suppl/2015/S-59219.
- Ruiz-Bellet, J. L., Castellort, X., Balasch, J.C. y Tuset, J., 2017. Uncertainty of the peak flow reconstruction of the 1907 flood in the Ebro River in Xerta (NE Iberian Peninsula). *Journal of Hydrology*, 545, 339-354. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.041>.
- Ruiz-Pérez, G., Medici, C., Latron, J., Llorens, P., Gallart, F. y Francés, F., 2016. Investigating the behavior of a small Mediterranean catchment using three different hydrological models as hypotheses. *Hydrological Processes*, 30:13, 2050-2062. <https://doi-org./10.1002/hyp.10738>.
- Saksena, S. y Merwade, V., 2015. Incorporating the effect of DEM resolution and accuracy for improved flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 530, 180-194. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.069>.
- Salinas, J. L., Kiss, A., Viglione, A., Vieri, R. y Blöschl, G., 2016. A fuzzy Bayesian approach to flood frequency estimation with imprecise historical information. *Water Resources Research*, 52, 6730-6750. <https://doi.org/10.1002/2016WR019177>.
- Sánchez-García, C., 2015. *Los muros de piedra seca en el municipio de Les Oluges (Lleida)*. Master thesis, 55 pp. Universitat de Lleida.
- Sánchez-García, C., Schulte, L., Peña, J. C., Carvalho, F., y Brembilla, C., 2016. A 500-year history of floods in the semiarid basins of south-eastern Spain. *Geophysical Research Abstracts*, 18.
- Sánchez-García, C. y Schulte, L., 2018a. Effects of morphological changes in the increase of flood hazards in Southeastern Iberian Peninsula. The case of the River Antas. *INNOVA Encuentro de jóvenes investigadores*, Salamanca.
- Sánchez-García, C., Peña, J. C., Schulte, L., y Carvalho, F., 2018b. Historical floods and climate forcing in the semi-arid catchments of south-eastern Iberian Peninsula. *Geophysical Research Abstracts*, 20.

- Sánchez-García, C., Schulte, L., Carvalho, F. y Peña, J.C., 2019. 500-year flood history in the arid environments of southeastern Spain. The case of the Almanzora River. *Global and Planetary Change*, 181, 102987.
- Sangster, H., Jones C., Macdonald N., 2017. The co-evolution of historical source materials in the geophysical, hydrological and meteorological sciences: Learning from the past moving forward. *Progress in Physical Geography: Earth and Environmet*, 42(1): 61-82. <https://doi.org/10.1177/0309133317744738>.
- Sanjuan, P.A., Llamas Borrajo, J.F., Locutura Rupérez, J. y García Cortés, A., 2014. Estudio geoquímico de los sedimentos de llanura de inundación en la cuenca de los ríos Tinto y Odiel (Huelva). *Boletín Geológico y Minero*, 125, 585-599. ISSN: 0366-0176.
- Santos, M., Fragoso, M. y Santos, J.A., 2018. Damaging flood severity assessment in Northern Portugal over more than 150 years (1865-2016). *Natural Hazards*, 91, 983-1002. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3166-y>.
- Schick, A.P. y Lekach, J., 1987. A High magnitude flood in the Sinai Desert. En: Mayer, I., Nash, D. Eds., *Catastrophic Flooding*. Binghampton Symposium in Geomorphology, 18. Allen y Unwin, Boston. 381-410.
- Schmidt, M., 2000. *Hochwasser und Hochwasserschutz in Deutschland vor 1850*. Eine Auswertung alter Quellen und Karten. Kommissionsverlag Oldenbourg Industrieverlag, München, Germany.
- Schulte, L., 1994. *Eingriffe des Menschen in die Reliefentwicklung des westlichen Vera-Neckens (Südostspanien)*. *Natürliche und anthropogene Faktoren in Vergangenheit und Gegenwart*. Düsseldorf, 110 pp.
- Schulte, L., 1995. Jungquartäre Flussdynamik des Río Antas im zentralen Vera-Becken (SE-Spanien). *Geoökodynamik*, 16, 173-196.
- Schulte, L., 1998. Respuesta de la dinámica fluvial a los cambios climáticos en el sureste peninsular. En: Gómez Ortiz, A. y Salvador Franch, F. (Eds). *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*, 433-444.
- Schulte, L., 2002a. *Evolución cuaternaria de la depresión de Vera y de Sorbas oriental*. *SE-Península Ibérica: reconstrucción de las fluctuaciones paleoclimáticas a partir de estudios morfológicos y edafológicos*. Publicaciones de la Universidad de Barcelona, 251 pp.
- Schulte, L., 2002b. Climatic and human influence on river systems and glacier fluctuations in southeast Spain. *Quaternary International*, 93-94, 85-100. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00008-3](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00008-3).
- Schulte, L., 2003. River-response and terrace aggradation in the Mediterranean Iberian Peninsula during historical times. En: Thorndycraft, V. R., Benito, G., Barriendos, M. y Llasat, C. (Eds): *Palaeofloods, Historical Floods and Climatic*

