



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

INUNDACIONES URBANAS DEL RÍO ELICHE (LOS VILLARES)

Alumno/a: Ilias Almuaddin Sánchez

Junio, 2021



UNIVERSIDAD DE JAÉN



Facultad de
Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

INUNDACIONES URBANAS DEL RÍO ELICHE (LOS VILLARES)

Firma:

Alumno/a: Ilias Almuaddin Sánchez

Jaén, 24 de junio 2021

1.	INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO	2
1.1.	Conceptos básicos sobre riesgos naturales y su gestión	2
1.2.	Inundaciones en zonas urbanas	3
1.3.	Conceptos básicos sobre dinámica fluvial	4
1.4.	Riesgos asociados	8
1.5.	Factores que condicionan los daños por inundación.....	9
1.6.	Predicción de inundaciones	10
1.6.1.	Predicción meteorológica	11
1.6.2.	Pre-caracterización de avenidas	11
1.7.	Medidas para la corrección y mitigación de riesgos de inundación	12
2.	ÁREA DE ESTUDIO.....	14
2.1.	Inundaciones en el área de Los Villares. Antecedentes	14
2.2.	Contexto geológico	17
2.2.1.	Localización geográfica.....	17
2.2.2.	Geología.....	18
2.2.3.	Estratigrafía.....	19
2.2.4.	Tectónica.....	20
2.2.5.	Geomorfología	21
2.2.6.	Dinámica fluvial	22
2.2.7.	Clima.....	23
2.2.8.	Vegetación	23
2.2.9.	Actuaciones antrópicas	23
3.	OBJETIVOS	26
3.1.	Objetivo general	26
3.2.	Objetivos específicos.....	26

4. METODOLOGÍA	26
4.1. Fuentes de información	27
4.2. Evaluación del riesgo de inundación	28
5. RESULTADOS	28
5.1. Fotografías históricas	28
5.2. Datos de crecidas e inundaciones históricas	31
5.3. Análisis de la dinámica geomorfológica e hidrológica de la cuenca del río Eliche	31
5.4. Datos de precipitaciones	32
5.5. Mapas de inundaciones	36
6. DISCUSIÓN	40
6.1. Evolución, consecuencias de la canalización y previsión futura del río a su paso por Los Villares	40
6.2. Propuestas de actuación para la mitigación de riesgos	42
6.2.1. Medidas estructurales	42
6.2.2. Medidas no estructurales	43
7. CONCLUSIONES	44
7.1. Qué aprendemos de las inundaciones analizadas	44
7.2. ¿Se está actuando correctamente?	44
8. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA	45

RESUMEN

En este trabajo se ha realizado un análisis de los riesgos de inundación en el área del río Eliche, a su paso por el pueblo de Los Villares, en la provincia de Jaén.

Para ello, se han descrito los principales factores que influyen en la dinámica fluvial de la zona, como su geología o su régimen de precipitaciones en el conjunto de la cuenca de drenaje. También se ha analizado la evolución del río y su influencia en el medio a partir de los registros del pasado, principalmente mediante ortofotografías.

Finalmente, se han realizado una serie de propuestas, las cuales se apoyan en todo lo aprendido acerca de la dinámica del río y los resultados obtenidos, con el objetivo de mejorar algunos aspectos importantes para reducir el impacto negativo de las inundaciones en el área de estudio.

ABSTRACT

In this work, an analysis of flood risks has been made in the Eliche river area, focussed on the sector of the town of Los Villares, in the province of Jaén.

To this end, the main factors that influence the fluvial dynamics of the area have been described, including the geology and the rainfall regime at the scale of the drainage basin. The evolution of the river and its influence on the environment have also been analyzed, based on the records of the past, mainly from orthophotographs.

To end, a series of proposals have been made, based on all learned about the dynamics of the river and the results obtained, with the aim of improving some important aspects to reduce the negative impact of floodings in the study area.

1. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

1.1. Conceptos básicos sobre riesgos naturales y su gestión

Antes de comenzar el estudio sobre riesgos naturales, conviene definir con claridad los conceptos de peligro, exposición, vulnerabilidad y riesgo, y su relación:

Un peligro es un fenómeno de origen natural o antropogénico, en un espacio y tiempo determinados, que puede producir daños físicos, económicos o ambientales. Un ejemplo de peligro sería una inundación.

El concepto de exposición es el grado de exhibición de los bienes o las personas a un peligro. Un ejemplo de exposición sería la presencia de casas cerca del río.

La vulnerabilidad es la susceptibilidad de los bienes o las personas a sufrir daños por causa de un peligro. Un ejemplo de vulnerabilidad sería la ausencia de barreras físicas o la mala calidad de los materiales que no protejan del agua.

El riesgo es la probabilidad de que se produzcan pérdidas y daños, como resultado de la interacción de un peligro, con una situación de vulnerabilidad en un espacio en el que haya vulnerabilidad de bienes o personas.

$$\text{RIESGO} = \text{EXPOSICIÓN} + \text{PELIGROSIDAD} + \text{VULNERABILIDAD}$$

R: Riesgo

E: Exposición

V: Vulnerabilidad

P: Peligro

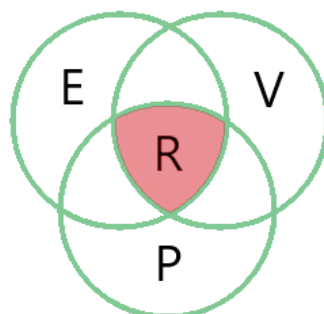


Figura 1.1- Representación gráfica de la relación entre los conceptos de peligro, exposición, vulnerabilidad y riesgo, y su relación.

Los tres conceptos deben presentarse para que exista un riesgo alto de que un peligro ocasione daños a la sociedad, ya sea a las personas, a infraestructuras, a la economía o al medio ambiente (Fig. 1.1).

Si eliminamos uno de estos elementos, eliminaremos el riesgo, y si reducimos alguno de ellos también se podrá reducir el riesgo, es decir, los daños que se puedan ocasionar.

Algunos conceptos básicos para la gestión de los desastres naturales son:

- **Predicción:** Una declaración de lo que es probable que pase, basada en la información disponible.
- **Prevención:** Medida que se toma de manera anticipada para reducir los daños que un desastre puede ocasionar. Se manifiesta en forma de medidas estructurales y/o medidas no estructurales.
- **Corrección:** Medidas que se toman para reparar los daños ocasionados por un desastre.
- **Magnitud:** Intensidad de un peligro natural en términos de la cantidad de energía liberada.
- **Frecuencia:** Intervalo de recurrencia entre sucesos.

Según Corral y González (2019), hay más daños asociados a riesgos de frecuencia y magnitud moderadas. La mayoría de los riesgos naturales siguen la llamada ley de potencia, la cual señala que generalmente existe una relación inversa entre la magnitud y la frecuencia, y por lo tanto los eventos son más frecuentes cuanto más pequeña es su magnitud.

1.2. Inundaciones en zonas urbanas

Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas en las que habitualmente se encuentra ausente¹. Generalmente, aunque no exclusivamente, son consecuencia

¹ <http://www.floodup.ub.edu/inundaciones>

de una aportación inusual y repentina de una cantidad de agua superior a la capacidad de drenaje del cauce o cauces presentes en la zona.

Cuando se trata de inundaciones en zonas urbanas, el agua ocupa las zonas no establecidas para albergarla, tanto públicas como privadas. El origen más habitual del agua que ocasiona las inundaciones suelen ser las precipitaciones intensas, la fusión del hielo, la ruptura de una presa u otros accidentes como un deslizamiento de ladera, intrusiones de agua marina en zonas costeras o el ascenso del nivel freático.

1.3. Conceptos básicos sobre dinámica fluvial

Los ríos son el agente geomorfológico más importante de los ciclos geológico e hidrológico. La humanidad ha ido ocupando las llanuras aluviales de los ríos a lo largo del tiempo debido a los recursos y los servicios esenciales que aportan, dando lugar a que aumente la presión urbanística sobre ellos.

La dinámica fluvial de los ríos tiene una gran influencia en el relieve y el paisaje, por eso, si la alteramos, alteramos a su vez otros procesos. Las inundaciones son un fenómeno natural que forma parte de la dinámica fluvial de los ríos, por eso su gestión es muy importante.

Según Ollero (2007), la dinámica fluvial es un conjunto de procesos complejos activos y transformaciones de los sistemas fluviales tanto en su componente espacial como en su evolución temporal.

Algunos conceptos importantes que debemos conocer sobre dinámica fluvial son los siguientes:

Un sistema fluvial es un complejo mecanismo hidrológico, geomorfológico y ecológico de movilización o conducción superficial de las aguas continentales, acompañadas de los materiales que transportan (sedimentos, solutos, contaminantes, nutrientes, seres vivos) en la dirección de la pendiente hasta que son vertidas en los océanos. Ollero (2007).

Dentro de un sistema fluvial se dan tres procesos, la erosión, el transporte y la sedimentación:

La erosión es el desgaste que se produce en la superficie de rocas, suelos o materiales en general por la acción de agentes externos (en el caso de los ríos es el agua) o por la fricción continua de otros cuerpos.

El transporte es el arrastre de materiales erosionados de un lugar a otro para ser sedimentados. El material transportado pueden ser partículas sólidas, arrastradas en suspensión o en el fondo del cauce y/o estar disuelto en agua.

La sedimentación consiste en el depósito de materiales erosionados y transportados debido a la disminución de la capacidad de transporte de la corriente. La gravedad es la fuerza responsable de la sedimentación.

Estos tres procesos naturales forman parte de la dinámica fluvial y tienen un papel importante en el equilibrio de los ecosistemas, ya que modelan el relieve y aportan sedimentos y nutrientes al litoral.

En los sistemas fluviales se define *una cuenca hidrográfica como el área natural en la que el agua procedente de la precipitación forma un curso principal de agua. La cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Ramakrishna (1997).*

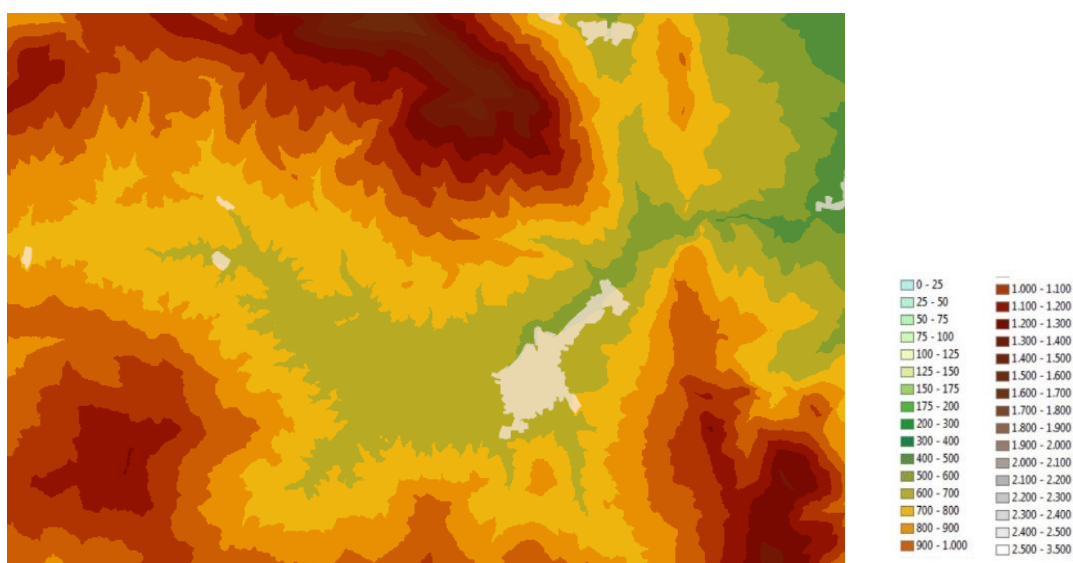


Figura 1.2- Imagen obtenida del Mapa que de Elevaciones del Terreno de Andalucía que representa la cuenca del río Eliche a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución espacial de 2x2m (tamaño de píxel) generado en el marco del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea y LiDAR (PNOA LiDAR) de 2014-15.

