



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Análisis de riesgo de inundaciones en una cuenca mediterránea

Alumno: Álvaro Jesús Espejo Monroy

Junio, 2016



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS DE RIESGO DE INUNDACIONES EN UNA CUENCA MEDITERRÁNEA

Alumno: Álvaro Jesús Espejo Monroy

Junio, 2016

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	6
1.1 Introducción.....	6
1.1.1 <i>Qué es un estudio de inundabilidad.....</i>	<i>7</i>
1.1.2 <i>Necesidad de realizar estudios de inundabilidad.</i>	<i>7</i>
1.2 Justificación para realizar el estudio de inundabilidad en el Puente de la Sierra	8
1.3. Objetivos	9
CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES.....	10
2.1 Contexto geológico de la cuenca de drenaje.....	10
2.1.1 <i>Estratigrafía.....</i>	<i>11</i>
2.1.2 <i>Tectónica.....</i>	<i>14</i>
2.1.3 <i>Geomorfología de la cuenca.....</i>	<i>15</i>
2.1.4 <i>Usos del suelo.....</i>	<i>16</i>
2.2 Noticias	17
2.3 Normativa aplicable	18
2.3.1 <i>Marco Directivo en Europa</i>	<i>19</i>
2.3.2 <i>Marco Directivo en España.....</i>	<i>20</i>
CAPITULO 3 MÉTODOS.....	22
3.1 Conceptos previos	22
3.2 Metodología	25
3.3 Estudios previos	27
3.3.1 <i>Área del Puente de la Sierra.....</i>	<i>27</i>
3.3.2 <i>Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI).....</i>	<i>27</i>
3.3.3 <i>Áreas con riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIs).....</i>	<i>28</i>
3.3.4 <i>Mapas</i>	<i>29</i>
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	34
4.1 Análisis de la dinámica geológica actual	34
4.1.2 <i>Dinámica geológica</i>	<i>34</i>
4.2 Dinámica fluvial	35
4.2.1 <i>Erosión, corta de meandros y encajamiento de cañones.....</i>	<i>36</i>
4.2 Situación evolutiva de la cuenca de drenaje	37
4.3 Mapas Generales de inundación.....	38
4.3.1 <i>Mapas del Puente de la Sierra</i>	<i>38</i>

4.3.2 Mapas correspondientes a la segunda zona.....	42
CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	46
5.1 Discusión	46
5.2 Conclusiones.....	47
6. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA	49

Resumen

En este proyecto se ha realizado un análisis de la vulnerabilidad frente a las inundaciones en el área residencial del Puente de la Sierra, se ha descrito la dinámica fluvial de los ríos que discurren por esta zona y las razones que llevan a considerar esta zona como un área de inundaciones frecuentes. En esta memoria, además, se expone la metodología empleada para obtener los resultados sobre los que se basarán las conclusiones y discusión de los mismos.

SUMMARY

This project contains an analysis of vulnerability analysis for flooding hazard in the Puente de la Sierra Area, SE of Jaén city. This study describes the fluvial dynamics of the rivers that go through this area and the reasons that lead to consider this region as an area of frequent flooding. This memory includes also the methodology used and a brief discussion of the main results.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En este capítulo se expondrán algunos fundamentos en los que se basa el trabajo, además de una justificación de la razón de su elaboración. Por último se expondrán tanto el objetivo general como los objetivos específicos del trabajo fin de grado.

1.1 Introducción

Las inundaciones a escala global son consideradas como el riesgo geológico más común y más destructivo, debido a que se le atribuyen los daños a la población más frecuentes, aunque por otro lado forman parte del comportamiento natural de las corrientes de agua (Olcina, 2002).

Se definen como un flujo de agua relativamente alto que sobrepasa el canal natural creado por la escorrentía superficial (Chow, 1964). También se pueden definir cómo cualquier flujo de agua alto que sobrepasa los márgenes naturales o artificiales de una corriente (Rostred et al. 1968).

Las inundaciones pueden producirse muy lentamente, sin embargo otras pueden originarse en escasos minutos. Además, las inundaciones pueden ser de carácter local y producir un efecto en un lugar determinado como un barrio o ciudad, o pueden producir grandes efectos y afectar a cuencas enteras de ríos y varias localidades.

Gran parte de las inundaciones tienen su origen en cambios meteorológicos producidos por procesos atmosféricos altamente cambiantes, como pueden ser las precipitaciones o lluvias de carácter intenso, considerándose como las más efectivas las tormentas convectivas, ya que son las tormentas más localizadas e intensas, las cuales producen inundaciones en pequeñas cuencas de drenaje.

Las inundaciones pueden originarse bien por una fusión de nieve o por deshielo de los almacenes de hielo de alta montaña, producidas generalmente al comienzo de un periodo cálido, o bien pueden estar asociadas a lluvias de carácter extremo que producen fuertes aportaciones de agua incrementando enormemente la posibilidad de inundación en zonas de riesgo.

La ruptura de una presa es otra de las razones por las que puede producirse una inundación ya que son capaces ocasionar aguas abajo importantes crecidas de manera repentina, aunque este tipo de inundaciones es muy escaso.

Los ríos son los ambientes fluviales más propicios a la hora de producirse inundaciones, como normal general estas afectan a casi toda la longitud del río, aunque no todos los ríos se ven afectados de la misma forma tras una precipitación, pues su respuesta dependerá del tipo de río, su sinuosidad y del número de canales existentes, entre otros factores.

Aunque como se explicó anteriormente las inundaciones son mayoritariamente de carácter natural, el riesgo y peligro de estas aparece cuando interfieren con la actividad humana, sus vidas o sus bienes.

1.1.1 Qué es un estudio de inundabilidad

Un estudio de inundabilidad es aquel que tiene como objetivo estimar la relevancia de una inundación tras producirse un incremento del caudal de un río, generalmente tras una lluvia intensa. Mediante este estudio se pueden estimar cuáles serán las zonas que presentan mayor riesgo de ser inundadas tras la avenida de un río.

1.1.2 Necesidad de realizar estudios de inundabilidad.

Las inundaciones, debido a su compleja naturaleza, al verse afectadas por distintos parámetros meteorológicos, hidrológicos y/o ambientales, durante su desarrollo, pueden ir adquiriendo la consideración de peligro territorial con los consiguientes daños que puede ocasionar, tanto socioeconómicos como medioambientales. La zona de estudio del trabajo enclavada en Andalucía, situada en la región mediterránea, está sometida a rasgos climatológicos con periodos de sequía e intensas precipitaciones, algunas de carácter torrencial, que pueden provocar inundaciones y desbordamientos con una alta probabilidad, es por este motivo que se requiere gestionarlas de manera más exhaustiva. Algunas de las inundaciones más conocidas en Andalucía son las ocurridas en los años 1963, 1973, 1989 y 1996.

La necesidad de realizar estos estudios reside fundamentalmente en las actuaciones de defensa y protección contra los efectos de las avenidas e inundaciones. Por otro lado debemos incluir dentro de la mitigación de daños y la prevención de sus impactos un adecuado conocimiento de las inundaciones, ya que en los últimos años diversos

estudios acerca de las actuaciones antrópicas y su relación con las inundaciones han puesto de manifiesto la relación directa que lleva a producir un aumento del riesgo frente a dichas inundaciones en áreas urbanas. Estas actuaciones antrópicas ha obligado a los expertos a tener en cuenta en la gestión de las inundaciones la planificación de áreas urbanas y actividades de la sociedad, permitiendo de esta forma mitigar, en la medida de lo posible, los efectos negativos sobre las zonas inundables y de las infraestructuras existentes, además de permitirnos ubicar las zonas residenciales, industriales, zonas de cultivo, y áreas de recreo en lugares con el menor riesgo posible de daños por las inundaciones, avenidas o crecidas.

1.2 Justificación para realizar el estudio de inundabilidad en el Puente de la Sierra

A pesar de que esta zona en concreto ya dispone un plan de gestión frente a las inundaciones elaborado Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, los datos proporcionados por el informe corresponden a datos y estudios realizados a escala nacional, por lo que es necesario, para conseguir un estudios de mayor precisión, complementar la información con un estudio adicional de mayor detalle. (MMA, 2014).

Por otro lado en el informe se detalla la cartografía de zonas inundables correspondiente a los tiempos de retorno de 100 años (con probabilidad de inundación media u ocasional) y 500 años (con probabilidad baja o excepcional), por lo que es conveniente realizar las cartografías para los tiempos de retorno tanto de 10 años (con alta probabilidad de inundación) como de 50 años (probabilidad de inundación frecuente) puesto que existe la posibilidad de producirse nuevas lluvias torrenciales como las ocurridas en los años 1963, 1973, 1989 y 1996, las cuales ocasionaron inundaciones con daños a bienes y personas. Por otro lado los datos de los que se disponen corresponden al año 1996 por lo que estos datos pueden estar desactualizados y es posible obtener datos tanto de mayor resolución como de mayor precisión, garantizando de este modo una mayor seguridad a la zona residencial del Puente de la Sierra.

En cuanto a los estudios hídricos de forma general se utilizan los resultados obtenidos de los mapas de caudales máximos que pueden llegar tras una avenida, pero no se tiene en cuenta la información de los hidrogamas de crecidas, por lo que necesitamos

datos acerca de volúmenes totales de avenidas y la forma de distribuirse a lo largo del tiempo, de esta forma podremos garantizar un estudio de mayor precisión. Por otro lado se debe tener en cuenta que la información ofrecida por los mapas presenta ciertas limitaciones. Así pues, es necesario la realización de estudios hidráulicos complementarios.

En cuanto a las ortofotos y como se menciona en el informe aportado por el ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MMA, 2014)., por falta de disponibilidad de ortofotos más recientes se emplearon las correspondientes al vuelo de 2007, con una resolución de 0,50 m y en las que se echa en falta algunas de las obras más recientes, aunque se han incorporado las ortofotos correspondientes al vuelo realizado en el año 2009 con una resolución mucho mayor que el anterior de 0,25 m. Aún hay fotos más recientes procedentes del vuelo realizado en 2011 y 2013 aunque estas últimas no están disponibles. Por lo que sería conveniente la utilización ortofotos de menor antigüedad para posibilitar una mejor precisión de los estudio.

1.3. Objetivos

El objetivo general que se plantea conseguir con este trabajo fin de grado consiste fundamentalmente en analizar el riesgo de inundación producido en la Puente de la Sierra, el cual se pretende conseguir a través de unos objetivos específicos.

Los objetivos específicos serán los siguientes:

- Conocer la cuenca de drenaje del área de estudio analizando su morfología y dinámica fluvial actual.
- Reconocer los riesgos por inundación y riesgos asociados sobre el área de estudio y posibles áreas afectadas a través de la modelización Hidráulica.
- Procesar y analizar datos hidrológicos y meteorológicos para establecer períodos de recurrencia de los eventos.
- Elaborar los mapas de riesgo de la zona.
- Obtener propuestas de actuaciones para la mitigación de riesgos por inundación.

CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES

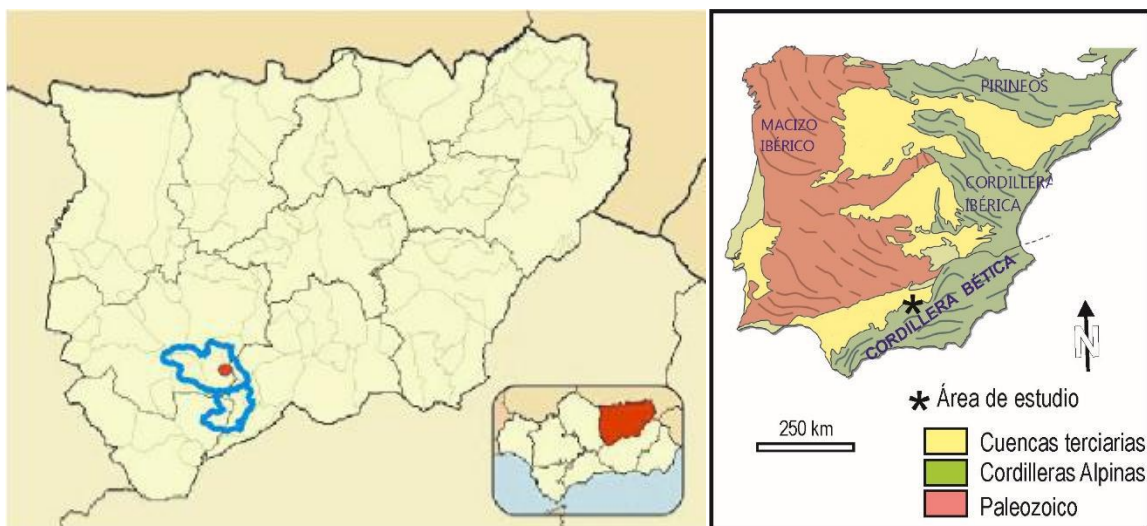
En este capítulo, se describe brevemente el área de estudio. Así como la normativa de referencia para este tipo de trabajos. También, se hará referencia a las noticias y artículos de interés de la zona de los puentes, en las que se exponen algunos de los motivos de la necesidad de este tipo de estudios.

2.1 Contexto geológico de la cuenca de drenaje

El área de estudio se centra en la cuenca de drenaje del río Eliche, definida como la cuenca aguas arriba del Puente de La Sierra. Este apartado se basa en la información contenida en los mapas geológicos (y sus memorias) de Jaén (947), Valdepañas de Jaén (969) y Martos (946) publicados por el Insituto Geológico y Minero de España y en el libro "Geología de España" (Vera, 2004) (Ver figura 1).