Variability: Applications in Flood Risk Assessment (Proceedings of the PHEFRA Workshop). 67-72.

- Schulte, L. y Julià, R. A., 2001. A Quaternary soil chronostratigraphy of Southeastern Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 45:2, 145-158.
- Schulte, L., Julià, R., Oliva, M., Burjachs, F., Veit, H. y Carvalho, F., 2008. Sensitivity of Alpine fluvial environments in the Swiss Alps to climate forcing during the Late Holocene. *Sediment Dynamics in Changing Environments*, IAHS Publ. 325, 367-374. <http://iahs.info/redbooks/325.htm>.
- Schulte, L., Peña, J. C., Carvalho, F., Schmidt, T., Julià, R., Llorca, J. y Veit, H., 2015. A 2600-year history of floods in the Bernese Alps, Switzerland: frequencies, mechanisms and climate forcing. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(7), 3047-3072. <https://doi.org/10.5194/hess-19-3047-2015>.
- Schulte, L., Schillereff, D. y Santisteban, J.I., 2019a. Pluridisciplinary analysis and multi-archive reconstruction of paleofloods: Societal demand, challenges and progress. *Global and Planetary Change*, 177, 225-238. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.03.019>.
- Schulte, L., Wetter, O., Wilhelm, B., Peña, J.C., Amann, B., Wirth, S.B., Carvalho, F. y Gómez-Bolea, A., 2019b. Integration of multi-archive datasets for the development of a four-dimensional paleoflood model of alpine catchments. *Global and Planetary Change*, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.05.011>.
- Schumm, S. A., 1993. River response to baselevel change: Implications for sequence stratigraphy. *Journal of Geology*, 101, 279-294.
- Sierra, M., Martínez, F. J., Sierra, C. y Aguilar, J., 2009. Correlations between pedological parameters in relation to lithology and oil type in Almería (SE Spain). *Journal of Arid Environments*, 79, 493-498. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.10.014>.
- Simón Torres, M., 2005. *Almería. Factores formadores y suelos*. Universidad de Almería, 72 pp.
- St George, S. y Mudelsee, M., 2018. The weight of the flood-of-record in flood frequency analysis. *Flood Risk Management*, 1-8. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12512>.
- St George, S. y Esper, J., 2018. Concord and discord among Northern Hemisphere paleotemperature reconstructions from tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 2013, 278-281. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.11.013>.
- Stedinger, J. R. y Cohn, T. A. 1986. Flood frequency analysis with historical and Paleoflood information. *Water Resources Research*, 22, 785-793. <https://doi.org/10.1029/WR022i005p00785>.