Las cuencas hidrográficas (Fig. 1.2) recogen el agua de escorrentía procedente de las precipitaciones. Según Gaspari et al. (2007), *la escorrentía es la cantidad de agua de lluvia que drena sobre la superficie del suelo. Cuando se produce, fluye a los cauces incrementando su volumen; a medida que llega agua de las partes más lejanas comienza suavemente a decrecer el caudal al poco tiempo de terminada la lluvia.*

El caudal de un río es la cantidad de agua que circula a través de una sección del mismo por unidad de tiempo. Se suele expresar en m^3/s . El caudal puede representarse en hidrogramas.

Según Sánchez (2017), *un hidrograma es la representación gráfica del volumen de agua que ha pasado por el punto de aforo de un río en un intervalo de tiempo considerado.*

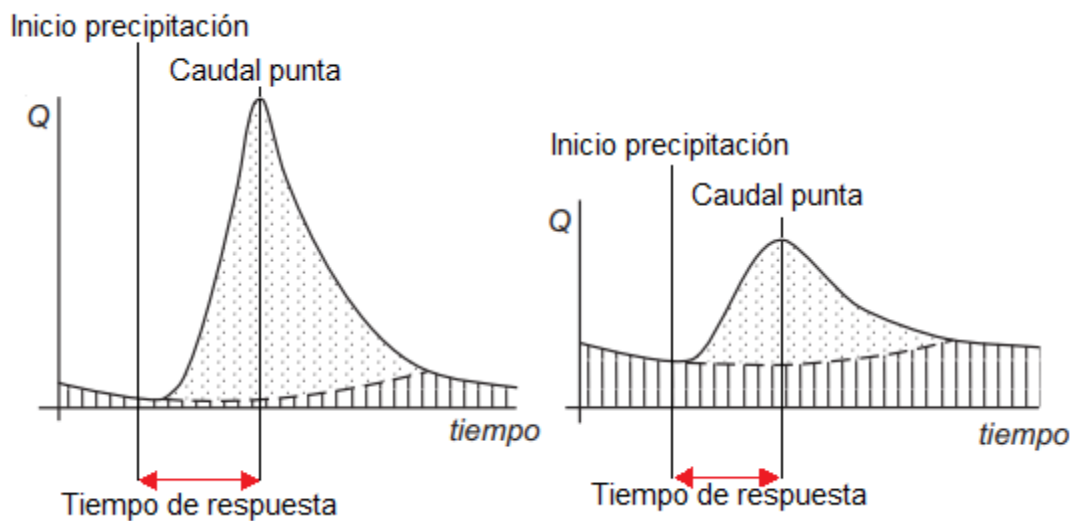


Figura 1.3- Ejemplos de hidrograma donde se representa el tiempo en el eje de abscisas y el caudal en el eje de ordenadas. Se ha señalado el momento en el que comienzan las precipitaciones y el momento en el que se alcanza el pico máximo de caudal, obteniendo el tiempo de respuesta. Sánchez (2017).

Ambos hidrogramas (Fig. 1.3) representan dos cuencas iguales, que reciben las mismas precipitaciones. Sin embargo, en el hidrograma de la izquierda la escorrentía directa supone el 81%, y en el de la derecha el 39 %. Esto es consecuencia de la

diferencia de permeabilidad, la cual depende de la geología de la cuenca, o bien de alteraciones de origen antrópico como la deforestación y la pavimentación.

Otros conceptos importantes que se utilizan en este estudio son los conceptos de encauzamiento, periodo de retorno, tiempo de respuesta, corta de meandro y zona de policía:

Un encauzamiento consiste en intervenir el cauce de un tramo de un río mediante una obra con el objetivo de evitar inundaciones, proteger los márgenes del río y mantener un cauce estable.

El periodo de retorno de cualquier evento extremo (lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, etc.), se define como el lapso o número de años que, en promedio, se cree que será igualado o excedido, es decir, es la frecuencia con la que se presenta un evento. Mélice y Reason (2007).

Se conoce como tiempo de respuesta (Fig. 1.3) al tiempo que transcurre desde el momento de máxima precipitación hasta el momento que se alcanza el pico máximo de caudal en un punto concreto.

Una corta de meandro es la unión natural entre las dos partes más cercanas de la herradura que forma un meandro, lo que da lugar a un nuevo sector del canal, y a la conversión de parte del canal en un meandro abandonado.

Diagrama que ilustra las zonas de policía y servidumbre en un río, con el logo de **chcantábrico** en la esquina superior derecha.

El diagrama muestra un río con las siguientes zonas y mediciones:

- zona de policía:** 100 m (medida desde el margen del río).
- zona de servidumbre:** 5 m (medida desde el margen del río).
- ribera:** Zona verde que se extiende desde el margen del río hasta el inicio de la zona de policía.
- zona inundable:** Zona azul que se extiende desde el nivel de máxima crecida ordinaria hasta el nivel de aguas bajas.
- nivel de máxima crecida ordinaria:** Línea horizontal que indica el nivel del agua en condiciones normales.
- nivel de aguas bajas:** Línea horizontal que indica el nivel del agua en condiciones de baja crecida.
- DOMINIO PRIVADO:** Zona que incluye el margen del río y la zona de policía.
- DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO:** Zona que incluye la zona de servidumbre y la zona inundable.

El arrastre de partículas sólidas en suspensión o en el fondo del cauce puede producir daños a personas e infraestructuras por impacto, y aumentan la densidad y la viscosidad de la corriente, incrementando la capacidad de erosión y el arrastre de materiales, dando lugar a un efecto de retroalimentación. Si la cantidad de partículas sólidas es muy alta, la corriente se puede convertir en un río de fango (mud flow). El arrastre de otros elementos como vegetación, puede dificultar el flujo provocando la saturación y la rotura de elementos como puentes, sistemas de alcantarillado y otras

infraestructuras. Cuando disminuye la velocidad de la corriente las partículas sólidas se depositan.

Además, las inundaciones pueden producir la difusión y la dispersión de contaminantes en la corriente en caso de afectar instalaciones donde se almacenan sustancias tóxicas como vertederos, industrias químicas y centrales térmicas o nucleares.

La fuerza de la corriente puede generar el socavamiento de infraestructuras e inestabilidad de laderas, desencadenando desprendimientos, deslizamientos o grandes flujos de material, que pueden afectar a personas e infraestructuras.

1.5. Factores que condicionan los daños por inundación

La gravedad de los daños causados por una inundación está condicionada por distintos factores:

El tipo de uso del suelo en la cuenca de drenaje determinará en gran medida la gravedad de la inundación, en el caso del área objeto de éste estudio se trata de un uso agrícola y urbano.

En cuencas de drenaje con escasa cubierta vegetal y con áreas urbanizadas, los desbordamientos que generan inundaciones suelen aumentar de frecuencia y de magnitud.

También se puede producir un aumento de la escorrentía sin que sea necesario un aumento de la precipitación, en el caso de que la intensidad de la precipitación sea mayor a la capacidad de infiltración (Fig. 1.3). Como en las zonas urbanas gran parte de las superficies son impermeables por estar asfaltadas, la capacidad de infiltración es muy pequeña y está limitada al alcantarillado, provocando ese aumento en la escorrentía.

La magnitud y la frecuencia de inundación. Cuanto mayor sea la magnitud, mayores serán los daños a bienes materiales y a personas, y cuanto mayor sea la frecuencia más a menudo se producirán las inundaciones, pero hay que tener en cuenta que si

hablamos de probabilidad nos referimos a que una inundación de 25 años de promedio, ocurrirá una vez cada 25 años, pero la realidad es que puede darse dos años consecutivamente.

La velocidad de la corriente y la duración de la inundación son factores que influyen directamente en el grado de erosión y sedimentación, determinando la intensidad de la inundación.

La carga de sedimentos es otro factor que afecta a los daños por inundación, de manera que dependiendo del tipo y la cantidad de sedimentos que transporte la corriente, los daños a personas y estructuras urbanas serán más o menos importantes. A su vez, la carga de sedimentos depende de la disponibilidad de los mismos, la cual está directamente relacionada con los usos del suelo. En nuestro caso, en la provincia de Jaén, el modo de gestión del olivar favorece la erosión de suelos, generando una gran disponibilidad de sedimento.

Otro factor que agrava los daños por inundación está relacionado con la densidad de población. Cuanto mayor sea la densidad poblacional, mayor es la exposición social, lo que aumentará el riesgo para la población.

El conocimiento público es otro factor importante, cuanto mejor informada esté la población, los protocolos de evacuación y de mitigación podrán ser más efectivos incluso si el tiempo de respuesta (tiempo que transcurre desde el pico máximo de precipitación, hasta el comienzo de la inundación) es corto.

Por último, la efectividad de la previsión, la velocidad de alerta y el mantenimiento de las estructuras que disminuyen los peligros de inundación, serán fundamentales para reducir al máximo los daños que puedan provocar las inundaciones.

1.6. Predicción de inundaciones

La predicción de avenidas es la estimación, el desarrollo, tiempo y duración de una avenida, especialmente del caudal máximo, en un punto específico del cauce, ocasionada por fuertes precipitaciones y/o deshielo. Escuder Bueno et al. (2012).

La predicción de inundaciones comprende dos fases: La predicción meteorológica, que consiste en predecir el estado atmosférico a corto plazo mediante el uso de tecnologías en un lugar determinado, y la pre-caracterización de avenidas, que consiste en utilizar modelos hidrológicos para predecir las inundaciones que resultarían de las condiciones meteorológicas futuras. Para poder obtener predicciones precisas se deben combinar las dos fases mediante la cooperación entre las entidades responsables. Escuder Bueno et al. (2012).

1.6.1. Predicción meteorológica

La predicción meteorológica proporciona la información fundamental para elaborar los modelos de pre-caracterización de avenidas que tienen como objetivo predecir las inundaciones antes de que tengan lugar.

Los métodos para la predicción meteorológica se basan en el uso de promedios estadísticos de las variables atmosféricas y métodos numéricos complejos mediante programas informáticos.