Geológicamente, la cuenca de drenaje se localiza en las Zonas Externas de la Cordillera Bética, y su parte más septentrional sobre la Depresión del Guadalquivir. (Vera, 2004)

Figura 1. Localización del área de estudio. Puente de la sierra



Fuente: López Trujillo, J. (2014). Análisis de riesgo de inundaciones en una cuenca mediterránea

Este estudio es necesario para obtener datos detallados de la cuenca de drenaje la cual se ve condicionada por sus características geológicas y topográficas, que hacen de esta zona un área especialmente peligrosa frente a situaciones de lluvias intensas.

Se han analizado datos referentes al medio físico de la cuenca hidrográfica de los ríos Eliche y Quiebrajano, incluyendo los aspectos relacionados con los materiales geológicos que la forman, la topografía, el clima, la vegetación y los usos del suelo.

2.1.1 Estratigrafía

En este apartado se describen las unidades estratigráficas que afloran en el área de estudio, que pertenecen a tres grandes unidades geológicas: Dominio Intermedio, Subbético y Unidades de la Depresión del Guadalquivir. Además existen extensos afloramientos de edad Cuaternaria.

Todas las rocas que afloran son sedimentarias, con predominio de calizas y margas, de edades comprendidas entre el Triásico y el Cuaternario

Dominio Intermedio: La primera gran unidad corresponde a las unidades intermedias en las que se pueden destacar la presencia de dos litologías bien diferenciadas, una correspondiente a calizas y otra correspondiente a margas.

Como se mencionó anteriormente poseen edades comprendidas entre el Lías y el cretácico y están situados al oeste de la falla normal, descrita en el siguiente apartado.

La sucesión comienza con una formación de dolomías de tonos grises de aspecto masivo del Lías inferior, sobre las que se encuentran calizas de tonos claros normalmente de textura oolita.

Sobre este nivel de dolomías y calizas se desarrolla una unidad de margas y margocalizas de tonalidades amarillentas datadas como el Lías superior (Pliensbachense y Toarciense).

El tramo de calizas grises de la siguiente unidad es uno de los más representativos del área de estudio, existiendo además una alternancia de calizas margosas y margocalizas pertenecientes al jurásico medio. Justo de forma continua pasamos de calizas de tonos grises a tonos más claros con cierto contenido en sílex y de texturas oolíticas.

El siguiente nivel corresponde a margas y margocalizas silíceas que afloran extensamente a lo largo de toda el área de las unidades intermedias y que suponen una excelente guía ya que morfológicamente se asocian a zonas deprimidas.

Por ultimo durante el Jurásico Superior está representado por calizas grises, brechadas y turbiditas calcáreas, todos estos materiales pertenecen al Dogger y Malm.

El Cretácico está representado por una sucesión potente de margas diferenciada de las calizas en el dominio intermedio. La sucesión estratigráfica comienza por margas, margocalizas y algo de edad cretácico inferior sobre las que se sucede otra unidad de importante espesor, formada por margas margocalizas y areniscas pertenecientes al cretácico.

El sector afectado por riesgo de inundaciones es una zona urbanizada localizada en un área residencial donde se produce la unión entre los ríos Quiribajano y Eliche, dándose tras la unión de ambos ríos y como resultado final el rio Jaén.

En las zonas más próximas al Puente de la Sierra, las margas blancas y grises son los materiales que juegan un papel más importante en cuanto al peligro de las inundaciones. En las zonas en las que se encuentran estas margas existe una baja permeabilidad, esta es una de las características principales de este material, por tanto lluvias intensas pueden producir que la capacidad de campo del suelo se vea superada, y por tanto se da un incremento de la escorrentía superficial, experimentando como resultado final una probabilidad mucho más elevada de producir futuras inundaciones.

Subbético: La segunda gran unidad corresponde al afloramiento subbético establecido en la zona sur y delimitada al norte por la falla inversa, está compuesta por una secuencia que incluye materiales de edades situadas entre Jurásico y el Cretácico, siendo las más abundantes e importantes las del Lías inferior y medio.

Los materiales de la parte inferior de la sucesión estratigráfica se corresponden con dolomías pertenecientes al lías inferior las cuales se localizan sobre una unidad de edad triásica constituida principalmente por arcillas rojas, en niveles superiores estas dolomías presentan una estratificación difusa desarrollada en bancos.

El segundo paquete se encuentra en contacto irregular con las dolomías del nivel infrayacente, sobre estas se sitúa un banco de calizas blancas, margocalizas y calizas con sílex, en las que es frecuente encontrar texturas de carácter oolítico. Estos materiales son de edad Lías superior (Pliensbachiense y Toarciense).

Sobre estas calizas y dolomías se encuentra una unidad de calizas micriticas algo margosas que frecuentemente presentan de edad Jurásico medio.

Por encima de los materiales mencionados anteriormente se disponen ocasionalmente unas calizas nodulosas, bien sobre estas calizas nodulosas o bien sobre las calizas micriticas se localizan unas calizas de color crema. Por ultimo dentro del jurásico se localizan unos pequeños y escasos afloramientos de calizas nodulosas, todos estos materiales pertenecen al jurásico superior (Dogger y Malm)

El cretácico del subbético consiste principalmente en margas y margocalizas de tonos amarillentos.

Depresión del Guadalquivir: Esta tercera gran unidad aflora en la parte norte del bloque situado al este de la falla normal y está constituida por margas de colores claros, entre las que se encuentran afloramientos aislados de diversa naturaleza y edad, como son las arcillas, margas de distintos colores, yesos y dolomías, que se corresponden con redepósitos de materiales triásicos, que dan nombre a la unidad olistostrómica, característica de la parte meridional de la Depresión del Guadalquivir.

Cuaternario: La primera unidad dentro del cuaternario corresponde a los glaciares, constituidos por conglomerados y gravas.

Otra unidad diferenciada dentro del Cuaternario es la constituida por las terrazas fluviales, en el área de estudio se han diferenciado un total de cinco terrazas asociadas a los ríos eliche y Guadalbullón.

Otra unidad corresponde a los conos de deyección aunque su aparición en el mapa es escasa, constituido por brechas angulosas de calizas.

Por ultimo en las laderas de los relieves jurásicos se encuentran los depósitos de derrubios de ladera constituidos por cantos sueltos de naturaleza calcárea.

2.1.2 Tectónica

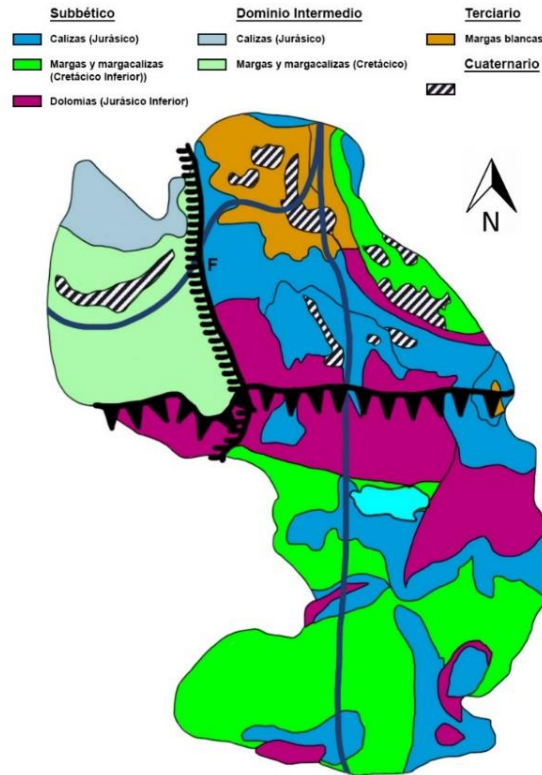
El principal elemento tectónico es una gran falla normal con dirección norte sur situada al este de Los Villares, y que da lugar a la diferenciación de dos grandes bloques. Se reconocen en primer lugar el bloque con los materiales correspondientes a la unidad del dominio intermedio en la parte oeste de la falla, y un segundo bloque con materiales correspondientes a la unidad del subbético, los cuales abarcan casi la totalidad del bloque, y una pequeña parte de materiales de la cuenca del Guadalquivir situados al este de la falla como se puede observar en la Figura 2.

Los materiales que componen el dominio intermedio son las calizas jurásicas del Jabalcuz en la parte septentrional del bloque y margas en la parte meridional, estos materiales se encuentran buzando en dirección sur generando una sucesión monoclinial de los materiales jurásicos y cretácios.

El segundo bloque como ya se mencionó está compuesto por dos unidades distintas, con una clara predominancia de materiales de la unidad del subbético, compuesta por rocas sedimentarias principalmente margas del cretácico y dolomías del Jurásico situadas justo en la cresta de esta gran falla, por último los materiales de la cuenca del Guadalquivir compuesta por materiales de edad cuaternario situados al norte del bloque.

Además existe una importante falla inversa situada al sur que separa estos dos grandes bloques de un tercer bloque, compuesto por materiales del subbético, por lo que este no se ve afectado por la falla normal. Esta falla hace que se produzca un cabalgamiento de los materiales del tercer bloque posicionándose estos por encima de los materiales de las unidades intermedias (Figura 2).

Figura 2. Mapa geológico área de estudio



Fuente: Elaborado a partir de los mapas escala 1:50000 de Jaén y Valdepeñas de Jaén

2.1.3 Geomorfología de la cuenca

La morfología de la cuenca está fuertemente condicionada por la estratigrafía y la estructura tectónica, descritas en el apartado anterior, como resultado se da una morfología característica en la cuenca de drenaje estudiada.

En primer lugar la estratigrafía mencionada y la estructura de fallas hace que se forme valle abierto en la zona de margas del dominio intermedio situada entre los Villares y Martos delimitado al norte calizas de la misma unidad y al sur por la falla inversa como se mencionó anteriormente, este valle se forma debido a que las margas son rocas sedimentarias de naturaleza blanda, lo que las hace fácilmente erosionables produciendo tras el paso del tiempo el valle abierto mencionado, por otro lado la gran falla norte sur hace que las margas y las calizas de esta unidad termine de forma abrupta en la cresta de montaña.

Al este de la falla se forma un cañón fuertemente condicionado por la acción erosiva del río Eliche, que se desplaza sobre las rocas calizas de gran competencia, estas al estar compuestas principalmente por carbonato cálcico presentan una gran disolución superficial tras el paso del agua sobre ella, además su gran porosidad hace que tanto el agua de lluvia como el de los ríos quede retenida en los poros aumentando esa disolución.

La disolución superficial de las calizas tras el paso del tiempo en el área de estudio dio como resultado la morfología del cañón, ya que tras una serie de sucesos el río Eliche se fue encajando en las calizas, formando paredes que presentan una estructura escarpada. Este encajamiento del río sobre las calizas formó el gran cañón situado en el lado este de la falla normal en el área de la unidad subbética, que conecta el amplio valle entre Martos y Los Villares, del sector del Puente de la Sierra.

2.1.4 Usos del suelo

Existe una gran problemática asociada a la necesidad de las personas de buscar zonas de vivienda y cultivo lejos de la zona urbana pero lo más cerca posible como para poder desplazarse de forma fácil y a diario o simplemente para disfrutar de la naturaleza.

La construcción o el cultivo se generan unas problemáticas que pueden dañar tanto el área en cuestión o poner en riesgo sus bienes materiales tras una inundación, la degradación de la cuenca tras la erosión, cultivos localizados en lugares poco apropiados, abandonados o mal explotados son algunos ejemplos.

En primer lugar hay que destacar la falta de respuestas y medidas por parte de las administraciones en cuanto a cumplir su función de vigilancia y toma de medidas legales en los terrenos mencionados, como consecuencia las proximidades de los ríos objeto de estudio se han ido llenando de urbanizaciones de forma que invaden casi por completo sus cauces.

Una mala gestión de los usos del suelo puede incrementar los daños de inundación. En el área de estudio de este trabajo destaca enormemente el cultivo del olivar, dejando en un segundo plano el cultivo de origen natural (Ver tabla 1). La eliminación

de la vegetación y la posterior sustitución por vegetación de cultivo producido en esta zona es visible y como consecuencia se ha producido un incremento enorme de la erosión y los movimientos de ladera, además el volumen de agua de lluvia que alcanza los cauces es mayor. La consecuencia es que la carga sólida y la energía de los cauces se ve incrementada.

Tabla 1. Usos del suelo Puente de la sierra

		2003 (%)
Forestal	Pináceas y repoblaciones	7
	Frondosas	11
	Matorral/pastizal	14
Agrícola	Olivar	46
	Huerta	2
	Cereal	1
Urbano	En núcleo	2
	Diseminado	17
Total		100

Fuente: Sánchez Arroyo, R. y Sánchez Martínez, J. D (2012). La transformación de las cuencas de los ríos Eliiche y Jaén en un territorio-riesgo: dinámica y perspectivas.

2.2 Noticias

Existe una gran cantidad de información y noticias referentes al área de estudio, dando a conocer los problemas de los ciudadanos de la zona de Los Puentes y la falta de compromiso de la administración para solucionar el problema o aportar soluciones. Algunas de las noticias son las siguientes:

Las inundaciones en Los Puentes de Jaén separan a las Administraciones

“Las Administraciones no han conseguido ponerse de acuerdo para actuar juntas en la erradicación de los problemas que arrastra la llamada zona de Los Puentes de Jaén capital, en la que se cuentan más de 3.000 chalés, la mayor parte de ellos de construcción ilegal, situados en un área con riesgo frecuente de inundaciones. Muchas de estas viviendas se levantaron en la cuenca de ríos, lo que origina problemas cuando llueve y crece el cauce de los ríos” (Ver referencia [18]).

