



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Análisis de riesgo de inundaciones en una cuenca mediterránea:

Puente de la Sierra (Jaén)

Alumno: Julio Alberto López Trillo

Julio, 2014



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Análisis de riesgo de inundaciones en una cuenca mediterránea:

Puente de la Sierra (Jaén)

Alumno: Julio Alberto López Trillo

Julio, 2014

1. INTRODUCCION	5
1.1. Las inundaciones fluviales	5
1.1.1. <i>Tipos de medios fluviales</i>	6
1.1.2. <i>Principales causas y tipos de inundaciones</i>	8
1.1.3. <i>Predicción de las inundaciones</i>	9
1.1.4. <i>Prevención de las inundaciones</i>	11
1.1.5. <i>Mapas de riesgos y legislación</i>	12
1.2. Planteamiento del trabajo	13
1.3. Objetivos	14
2. METODOLOGIA	15
3. RESULTADOS	17
3.1. Análisis de la cuenca de drenaje	17
3.1.1. <i>Geografía</i>	18
3.1.2. <i>Geología</i>	19
3.1.3. <i>Vegetación</i>	21
3.1.4. <i>Climatología</i>	22
3.2. Datos meteorológicos y de caudales	22
3.3. Episodios de inundación	24
3.3.1. <i>Inundación del 15/8/1996</i>	25
3.3.2. <i>Inundación del 4/9/2003</i>	25
3.3.3. <i>Inundación del 9/5/2008</i>	26
3.3.4. <i>Inundación del 23/2/2010</i>	26
3.3.5. <i>Inundación del 19/1/2013</i>	28
3.4. Mapas de riesgo	30
4. DISCUSION	32
4.1. Factores intensificadores	33
4.2. Factores mitigadores	34
4.3. Medidas	34
4.3.1. <i>No estructurales</i>	34
4.3.2. <i>Estructurales</i>	35
5. CONCLUSIONES	36
6. BIBLIOGRAFIA	36
7. ANEXOS	38

RESUMEN

La zona residencial del Puente de la Sierra, en Jaén, es un área dónde frecuentemente se dan inundaciones. En éste trabajo se ha realizado un estudio de la dinámica fluvial de las cuencas de los ríos Eliche y Quiebrajano, y los problemas ambientales que conlleva. En el presente documento, además, se muestra la metodología llevada a cabo para la elaboración del trabajo, así como los resultados obtenidos y la discusión de los mismos

SUMMARY

The residential area of “Puente de la Sierra”, Jaén, is an area where frequent flooding episodes occurs. This project includes a study of the Eliche and Quiebrajano River basin, where both environmental and fluvial dynamics considerations were faced. Main problems in the zone were detected and the most suitable actions to solve them proposed. This document shows the methodology followed as well as the results obtained and their discussion.

1. INTRODUCCION

1.1. Las inundaciones fluviales

Las inundaciones son el riesgo más común del planeta pues son el fenómeno natural que más daños ocasiona, tanto a humanos como económicos, a escala global (Olcina, 2002).

Se definen como un flujo de agua relativamente alto que sobrepasa el canal natural creado por la escorrentía superficial (Chow, 1956). 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 se dan por precipitaciones intensas, por fusión de nieve o hielo, desbordamiento de cauces, rotura de presas o combinación de varios factores. Sin embargo, las inundaciones son un fenómeno hidrogeomorfológico natural, pero que pasan a convertirse rápidamente en riesgo cuando interviene el hombre. Y esto es porque con el tiempo la sociedad ha tendido a instalarse en las llanuras aluviales por sus condiciones óptimas y para obtener agua como recurso, pero esto provoca el riesgo cuando se produce una crecida.

Las inundaciones se producen en el ámbito de los sistemas fluviales, es decir, en las inmediaciones de los cauces de los ríos y sus cuencas de drenaje. Una cuenca de drenaje se define como la superficie de terreno que drena agua a un río (Gregory y Walling, 1973). La cuenca de drenaje está controlada por una serie de factores de control como la litología, la pendiente, la climatología, la vegetación o el uso del suelo, un factor clave en éste caso, y está conformada por el río principal y todos los afluentes que lo alimentan. A todo el conjunto de cauces que forman la cuenca de drenaje se denomina red de drenaje.

Los ríos son los ambientes fluviales más propicios a la hora de producirse inundaciones. Sin embargo no todos los ríos responden de la

misma forma cuando se produce un evento de lluvias, pues existen distintos tipos de ríos que se clasifican en función de la sinuosidad y de la presencia de uno o varios canales.