1.6.2. Pre-caracterización de avenidas

Según Escuder Bueno et al. (2012), la pre-caracterización de avenidas consiste en la estimación del instante de inicio y la duración de una avenida en un punto determinado y del hidrograma de la avenida, a partir de los datos obtenidos mediante la predicción meteorológica. Este método suele utilizar modelos hidráulicos e hidrológicos para definir las características de la inundación en cada punto, comprobando y prediciendo el estado y el caudal de ríos y arroyos continuamente, facilitando la predicción de avenidas en cualquier momento.

Según Moreno-Santaengracia (2000) los modelos de pre-caracterización requieren los siguientes datos:

- **Datos físicos:** Características de la cuenca, relieve, cauces, medidas estructurales y áreas urbanas.
- **Medidas meteorológicas:** Información procedente de la red de estaciones meteorológicas en tiempo real.
- **Datos de predicción meteorológica:** Información procedente de pronósticos meteorológicos para la predicción de avenidas.

- **Datos de las estaciones aforo:** Información obtenida de la red de aforos en cauces para predicción de avenidas. Ofrecen datos actualizados sobre el caudal, y al relacionarlo con el tiempo, permite obtener el hidrograma del río.
- **Procedimientos de gestión:** Consideración del efecto de las actividades y procedimientos de gestión de infraestructuras, como pueden ser embalses o presas, o la influencia de la actividad humana en las características de la cuenca hidrográfica.

Todos los datos anteriormente mencionados son fundamentales para la estimación de las características hidráulicas de la inundación para apoyar la gestión de medidas estructurales y no estructurales y la toma de decisiones.

1.7. Medidas para la corrección y mitigación de riesgos de inundación

Para minimizar los peligros de las inundaciones existen varios tipos de medidas, que se agrupan en dos tipos:

Las medidas estructurales, que consisten en la construcción de barreras físicas y obras de ingeniería, canalizaciones o la recuperación del canal de un río para asegurar un flujo adecuado. Su objetivo es controlar y manipular el sistema fluvial. Algunos ejemplos frecuentes en los ríos de España son los siguientes:

- **Dique de contención:** Es una barrera artificial que tiene como objetivo imposibilitar el avance del agua.
- **Trasvase:** Es una obra hidráulica que consiste en adicionar el agua de una cuenca a otra con diferentes objetivos, siendo el principal el abastecimiento de agua de la población.

- Presas de laminación y embalses: Su función es almacenar el caudal creciente que viene de aguas arriba. Cuando el nivel de agua en el embalse llega a su máximo, el caudal va saliendo a menor velocidad que a la que ha entrado. El resultado es la reducción de los caudales máximos que van a circular aguas abajo de la presa, como se puede observar en el hidrograma del ejemplo (Fig. 1.5).

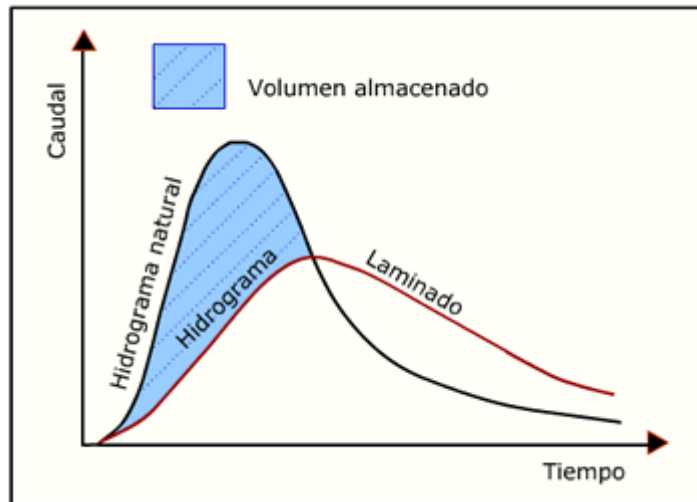


Figura 1.5-² Hidrograma que muestra el efecto de una presa de laminación en el caudal de un río en caso de crecida. La línea negra representa el caudal del flujo de agua circulando de forma natural, y en rojo el caudal del flujo laminado.

Las medidas no estructurales son aquellas que no suponen modificaciones físicas en el medio. Se basan en la regulación del uso del territorio. Su objetivo es reducir la vulnerabilidad de la población.

Las medidas no estructurales incluyen, entre otros aspectos:

- Un plan de ordenación que regule los usos del suelo.
- La regulación de la llanura de inundación mediante el uso de mapeos y zonificación, para aprovechar los beneficios que tienen las inundaciones, como por ejemplo para ciertos tipos de agricultura. La adquisición por parte

²http://www.cienciasfera.com/materiales/biologiageologia/cienciatierra/tema13/41_mtodos_de_prediccion_y_medidas_preventivas.html

del gobierno de dichas zonas y la recolocación de la población que viva en las llanuras de inundación.

- Otro tipo de medida no estructural es contar con un seguro de inundaciones para compartir responsabilidades.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Se ha seleccionado como área de estudio la zona del río Eliche a su paso por Los Villares (Jaén). El motivo por el cual elegimos esta zona como área de estudio, son las inundaciones que se han dado en el pasado y las que se dan en otros tramos del río, lo cual se puede considerar como un riesgo para la población, debido a los problemas que ocasiona en la localidad.

2.1. Inundaciones en el área de Los Villares. Antecedentes

En este apartado se presentan algunos ejemplos de la transcendencia de las inundaciones en el área de Los Villares a través de reseñas históricas y noticias de periódicos.

A continuación, se muestran algunos informes aportados por Victoriano Muñoz Rueda, cronista oficial del municipio de Los Villares, de su propio archivo, referentes a riadas fuertes ocurridas a finales del siglo XVIII y principios del XIX:

- Inundaciones de “Enero y febrero de 1792. - (A.H.M.LV. Caja 8. Leg.1377)”:

“Debido a las riadas en los meses de enero y febrero, el 29 de marzo de 1792, la Junta de Propios de Los Villares solicitaba al Intendente de Contaduría provincial, licencia para su reparación explicando justificando que era la salida a las tierras de labor de los ciudadanos de la villa. Con la solicitud fue adjuntado un informe realizado por don Diego Ramón Maroto, maestro de obras de la ciudad de Jaén y fiel del Jurado Alarifes, en el que se describían las obras a realizar”.

El informe indicaba:

“...Que el pontón llamado del Cantón, salida para la Guardia, en la vereda Real, se halla uno de sus machones uno de él arruinado y la ruina se compone de doce varas cúbicas que precisan hacer de fábrica nueva con sillares de bastante tizón de la cantera de la dicha villa formando buen asiento en la tosca sobre el que está otro machón, macizando buena con buena mezcla con la mitad de arena todo el vano que han hecho las aguas en él...Importa todo 1.780 reales de vellón”.

“...Que el pontón de la Priscaleda, paso para las tierras de esta villa de los propios que llaman del Quejigar y demás tierras de labor. En este pontón se halla una cortina que le sirven de margen, media parte arruinada y otros pedazos por arruinar. Se necesita una cortina y muro de 14 varas de largo y 4 de alto, con cuatro pies de recio y se debe hacer en su amasamiento con la misma condición de piedra y mezcla como el de anterior pontón y hecho el cálculo de las 56 varas...Su importe 2.624 reales”.

- Inundaciones de “Enero de 1821. (A.H.M.LB. Caja 10. Leg 1241)”:

“Derribo de los puentes y pontones de Eliche, Cantón y Nogueal.”

No se han encontrado archivos que mencionen inundaciones de finales del siglo XIX en Los Villares. A continuación, se muestran reseñas de noticias de periódicos sobre inundaciones ocurridas a finales del siglo XX y principios del XXI:

- Inundaciones del 15 y 16 de agosto de 1996. Antes de la modificación del cauce:

(...) Las tormentas que se registraron durante el verano de 1996 fueron tan desastrosas que las pérdidas se cifraron en unos 64 millones de euros. Sobre todo, por los destrozos en viviendas, enseres y vehículos de los vecinos de la zona. También fueron graves los daños que se registraron en el campo. Principalmente en las infraestructuras agrarias y en los cultivos. A partir de ahí, fueron muchas las promesas de las administraciones para acabar con las inundaciones (...) DiarioJaén 5 AGO 2018.

- 4 de septiembre de 2003.

Una tromba de agua causa un muerto en Jaén y graves daños en Málaga y Granada. La tormenta provocó el corte de varias carreteras, vías férreas, apagones y desalojos (...) La joven R.C.H, de 25 años de edad y natural de Jaén, murió cuando junto a otros cuatro familiares, se disponía a abandonar el chalé de la zona residencial del Puente de la Sierra, a pocos kilómetros de la capital, por miedo a que la tormenta inundase la casa (...) Periódico EL PAÍS / Jaén - 06 SEP 2003.

- 9 de mayo de 2008.

(...) En Los Villares, en la carretera A-6050, a la altura del kilómetro siete, ha habido un deslizamiento de tierra hacia la calzada a consecuencia de la tromba de agua, sin que se hayan registrado daños personales (...) Periódico EL PAÍS / Madrid - 09 MAY 2008.

Este es un claro ejemplo de riesgo secundario debido a las inundaciones, en el cual se pueden producir deslizamientos de tierra debido a la fuerza de la corriente que acaba produciendo daños a infraestructuras.

- 22 de mayo de 2008.
- 16 de julio de 2008.

(...) Las tormentas de la noche del martes también provocaron una veintena de incidencias en la provincia de Jaén, siendo el municipio de Los Villares el más afectado, con anegaciones y cortes de carretera. También en Mengíbar se alertó del posible desbordamiento del río Guadalbullón. Por su parte, el Ayuntamiento de Cabra del Santo Cristo ha acordado en pleno exigir la declaración como zona catastrófica por los daños registrados en el olivar tras la tormenta del pasado domingo (...) Periódico EL PAÍS / Jaén - 17 JUL 2008.

(...) Las carreteras JV-2222, JA-3200, JA-3209, JA-3301 y la JA-3300 en Los Villares, así como las N-323 en el kilómetro 27 y la A-44 en el kilómetro 36 sentido

Motril, se han visto afectadas por balsas de agua o inundadas por piedras (...)
Periódico 20 MINUTOS – 16.07.2008

- 23 de febrero de 2010.
- 19 de enero de 2013.

Se trata de unas inundaciones que tuvieron lugar de manera generalizada en toda la provincia de Jaén y que provocaron inundaciones en distintos puntos, que supuso el rescate de 6 familias.

2.2. Contexto geológico

2.2.1. Localización geográfica



Figura 2.6- Ortofotografía de máxima actualidad del área objeto de estudio del comparador WMS Ortofotos de la Junta de Andalucía.

El área de estudio (Fig. 2.6) se localiza geográficamente en la provincia de Jaén, en el valle delimitado por la Sierra de Jabalcuz al norte y por la Sierra de la Pandera al sur.

2.2.2. Geología

En este apartado se explican las características litológicas y estructurales y la división del área objeto de este estudio para conocer su contexto geológico.

Se ubica geológicamente en el sector septentrional de las Cordilleras Béticas, en el límite entre las Zonas Externas con la Depresión del Guadalquivir.

Las Zonas Externas están compuestas por sedimentos de edades comprendidas entre el Triásico y el Terciario, y se dividen en dos grandes zonas: El Prebético, donde predominan los sedimentos marinos someros y continentales, y el Subbético, principalmente representado por rocas sedimentarias pelágicas de edad Jurásico y Cretácico.