La eterna regulación de “Los Puentes” sigue en el aire

“El secretario general del PSOE de Jaén, Manuel Fernández, ha pedido a De Moya (alcalde de Jaén) que reúna a los vecinos de ‘Los Puentes’ para darles la explicación de por qué el documento del PGOU que quiere aprobar no incluye solución alguna a la regularización de las viviendas que les prometió, “no vaya a ser que los vecinos terminen manifestándose contra él mismo” (Ver referencia [19]).

La solución a las viviendas de Los Puentes continúa en el aire

“Desde la Federación de Vecinos “OCO”, María Cantos, agradeció “el trabajo realizado” con el mapa de riesgos, pero señaló: “Falta la parte más importante, la gestión”. Ante la situación crítica por la que atraviesan las administraciones públicas competentes, su pregunta a los responsables políticos y técnicos fue si, con vistas a las medidas de gestión, los vecinos podrían asumirlas. “Nos han dicho que se facilitarían las autorizaciones pertinentes”, apuntó Cantos” (Ver referencia [20]).

Los vecinos de Los Puentes, indignados ante la «falta de solidaridad» de Los Villares

“La aprobación de una moción plenaria en el Ayuntamiento de Los Villares en contra de la construcción de la presa del río Eliche no ha dejado indiferente ni a un sólo vecino de Los Puentes. Residentes en Puente Tablas, Puente de la Sierra, Puente Nuevo y Puente Jontoya manifiestan su más absoluto malestar ante lo que consideran un «acto de insolidaridad» por parte de los vecinos del municipio vecino que han promovido la moción, y del Consistorio que le ha dado el visto bueno” (Ver figura [21]).

2.3 Normativa aplicable

Las normativas sobre inundabilidad tienen como objetivo reducir los riesgos frente a avenidas adversa, en especial aquellas que pongan en peligro la salud y la vida humana, pero también a las que puedan afectar a nuestros bienes culturales, naturales o a nuestros bienes materiales y monetarios. Pero las medidas dirigidas a reducir dichos riesgos, para ser efectivas, tienen que coordinarse entre varias administraciones para garantizar un mínimo de seguridad y evitar la pérdida tanto de vidas humanas como de miles de millones en bienes de todo tipo.

Por este motivo la Comisión Europea adoptó en octubre de 2007, con el fin de mejorar dicha gestión, una Directiva sobre la evaluación y gestión de las inundaciones que introduce nuevos instrumentos para gestionar este tipo de riesgos, a su vez dicha directiva fue transpuesta al ordenamiento jurídico español a través del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación (Ver referencias [9] y [10]).

2.3.1 Marco Directivo en Europa

La Comisión Europea adoptó en octubre de 2007 la Directiva sobre la evaluación y gestión de las inundaciones. La creación de esta directiva supone un gran avance en la gestión de las inundaciones, con la implantación de esta se pretendía obtener una mayoría coordinación entre todas las administraciones para reducir la mayoría de los daños de las inundaciones, comenzando por la elaboración de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) donde la directiva concentrara gran parte de sus esfuerzos.

Esta normativa por otro lado establece que los planes de gestión del riesgo de inundación deben centrarse en la prevención, la protección y la preparación. Por tanto deben priorizar sus evaluaciones en mapas y planes que permitan la introducción de herramientas y mejoras técnicas mediante las cuales la protección de los cauces y de las zonas inundables sean más sencillos y efectivos, lo que permitirá evitar o disminuir los daños sobre el medio ambiente y sobre los bienes y personas que se protegen (Ver referencia [9]).

El Real Decreto concreta una serie de obligaciones fundamentales que se dividen en:

- 1) Evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI) e identificación de las áreas de riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIs) las cuales deben ser elaboradas por este orden con carácter obligatorio.
- 2) Elaboración de los mapas de peligrosidad y de riesgo en las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs). Estos mapas se establecen en tres escenarios en función de la probabilidad estadística de ocurrencia de la inundación: alta probabilidad (asociada a un período de retorno igual a 10 años),

probabilidad media (asociada a un período de retorno de 100 años) y baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos (período de retorno igual a 500 años), los mapas de peligrosidad y riesgo nos muestran las consecuencias adversas ligadas con distintos escenarios de inundación.

- 3) Los planes de gestión del riesgo de inundación para cada Demarcación Hidrográfica: en estos planes se fijarán los objetivos de protección para cada una de las ARPSIs y los programas de medidas a ejecutar por cada país miembro (Ver referencia [10]).

2.3.2 Marco Directivo en España

En España, para dar solución a las catástrofes de las inundaciones que suponen la pérdida de grandes cantidades de bienes y de vidas humanas, se traspuso la directiva Europea mencionada anteriormente, incluyendo a la legislación española el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación.

La reducción de pérdidas humanas y materiales es el principal objetivo de nuestra legislación, por tanto la mitigación de sus daños y efectos requiere de la ejecución de una serie de medidas.

La legislación determina dos tipos de medidas:

- 1) Medidas estructurales, las cuales comprenden todas las construcciones para reducir el impacto de las inundaciones, entre las que destacan la construcción de presas, encauzamientos y diques.
- 2) Medidas no estructurales ya que las primeras pueden llegar a ser insuficientes, estas últimas nos permitirán en gran medida la reducción de daños ocasionados a la población, mediante planes de protección civil, implantación de sistemas de alerta, corrección hidrológico-forestal de las cuencas y medidas de ordenación del territorio.

Toda esta problemática y la búsqueda de soluciones han tenido un importante respaldo en nuestra legislación. Así, la seguridad de las personas y bienes frente a las inundaciones ha sido recogida tanto en el texto refundido de la Ley de Aguas,

aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, así como en la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

En este real decreto se pone de manifiesto el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI). El decreto establece como objetivo principal la reducción de las consecuencias negativas, asociadas a las inundaciones. Se pretende lograr la mejor evaluación posible de los riesgos asociados a las inundaciones y la posterior actuación coordinada de todas las administraciones públicas con el apoyo de la población para lograr el objetivo principal anteriormente citado. Por otro lado este real decreto establece una serie de obligaciones necesarias con un orden de prioridad, comenzando con la evaluación preliminar del riesgo de inundación, los mapas de peligrosidad y de riesgo y terminando los planes de gestión del riesgo de inundación (Ver referencia [10]).

CAPITULO 3 MÉTODOS

En este capítulo se expondrá la metodología general utilizada para la elaboración de cada uno de los apartados del trabajo así como los estudios previos y referencias para la elaboración del trabajo. Además se incluyen algunos conceptos esenciales para entender el trabajo.

3.1 Conceptos previos

El modelo digital de elevaciones (MDE) es una representación matemática de la altura en relación al nivel del mar, que permite entre otras cosas determinar la forma de los relieves y objetos presentes.

Los valores se recogen en un archivo de tipo raster, el cual se genera a través de softwares especializados. El grado de detalle de la representación varía dependiendo del método que se utilice para generarlos, el más frecuente es la Tecnología LIDAR de la que se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud.

Los mapas de riesgo son aquellos mapas que permiten realizar un análisis periódico de los riesgos de una determinada zona, así como la posibilidad de daños. A partir de la información aportada por estos mapas se deben elaborar los planes de gestión e intervención.

El período de retorno se define como el número medio de años entre acontecimientos eventos hidrológicos sucesivos de una magnitud determinada. El concepto de periodo de retorno da una idea de la probabilidad de que se produzca una lluvia de unas características conocidas tanto en intensidad como duración. Los períodos de retorno normalmente varían de 10 a 500 años.

Caudal es la cantidad de agua que circula por el cauce de un río en un espacio de tiempo y lugar determinado.

Aforo Un aforo es un sistema de medición a través el cual conociendo los datos del nivel de agua de un río nos permite conocer el caudal de dicho río en una cuenca, todo esto mediante un registro continuo de la altura de la lámina de agua en las llamadas estaciones de aforo.

Las fases a seguir para calcular el caudal comienzan con una selección del emplazamiento de los puntos de control, estos deben seleccionarse en aquellos tramos en los que los criterio de estabilidad y accesibilidad sean lo más óptimos posibles, ya que será en estos puntos donde encontraremos las zonas de estudio más relevantes. En segundo lugar se realizan los aforos directos para obtener puntos fijos de la tabla de gasto para diversas alturas, en tercer lugar se debe establecer y crear la curva de gastos mediante una relación uno a uno entre la altura y el caudal, por último se debe establecer un registro continuo de los datos que nos permitan validar dichos datos a través de una aplicación estadística de los datos hidrológicos obtenidos.

La clasificación de las estaciones de aforo se basa en la implementación y en los materiales con los que cuenta cada una de estas estaciones, aunque fundamentalmente estas se diferencian en el uso de un limnimetro o un limnigrafo.

La primera denominada estación simple o limnimetrica es aquellas que solo cuenta con un limnimetro como instrumento de medición, mediante el cual se registra el nivel del río en relación a una referencia fija, este tipo de estaciones suele hacer 4 o 5 mediciones diarias según la época del año, realizando 4 en épocas estiaje y 5 en épocas de avenidas.

El segundo tipo es una estación que cuenta con ambos instrumentos de medición, en la cual se registran las variaciones del nivel del agua en los puntos de medida de forma continua. Este tipo de estación suele estar establecida en aquellos ríos cuyas variaciones de caudal son mucho más rápidas y requieren una medición más exhaustiva por las problemáticas que esto puede ocasionar.

Este último es el más usado en las estaciones de aforo y también es el usado en las estaciones de aforo del trabajo, por tanto el del cual se explicara su funcionamiento. Consiste en un eje con una entalladura helicoidal por la que se desplaza un cursor que a su vez hace moverse a un lápiz, pluma de tinta o rotulador, la cual marcara posteriormente un papel especial. Este eje está unido a una polea que es accionada por una cadena unida a su vez a una boya y un contrapeso, el movimiento ascendente o de la boya hace girar a la polea produciendo el desplazamiento del cursor que soporta el marcador que dibuja sobre un gráfico. Estos movimientos producen un

dibujo creando así un gráfico, el limnigrama, que representa la evolución del nivel del agua en el tiempo.

La Red Oficial de Estaciones de Aforo

La Red Oficial de Estaciones de Aforo (R.O.E.A.) es una red que permite conocer la evolución de caudales, así como las reservas de agua en los embalses, de este modo se pueden mantener una vigilancia sobre nuestras aguas y prevenir posibles riesgos.

La ROEA tiene su origen en el año 1911, aunque desde su creación la ROEA ha ido incrementando progresivamente el número de estaciones de aforo llegando al total de 67 estaciones de aforo que conforman esta red actualmente. Este aumento se debe a los cambios tanto en las infraestructuras de las estaciones como a un mejor conocimiento de las cuencas lo que nos ha permitido establecer un mayor número de estaciones.

Asociada al mismo tiempo con la ROEA encontramos el S.A.I.H, el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) es el encargado de conseguir, verificar y transmitir todos los datos obtenidos lo que posibilita el conocimiento del estado hidráulico de las distintas cuencas que componen el sistema.

La red del SAIH se encuentra en una mejora continua contando actualmente con unos 200 puntos en los que se obtienen los datos, esta red consta de varias vías de comunicación con el fin de conseguir hacer llegar la información en caso de fallo de la principal vía, la información es accesible a toda la población y consta de datos actualizados y contrastados cada 5 minutos, los cuales se consideran lo suficientemente fiables como para mantener un correcto control de la cuenca, además de disponer de un sistema de alarma que permite disminuir la cantidad de daños.

La información que nos aporta tiene como objetivo fundamental:

- Mejorar la gestión de los recursos hídricos, suministrando la información a tiempo real permitiéndonos un mayor y mejor control sobre el estado de la cuenca.
- Tener la capacidad de prever y seguir las avenidas y sequías, ya que nos permite controlar a corto plazo los principales embalses y canales asociados a las cuencas.

- Generar alarmas complementando sus datos con las bases de datos hidrológicas y meteorológicas, lo cual consigue minimizar los daños causados por avenidas e inundaciones.

Con la unión de ambas se obtiene la red integrada SAIH-ROEA, la cartografía y datos suministrados por los distintos aforos de la red están incluidas en el Anuario de Aforos en la que se publican todos los datos hidrológicos.

Estación de aforo 5084 - A28: Río Quiebrajano en Puente Jontoya

Esta es la estación de la que se obtienen los datos de caudales para los estudios deinundabilidad. La estación del Río Quiebrajano pertenece a la confederación hidrológica del Guadalquivir, la cual aún se encuentra en funcionamiento y aporta datos de este rio desde 1974.

Ilustración 3: Estación n de aforo Quiebrajano en Puente Jontoya



La superficie de la cuenca de drenaje de esta estación es de unos 269 km² y nos permite obtener tanto datos diarios como mensuales y anuales. La estación es del tipo encauzamiento con canal de aguas bajas en régimen

alterado con una longitud de 21m y anchura de 19,3m.

3.2 Metodología

La metodología del trabajo se estableció en dos etapas distintas. En la primera etapa se seleccionó el área de estudio y posteriormente se procedió a un estudio de bibliografía basado en recopilación y análisis de los datos históricos de inundaciones, situación topográfica, geología, normativa, vegetación, clima, etc.

La zona de estudio seleccionada se plasmó en papel a partir de los mapas 1:50000 de Jaén y Valdepeñas de Jaén, para posteriormente traspasar los resultados a formato digital mediante el programa Photoshop.

La segunda parte del trabajo consistió en la elaboración de simulaciones bidimensionales (2D) mediante el programa IBER para obtener los mapas de peligrosidad del área de estudio, adicionalmente se elaboraron mapas de una segunda zona para poder comparar la situación de una zona que a priori dispone de un mala planificación de usos del suelo y otra con unos usos del suelo óptimos. El primer paso en la elaboración de estos mapas de peligrosidad fue la determinación del MDE en el que se utilizó la cartografía LIDAR, así como ortofotos procedentes de PNOA 2009 y un inventario de las estructuras, en este inventario se introducen aquellos elementos que puedan impedir el paso del flujo de la lámina de agua.