1.1.1. Tipos de medios fluviales

- Abanicos aluviales: no son típicos de un río, pero sí un medio del sistema fluvial, y muy importantes a la hora de producir inundaciones. Se definen como un cuerpo de depósitos fluviales cuya superficie se aproxima al segmento de un cono, que se extiende radialmente ladera abajo desde el punto en el que el curso del agua abandona el área montañosa (Bull, 1968).
- Ríos: se pueden diferenciar distintos tipos de cursos fluviales:
 - 1) Ríos rectos: disponen de un único canal principal con una sinuosidad baja. La llanura de inundación es más estrecha que el resto de cursos fluviales.
 - 2) Ríos meandriformes: un único canal, pero a diferencia de los ríos rectos, la sinuosidad es mayor. Ésta elevada sinuosidad hace que las llanuras de inundación de los ríos meandriformes sean más extensas y vulnerables a inundarse.
 - 3) Ríos trenzados (braided): tienen varios canales, pero con baja sinuosidad. Está constituido por barras e islas que se forman por la acumulación de carga en forma de sedimentos.
 - 4) Ríos anastomosados: disponen de varios canales, y además, todos ellos de elevada sinuosidad. Éstos canales suelen ser de una anchura inferior a la que forman las barras.

En la figura 1 se puede apreciar la morfología de cada uno de estos cursos fluviales.

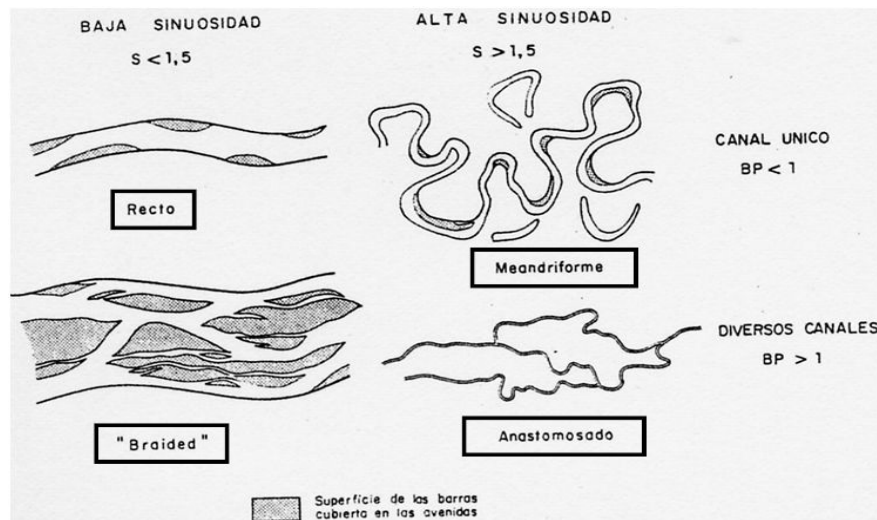


Figura 1.- Tipos de ríos.

Llanura de inundación: las llanuras de inundación son la superficie aluvial adyacente a un curso fluvial y que frecuentemente tiende a inundarse. Por tanto se considera parte del río que, aunque normalmente su cauce circule por el canal principal, en un momento dado puede desbordarse y ocupar toda esa área provocando una inundación. Uno de los principales problemas de las inundaciones es el desconocimiento por parte de la población que creen que la llanura de inundación no es peligrosa en ese sentido y tienden a urbanizar ocupando ese territorio.

Esta diferencia en los tipos de ríos está controlada principalmente por la topografía, pues el relieve en de alta montaña hace que el caudal de los ríos en esa zona circule con más velocidad y por tanto favorece procesos de erosión y transporte de sedimentos y rocas aguas abajo, con el desarrollo de ríos rectos y trenzados, mientras que el curso en la parte baja de los cauces tiene poca pendiente favoreciendo la sedimentación de los materiales, y el desarrollo de ríos meandriformes, y en condiciones especiales (gran abundancia de agua y extensas áreas llanas), anastomosados (Schumm, 1977).