El Dominio Intermedio corresponde al área que se ubica entre la Zona Subbética y la Zona Prebética. El afloramiento más representativo de este dominio en Andalucía está localizado al sur de Jaén, en la zona objeto de este estudio (Fig. 2.7).

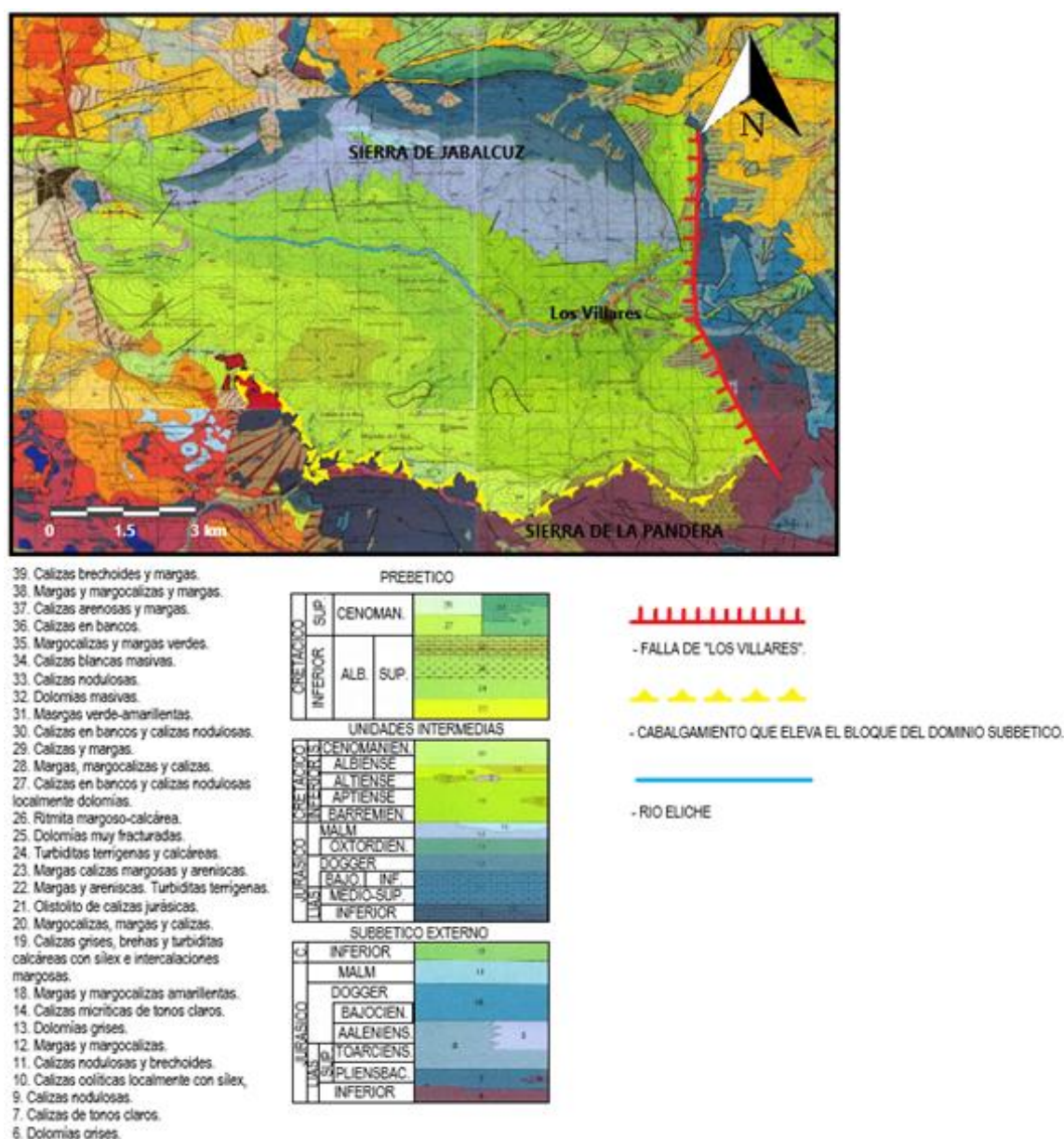


Figura 2.7- Mapa geológico del área de estudio. Modificado de las hojas 946, 947, 968 y 969 del mapa geológico de España del IGME. Escala 1:50000

2.2.3. Estratigrafía

Para describir la estratigrafía de la zona de estudio, se han utilizado como base de información las hojas 946, 947, 968 y 969 del mapa geológico del Instituto Geológico y Minero de España, a escala 1:50000.

En la zona de estudio, el Jurásico está representado principalmente por calizas en el Subbético Externo Septentrional, calizas y dolomías en la Sierra de la Pandera

pertenecientes al Dominio Subbético, y en el monte de Jabalcuz, donde aflora el Jurásico Superior en forma de calizas grises, brechas y turbiditas calcáreas con sílex e intercalaciones margosas.

El Cretácico está representado por margas, areniscas y turbiditas terrígenas en el Dominio Intermedio y por margas, margocalizas y areniscas en el Subbético Externo septentrional.

Al este de la zona de estudio, separados por una importante falla de dirección N-S (la “falla de Los Villares”), afloran los materiales del Subbético Externo. En esta unidad predominan las dolomías grises, las calizas de tonos claros, ritmita calcárea margosa y calizas nodulosas y oolíticas localmente con sílex, todos materiales pertenecientes al Jurásico, y sobre estos se encuentran margas y margocalizas del Cretácico inferior.

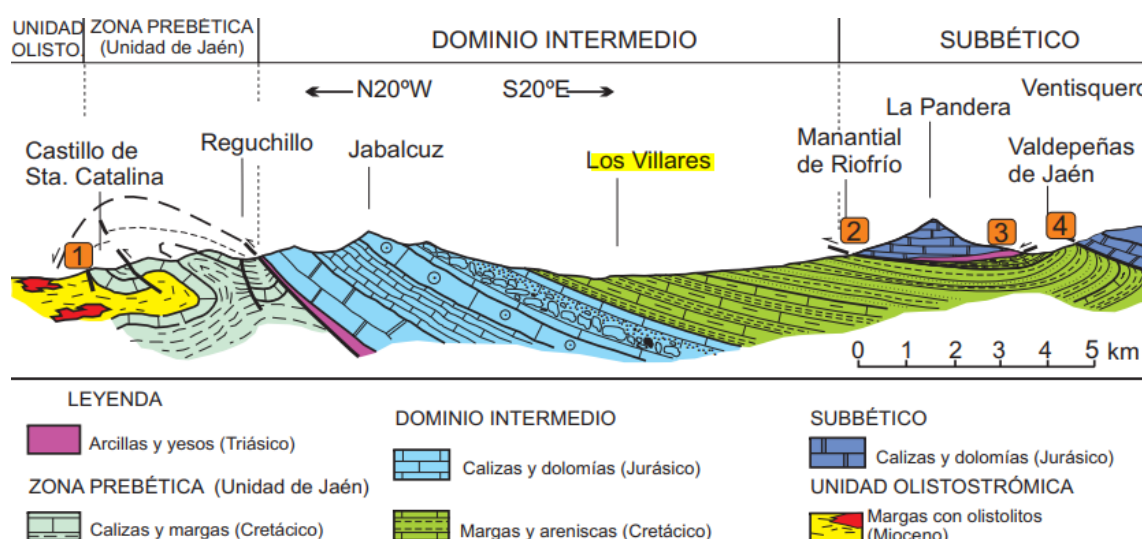


Figura 2.8- Corte geológico de las Zonas Externas de la Cordillera Bética en la transversal Jaén-Valdepeñas de Jaén. Abad et al. (2014).

2.2.4. Tectónica

En este apartado se describe la tectónica general de la zona de estudio. Se reconocen tres unidades tectónicas cabalgantes entre sí (Fig. 2.8). En el frente, la unidad del Prebético de Jaén, con una estructura de un pliegue tumbado y fallado, es cabalgada por la unidad Intermedia del Jabalcuz, una serie homoclinal buzante hacia el sur, que a su vez es cabalgada por la unidad del Subbético de la Pandera.

En el área de Los Villares, se diferencian dos grandes bloques, separados por una falla normal situada al este de Los Villares, que atraviesa de N a S toda el área de estudio (Fig. 2.7).

El bloque situado al oeste de la falla lo componen materiales margosos pertenecientes al Dominio Intermedio, y el bloque situado al este de la falla lo componen materiales carbonatados del Dominio Subbético.

Existen algunas fallas de salto de dirección al norte de Los Villares, destaca una de dirección Norte-Sur en la zona de Jabalcuz.

Los elementos tectónicos mencionados son los responsables del relieve característico de la zona, en forma de valle desde el este de la localidad de Martos hasta su final al oeste de Los Villares, donde el valle abierto y profundo da paso a un estrecho cañón (“Los cañones de Los Villares”).

2.2.5. Geomorfología

La cuenca hidrográfica del río Eliche (Fig. 2.9) cuenta con un perfil topográfico cóncavo y suave y un área aproximada de 900 km². Se trata de una cuenca compacta, elongada en dirección Oeste-Este y con un relieve pronunciado basándonos en:

- **Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc):** Cociente entre el perímetro de la cuenca respecto al perímetro de un círculo de la misma área. Si $Kc=1$ la cuenca tendrá forma circular. Díaz Delgado et al. (1999).
- **Radio de elongación de Schumm (Re):** Relación entre el diámetro de un círculo con la misma área de la cuenca y la longitud de la cuenca. Cuánto más se acerque el valor de elongación a la unidad, más plana y circular será la cuenca, y si el valor se encuentra entre 0.5 y 0.8 se asociará a relieves y pendientes fuertes. Díaz Delgado et al. (1999).
- **Relación de circularidad (Rci):** Coeficiente entre el área de la cuenca y el área del círculo cuya circunferencia equivale al perímetro de la cuenca. Si $Rci=1$ la

cuenca es circular, si la cuenca es cuadrada $Rci=0.785$ Díaz Delgado et al. (1999).

Tabla 2.1.- Parámetros para estimar la forma de la cuenca de los ríos Eliche y Jaén. Sánchez Arroyo y Sánchez Martínez (2012).

Coeficiente de compacidad			Radio de elongación			Radio de circularidad		
Cuenca	Eliche	Jaén	Cuenca	Eliche	Jaén	Cuenca	Eliche	Jaén
1,57	1,55	0,69	0,51	0,62	0,87	0,39	0,40	2,04

Según Sánchez Arroyo y Sánchez Martínez (2012), la cuenca presenta una pendiente media del 40.61 %.

2.2.6. Dinámica fluvial

El río Eliche tiene un trazado generalmente meandriforme, pero presenta tramos de carácter trenzado, ya que a veces el canal principal se entrelaza debido a la presencia de notables barras de sedimentos. Estas grandes barras aparecen debido a la gran cantidad de sedimentos que se depositan cuando la energía de flujo del río disminuye después de que se produzcan episodios fuertes de descarga sobre el río.