La tecnología LiDAR fue tratada para eliminar los valores asociados a elementos que no se corresponden con el terreno, entendiendo de este modo el terreno como la superficie cartografiada sin vegetación, infraestructuras, etc. En el área de estudio del trabajo se ha dispuesto de una resolución cartográfica homogénea con una densidad media de 0,5 puntos referenciados por metro cuadrado, con precisión en cota en 15 cm.

En zonas donde la vegetación existente era muy abundante y no permitía un cartografiado preciso, además de que los retornos pulso del vuelo no fueron suficientes para definir el cauce con calidad suficiente, el estudio se complementó mediante topografía clásica con perfiles transversales realizados in situ. En la totalidad del área se ha trabajado sobre malla $5 \times 5 \text{ m}^2$ y todos los modelos cartográficos se encuentran en la proyección ETRS89 elipsoidal. El modelo digital que se emplea en la modelización hidráulica es el que incluye edificios pero del que se han eliminado obstáculos de cauce y vegetación. El empleo de los modelos digitales del terreno se ha complementado con el uso de las Ortofotografías PNOA últimas validadas por el IGN.

En segundo lugar se llevó acabo el estudio hidráulico, en este estudio se tiene como objetivo obtener un modelo que represente de forma aproximada las condiciones reales del comportamiento natural de los niveles del río. Las condiciones de contorno de entrada incorporadas a las simulaciones fueron constituidas por los datos obtenidos de los estudios hidrológicos anteriores y los caudales seleccionados se establecieron desde 25 (m^3/s) hasta 150 en aumentos de 25 para evaluar la evolución

ya que no se disponen de datos de caudales reales de la zona. Las condiciones de contorno de salida fueron en todos los casos calados subcríticos.

Por tanto, la metodología utilizada en este trabajo consistió, en una primera parte, en la recopilación y tratamiento de la información y por otra parte, en el análisis de avenidas.

3.3 ESTUDIOS PREVIOS

3.3.1 Área del Puente de la Sierra

El área de estudio del trabajo forma parte de un EPRI en la que se determinó que pertenece a un ARPSI. Esto hizo necesaria la elaboración de un estudio más específico en el que se mostrara de una manera más detallada los mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos tanto en el ARPSIs correspondiente a esta zona como la de zonas cercanas. A continuación se procederá a explicar el estudio existente priorizando las zonas correspondientes a nuestra zona.

El estudio fue elaborado por el Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente en noviembre de 2014(Ver referencia [23]).

Los estudios descritos a continuación son aquellos realizados por el Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente de España, los cuales incluyen el área de estudio del trabajo. Este informe descrito a continuación sigue la estructura establecida por el real decreto español.

3.3.2 Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI)

Previamente a la elaboración de los mapas tanto de peligrosidad como de riesgo en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir se realizó la EPRI gracias a este proceso se ha podido obtener y preseleccionar aquellas Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs). Para la elaboración de esta evolución se utilizaron una serie de datos históricos los cuales tenían en cuenta el cambio climático, este aspecto fue utilizado para determinar la importancia del efecto de un incremento de los gases de efecto invernadero sobre los fenómenos meteorológicos, este aspecto se determinó a partir de simulaciones mediante modelos climáticos. En estos modelos se pudo identificar un incremento de las precipitaciones en el siglo XXI en aquellas

zonas de latitudes altas y una disminución en algunas regiones subtropicales y en latitudes medias y bajas.

En primer lugar se utilizaron mapas de la demarcación del Guadalquivir delimitando todas sus cuencas y subcuencas, además se incluyeron aquellas inundaciones pasadas consideradas como relevantes debido a sus efectos negativos a las vidas humanas, medioambiente y bienes de cualquier tipo. De este modo se establecieron las ARPSI de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir (Ver referencia [13]).

3.3.3 Áreas con riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIs)

Las ARPSI como se mencionó anteriormente requiere de la elaboración previa del documento de EPRI, de esta manera el ministerio identifico los tramos de los cauces asociados a zonas de alta peligrosidad, los tramos que se consideraron oportunos debido a su alto riesgo fueron agrupado en Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs).

Se han podido confirmar un total de 107 ARPSIs en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir divididos en 170 subtramos, a los cuales se les asigna una referencia para su identificación, esta referencia consta en primer lugar, por un código identificativo de la Demarcación del Guadalquivir (ES050), seguido de la abreviatura de (Areas of Potential Significant Flood Risk) “APSFR”, de forma inmediata a esto 2 letras en función de la localización de la cuenca, “AG” (Alto Guadalquivir), “BG” (Bajo Guadalquivir), “CS” (Costero), “GE” (Alto Genil y Guadiana Menor) o “MG” (Medio Guadalquivir) y por último un número de tres dígitos.

Los datos se exponen conforme a la figura 3.

Figura 3: ARPSI del área de estudio

ARPSI	NOMBRE	SUBTRAMOS	SUBTRAMO Longitud (km)	ARPSI Longitud (km)
ES050_APSFR_AG048	Río Guadalbullón entre la Guardia de Jaén y Jaén	AG048-01	10,41	10,41
ES050_APSFR_AG049	Río Eliche	AG049-01	2,63	2,63
ES050_APSFR_AG051	Río Quiebrajano	AG051-01	12,1	22,64
		AG051-02	7,82	
		AG051-03	2,70	
ES050_APSFR_AG052	Río Guadalbullón	AG052-01	7,94	8,48
		AG052-02	0,53	

Fuente: Ministerio de agricultura, alimentación y medioambiente. Sistema nacional de cartografía de zonas inundables mapas de peligrosidad y riesgo demarcación hidrográfica del Guadalquivir. (Ver referencia [22])

Ilustración4: Mapa de las ARPS del área de estudio



Fuente: Ministerio de agricultura, alimentación y medioambiente. Sistema nacional de cartografía de zonas inundables mapas de peligrosidad y riesgo demarcación hidrográfica del Guadalquivir: http://www.chguadalquivir.es/documents/10182/61956/INFORME_CONSULTA_PUBLICA_AG048_AG049_AG051_AG052_06112014_MEMORIA.pdf/77501e34-018e-46c3-9fe5-430b329b2568

3.3.4 Mapas

Una vez identificada la zona procedieron a elaborar los mapas correspondientes a la zona del Guadalquivir. Estos mapas son de vital importancia a la hora de realizar la

gestión, que supone el fin último del estudio de inundabilidad y que permitirán las actuaciones para disminuir los daños en un grado alto de eficacia.

Los mapas descritos en los siguientes apartados corresponden con las ARPSI del área de estudio del trabajo (ES050_APSFR_AG049 y ES050_APSFR_AG051) (Ver referencia [15]).

Resulta necesario destacar que aunque la elaboración del MDE es el mismo que el descrito en los métodos, en los estudios hidráulicos las condiciones de contorno de entrada utilizadas son las establecidas en la tabla 2 y las condiciones de contorno de salida fueron en todos los casos calados críticos.

Tabla 2: Datos Hidráulicos del estudio previo

Río/tramo	P.r. 10 años	P.r. 100 años	P.r. 500 años
Río Frio Sub-cuenca R30W30 + tramo de laminación en cauce R30	128	250	354
Río Quiebrajano Sub-cuenca R20W20 + tramo de laminación en cauce R20	103	208	310
Río Jaén Confluencia Frio - Quiebrajano	231	458	664
Sc 239	271	674	798
Guadalbullón (tramo laminación)	270	668	792
Sc 240	156	392	466
Total Guadalbullón en confluencia	416	1017	1193

Fuente: Ministerio de agricultura, alimentación y medioambiente. Sistema nacional de cartografía de zonas inundables mapas de peligrosidad y riesgo demarcación hidrográfica del Guadalquivir.

3.3.4.1. Mapas de peligrosidad

Como resultado de las modelizaciones anteriores, generaron los mapas de peligrosidad para períodos de retorno T100 años y T500 años, lo que permitía asegurar el cumplimiento de la Directiva de inundaciones de la Comisión Europea (Ver referencia [15]).

3.3.4.2 Mapa de riesgo

El siguiente paso y tomando como referencia el mapa de peligrosidad el Ministerio elaboro los mapas de riesgo, los cuales tienen como objetivo principal conseguir información para elaborar los planes de gestión del riesgo. Estos mapas nos darán la información necesaria para conocer todos los posibles daños que las inundaciones pueden producir a la salud humana, actividad económica, medio ambiente y

patrimonio cultural. De este modo obtuvieron una serie de mapas para cada uno de los posibles daños previsibles.

3.3.4.3 Afección a la población

En este mapa deberán incluirse “número indicativo de habitantes que pueden verse afectados”.

Ilustración 5: Mapa afección a la población T100 años

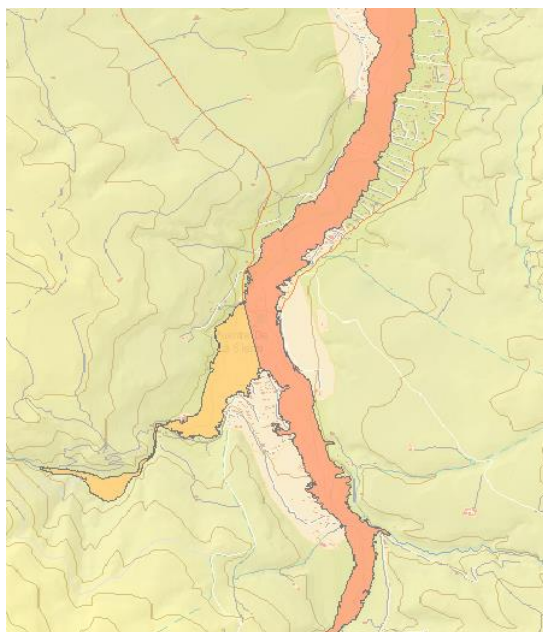
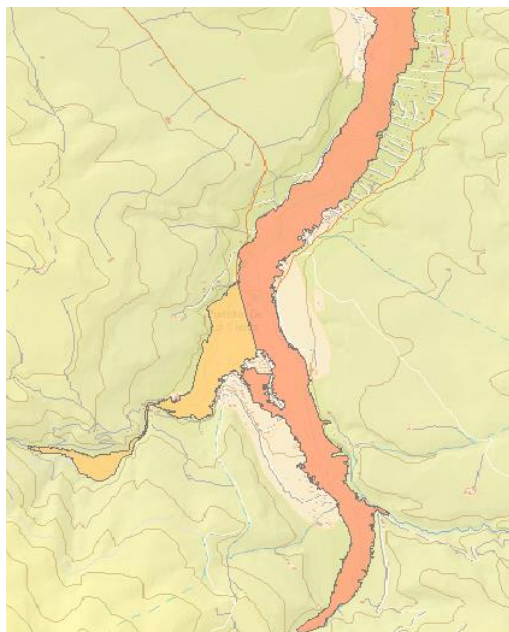


Ilustración 6: Mapa afección a la población T500 años



Fuente: Sistema nacional de cartografía de zonas inundables

Las ilustraciones 5 y 6 muestran los mapas de riesgo hacia la población para el periodo de retorno de 100 años y 500 años.

La ilustración 5 muestra la totalidad de la población del Puente de la sierra situada en la zona dentro de la correspondiente ARPSI(50), siendo el total de la población del municipio de 116.731 habitantes y los habitantes estimados situados en zona inundable para el T100años de 650, abarcando la zona inundable unos 2.32 km².

La ilustración 6 muestra la totalidad de la población del Puente de la sierra situada en la zona dentro de la correspondiente ARPSI (50), siendo el total de la población del municipio de 116.731 habitantes y los habitantes estimados situados en zona inundable para el T500años de 700, abarcando la zona inundable unos 2.5 km².

3.3.4.4 Afección a la actividad económica

Para la obtención de las actividades se parte de la información sobre los usos del suelo, las actividades se agrupan en 20 categorías de actividad económica (ver tabla 3), una vez establecidas las actividades de la zona se le asigna a la zona la actividad mayoritaria. De este modo se identifica la actividad que se verá más afectada ante la inundación.