1.1.2. Principales causas y tipos de inundaciones

Para que se originen las inundaciones en una determinada área, es necesario que se den unos factores desencadenantes, es decir, un conjunto de procesos que van a determinar la procedencia del agua que va a provocar la inundación. El origen de éste agua puede variar en cada caso, siendo las lluvias el principal factor. Además, las lluvias dan lugar a las inundaciones pueden ser bien de origen regional o bien de origen local, originando cada tipo una inundación que pueda suponer más o menos riesgo en función de la zona afectada. Aparte de las lluvias, otras causas que dan lugar a las inundaciones son la fusión de nieve o hielo, la rotura de embalses, ya sean naturales o artificiales, deslizamientos, fallos en estructuras de contención, entrada de agua marina al continente o drenajes de aguas subterráneas (Smith y Ward, 1998).

En nuestro caso de estudio el principal factor desencadenante de las inundaciones son las lluvias intensas en la zona. Por ello es importante analizar los distintos tipos de precipitaciones que se dan aquí. Las lluvias que se dan son de dos tipos fundamentales, las lluvias torrenciales y las lluvias frontales. Las lluvias frontales suelen durar varios días y afectan a una gran extensión superficial. Normalmente se producen en invierno. Los frentes llegan al atlántico y se desplazan hacia el este, hasta llegar a nuestra zona, si bien ya llegan bastante debilitados. Pueden provocar un máximo de 100 l/m^2 al día. Como aspecto positivo suelen presentar un tiempo suficiente de anticipación que permite evitar daños mayores. Por otro lado están las lluvias torrenciales. Éstas dan lugar a crecidas más espasmódicas y con menos tiempo de reacción. Ocurren sobre todo en verano ya que se ven favorecidas por el calentamiento de la superficie, que en ésta zona es bastante alta debido a la climatología.

Este tipo de lluvias es el que origina crecidas de distintos tipos que son los que afectan al área dónde se sitúa el Puente de la Sierra.

Las distintas crecidas que se van a dar vendrán determinadas en función de la cantidad de lluvia caída y la intensidad de las precipitaciones. Cuando la lluvia caída lo hace en varios días, con una

intensidad no muy fuerte pero continua, hablamos de inundaciones regionales (*regional floods*). Por otro lado, si la lluvia caída lo hace en un periodo de tiempo muy corto y con una fuerte intensidad y muy concentrada en un mismo punto, se habla entonces de inundaciones locales (*flash-flooding*), (Olcina, 2002). En la figura 2 se muestra gráficamente la diferencia entre ambos tipos de inundaciones.

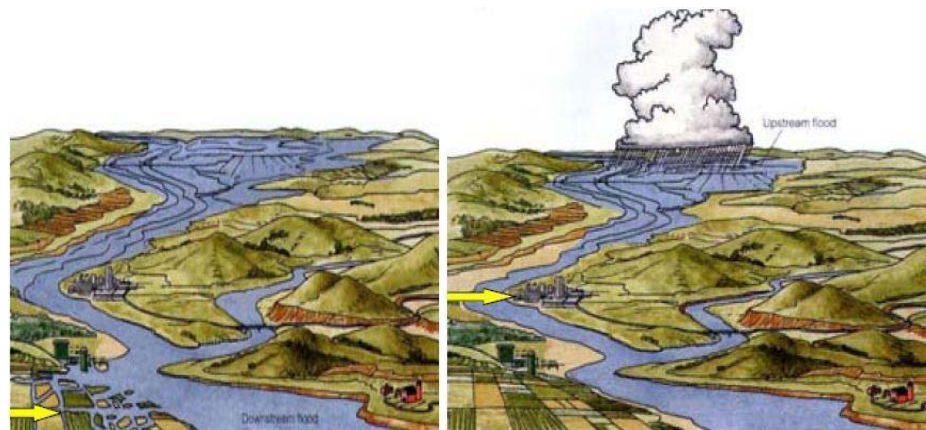


Figura 2.- Inundaciones regionales (izquierda), e inundaciones locales (derecha).

Para ver como evoluciona en el tiempo una crecida provocada por un evento de lluvias como los mencionados se utiliza, principalmente, los hidrogramas (Figura 3), que son la principal herramienta para predecir crecidas y poder disminuir en la medida que sea posible el riesgo. Un hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como el nivel de agua, caudal, carga de sedimentos, entre otros, aunque típicamente representa el caudal frente al tiempo.

1.1.3. Predicción de las inundaciones

Para ver la evolución de una crecida se utilizan los hidrogramas (Figura 3). En función del tipo de inundación que se produzca las medidas de predicción a llevar a cabo son diferentes. Para inundaciones súbitas fundamentalmente se hace un seguimiento meteorológico para

anticiparnos ante una posible inundación. Para inundaciones regionales, además de un seguimiento meteorológico, también se realiza un seguimiento de caudales y nivel de agua en los ríos que conforman la cuenca de drenaje.