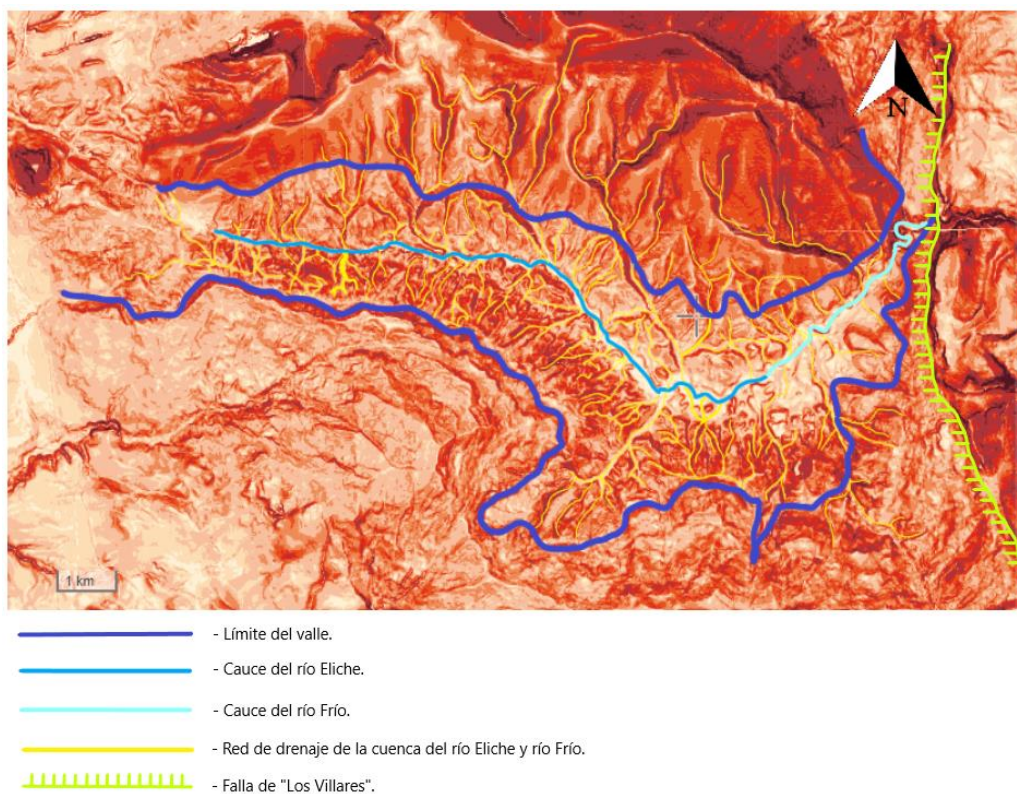


Figura 2.9.- Mapa de pendientes 2014-2015 del valle del río Eliche del comparador WMS Ortofotos de la Junta de Andalucía.

2.2.7. Clima

El clima de nuestra área de estudio se caracteriza como un Csa (Clima Mediterráneo típico) según la clasificación climática de Köppen-Geiger. Se trata de un clima cálido-templado con lluvias estacionales (Tabla 2.2).

Tabla 2.2.- Histórico del clima medio de Los Villares registrado desde 1999 hasta 2019. Ver referencia de Climate-data.org.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	7.6	9.2	11.6	14.2	17.5	23.1	27.2	26.6	22.7	16.9	11.7	8.3
Temperatura mín. (°C)	3.8	4.8	6.7	8.6	11.5	16.1	19.7	19.6	16.5	11.8	7.4	4.5
Temperatura máx. (°C)	11.4	13.6	16.6	19.8	23.6	30.1	34.7	33.7	29	22.1	16.1	12.1
Temperatura media (°F)	45.7	48.6	52.9	57.6	63.5	73.6	81.0	79.9	72.9	62.4	53.1	46.9
Temperatura mín. (°F)	38.8	40.6	44.1	47.5	52.7	61.0	67.5	67.3	61.7	53.2	45.3	40.1
Temperatura máx. (°F)	52.5	56.5	61.9	67.6	74.5	86.2	94.5	92.7	84.2	71.8	61.0	53.8
Precipitación (mm)	66	69	83	62	44	14	5	5	24	51	59	69

2.2.8. Vegetación

La vegetación predominante en la cuenca del río Eliche es el cultivo de olivar. La mala práctica del cultivo de olivar es una de las causas que agravan el efecto de las inundaciones en la zona de estudio.

Según Sánchez Arroyo (2012), en la primera parte del cauce del río Eliche encontramos *Fraxinus angustifolia* y *Celtis australis*, y en la apertura posterior del río encontramos *Populus nigra*, *Populus alba*, *Tamarix sp*, *Arundo donax*, *Rosa sp*, *Rubus ulmifolius*, *Bupleurum fruticosum*, *Bupleurum gibraltareum*, *Clematis vitalba* y *Nerium oleander* acompañándolas. Por otra parte, predominan los bosques mixtos de coníferas y frondosas en la ladera hidrográfica derecha, al sur del cauce, con algunas especies como el *Pinus halepensis*, *Celtis australis*, *Quercus ilex* y *Quercus faginea* entre otras, mientras que en la ladera opuesta se pueden encontrar varias especies de los géneros *Orphys*, *Orchis*, *Aceras*, *Barlia* y *Anacamptis*.

2.2.9. Actuaciones antrópicas

2.2.9.1. Usos del suelo

El cultivo del olivar es la actividad principal de la zona de estudio, incluidas las terrazas de inundación del río Eliche. Dicha actividad va acompañada de la falta de cubierta vegetal que favorece la erosión del suelo y el arrastre de materiales que va a parar al río, y potenciado por las altas pendientes y, especialmente, coincidiendo con los episodios de lluvias fuertes.

En la figura 2.10, se puede observar la zona de estudio rodeada por completo por el cultivo de olivar y se distingue la falta de cubierta vegetal diferente de los propios olivos.

Además, en las zonas más cercanas al cauce se han ido construyendo edificaciones como cortijos, chalets y unos bloques de apartamentos sin planificación urbanística. Sánchez Arroyo y Sánchez Martínez (2012).

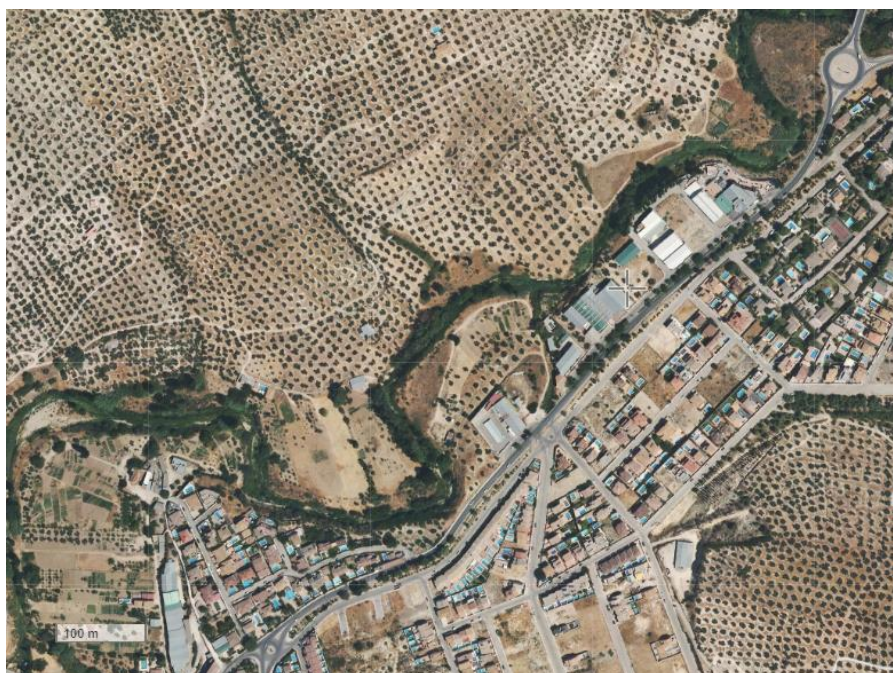


Figura 2.10.- Ortofotografía de máxima actualidad del comparador WMS de la Junta de Andalucía.

Se han cartografiado dos terrazas fluviales asociadas al río Eliche en el área de Los Villares, que se corresponden con las unidades cartográficas 56 y 58 de la hoja 947 del mapa geológico de España (Fig. 2.11).

Según Lupiani Moreno et al. (1991), la terraza fluvial I, la más antigua, se sitúa a unos 20-25 metros sobre el lecho actual del río Eliche, mientras que la terraza baja lo hace a 10-15 metros.

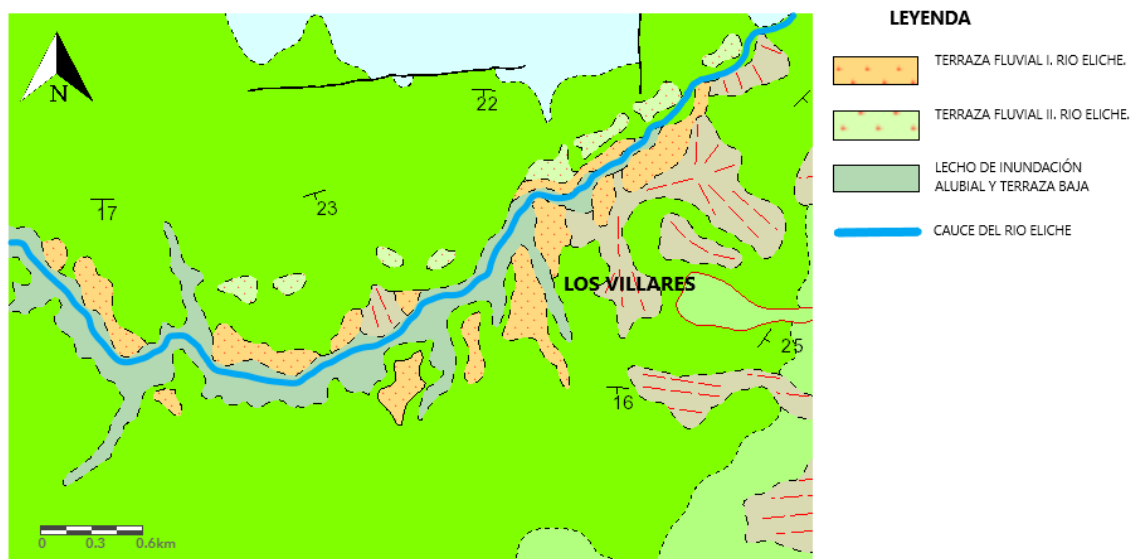


Figura 2.11.- Mapa geológico del área de estudio. Hoja 947 del mapa geológico de España del IGME. Escala 1:50000.

2.2.9.2. Canalización del cauce a su paso por Los Villares

Las obras de encauzamiento se realizaron como consecuencia del episodio de inundaciones que vivió el pueblo de Los Villares en agosto de 1996. En la figura 2.12 se pueden diferenciar las paredes del encauzamiento a diferencia de la ortofotografía anterior más reciente. También se pueden observar las nuevas construcciones realizadas al lado del cauce, que además se corresponde con una de las zonas inundadas en 1996.