Tabla 3: Categoría de afección económica

Categoría en Mapa de riesgo nacional	Categoría en Mapa de riesgo nacional
Urbano concentrado	Infraestructuras: carreteras
Urbano disperso	Infraestructuras: ferrocarriles
Asociado a urbano	Infraestructuras aeroportuarias
Infraestructura social	Infraestructuras: energía
Terciario	Infraestructuras: Comunicaciones
Industrial concentrado	Infraestructuras hidráulico-sanitarias
Industrial disperso	Infraestructuras: Residuos
Agrícola-Secano	Masas de agua
Agrícola-Regadío	Otras áreas sin riesgo
Otros usos rurales	
Forestal	

Fuente: Ministerio de agricultura, alimentación y medioambiente. Sistema nacional de cartografía de zonas inundables mapas de peligrosidad y riesgo demarcación hidrográfica del Guadalquivir

Ilustración 7: Mapa afección económica T100 años

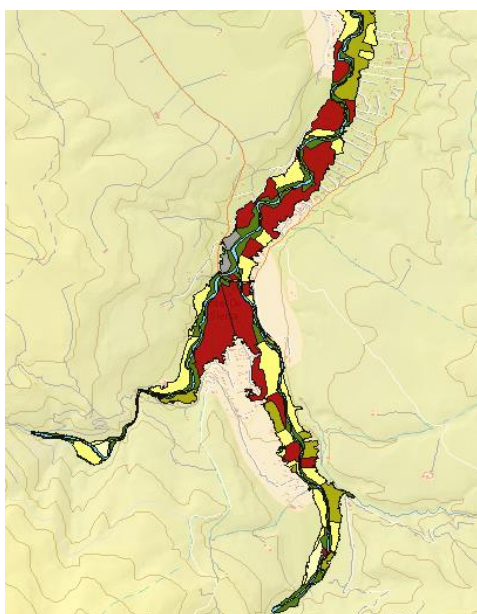
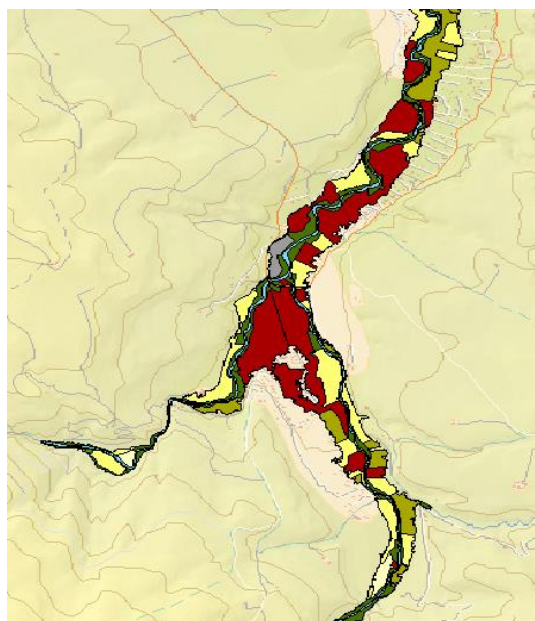


Ilustración 8: Mapa afección económica T500 años



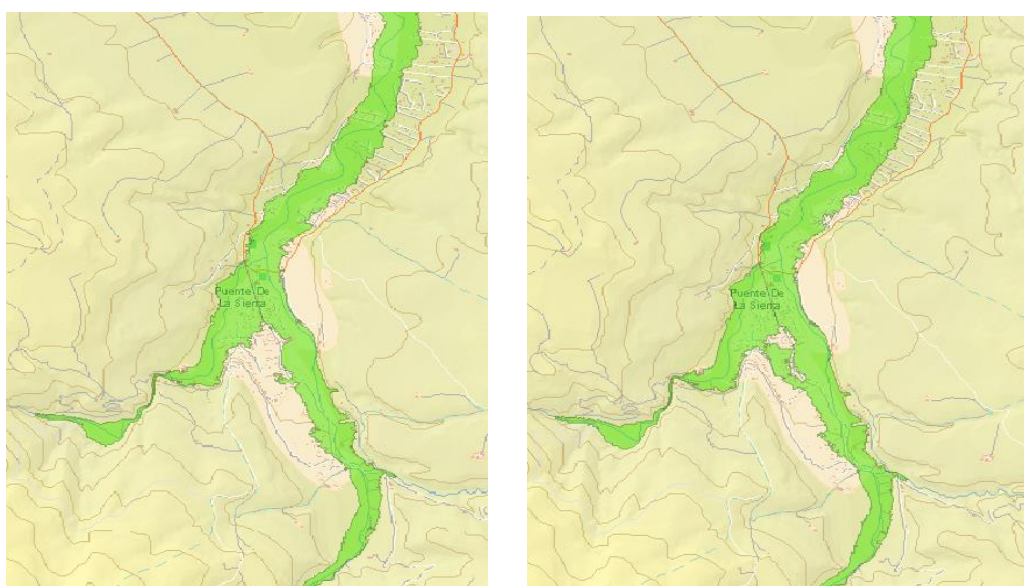
Fuente: Sistema nacional de cartografía de zonas inundables

En las ilustraciones 7 y 8 se muestran las actividades económicas existentes en el área del Puente de la Sierra que se pueden ver afectadas tras una inundación en los T100 y T500 años, siendo la actividad más afectada la de uso forestal y agrícola en la totalidad de la ARPSI, pero en el municipio en concreto se vean más afectadas las de tipo urbano.

3.3.4.5 Afección a puntos de especial importancia y áreas protegidas ambientalmente

Este tipo de mapas hace referencia a aquellas zonas donde se produce la captación de aguas para consumo humano, masas de agua de uso recreativo y zonas para la protección de hábitats o especies que pueden resultar afectadas. Para ello se han identificado estas tres zonas, además se tienen en cuenta cualquier tipo de instalación o actividad que tras la inundación pueda suponer un efecto adverso sobre los puntos citados anteriormente.

Ilustración 9: Mapa afección medio ambiental T100 años; Ilustración 10: Mapa afección medio ambiental T500 años



Fuente: Sistema nacional de cartografía de zonas inundables

Las ilustraciones 9 y 10 muestran los mapas de riesgo hacia las áreas protegidas ambientalmente en el periodo de retorno de 100 y 500 años. Tras una inundación se prevé se produzcan daños de afección a masas de agua de uso recreativo: Río Guadalbullón hasta las Infantas; Río Quiebrajano.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos del análisis del área de estudio seleccionada para este trabajo, así como los modelos obtenidos de la simulación bidimensional.

4.1 Análisis de la dinámica geológica actual

4.1.2 Dinámica geológica

En este apartado se estudian los procesos geológicos que inciden sobre el área de estudio y por tanto pueden modificarla. Sobre esta área actúan una serie de procesos los cuales además de modificar la zona en cuestión pueden producir un aumento en el riesgo frente a las inundaciones. Por esto es necesario saber cuáles son estos procesos además de la forma en la que actúan, ya que será de vital importancia para las futuras actuaciones, los procesos erosivos son uno de los principales condicionantes, propiciados fundamentalmente por la acción del agua, asociado a estos encontramos también los movimientos de ladera.

4.1.2.1 Erosión y movimientos de ladera

El primer proceso que actúa sobre el área de estudio es la erosión, en este área se dan principalmente dos tipos de erosiones cada una ligada a un tipo de material distinto. En la zona de margas predomina la erosión hídrica producida por la acción del agua de lluvia, en este caso se produce un arranque del material tras el impacto directo a la salpicadura de las gotas de agua sobre estas margas blandas, además se produce un transporte de los sedimentos como consecuencia del flujo laminar que se crea en la superficie, como consecuencia estos materiales van a parar al cauce del río incrementando su energía y por tanto el riesgo de inundación.

El segundo tipo de erosión es la erosión de disolución ligada en general a las calizas, ya que estas al presentar mayor xxx que las margas no se ven afectadas del mismo modo por la acción del impacto del agua de lluvia, en este caso el agua produce una disolución del carbonato cálcico que compone las rocas calizas dándose como consecuencia un desgaste o ruptura de las rocas.

El último proceso que se produce asociado a la meteorización de las rocas son los movimientos de ladera encontrados en los grandes relieves de la zona, en este caso la lluvia produce inestabilidad en las laderas, esta agua produce principalmente una saturación de las rocas que conllevan cambios en la presión y ruptura de los materiales, durante este proceso se da la formación de los canchales de la zona. Estas rocas desprendidas pueden alcanzar los cauces fluviales cercanos produciendo del mismo modo que la erosión mencionada anteriormente un aumento de la energía.

Tanto la erosión como los deslizamientos de ladera se ven condicionados por las lluvias intensas propias del área de estudio mencionado en apartados anteriores, ya que durante los periodos de fuertes lluvias estos procesos se ven agravados.

Otro factor que condiciona ambos procesos son los usos del suelo de la zona, ya que se caracteriza por un uso de agricultura de olivar, los cuales presentan escasa o nula cobertura vegetal dando lugar a una erosión más intensa y un aumento de la posibilidad de producirse los movimientos de ladera.

4.2 Dinámica fluvial

En este apartado se exponen el proceso por el que la acción del río modifica el relieve de la zona así como su propio trazado, una variable esencial en este tipo de procesos es la velocidad del agua así como la distribución de esta a lo largo del cauce del río siendo la más baja en las proximidades del perímetro del cauce y máxima hacia el centro de la sección.

La velocidad así como la capacidad erosiva del agua del río pueden modificar el trazado e incrementar enormemente la energía del río debido a la cantidad de sedimentos que transporta, esto se debe a que el trazado del río está fuertemente relacionada con la carga de sedimentos que transporta.

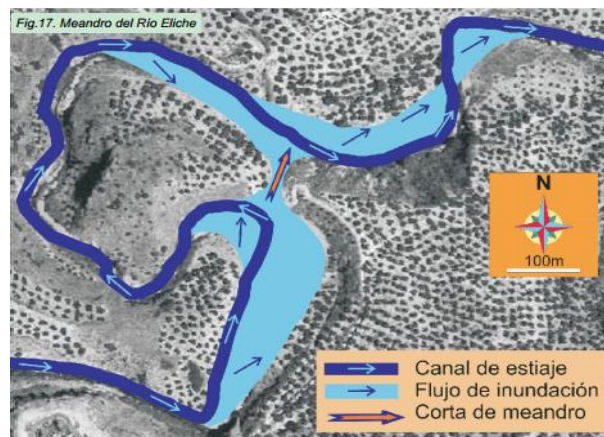
Este apartado también es de vital importancia debido a que conocer el modo en que actúan los ríos resulta imprescindible a la hora de planificar medidas para la mitigación de daños o para la ordenación de un territorio.

4.2.1 Erosión, corta de meandros y encajamiento de cañones

En condiciones normales los tramos de los ríos alcanzan un cierto nivel de equilibrio, lo que se traduce en una circulación tanto del agua como de los sedimentos siguiendo el curso del río, sin embargo estos cursos pueden ser modificados de manera natural.

En el caso del río Eliche encontramos un río de alta montaña que presenta un tizado meandriforme, lo que se traduce en un río de baja pendiente y energía, pero la erosión producida en los materiales más blandos sumado a la influencia del clima de carácter semiárido en el que se producen lluvias muy intensas hace que el meandro del río Eliche este próximo a quedar abandonado, como consecuencia de un corte de meandros, durante las crecidas que ocurren en el área de estudio cada pocos años este queda cortado, ya que al subir el nivel del agua el flujo supera una pequeña vaguada excavándola. Esto produce que aunque el río presente una morfología meandriforme, su dinámica es la propia de un río trenzado. Este estado de desequilibrio se debe a un descenso del nivel base asociado posiblemente a un levantamiento tectónico del área.

Ilustración 11: Meandro del rio Eliche.



Fuente: Geolodia 10. (Ver referencia [7])

Como consecuencia la energía y la cantidad de material que arrastra el río es mayor que el que su morfología indicaría, por tanto el agua que llega a la zona final, situada justo a la entrada del cañón, es mucho mayor y más energética, aumentando considerablemente el riesgo de inundación y daño.

4.2 Situación evolutiva de la cuenca de drenaje

En la actualidad el área de estudio presenta una zona con un valle muy abierto y un cañón cerrado, en el valle abierto recoge todo el agua procedente de la lluvia y lo acumula debido a su morfología, al estar constituido este valle de margas que son blandas, estas se ven erosionadas, posteriormente son arrastradas y mezcladas con el agua hasta que finalmente quedan retenidas en el cañón, estos fenómenos de erosión se traducen, entre otros hechos, en un importante aumento de la carga sólida que arrastran los cauces incrementando el daño durante las avenidas.

A la salida del mismo, donde quedan retenidos tanto el agua como la carga sólida actúa como amplificador permitiendo que se produzcan inundaciones con unos caudales inferiores a los normales en comparación con los caudales con los que deberían producirse. De este modo con lluvias que no superan los 90 mm afectando manera muy adversa, esto es posible debido a la forma compacta de la cuenca y a los estrechamientos de los que dispone el cañón. El cañón produce un efecto de represamiento que da lugar a una intensificación del flujo a su salida, con una dinámica similar a la que ocurre en los abanicos aluviales. Todo esto sumado a la climatología hace que cuando llegan lluvias, el agua presente un importante contenido sólido y una energía capaz de ocasionar una inundación catastrófica.

Una de las posibles soluciones previstas para evitar daños en la zona residencial del puente de la sierra fue la construcción de una presa aguas arriba del cauce del río Eliche ya que las presas son consideradas como medida muy efectiva frente a las inundaciones, ya que son capaces de almacenar grandes cantidades de aguas de avenidas con lo que se pueden controlar de gran forma los caudales punta de avenida.

El problema de construcción de una presa reside en que esta creará una gran cantidad de problemáticas, una de ellas y posiblemente la más importante es la destrucción del paisaje de los cañones, ya que la construcción de la presa supone realizar una cantidad de caminos, excavaciones. Realizar movimientos de tierra, así como ruidos y contaminación atmosférica, lo que se traduce en un deterioro de la fauna o expulsión de la misma, así como del paisaje del cañón en sí.

Otro gran inconveniente de la presa será la acumulación del agua y por tanto el traslado del problema en la zona de los Villares, que es una población localizada a

corta distancia aguas arriba, de este modo durante las avenidas, grandes cantidades de sedimentos, agua y restos vegetales se verán acumulados en la zona del gran valle de las unidades intermedias. Además la presa producirá acumulación de lodos, estos residuos pueden llegar a llenar la base del cañón destruyendo la vegetación, sumando a esto los olores y necesidad de extracción y mantenimiento en la zona de los villares.

Otra de las problemáticas que puede ocasionar la construcción de esta presa es la contaminación de los con fertilizantes, nitratos o pesticidas procedentes de la vegetación que se ve deteriorada por la acumulación de la masa de agua en la zona y que en la mayoría de los casos serán de difícil eliminación.