- Stokes, M., Griffiths, J.S. y Mather, A., 2012. Palaeoflood estimates of Pleistocene coarse grained river terrace landforms (Río Almanzora, SE Spain). *Geomorphology*, 149-150, 11-26. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.01.007>.
- Strömmer, E., 2003. *Klima-Geschichte. Methoden der Rekonstruktion und historische Perspektive Ostösterreich 1700 bis 1830*. Franz Deuticke, Viena, Austria.
- Sturm, K., Glaser, R., Jacobeit, J., Deutsch, M., Brázdil, R., Pfister, C., Luterbacher, J. y Wanner, H., 2001. Hochwasser in Mitteleuropa seit 1500 und ihre Beziehung zur atmosphärischen Zirkulation. *Petermanns Geographische Mitteilungen* 145(6), 14–23.
- Sutcliffe, J.V., 1987. The use of historical records in flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 96, 159-171. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(87\)90150-8](https://doi.org/10.1016/0022-1694(87)90150-8).
- Svoboda, A., Pekárová, P. y Miklánek, P., 2000. *Flood hydrology of the Danube between Devín and Nagymaros*. Institute of Hydrology and Slovak National Committee on Hydrology, Bratislava, Slovakia.
- Symeonakis, E. y Calvo-Cases, A., 2007. Land Use Change and Land Degradation in Southeastern Mediterranean Spain. *Environmental Management*, 40(1), 80-94. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0059-0>.
- Te Linde, A.H., Aerts, J.C.J.H., Bakker, A.M.R. and Kwadijk, J.C.J., 2010. Simulating low-probability peak discharges for the Rhine basin using resampled climate modeling data. *Water Resources. Research.* 46(3). <https://doi.org/10.1029/2009WR007707>.
- Thompson, C. y Croke, J., 2013. Geomorphic effects, flood power, and channel competence of a catastrophic flood in confined and unconfined reaches of the upper Lockyer valley, southeast Queensland, Australia. *Geomorphology*, 197, 156-169. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.006>.
- Thorndycraft, V. R. y Benito, G., 2006. Late Holocene fluvial chronology of Spain: The role of climatic variability and human impact. *Catena*, 66:1-2, 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.007>.
- Tol, R. S. J. y Langen, A., 2000. A concise history of Dutch river floods. *Climate Change* 46(3), 357–369. <https://doi.org/10.1023/A:1005655412478>.
- Toonem, W.H.J., 2015. Flood frequency analysis and discussion of non-stationarity of the Lower Rhine flooding regime (AD 1350-2011): Using discharge data, water level measurements, and historical records. *Journal of Hydrology*, 528, 490-502. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.014>.
- Torrent, J., 1976. Soil development in a sequence of river terraces in northern Spain. *Catena*, 3, 137-151.

- Trimble, S. W., 1999. Decreased Rates of Alluvial Sediment Storage in the Coon Creek Basin, Wisconsin, 1975-93. *Science*, 285, 1244-1246.
- Trimble, S. W. y Crosson, P., 2000. U.S. Soil Erosion Rates—Myth and Reality. *Science*, 289, 248-250.
- Vallejos Izquierdo, A., Pulido Bosch, A. y Castillo Martín, A., 1994. Consideraciones sobre la hidrogeología de la cuenca del Río Almanzora (SE Peninsular). *Estudios Geológicos*, 50, 103-117.
- Vera-Rebollo, J.F., Olcina, J., Hernández, M.H. y Morales, A., 2016. *Paisaje, cultura territorial y vivencia de la geografía*. Universidad de Alicante, Instituto Interuniversitario de Geografía, 1207 pp. España. ISBN: 9788416724031.
- Victoriano, A., García-Silvestre, M., Furdada, G. y Bordonau, J., 2016. Long-term entrenchment and consequences for present flood hazards in the Garona River (Val d’Aran, Central Pyrenees, Spain). *Natural Hazards and Earth Systems Science*, 16, 2055-5070. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2055-2016>.
- Viglione, A., Merz, R., Salinas, J.L. y Blöschl G., 2013. Flood frequency hydrology: 3. A Bayesian analysis. *Water Resources Research*, 49, 675-692. <https://doi.org/10.1029/2011WR010782>.
- Viglione, A., Hosking, J.R.M., Laio, F., Miller, A., Gaume, E., Payrastre, O., Salinas, J.L., N’guyen, C.C. y Halbert, K., 2018. Package ‘nsRFA’. Non-supervised Regional Frequency Analysis. CRAN Repository.
- Vita-Finzi, C., 1969. *The Mediterranean Valleys: Geological Changes in Historical Times*. Cambridge. 139 pp.
- Vita-Finzi, C., 1972. Supply of fluvial sediment to the Mediterranean during the last 20.000 years. En: Stanley, D. J. (ed.): *The Mediterranean Sea*, 43-46.
- Vita-Finzi, C., 1976. Diachronism in Old World alluvial sequences. *Nature*, 263, 218-219.
- Viviroli, D. y Weingartner, R., 2004. The hydrological significance of mountains: from regional to global scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8, 1017.1030. <https://doi.org/10.5194/hess-8-1017-2004>.
- Viviroli, D., Dürr, H.H., Messerli, B., Meybeck, M. y Weingartner, R., 2007. Mountains of the world, water tower for humanity: Typology, mapping, and global significance. *Water Resources Research*, 43(7), <https://doi.org/10.1029/2006WR005653>.
- Völk, H., 1966. Agradational Directions and Biofacies in the youngest postorogenic deposits of southern Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2, 313-331.
- Völk, H., 1979. *Quartäre reliefentwicklung in Südost-Spanien*. Heidel. Geogr. Arb., 58, 143 pp. Heidelberg.