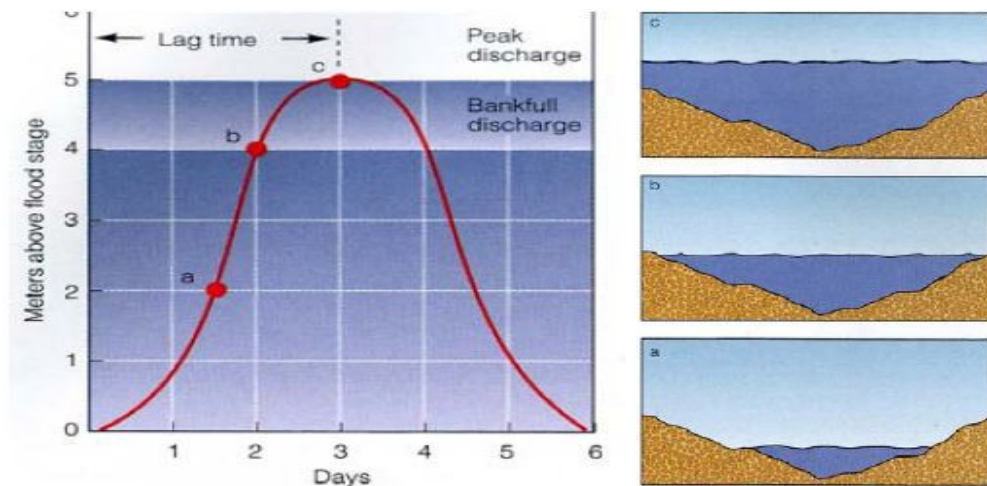


Figura.- Ejemplo de hidrograma

Es importante tener un buen conocimiento de la cuenca hidrográfica, pues en función de su geomorfología e hidrología se podrá saber con mas precisión la posibilidad de que ocurra o no una inundación. Además en la cuenca se realizan seguimientos y previsión de precipitaciones y caudales, para conocer como funciona el río en distintas épocas del años y en distintas condiciones. También se ha de realizar un seguimiento meteorológico. Para predecir eventos de inundaciones mas a largo plazo algunos metodos utilizados son el análisis de registros históricos, metodos estadísticos y modelización cartográfica. Otro metodo empleado es el registro de inundaciones anteriores. En en el caso estudiado hay que decir que no se ha estudiado mucho el tema de las inundaciones en esta zona, por lo que este metodo no se ha utilizado para predecir inundaciones. De acuerdo a esta metodologia llevada a cabo para predecir inundaciones y en relación a los distintos tipos de lluvias, cabe destacar que la lluvias regionales son mas factibles a la hora de predecir debido principalmente a que dejan más margen de

tiempo. En cambio, las lluvias locales son más difíciles de predecir, por lo que aumenta el riesgo.

1.1.4. Prevención de las inundaciones

Ante la crecida de un río, se pueden tomar distintas medidas de prevención y defensa contra inundaciones. Los impactos humanos sobre los canales fluviales se han incrementado a lo largo del tiempo a causa de que las llanuras de inundación se han ocupado intensamente y los cursos fluviales se han modificado sustancialmente (Downs y Gregory, 2004). Los dos principales tipos de métodos para prevenir inundaciones son los métodos no estructurales y los métodos estructurales.

- Métodos no estructurales: están basados en mapas de peligrosidad y riesgo y en la ordenación del territorio mediante la zonificación de la llanura de inundación. En España, y por tanto nos afecta a la zona de estudio, ésta zonificación se estructura de la siguiente manera:
 - Zona de servidumbre → 5 metros aprox. al cauce.
 - Zona de policía → 100 metros al cauce
 - Zona de precaución → periodo de retorno de 500 años(Real Decreto 849/1986, de 11 de Abril). Siempre a ambos lados del cauce.

- Métodos estructurales: se basan en la ingeniería de las inundaciones. Principalmente actúan sobre la canalización de los cauces, modificando el perfil transversal del río (anchura, profundidad, limpieza), realización del canal (rectilíneo, ecológico), y protegiendo los márgenes (estabilización del talud).