4.3 Mapas Generales de inundación

Para la elaboración de los mapas de inundación se han seleccionado dos zonas, una correspondiente al área del Puente de la Sierra, lugar donde ocurren frecuentemente inundaciones, y otro, situado a varios km aguas abajo, en el que no se han registrado inundaciones, con el objeto de comparar los resultados. Esta información supone una gran importancia para la gestión y planificación.

El programa utilizado permite la elaboración de los mapas a través de otros parámetros distintos a los utilizados en este trabajo fin de grado (calado y velocidad), pero debido a falta de datos referente a esos parámetros resulto imposible realizarlos. Algunos de estos parámetros son:

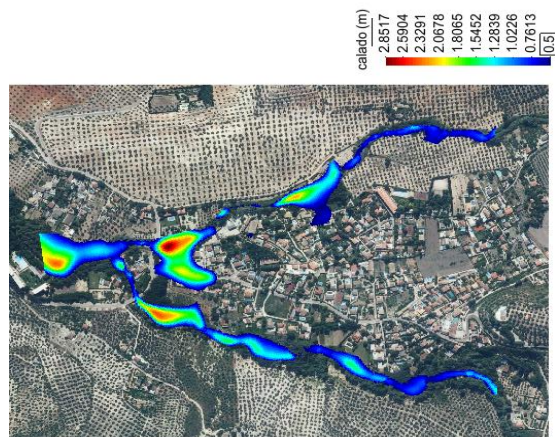
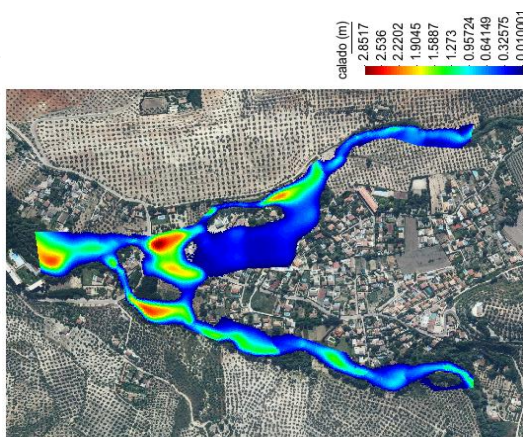
- La cota de agua
- Cantidad de sedimentos transportados
- El número de Froude

Todos los mapas presentados en este apartado están orientados con el norte hacia arriba, y siendo la anchura de la fotografía de 200 m. Los mapas elaborados son los siguientes:

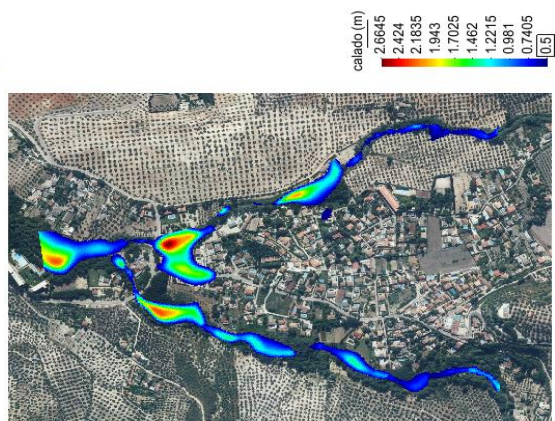
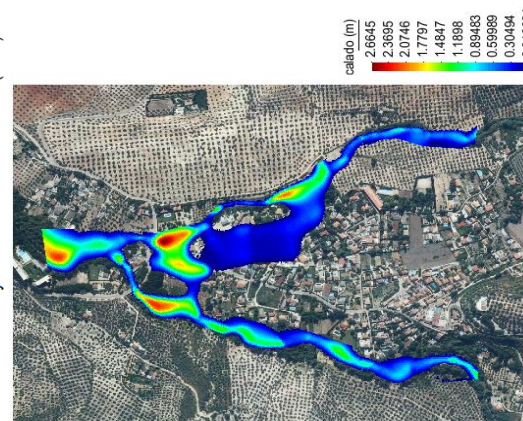
4.3.1 Mapas del Puente de la Sierra

Los mapas elaborados son los siguientes:

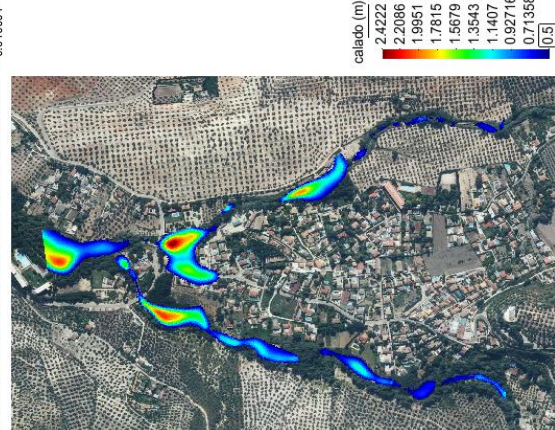
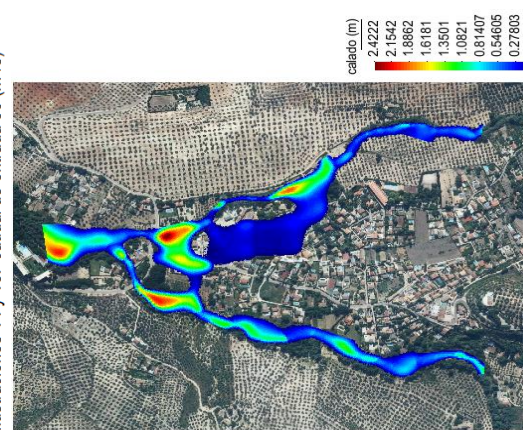
Ilustraciones 18 y 19: Caudal de entrada 100 (m³/s)



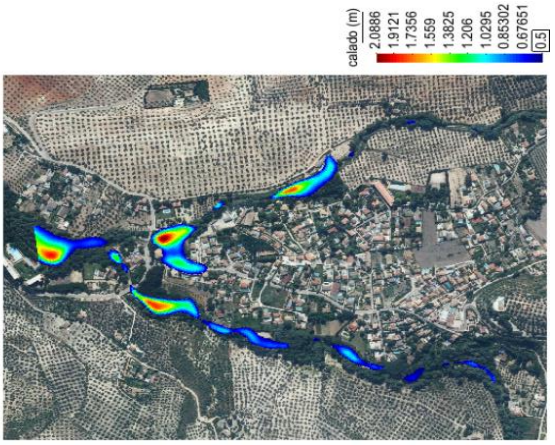
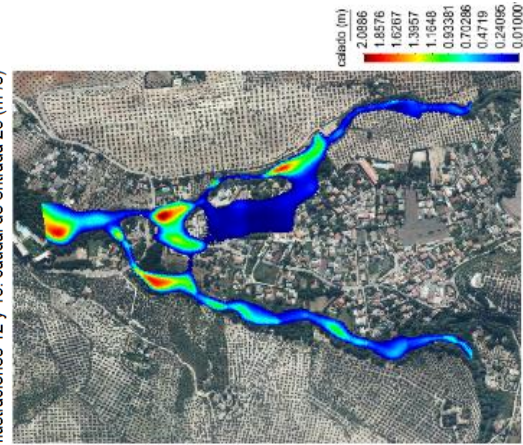
Ilustraciones 16 y 17: Caudal de entrada 75 (m³/s)



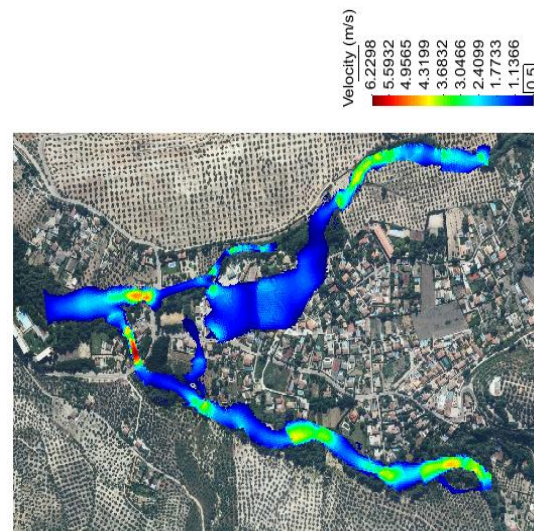
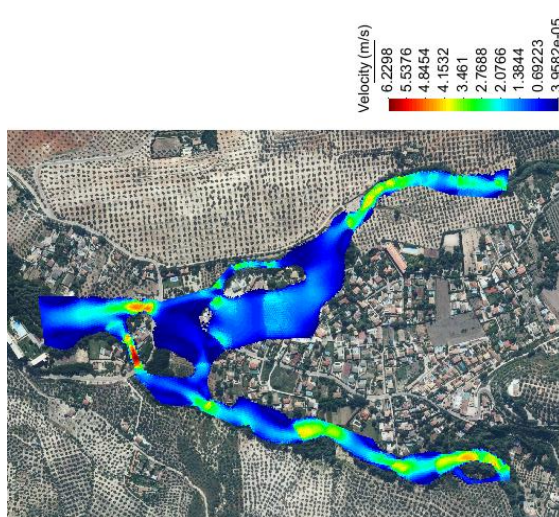
Ilustraciones 14 y 15: caudal de entrada 50 (m³/s)



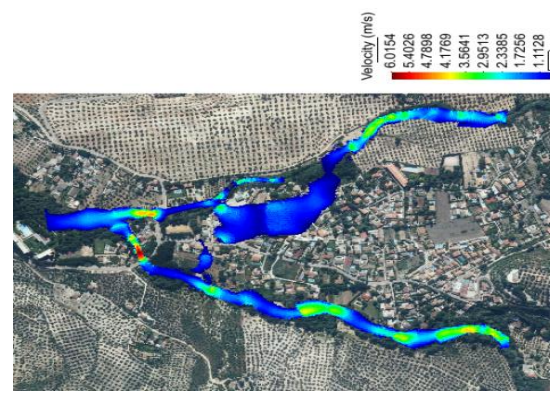
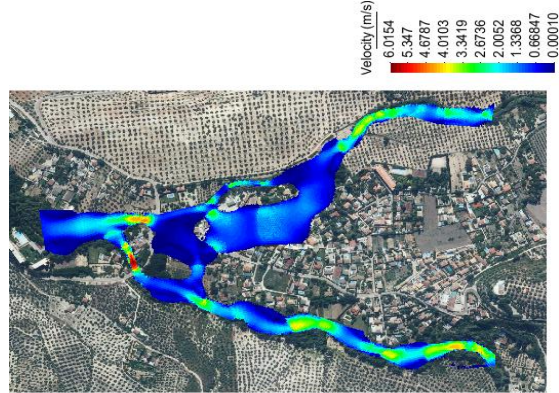
Ilustraciones 12 y 13: caudal de entrada 25 (m³/s)



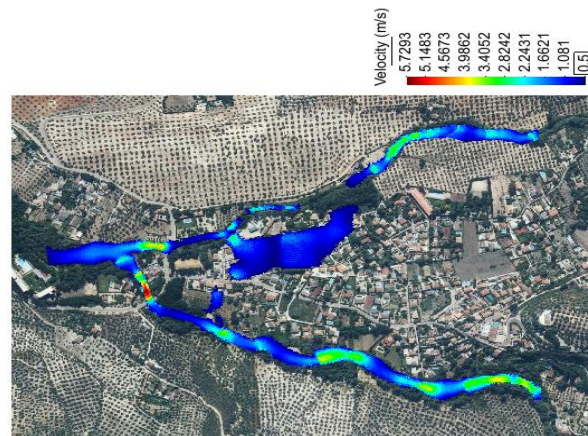
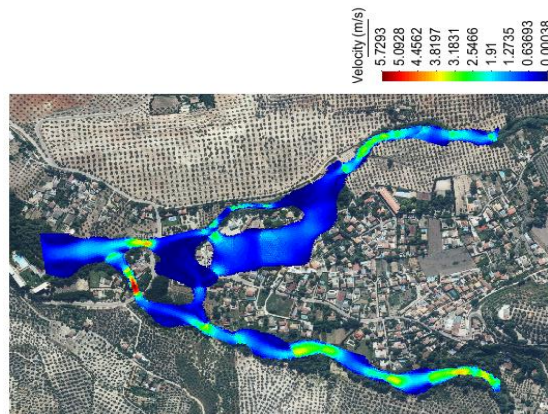
Ilustraciones 26 y 27: Caudal de entrada 100 (m³/s)



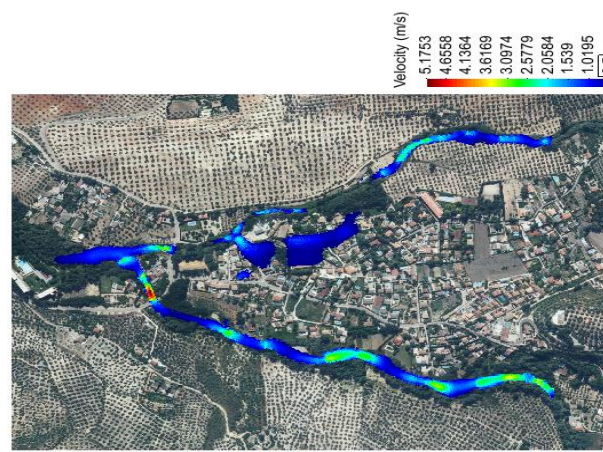
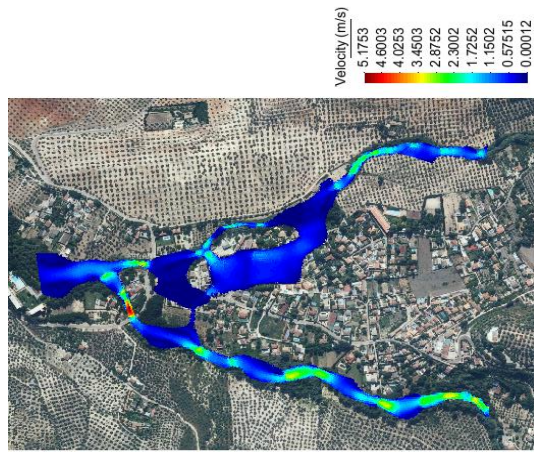
Ilustraciones 24 y 25: Caudal de entrada 75 (m³/s)



Ilustraciones 22 y 23: Caudal de entrada 50 (m³/s)



Ilustraciones 20 y 21: Caudal de entrada 25 (m³/s)



Las ilustraciones 12 y 13, muestra la altura que alcanzaría el agua cuando el caudal transportado por ambos ríos es de 25 (m^3/s), esta imagen muestra un calado máximo de 2 m y el menor de 0.1 m. En estas imágenes la zona que se ve más afectada es el margen izquierdo por donde circula el río Eliche, el cual lleva la mayor cantidad de agua, así como la zona superior donde el puente hace que el agua retroceda produciendo una mayor acumulación de agua. Las ilustraciones 20 y 21 muestran una velocidad máxima del agua de 5 m/s, presentándose los valores más altos en los cauces de ambos ríos, y el punto de velocidad máxima mencionado anteriormente en el cauce del río Eliche por donde circula la mayor cantidad de agua.