Figura 2.12. -1984-85-Ortofotografía BN.1m. (izquierda); 1997-98-Ortofotografía BN.SIG Oleícola.1m. (derecha).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

El objetivo principal de este trabajo es conseguir entender la problemática de las inundaciones que se producen en el río Eliche a su paso por Los Villares y discutir posibles medidas de mitigación, y para ello buscaremos entender todo el contexto que condiciona a la cuenca y al cauce del río.

3.2. Objetivos específicos

- Definir el área de influencia (cuenca de drenaje) de la dinámica fluvial del río Eliche en el sector de Los Villares.
- Conocer el contexto geológico y las actividades de origen antropogénico que tienen lugar en el área de estudio.
- Conocer la dinámica fluvial y su evolución a partir de datos geológicos y registros históricos.
- Analizar los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación que ya existen del área de estudio.
- Conocer las posibles causas y las consecuencias de las inundaciones, para desarrollar una estrategia que ayude a mejorar o solucionar los principales problemas que ocasionan dichas inundaciones.

4. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en este trabajo comprende en distintas acciones:

1. En primer lugar, la selección del área de estudio y el análisis de su contexto, desde la geología de la cuenca hasta su clima y la influencia antropogénica en el área.
2. Posteriormente se recurrió al análisis de ortofotografías de distintos años, pero de la misma zona, para obtener información sobre la influencia de la actividad antrópica en la dinámica del río. Dichas ortofotos se obtuvieron a partir del comparador WMS

de ortofotos de la Junta de Andalucía³, el cual permite comparar ortofotos y ortoimágenes de diferentes fechas para valorar los cambios que se han producido en un territorio. Todas las ortofotos muestran distintos tramos del río Eliche a su paso por Los Villares.

3. Se recogieron datos de crecidas e inundaciones históricas en los que basarnos para poder realizar una evaluación del riesgo de inundación. Se solicitaron datos sobre registros de inundaciones a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, pero no se recibió respuesta. También se solicitaron al Ayto. de Los Villares, que facilitó el contacto de Victoriano Muñoz, cronista oficial de Los Villares, quien mandó algunos registros de inundaciones históricas de su archivo. Los artículos periodísticos fueron obtenidos de la versión digital de los periódicos “El País”, “DiarioJaén” y “20minutos”.

4. También se analizan los resultados de un estudio previo de elaboración de cartografía de dominio público hidráulico y mapas de peligrosidad y riesgo según la directiva 2007/60 en el marco del sistema nacional de cartografía de zonas inundables en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir, la demarcación hidrográfica de Ceuta y la demarcación hidrográfica de Melilla.

4.1. Fuentes de información

El Comparador WMS Ortofotos es un visualizador que permite comparar ortofotografías realizadas desde 1956 y ortoimágenes realizadas desde 1975 y que se encuentran disponibles en el Catálogo de Información Ambiental de Andalucía.

El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) es un proyecto del Consejo Superior Geográfico coordinado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), cuya finalidad es recopilar mediante ortofotografías aéreas actualizadas la superficie de España. Las ortofotografías se obtienen mediante la ortorrectificación (corrección digital) de un conjunto de imágenes aéreas tomadas desde un avión o un satélite.

Un Mapa de Peligrosidad y Riesgo de Inundación (MAPRI) es una representación gráfica que refleja la extensión de una previsible inundación y los daños potenciales

³ <https://laboratoriolediam.cica.es/comparaWMS/index.html>

que puede ocasionar. Se suelen realizar en Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI).

4.2. Evaluación del riesgo de inundación

Para evaluar el riesgo de inundación de la zona de estudio nos hemos basado en los antecedentes y en datos históricos de crecidas e inundaciones.

Se han utilizado a los mapas de riesgos de inundación siguiendo la directiva 2007/60 en el marco del sistema nacional de cartografía de zonas inundables en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.

En concreto, hemos analizado los mapas de riesgo de población, de riesgo de actividad económica y de peligrosidad para periodos de retorno de 100 y de 500 años.

5. RESULTADOS

5.1. Fotografías históricas

A continuación, se presentan en este apartado una serie de ortofotografías de distintos años, pero de las mismas zonas, para obtener información sobre los cambios en la dinámica del río y sus alrededores.



Figura 5.13.- 1984-85-Ortofotografía BN. 1m



Figura 5.14.- Ortofotografía de máxima actualidad color.

En las figuras 5.13 y 5.14 observamos la evolución de un socavamiento señalada con una circunferencia roja, y la construcción de nuevas viviendas unifamiliares cerca del cauce. El socavamiento acaba dando lugar a un ensanchamiento del cauce. Las circunferencias amarillas señalan la construcción de nuevas viviendas unifamiliares cerca del cauce.



Figura 5.15.- 1984-85-Ortofotografía BN. 1m



Figura 5.16.- Ortofotografía de máxima actualidad a color

En las figuras 5.15 y 5.16 se puede observar la aparición de dos cortas de meandro consecutivas. Los tramos en amarillo muestran los meandros que formaban parte del cauce original. En la figura 5.16 aparecen nuevas construcciones marcadas con circunferencias rojas.



Figura 5.17.- 1984-85-Ortofotografía BN. 1m



Figura 5.18.- Ortofotografía de máxima actualidad color.

En la figura 5.18 se puede observar una importante expansión urbana hacia la cuneca del río y las obras de su encauzamiento con respecto a la figura 5.17.



Figura 5.19.- 1984-85-Ortofotografía BN. 1m



Figura 5.20.- Ortofotografía de máxima actualidad color

En las figuras 5.19 y 5.20 se puede apreciar el ensanchamiento del cauce y la expansión urbanística del municipio de Los Villares, especialmente la construcción de viviendas unifamiliares y carreteras.

5.2. Datos de crecidas e inundaciones históricas

Los datos de la tabla 5.3 corresponden a los caudales medios del río Jaén y el río Eliche, y los caudales estimados en la cuenca del río Eliche en caso de avenida para distintos periodos de retorno, es decir, los caudales que supuestamente deberían darse para que llegara a producirse una avenida.

Tabla 5.3.- Caudales medios y caudales estimados en caso de avenida (Moral Moral, 1993) y Proyecto de regulación de avenidas aguas arriba de la zona del Puente de la Sierra, cauce del río Eliche y Frío, TT. MM. Jaén y Los Villares (Jaén).

Caudales medios (m^3/s)				
Río Jaén	40,67	Río Eliche	34,81	
Caudales estimados en la cuenca del río Eliche en caso de avenida				
Período de retorno (años)	Duración de la lluvia (horas)	Precipitación (mm)	Caudal de avenida (m^3/s)	Volumen de la avenida (hm^3)
500	72	195,62	232,70	17,13
1.000	72	209,65	250,47	18,47
5.000	72	242,87	291,16	21,58
10.000	72	297,87	361,30	26,96

Se observa que los caudales estimados en caso de avenida (Tabla 5.3) son superiores a $200 m^3/s$, y las precipitaciones superiores a 195 mm, sin embargo, las inundaciones que se han registrado en el pasado no se acercaron a esos niveles de caudal, y las precipitaciones fueron inferiores a $90 l/m^2$.

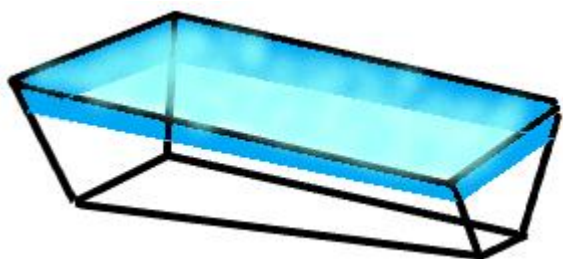
5.3. Análisis de la dinámica geomorfológica e hidrológica de la cuenca del río Eliche

La geomorfología de la cuenca de estudio y del cauce del río influye de una manera determinante en su dinámica fluvial, por lo tanto, también en los episodios de inundaciones.

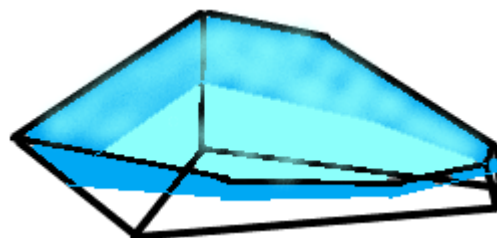
Al tratarse de una cuenca compacta como ya nos ha indicado el coeficiente de compacidad de Gravelius (Tabla 2.1), y con un relieve con pendientes elevadas, el flujo de agua es muy energético y rápido.

En la zona de “Los Cañones” el río sufre un estrechamiento que actúa como embudo, lo cual hace que disminuya el tiempo de respuesta en caso de precipitaciones fuertes, formándose un represamiento en el tramo anterior al estrechamiento (Fig. 5.21).

Según Sanchez Arroyo y Sánchez Martínez (2012) ... *En realidad, la onda de crecida que circula por el río no se amortigua y lamina por la fricción del fondo y los márgenes, sino que, por la forma compacta de la cuenca y los estrechamientos que hemos descrito, se forma una bolsa de almacenamiento en forma de prisma cuyo desbordamiento resulta extraordinariamente intenso.*



Onda de crecida en una cuenca normal



Onda de crecida en la cuenca del río Eliche

Figura 5.21.- Croquis de la forma de la cuenca del río Eliche. Modificado de Sánchez Arroyo (2012).

Esto podría explicar que se produzcan desbordamientos a pesar de que los caudales y las precipitaciones que se dieron en los episodios estudiados no superasen los estimados para el de avenida.

5.4. Datos de precipitaciones

El origen de las inundaciones coincide con episodios de lluvias estacionales en las que la mayor parte de la precipitación media anual se produce en el mes de marzo y en los meses de invierno (tabla 2.2).

Se han analizado los episodios de precipitación más importantes, es decir, aquellos que afectaron a bienes o infraestructuras:

- Inundación del 16/08/1996:

Según los datos manejados por la AEMET, el 15 de agosto cayeron 75 mm en Los Villares. La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir midió dos picos de caudal en

el aforo del río Jaén a su paso por el puente Jontoya; uno de 150 m³/s el día 15 otro de 205 m³/s el día 16. Sánchez Arroyo y Sánchez Martínez (2012).

- Inundación del 04/09/2003:

Tabla 5.4.- Promedio de precipitaciones registradas (en litros) en Los Villares por mes y día⁴

AÑO 2003																																
Mes / Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL
ENERO			12		15		11	13		14									10	30		7								6	118	
FEBRERO							26					12							30	2						31	29				130	
MARZO															5							3	8				33	26	8	17	100	
ABRIL											5		8	6					13	6		5				2					45	
MAYO						12																								4	16	
JUNIO																																
JULIO																																
AGOSTO																																
SEPTIEMBRE					35																								10		45	
OCTUBRE	4	5				4					7							7		5					19	9	20	22	3		38	143
NOVIEMBRE										4					42	8					11		3	5	7				14		94	
DICIEMBRE	3					12		10	17								6										5	4			57	
Litros totales																																748

En este evento las precipitaciones en la localidad de Los Villares fueron de 35 l/m², durante una tormenta intensa que duró 1 hora aproximadamente. Se trata de precipitaciones inferiores a las estimadas en caso de avenida (tabla 5.3), pero que daría lugar a una inundación súbita (flash flood), es decir, un aumento súbito del caudal del río. Se vieron afectadas las áreas de Los Villares, Puente de la Sierra, Jaén y Puente Jontoya.