Es muy importante que exista una regulación en cuanto a las llanuras de inundación, pues son zonas que, aunque no circule el agua en mucho tiempo, forman parte de la dinámica natural del río, y que por tanto, en cualquier momento, pueden inundarse. En la mayoría de las ocasiones el mayor riesgo se produce por no existir una regulación de estas

llanuras de inundación o por incumplimiento de esta y proceder a la urbanización de las llanuras de inundación.

1.1.5. Mapas de riesgo y legislación

Los resultados del estudio de las medidas de predicción como las medidas de prevención llevadas a cabo para mitigar las inundaciones y reducir sus efectos, son reflejados en los mapas de riesgo (Figura 4). Estos mapas se han desarrollado con la finalidad de determinar el grado de exposición de las personas, las actividades económicas y las infraestructuras de un determinado territorio a distintos tipos de catástrofes, entre ellas, las inundaciones. Los principales tipos de mapas de riesgo que ayudan sobre todo en el tema de las inundaciones son los mapas de peligrosidad y los mapas de exposición y vulnerabilidad. Los primeros consisten en representar espacialmente los distintos aspectos que se analizan en la peligrosidad de las inundaciones (Olcina, 2002). En el caso de los mapas de exposición y vulnerabilidad tratan de reflejar la situación y permanencia temporal de los elementos en riesgo, fundamentalmente las personas, bienes materiales y servicios (Olcina, 2002).



Figura 4.- Ejemplo de mapa de riesgo. Puntos conflictivos según el plan de emergencias.

1.2. Planteamiento del trabajo

Se ha seleccionado el sector del Puente de la Sierra, zona residencial de Jaén, ya que su localización geográfica la hace vulnerable ante eventos de inundaciones, que han ocurrido en varias ocasiones en las últimas décadas (Figura 5). El Puente de la Sierra se encuentra situado en una depresión natural de valle ocasionada con la dinámica del río Eliche, y además, justo en el área urbanizada, se junta con el río Quiebrajano para formar el río Jaén. Por ello, y debido a otros factores como la litología del terreno, la pendiente o el uso del suelo hace del Puente de la Sierra una zona que en los últimos años ha sufrido varias inundaciones que han provocado daños personales y económicos. Sin embargo existen pocos estudios acerca de éste problema, aunque uno de ellos es el proyecto Linde, un proyecto que se hizo a raíz de las inundaciones de 1996 (Proyecto Linde, 1996). Un problema de gran interés ya no solo ambiental, sino también social, pues cada vez son más frecuentes las inundaciones que afectan a los vecinos de la zona y a sus viviendas o cultivos.

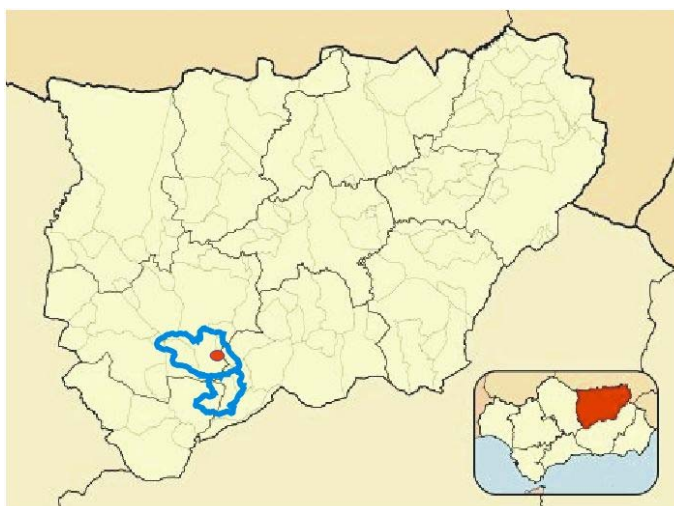


Figura 5.- Localización de la zona de estudio. Puente de la Sierra

En consecuencia, los ríos que causan estos problemas y que por tanto son objeto de estudio han sido el río Eliche y el río Quiebrajano, así

como sus respectivas cuencas de drenaje y la cuenca que alimenta al pantano de éste último.

1.3. Objetivos

Los objetivos del trabajo van a ser, en primer lugar, realizar un estudio de la zona seleccionada. Se va a delimitar la cuenca de drenaje de los ríos Eliche y Quebrajano que son los que van a afectar al Puente de la Sierra.

Después vamos a realizar una recogida de información sobre los distintos eventos de inundaciones ocurridos en la zona residencial del Puente de la Sierra. Además se realizará una búsqueda de datos meteorológicos e hidrológicos para poder llevar a cabo una interpretación y una comparación con los eventos ocurridos. De este modo podremos saber qué relación hay entre los eventos de inundaciones ocurridos y las lluvias que han tenido lugar.