Las ilustraciones 14 y 15, muestran la altura que alcanza el agua tras aumentar el caudal a 50 (m^3/s). En estas imágenes se aprecia un aumento del calado máximo en unos 40 cm aproximadamente y se puede observar como el agua a pesar de inundar prácticamente las mismas zonas que en las imágenes anteriores, aumenta en todas las zonas, haciéndose más notable en la creación de un pequeño brazo que une en el margen derecho con la zona central. Las ilustraciones 22 y 23 muestran un aumento de la velocidad máxima en 0,3 m/s, además en las zonas que alcanza el agua tras el desbordamiento se va incrementando su velocidad.

En las ilustraciones 16 y 17, tras incrementar el caudal hasta 75 (m^3/s). En esta ocasión el aumento del calado máximo observado es inferior al ocurrido entre los caudales de 25 y 50 (m^3/s), incrementándose en 20 cm, además del aumento progresivo de todas las áreas del mapa, la altura alcanzada en el margen izquierdo comienza a ser de un nivel importante, apreciándose una pequeña parte inundada. Las ilustraciones 24 y 25 para este caudal reflejan un aumento cada vez menor de la velocidad como ocurrió en el caso del calado, en esta ocasión el aumento es de tan solo 0.2 m/s y las zonas alcanzadas por el agua presentan una velocidad parecida a la encontrada en las imágenes anteriores.

Las ilustraciones 18 y 19, muestran la altura con el caudal máximo de 100 (m^3/s). En estas imágenes se alcanza el calado máximo estableciéndose este cercano a los 2m de altura produciéndose un incremento con respecto a las primeras imágenes de casi 1 m, aumentando con respecto a la anterior en 20 cm e incrementando nuevamente el calado por todo el mapa.

Las ilustraciones 26 y 27 aunque nuevamente muestran un progresivo aumento, como en el caso anterior este aumento es mínimo, de apenas 20 m/s y aunque la zona alcanzada por el agua es mayor la velocidad se mantiene estable.

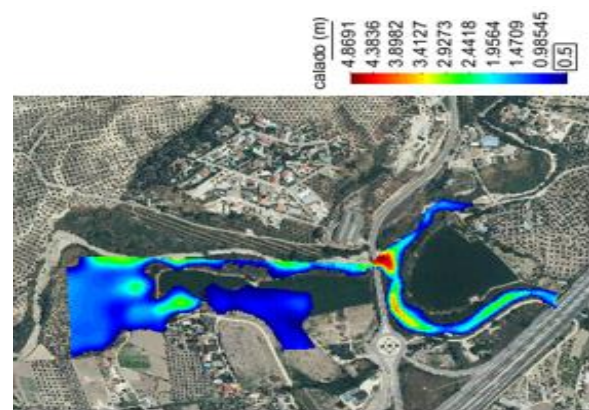
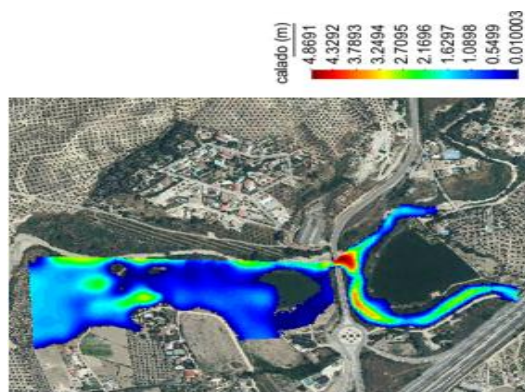
4.3.2 Mapas correspondientes a la segunda zona

Estos mapas se elaboraron para poder establecer una relación entre zonas donde los ríos estudiados se comportan de manera similar, de este modo se podrán determinar otras causas por las que el Puente de la Sierra se ve afectado, así como otros posibles factores que incrementen la probabilidad de inundaciones, ya que además de la morfología de la cuenca, la zona donde se ubica el Puente de la Sierra, los usos del suelo y las actividades económicas de la zona deben ser un factor a tener en cuenta. Lo que permitirá elegir de la forma más óptima las medidas necesarias para mitigar el problema de la zona.

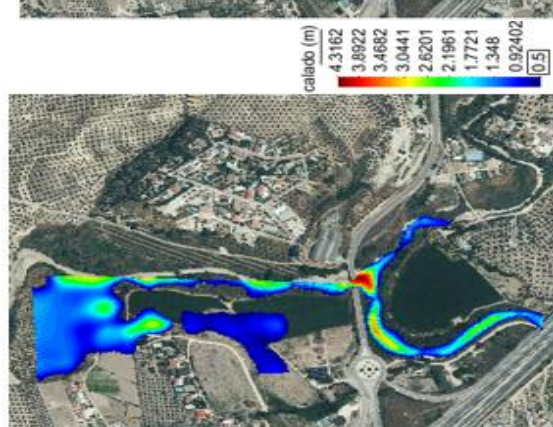
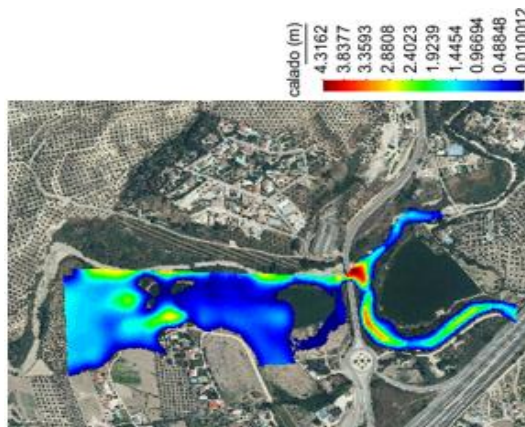
En primer lugar se presentan los mapas de calados (m) de la segunda zona, para cada uno de los caudales de entrada mencionados, para poder estudiar la evolución de la altura de la lámina de agua del mismo modo que en el caso anterior. En segundo lugar se presentan los mapas de velocidades (m/s) de esta segunda zona, asociados todos ellos a los mismos caudales que los mapas de calado.

Los mapas elaborados son los siguientes:

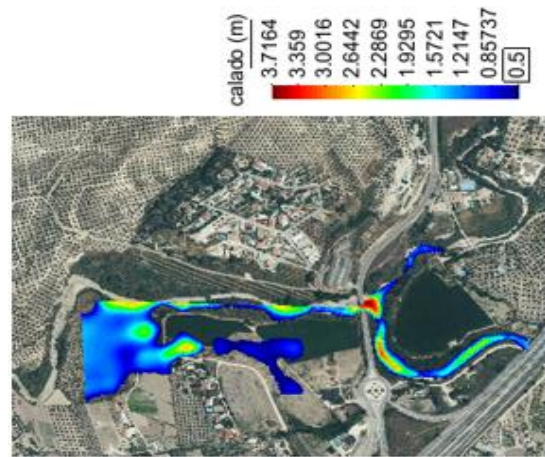
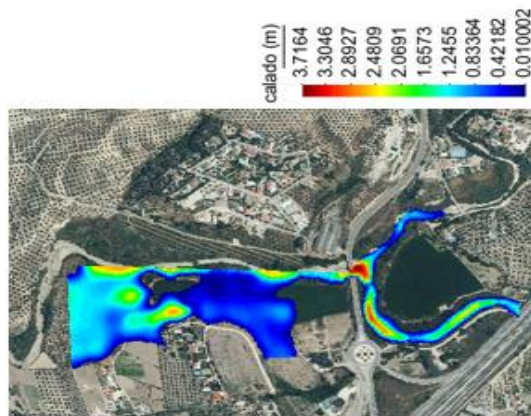
Ilustraciones 34 y 35: Caudal de entrada 100(m³/s)



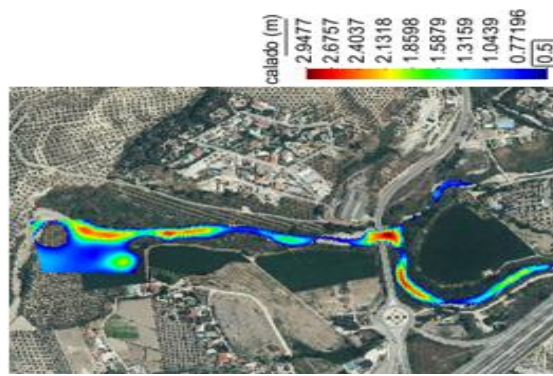
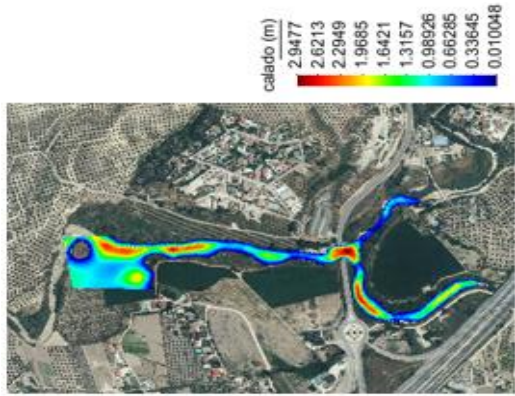
Ilustraciones 32 y 33: Caudal de entrada 75 (m³/s)



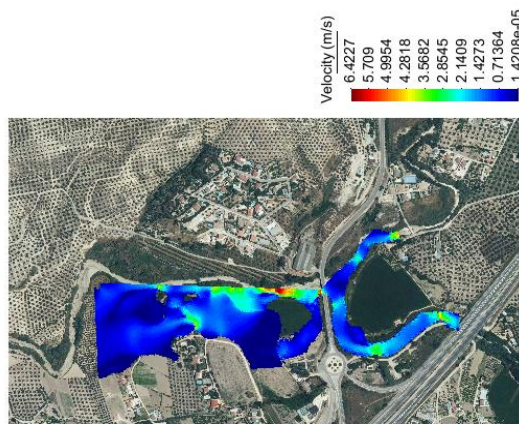
Ilustraciones 30 y 31: Caudal de entrada 50 (m³/s)



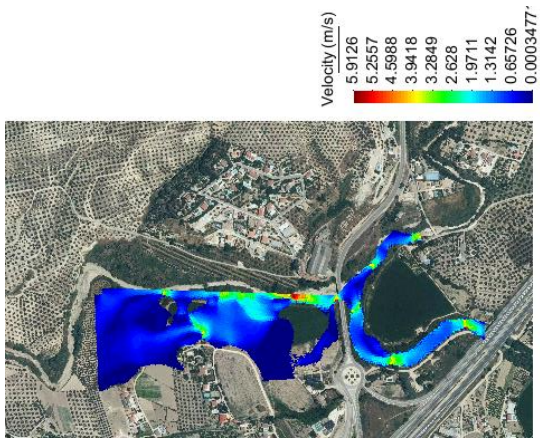
Ilustraciones 28 y 29: Caudal de entrada 25 (m³/s)



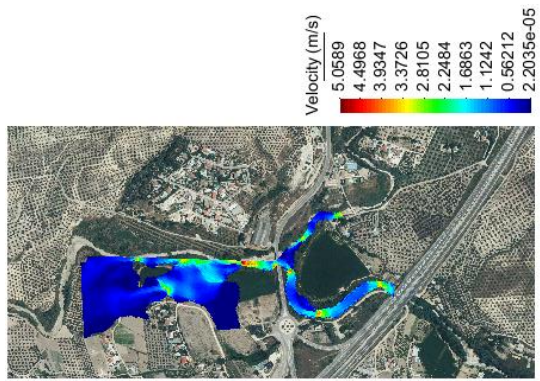
Ilustraciones 42 y 43. Caudal de entrada 100 (m³/s)