- Inundación del 09/05/2008:

⁴ https://www.losvillares.com/wp-content/uploads/2018/01/resumenLluvias1997_2018.pdf

Tabla 5.5.- Promedio de precipitaciones registradas (en litros) en Los Villares por mes y día.

AÑO 2008

Mes / Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL
ENERO		25	31								11			7		7																81
FEBRERO				3															10				12					15				40
MARZO										4									4			12										20
ABRIL							7	18	81	8	5						23	12	37	9	2											202
MAYO								65	15	18						5			3				3		4			6		11	3	133
JUNIO							8	3																								11
JULIO														5	33																	38
AGOSTO																																0
SEPTIEMBRE																								10		2						12
OCTUBRE								14					5	4				8			6	11						10		2	36	96
NOVIEMBRE	17		6	7																								31	12	10		83
DICIEMBRE			8	3	2		10	7	8				28	8														2				76
Litros totales																															792	

En este evento la precipitación el día anterior fue de 65 l/m², y de 15 l/m² (Tabla 5.5), que representa valores de precipitación inferiores a las estimadas en caso de avenida (Tabla 5.3). Sin embargo, se ha observado que en el mes de abril se dieron otros picos de precipitaciones que no generaron inundaciones

- Inundación del 16/07/2008:

El día anterior cayeron 33 l/m² (tabla 5.5), a pesar de no haber llovido en los días anteriores del mes de julio, se produjeron inundaciones debido a ese episodio.

- Inundación del 23/02/2010:

Tabla 5.6.- Promedio de precipitaciones registradas (en litros) en Los Villares por mes y día.

AÑO 2010

Mes / Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL
ENERO			14	23	10	5	35			15	4	19	27	3											8							163
FEBRERO				26	4			24	6	15	4	19	6		11	16	23	18	3		17	36	45		25		6	8				312
MARZO		10	15			3	29	20			5	1								9	2			4				8			106	
ABRIL															5	16	2	7			3											33
MAYO									9	7	8	6	10	2													1	3				46
JUNIO								16	2			2	2	15	1													3				41
JULIO																																0
AGOSTO																	10		4													14
SEPTIEMBRE		5															7			6			5									23
OCTUBRE				6					40	7																			3	48	15	119
NOVIEMBRE							5	17					6			4			7	3		8	5		7	41		17	6			126
DICIEMBRE	12	5	2		26	19	6									7	26	10	9	15	13	9		1					13	32		205
Litros totales																															1188	

Se trata del mes de febrero con más precipitaciones desde que comenzó la toma de datos, en el que se registraron un total de 312 l/m². En este episodio se midieron 45 l/m² el día de la inundación, y 17 y 36 l/m² los dos días anteriores respectivamente, 98 l/m² en total. Se trata de una crecida de mayor duración. Ese día el río Eliche recogió 50 l/m² aproximadamente (Fig. 5.22).

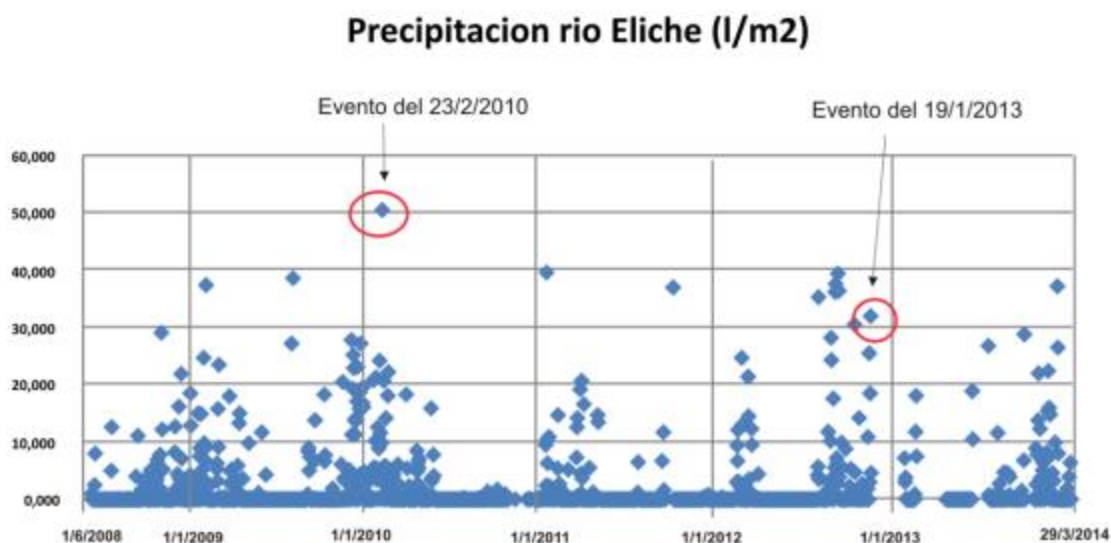


Figura 5.22- Precipitación en río Eliche (l/m²). Datos desde el 1/6/2008 hasta el 29/3/2014. López Trillo (2014).

- Inundación del 19/01/2013:

Tabla 5.7.- Promedio de precipitaciones registradas (en litros) en Los Villares por mes y día.

AÑO 2013

Mes / Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL
ENERO	3												10			20	3	13	46	19		13	17	3	7		6					160
FEBRERO		2						2		9	2						1	3	5		35	28	7					9				103
MARZO					13	12	20	13	20	17	21	29					27		56			3	7	6	3	7	11	1	7	1	38	312
ABRIL	15		16	3	5																					2	2		36	5	9	93
MAYO															11	9	6	21	3	4		3										57
JUNIO																																0
JULIO	6																															6
AGOSTO																												9	19			28
SEPTIEMBRE							4																				2	2	6	7		21
OCTUBRE																						12			3							15
NOVIEMBRE					2								5				4															11
DICIEMBRE													2					6	24						42	30	1		3			108
Litros totales																															914	

Durante este episodio se produjo el desbordamiento del río Eliche debido a las precipitaciones acumuladas durante ese día y los tres anteriores, que en conjunto registraron 82 l/m² en total.

En ninguno de los casos las precipitaciones superan a las estimadas en caso de avenida para un periodo de retorno de 500 años, sin embargo, los episodios de inundación coinciden con momentos de precipitación de corta duración, pero intensos.

5.5. Mapas de inundaciones

En este apartado se presentan los mapas de peligrosidad y riesgo del río Eliche recogidos de un estudio previo de elaboración de cartografía de dominio público hidráulico según la directiva 2007/60, en el marco del sistema nacional de cartografía de zonas inundables en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir, la demarcación hidrográfica de Ceuta y la demarcación hidrográfica de Melilla.



ES050_APSFR_AG049
Río Eliche

+ - - Límite municipal

Zona Inundable

■ T = 100 años

Población estimada en Zona Inundable
Villares, Los 9



ES050_APSFR_AG049
Río Eliche

+ - - Límite municipal

Zona Inundable

■ T = 500 años

Población estimada en Zona Inundable
Villares, Los 11

Figura 5.23.- Mapa de riesgo de población.
Escala 1:2500. T= 100 años. Confederación
Hidrográfica del Guadalquivir (2014)

Figura 5.24.- Mapa de riesgo de población.
Escala 1:2500. T= 500 años. Confederación
Hidrográfica del Guadalquivir (2014)



Figura 5.25.- Mapa de peligrosidad. Escala 1:2500. T= 100 años. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2014)



Figura 5.26.- Mapa de peligrosidad. Escala 1:2500. T= 500 años. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2014)



Figura 5.27.- Líneas legales DPH. Escala 1:2500. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2014).

Las figuras 5.23 y 5.24 nos muestran un mapa de riesgo poblacional para periodos de retorno de 100 y 500 años respectivamente. Se señalan las zonas inundables y se indica la población estimada en dicha zona, es decir, la población estimada que se vería afectada en caso de inundación. En este caso, en Los Villares se verían afectadas 9 personas para un periodo de retorno de 100 años, y 11 personas para un periodo de retorno de 500 años.

Las figuras 5.25 y 5.26 nos muestran los mapas de peligrosidad para periodos de retorno de 100 y 500 años respectivamente. Se marcan cuales son las zonas inundables y sus respectivos calados, es decir, la altura que alcanzaría la lámina de agua en las distintas zonas en caso de avenida.

La figura 5.27 nos muestra un mapa en el que se representan las líneas del DPH, es decir, las líneas que delimitan el dominio público hidráulico. Se puede observar que una cantidad considerable de edificaciones, concretamente viviendas unifamiliares, que no respetan el límite marcado por la zona de policía, representado con una línea discontinua roja en el mapa.

6. DISCUSIÓN

6.1. Evolución, consecuencias de la canalización y previsión futura del río a su paso por Los Villares

La cuenca del río Eliche se ha visto muy condicionada por la gestión urbanística y el cultivo de olivar, cuya práctica en la mayor parte del terreno de la cuenca favorece y potencia en gran medida la escorrentía durante eventos de lluvias intensas. La escorrentía provoca un alto grado de erosión del suelo cuyo material es arrastrado a lo largo del cauce del río. Además, el aumento de la escorrentía y de la velocidad del flujo de la corriente provoca socavamientos y ensanchamientos del cauce (Fig. 5.13 y Fig. 5.14).

Por otra parte, las inundaciones también han contribuido al modelado de la topografía de la cuenca, mediante el desencadenamiento de grandes deslizamientos del terreno y el arrastre y depósito de sedimentos, entre otros procesos.

La construcción de nuevas edificaciones cerca del cauce del río también ha aumentado de forma considerable en los últimos años, generalmente viviendas unifamiliares (chalets), que se han ubicado en muchos casos en zonas especialmente vulnerables a posibles inundaciones (Fig. 5.20).

Las obras de encauzamiento a la altura de la carretera de Martos se comenzaron a raíz de las inundaciones que tuvieron lugar en 1996. Dicho encauzamiento abarca una distancia aproximada de 720 metros, que coincide con un tramo que se vio especialmente afectado en dicho episodio. El encauzamiento finaliza una vez salvado ese tramo, al pasar el puente de la carretera de Martos.

El tramo encauzado impide que el agua se desborde a su paso por el pueblo, pero una vez que finaliza favorece el aumento de la descarga y de la velocidad de flujo del río, lo que supone que al salir de dicho tramo lo haga con mayor energía. Por lo tanto, la corriente en este punto llega con mayor capacidad de erosión que, además se ve potenciada debido a la presencia de un escalón entre la canalización y el cauce natural del río. Esto genera la acumulación de sedimentos (Fig. 6.28).



Figura 6.28.- Fuente: Google Street View.

Teniendo en cuenta las actividades que se han llevado a cabo en las últimas décadas en la cuenca del río Eliche y en la ordenación del territorio en torno al cauce del río a su paso por Los Villares, la evolución que cabe esperar es una continuación del riesgo potencial de inundaciones en las áreas urbanizadas próximas al cauce del río Eliche durante los próximos años.