- VVAA. 1982. *Clima y riadas*. Cuevas del Almanzora. C.N. N^a Del Carmen.
- Wainwright, J., 1996. Infiltration, runoff and erosion characteristics of agricultural land in extreme storm events, SE France. *Catena*, 26, 24-47. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(95\)00033-X](https://doi.org/10.1016/0341-8162(95)00033-X).
- Walker, G. T. y Bliss, W. E., 1937. World Weather VI. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, 4, 53-84.
- Walling, D. E., 2006. Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, 79, 192-216. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.019>.
- Wenzens, G., 1991. Die quartäre Küstenentwicklung im Mündungsbereich der Flüsse Aguas, Antas und Almanzora in Südostspanien. *Erdkundliches Wissen*, 105, 131-150.
- Wetter, O., 2017. The potential of historical hydrology in Switzerland. *Hydrology and Earth System Science*, 21, 5781-5803. <https://doi.org/10.5194/hess-21-5781-2017>.
- Wetter, O. y Pfister, C., 2013. An underestimated record breaking event—why summer 1540 was likely warmer than 2003. *Climate of the Past*, 9, 41–56. <https://doi.org/10.5194/cp-9-41-2013>.
- Wetter, O., Pfister, C., Weingartner, R., Luterbacher, J., Reist, T. y Trösch J., 2011. The largest floods in the High Rhine basin since 1268 assessed from documentary and instrumental evidence. *Hydrological Sciences Journal*, 56:5, 733-758. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.583613>.
- Wheater, H. y Evans, E., 2009. Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy*, 26, 251-264. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.019>.
- Wilhelm, B., Ballesteros-Cánovas, J.A., Corella, J.P., Kämpf, L., Swierczynski, T., Stoffel, M., Storen, E. y Toonen, W., 2018a. Recent advances in paleoflood hydrology: From new archives to data compilation and analysis. *Water Security*, 3, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2018.07.001>.
- Wilhelm, B., Ballesteros-Cánovas, J.A., Macdonald, N., Toonen, W., Baker, V., Barriendos, M., Benito, G., Brauer, A., Corella-Aznar, J.P., Denniston, R., Glaser, R., Ionita, M., Kahle, M., Liu, T., Luetscher, M., Macklin, M., Mudelsee, M., Munoz, S., Schulte, L., St George, S., Stoffel, M. y Wetter O., 2018b. Interpreting historical, botanical, and geological evidence to aid preparations for future floods. *WIREs Water*, 6(1). <https://doi.org/10.1002/wat2.1318>.
- Williams, A. y Archer, D., 2002. The use of historical flood information in the English Midlands to improve risk assessment. *Hydrological Science Journal*, 47:1, 67–76. <https://doi.org/10.1080/02626660209492908>.

- Yousefi, S., Mirzaee, S., Keestra, S., Surian, N., Reza Pourghasemi, H., Reza Zakizadeh, H. y Tabibian, S., 2018. Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran). *Geomorphology*, 304, 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.034>.
- Yu, F., Chen, Z., Ren, X. y Yang., 2009. Analysis of historical floods on the Yangtze River, China: Characteristics and explanations. *Geomorphology*, 113, 210-216.
- Zaman, M., Rahman, A. y Haddad, K., 2012. Regional flood frequency analysis in arid regions: a case study for Australia. *Journal of Hydrology*, 475, 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.054>.
- Zimmermann, B., Elsenbeer, H. y De Moraes, J., 2006. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. *Forest Ecology and Management*, 222, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.070>.

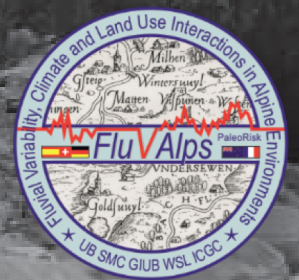
Facultat de Geografia i Història
Departament de Geografia

Programa de Doctorat:
Geografia, Planificació Territorial i Gestió Ambiental

Director y tutor de la Tesis Doctoral:
Dr. Lothar Schulte
Barcelona, septiembre de 2019

PaleoRisk - Research Group.
Paleoecology, natural hazards, environmental, management.
2014-SGR-507; 2017-SGR-1106.

Proyecto financiado por:
Ministerio de Economía y Competitividad.
CGL2013-43716-R; CGL2016-75475-R.



UNIVERSITAT DE
BARCELONA