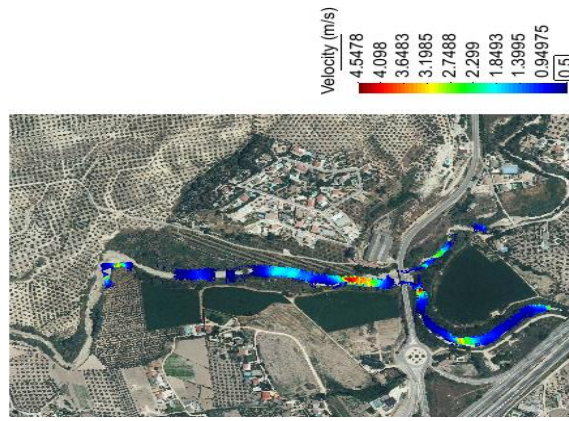
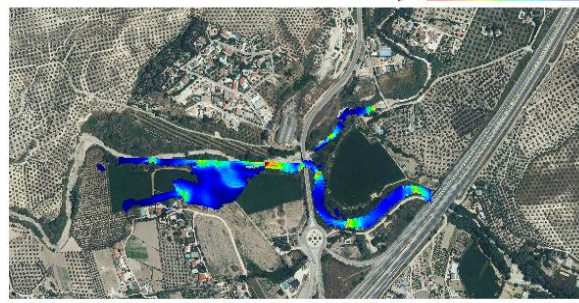
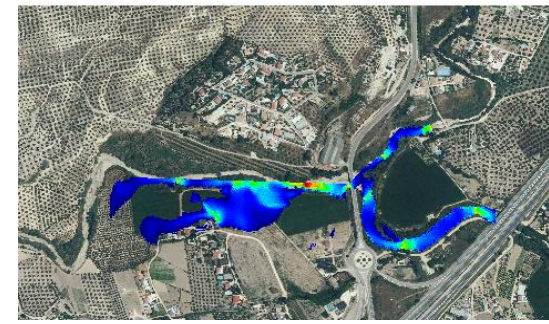
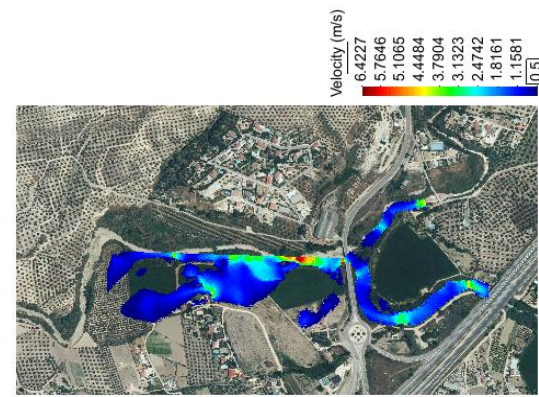
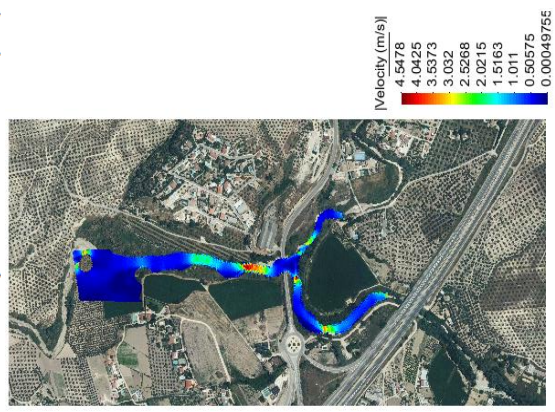
Ilustraciones 40 y 41. Caudal de entrada 75 (m³/s)



Ilustraciones 38 y 39. Caudal de entrada 50 (m³/s)



Ilustraciones 36 y 37. Caudal de entrada 25 (m³/s)



Las ilustraciones 28 y 29, muestran la altura que alcanzaría el agua cuando el caudal transportado por ambos ríos es de 25 (m^3/s), esta imagen muestra un calado máximo mayor a 3 m, siendo el menor de 0.1 m y. En estas imágenes la zona que se ve más afectada es el margen izquierdo, aunque en esta ocasión y a diferencia de la zona del Puente de la sierra, el agua no alcanza la zona urbana.

En cuanto a la velocidad para este caudal las ilustraciones 36 y 37 muestran una velocidad máxima del agua de 4.5 m/s, presentándose la mayor velocidad en los cauces de ambos ríos, y la velocidad máxima en la zona en la que ambos ríos confluyen.

En las ilustraciones 30 y 31, tras aumentar el caudal a 50 (m^3/s) se aprecia un aumento del calado máximo en unos 60 cm aproximadamente y se puede observar como el agua comienza a inundar la parte central del mapa, aunque como en el caso anterior sin daños a las zonas urbanas. Las ilustraciones 38 y 39 muestran un aumento de la velocidad máxima hasta 5 m/s. La velocidad máxima continua en la parte donde confluyen los 2 ríos pero la velocidad continúa aumentando por las zonas inundadas.

En las ilustraciones 32 y 33, al alcanzar los 75(m^3/s) se produce un aumento de 0.6 m, en este caso se observa como algunas casas del margen izquierdo, posiblemente erróneamente ubicadas, se ven afectadas por el agua. En las ilustraciones 40 y 41 presentadas para este caudal se produce el mayor aumento de la velocidad, siendo este cercano a 1 m/s, en este caso el aumento se produce en la zona central, produciéndose un aumento progresivo en la totalidad de áreas alcanzadas por el agua.

En las ilustraciones 34 y 35 tras introducir el caudal más alto de 100 (m^3/s) se produce un aumento de 0.5 m, en este caso se produce el mayor calado de todos los mapas, llegando a 4.9 m e incrementándose nuevamente por todas las zonas alcanzadas, aunque al contrario que en el resto se empieza a apreciar como el agua llega a las zona inferior del mapa. En las ilustraciones 42 y 43 se produce un aumento normal de la velocidad como en los casos anteriores, aproximadamente de 0.5 m/s, y sigue un aumento por toda la zona del mapa.

CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este capítulo se exponen las discusiones de los resultados obtenidos en la elaboración del trabajo así como una conclusión final sobre éste.

5.1 Discusión

Estos mapas permiten establecer una relación entre los caudales utilizados en la simulación y las zonas con riesgo de inundación. Para conocer el daño que se produce en cada área dentro de los distintos mapas se han establecido los mismos criterios utilizados por el Ministerio para analizar el riesgo, de este modo se determina un calado de 0,8m o inferior como un calado bajo, el cual supone unas pérdidas mínimas y por tanto las medidas a adoptar serán más sencillas. Por otro lado aquellos calados por encima del valor anterior se establecerán como un calado alto, suponiendo esto daños de gran importancia.

Como se puede observar, la zona que se verá más afectada es la zona situada debajo del puente ya que este actúa como una barrera permitiendo el retroceso del agua y aumentando los efectos sobre la zona.

Otra zona de gran riesgo es la zona del margen izquierdo por donde transcurre el río Eliche ya que este es el río que lleva la mayor cantidad de agua y será el de mayor incidencia en los daños generados, el río Quiebrajano actúa como aporte extra incrementando los efectos.

Se realizaron simulaciones de un área en las que los ríos citados anteriormente disponen de un comportamiento similar al área de estudio del trabajo, de este modo se pudo establecer una relación entre la planificación de los usos del suelo y asentamientos urbanos y los daños generados.

Como se menciona a lo largo del trabajo, además de las causas naturales que producen un incremento del riesgo de inundación en el Puente de la Sierra la mala gestión de los usos del suelo y la construcción en zonas conocidas como inundables hace que los daños económicos aumenten considerablemente.

Es probable que la mala planificación de los usos del suelo encontrada en el Puente de la Sierra se deba a un incremento de la población a lo largo del tiempo, el pensamiento erróneo de que no existe riesgo dada la poca probabilidad de inundaciones en tiempos pasados, pudo llevar a la población a establecer zonas urbanas y rurales en aquellas áreas consideradas como inundables, bien por falta de espacio o bien por considerar la zona como una oportunidad de desarrollo.

Por el contrario la zona situada aguas más abajo permanece más segura y sin riesgo de daños frente a las inundaciones. En esta área mencionada los usos agrícolas y la zona urbana se encuentran alejadas de la zona inundable, lo que ha permitido evitar daños y pérdidas más graves, esta se ubica en una zona en la que el entorno actúa como barrera natural ante las inundaciones, por lo que el agua difícilmente llegará a las zonas urbanas, sin embargo la planificación aún está lejos de ser perfecta, ya que el margen izquierdo presenta algunas viviendas mal situadas que pueden verse afectadas tras avenidas con caudales importantes, aunque este margen izquierdo se ve afectado con un calado de carácter bajo.

5.2 Conclusiones

La principal conclusión de éste trabajo es que las inundaciones producidas en el Puente de la Sierra son en la mayoría de los casos fruto de la complejidad del área y que a pesar de producirse por procesos de carácter natural, la mala gestión y planificación del territorio, así como la localización en la que se establece la urbanización ha hecho posible que inundaciones que no deberían suponer un riesgo para las personas produzcan daños importantes sobre estas y sobre sus bienes.

A pesar de esto los efectos de las inundaciones no son tan graves como lo establecido en los mapas de riesgo elaborados por el Ministerio de agricultura y Medio ambiente que establecen caudales a escala nacional y en muchos casos superiores a los que realmente llevan esos ríos, propiciando la expropiación de viviendas y bienes que no se encuentran en una situación ilegal ni en riesgo de inundación.

Por otro lado es necesario para estimar los daños de forma real en futuros estudios de inundabilidad contar con datos reales y más detallados tanto de caudales como de uso del suelo, lo que permitirá un modelo más preciso del que se puedan extraer y diferenciar daños de acuerdo a cada uso del suelo. De esta manera se puede estimar

de forma más precisa los daños tanto económicos como materiales que podrían originarse.

Por último, sería necesario que la legislación adoptara normas de protección contra inundaciones tanto de esta zona como en todo el mundo. Debido a la alta probabilidad de que efectos como el cambio climático produzcan lluvias más intensas y continuadas incrementando la cantidad y daño de las inundaciones.

Una de las maneras para evitar daños mayores en estas zonas es la restauración de la capa vegetal en aquellas zonas de agricultura abandonada, ya que los espacios verdes, son una de las principales estrategias para reducir los efectos de las inundaciones evitando que la carga de sedimentos transportada por los ríos se incremente. Todo esto sumado a la buena gestión y actuación tanto de las medidas estructurales como no estructurales supondrán una reducción considerable de pérdidas.

6. Bibliografía y Webgrafía

- [1] Díez Herrero, A. y Laín Huertas, L (2009): “*Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones*” Ed Planetearth.
- [2] Chow, T. (1964): Handbook of applied hydrology. Ed MacGraw-Hill.
- [3] Gutiérrez Elorza, M. (2008): “*Geomorfología*”. Ed Pearson Educación.
- [4] Olcina, C. (2002): “*Riesgos Naturales*”. Ed. Ariel, 1304 pp.
- [5] Vera, J.A., (Coord.), 2004. Cordillera Bética y Baleares. In: Vera, J.A. (Ed.), Geología de España. SGE-IGME, Madrid, 347–464.
- [6] Jongman, B., Philip J., Ward, Jeroen y C.J.H. Aerts (2012): “*Global exposure to river and coastal flooding: Long term trends and changes*”
- [7] Sánchez arroyo, R. y Sánchez Martínez, J. D. (2012): “*La transformación de las cuencas de los ríos Eliche y Jaén en un territorio-riesgo: dinámica y perspectivas*”.
- [8] Dep. Geología de la Universidad de Jaén (2010): “*Geología 10*”
- [9] Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva 2007/60/CE, de 23 de octubre, Parlamento Europeo y del Consejo. Evaluación y gestión de los riesgos de inundación, 23 de octubre de 2007, núm. 0275, p. 34163-34176.
- [10] Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, 15 de julio de 2010, núm. 171, p. 61954-61967.
- [11] López Trujillo, J. (2014). “*Análisis de riesgo de inundaciones en una cuenca mediterránea*”. Escuela politécnica superior de Jaén.
- [12] Plaza Jiménez, J. (2015). “*dinámica fluvial del río Guadalbullón a su paso por las infantas*”. Facultad de ciencias experimentales.

Webgrafía

- [13] Magrama. Directiva 2007/60 de evaluación y gestión de los riesgos de inundación. http://www.magrama.gob.es/es/agua/legislacion/gri_egr_inundacion.aspx

- [14] Evaluación preliminar del riesgo de inundación de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
http://www.chguadalquivir.es/export/sites/default/portalchg/laDemarcacion/guadalquivir/laGestionAgua/gestionRiesgosInundacion/planesEvaluacionPreliminar/ficheros/DHG/MEMORIA/Memoria_Guadalquivir.pdf
- [15] Estudio existente acerca de Mapas de peligrosidad y riesgo de inundaciones.
<http://www.chguadalquivir.es/mapas-de-inundacion#DocumentosdelaDemarcaciónHidrográficadelGuadalquivir>
- [16] Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca del Guadalquivir.
<http://www.chguadalquivir.es/saih/>
- [17] Sistema nacional de cartografía de zonas inundables
<http://sig.magrama.es/>
- [18] http://elpais.com/diario/1999/10/07/andalucia/939248537_850215.html
- [19] <http://andaluciainformacion.es/jaen/434593/la-eterna-regularizacion-de-los-puentes-sigue-en-el-aire/>
- [20] <http://www.diariojaen.es/historico/la-solucion-a-las-viviendas-de-los-puentes-continua-en-el-aire-FBDJ71465>
- [21] <http://www.ideal.es/jaen/20080815/jaen/vecinos-puentes-indignados-ante-20080815.html>
- [22] http://elpais.com/diario/1999/10/07/andalucia/939248537_850215.html
- [23] Memoria sistema nacional de cartografía de zonas inundables mapas de peligrosidad y riesgo demarcación hidrográfica del Guadalquivir.
http://www.chguadalquivir.es/documents/10182/61956/INFORME_CONSULTA_PUBLICA_AG048_AG049_AG051_AG52_06112014_MEMORIA.pdf/77501e34-018e-46c3-9fe5-430b329b2568
- [24] Red de estaciones de aforo y embalses
<http://www.chj.es/es-es/medioambiente/redescontrol/Paginas/RedEstacionesAforosyEmbalses.aspx>