Se trata de una evolución donde las prácticas poco sostenibles desde el punto de vista de los usos del suelo en las inmediaciones del río se basan en la expansión urbanística carente de planificación y de carácter irregular, la práctica agrícola del monocultivo de olivar que promueve la pérdida de cubierta vegetal, lo que deriva en el aumento de la escorrentía y la tasa de erosión, y a su vez en la reducción del tiempo de respuesta en caso de avenida. Cuanto mayor sea la escorrentía, mayor será la descarga de agua sobre el río y el caudal aumentará más rápido, reduciendo así el tiempo de respuesta.

En los márgenes del río Eliche, tal como se puede observar en la figura 5.27, se constata un incremento en el número de edificios situados en la zona de policía, lo que se traduce en bienes potenciales de verse afectados por una inundación.

Por lo tanto, la previsión de evolución futura del río a su paso por Los Villares es la del aumento de su energía de flujo y de su poder erosivo potenciados por las prácticas que tienen lugar en su entorno y el efecto de la canalización del río, y en caso de seguir así, seguirá presenciando inundaciones del mismo tipo que irán afectando a

más personas que vivan o trabajen en la llanura de inundación, ya que su número va en aumento.

6.2. Propuestas de actuación para la mitigación de riesgos

En este apartado se proponen algunas medidas estructurales y no estructurales para la mitigación del riesgo de inundación. Han sido elegidas en base a los resultados y las conclusiones a las que se han llegado en este trabajo, y son las siguientes:

6.2.1. Medidas estructurales

Las medidas que se proponen pretenden favorecer la infiltración para reducir la escorrentía superficial. Para conseguir estos objetivos se potenciaría el crecimiento de la cubierta vegetal en toda la cuenca, lo que supondría los siguientes beneficios:

- Aumento de la velocidad de infiltración del agua, lo que reduce la escorrentía superficial mejorando el balance hídrico.
- Protege el suelo y disminuye la tasa de erosión.
- Disminuye la velocidad a la que aumenta el caudal del río.
- Aumento del tiempo de respuesta.

Es recomendable que la cubierta vegetal esté formada por especies de una misma familia para un manejo más fácil, las leguminosas son una buena opción por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico.

El uso de restos vegetales es otra alternativa que consiste en esparcir restos de poda triturados que protejan el suelo a medida que se van descomponiendo. Actualmente es una práctica que se usa frecuentemente.

Los materiales inertes son otra opción de cubierta, que no consumen agua, pero tampoco aportan materia orgánica al suelo. También hacen que disminuya la evapotranspiración, y por lo tanto ayudan a mantener la humedad del suelo. Pueden ser desde piedras hasta materiales sintéticos. Esta medida se podría aplicar a determinadas zonas de la cuenca, donde la escorrentía superficial sea muy importante.

Otra alternativa es la técnica del “mulching”, que consiste en formar una cubierta usando diversos materiales orgánicos o inorgánicos, como restos vegetales, compost, plásticos triturados, telas o caucho.

Una mala gestión de las cubiertas vegetales puede ser perjudicial, ya que su mala práctica puede dar lugar a problemas fitosanitarios, excesivas emisiones de CO₂ por la quema de poda y/o provocar un déficit de recursos para el cultivo debido a la competencia de las especies que forman la cubierta vegetal.

Al tratarse de una cuenca muy pequeña, medidas como la construcción de embalses y presas no son posibles, por eso las medidas estructurales propuestas anteriormente son más recomendables.

6.2.2. Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales propuestas se basan en la planificación urbana principalmente. Pretenden reducir la vulnerabilidad de la población, mediante una correcta planificación y ordenación del territorio, y son las siguientes:

- Detener y evitar la construcción de nuevas edificaciones dentro de las zonas no urbanizables y con riesgo de inundación.
- Planificar el nuevo desarrollo urbano del pueblo en áreas sin riesgo de inundación.
- Recolocación de las edificaciones ya construidas en zonas no adecuadas, aunque la planificación de ocupaciones del territorio ya consolidadas es poco eficaz.
- Regulación de las prácticas agrícolas de forma que se asegure la conservación del suelo.
- Promover la regeneración y la protección de los bosques de ribera.

7. CONCLUSIONES

7.1. Qué aprendemos de las inundaciones analizadas

De las inundaciones de estas últimas décadas en la zona de Los Villares hemos aprendido la importancia y la necesidad de una buena planificación urbana y una gestión sostenible de los usos del suelo para su prevención. Ambos tienen un gran impacto en la dinámica fluvial del río, por lo que una mala práctica puede dar lugar a riesgos para la población e importantes pérdidas económicas y materiales.

El hecho de que el tiempo de respuesta sea tan corto debido las condiciones climáticas y de la cuenca, dificulta mucho la actuación de los Servicios de Protección Civil, tanto en el ámbito urbano como rural. Son muy necesarios en estos casos por las funciones que realizan, abarcando la prevención, la planificación y la aplicación de planes de emergencia que garantizan la alarma, la evacuación y el socorro de las personas afectadas, además del soporte administrativo y las tareas de supervisión.

La canalización del cauce del río Eliche a su paso por Los Villares no es una medida definitiva ni suficiente, ya que no evita que se puedan inundar otras áreas cercanas al pueblo que también causan daños. El foco del problema reside en la inadecuada gestión de los usos del suelo en toda el área de la cuenca, y por lo tanto una vía de solución reside en llevar a cabo prácticas que incrementen su sostenibilidad.

Las inundaciones a lo largo de los años acaban ocasionando pérdidas mayores que la inversión en medidas que podrían prevenirlas, pero no se acaban llevando a la práctica por cuestiones económicas o de gestión.

7.2. ¿Se está actuando correctamente?

Vistas las acciones que se han ido tomando, y a la luz del análisis de la dinámica de las inundaciones, se considera que no se está actuando correctamente debido a la inadecuada gestión del territorio en la zona de estudio; en el ámbito agrícola por la mala conservación del suelo, y en el ámbito urbano debido a que se han permitido construcciones en áreas de riesgo.

Para actuar correctamente, deben tomarse medidas que impliquen un cambio en el manejo que tenemos de los recursos, un cambio que nos oriente a prácticas más sostenibles y que reduzcan las tasas de erosión y de escorrentía.

Si no actualizamos la manera en que practicamos la agricultura, las inundaciones no serán el único problema al que nos enfrentemos. La pérdida de suelo es un problema medio ambiental, que supone la pérdida de un recurso que no es renovable a escala humana, algo imprescindible que da sustento a la vida y que, si no se conserva, derivará en otros problemas medio ambientales.

8. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

Abad. I., Fernández, C., de Gea Guillén, G.A., Hernández, P., Jiménez, J., Jiménez, R., Molina, J.M., Ruiz Ortiz, P.A., Yebra, A. (2014): *Geología 14. Las aguas de la Sierra Sur. Itinerario hidrogeológico entre Jaén y Valdepeñas de Jaén. Guía de campo. Jaén.*

Ballesteros, J.A., Díez, A., Llorente, M., Ruiz, V. (2009): *Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales. IGME.*

Bramer, D. (2010): *Weather forecasting, online meteorology guide.*

Castillo Rodríguez, J.T., Escuder Bueno, I., Morales Torres, A., Perales Momparler, S. (2010): *Proyecto SUFRI, WP3, Riesgo residual y análisis de vulnerabilidad. Universidad Politécnica de Valencia.*

Castro, J.M., García, F., García, F.J., de Gea Guillén, G.A., Jiménez, J., Jiménez, R., Molina, J.M., Nieto Albert, L.M., Rigol, J.P., Ruiz, P.A., Yebra, A. (2010): *Geología 10. Cerro del Castillo, Peña de Jaén, Jabalcuz, río Eliche. Itinerario geológico entre Jaén y Los Villares.*

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2008). *Proyecto de regulación de avenidas aguas arriba de la zona del Puente de la Sierra, cauce del río Eliche y Frío, TT.MM. de Jaén y Los Villares (Jaén)*

Corral, Á., González, Á. (2019): *Power law size distributions in geoscience revisited. Earth and Space Science.*

Díaz Delgado, C., Esteller, M.V., Iturbe Posadas, A., Mamadou Bâ, K., Reyna Sáenz, F. (1999): *Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México Ciencia Ergo Sum, vol. 6, núm. 2, julio, 1999 Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México.*

Díaz de Neira, J.A., Enrile Albir, A., Hernaiz Huerta, P.P., López Olmedo, F.L. (1991): *Mapa geológico de España 1:50000, hoja nº 969 (Valdepeñas de Jaén). ITGE.*

Lobo Antunes, M., Pöttering, H.-G. (2007): *DIRECTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.*

Escuder Bueno, I., Morales Torres, A., Perales Momparler, S., Castillo Rodriguez, J.T. (2012): *SUFRI (Strategies of Urban Flood Risk Management). Universidad Politécnica de Valencia.*

Espejo Monroy, A.J. (2016): *Análisis de riesgo de inundaciones en una cuenca mediterránea. Universidad de Jaén.*

Gaspari, F., Senisterra, G., Marlats, R. (2007): *Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, vol. XXXIX, núm. 1, pp. 21-28 Universidad Nacional de Cuyo Mendoza, Argentina.*

García Cortés, A. (1991): *Mapa geológico de España 1:50000, hoja nº 968 (Alcaudete). ITGE.*

IGME. *Propuesta de perímetros de protección Los Villares.*

Jerez Mir, L., Lupiani Moreno, E., Roldán García, F.J. (1991): *Mapa geológico de España 1:50000, hoja nº 947 (Jaén). ITGE.*

Jiménez Espinosa, M., Salas Salinas, M.A. (2004): *Inundaciones. Centro Nacional de Prevención de Desastres.*

López Trillo, J.A. (2014): *Análisis de riesgo de inundaciones en una cuenca mediterránea: Puente de la Sierra (Jaén)*. Universidad de Jaén.

Lupiani Moreno, E., Roldán García, F., Villalobos Megías, M. (1991): *Mapa geológico de España 1:50000, hoja nº 946 (Martos)*. ITGE.

Mélice, J., Reason, C.J.C. (2007): "Return period of extreme rainfall at George, South Africa", *South African Journal of Science*, vol. 103, nos. 11-12, pp. 499-501.

Ministerio para la Transición Ecológica (2018): *Inundaciones y cambio climático*.

Moral, F. et al. (1993): *Plan especial de las vegas de los ríos de Jaén*. Jaén. Ayuntamiento de Jaén. Original mecanografiado.

Moreno Santaengracia, M.L, García Salete, E., Linares Sáez, A. (2000): *Sistema de ayuda a la decisión para la explotación de la cuenca del ebro: Eficaz herramienta de prevención*. Revista Cauce 2000.

Ollero, A. (2007): *Algunos apuntes sobre la dinámica fluvial: Los ríos actuales como resultado de su propia libertad y de la intervención humana en sus riberas*. Universidad de Zaragoza.

Ramakrishna, B. (1997): *Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas. Conceptos y experiencias*.

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

Sánchez, F. J. (2017): *Hidrología Superficial y Subterránea*.

WEBGRAFÍA UTILIZADA

<https://es.climate-data.org/europe/espana/andalucia/los-villares-885475/>

<https://laboratorioriediam.cica.es/comparaWMS/index.html>

http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/12122016/b6/es-an_2016121212_9131158/21_erosin_transporte_y_sedimentacin.html

https://www.losvillares.com/wp-content/uploads/2018/01/resumenLluvias1997_2018.pdf