Por otra parte se analizará la información obtenida, para conocer las causas, consecuencias, dinámica o frecuencia de las inundaciones y determinar el grado de riesgo existente. En relación al análisis de ésta información también vamos a realizar un estudio de los factores que intensifican las inundaciones, y por tanto favorecen la formación de éstas, y de factores mitigadores, que reducen el riesgo y que por tanto podríamos aplicar como posibles medidas de prevención.

También vamos a realizar una cartografía de los riesgos a partir de los datos disponibles, para mostrar gráficamente las zonas del pueblo más vulnerables a las inundaciones.

Por último se plantearán distintas medidas de mitigación de riesgos en la medida de reducir y disminuir las inundaciones en la zona y la problemática que genera tanto a nivel personal como material.

De este modo podremos saber qué influencia tiene el medio físico, si se respeta o no la legislación vigente, la relación que hay entre

las crecidas y las inundaciones o si las fechas en las que se dan las inundaciones se corresponden bien a fuertes lluvias localizadas o lluvias moderadas pero continuadas en el tiempo, y determinar así cuándo y cómo se dan las inundaciones en la zona residencial del Puente de la Sierra.

2. METODOLOGIA

Para realizar el trabajo primero hemos seleccionado un área de estudio. En este caso se ha elegido la zona residencial del Puente de la Sierra, afectada por el río Eliche y el río Quiebrajano.

A continuación hemos delimitado la cuenca hidrográfica que afecta a las inundaciones en el Puente de la Sierra, cuyas aguas confluyen en los dos ríos principales, el Eliche y el Quiebrajano, y que son las que se desbordan en la zona causando las inundaciones. Para ello, primero se ha procedido a la delimitación en Papel, y posteriormente se ha plasmado esa información digitalmente mediante el programa de dibujo Corel Draw X4.

Se ha procedido también a la revisión y al estudio de bibliografía, para obtener fuentes bibliográficas sobre inundaciones, dinámica fluvial, climatología... con el fin de realizar un estudio previo de los mismos para situarnos mejor y afrontar la problemática de las inundaciones en ésta zona. Para ello se ha empleado documentación bibliográfica tanto escrita en papel, como vía web. Además también por comunicación con distintos miembros de organismos como la confederación hidrográfica del Guadalquivir o la asociación de vecinos de la zona del Puente de la Sierra.

También se ha procedido a una búsqueda y recopilación de datos de amplio interés. Datos históricos, como artículos de prensa de distintos eventos de inundaciones, tanto en la hemeroteca del diario Jaén como en la del Ideal. También se ha obtenido información interesante sobre inundaciones históricas de ésta zona mediante entrevistas con el

presidente de la asociación de vecinos "Puensi", si bien ésta documentación histórica lo es solo a partir del año 1996, pues datos anteriores no están registrados o documentados. A parte de información histórica, también se ha recopilado información sobre la legislación vigente y gestión del territorio. Para ello nos hemos ayudado del Ayuntamiento de la ciudad de Jaén, en concreto su oficina de urbanismo y la de medio ambiente, y también de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG). Por último, también se han recopilado datos meteorológicos, caudales, usos del terreno o medio físico. Para la obtención de estos datos se ha acudido a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), fuentes bibliográficas y cartografías obtenidas en las páginas webs del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Tras haber seleccionada el área a estudiar y realizar una búsqueda de datos, se ha realizado un análisis de éstos para obtener la información que buscamos. Se han seleccionado 5 eventos diferentes de inundaciones, en los que hemos estudiado sus causas y los efectos. Se han analizado los distintos episodios de inundación, es decir, en que eventos se ha producido más daños y en cuáles menos. También se han analizado los datos meteorológicos y de caudales, tanto de precipitaciones como de nivel del río a su paso por los distintos puntos de medida distribuidos por la cuenca. Para ello se han realizado gráficas en las que se representa ésta información con respecto al tiempo con ayuda del office Excel. A continuación se han completado las gráficas con ayuda del programa de dibujo Corel Draw X4. Por último se ha analizado los distintos usos del territorio y el medio físico de la cuenca. Se ha buscado a través de documentación bibliográfica información acerca de la geología y la topografía de la zona, así como los usos del suelo para establecer un medio físico característico de la zona. Para obtener esta información también nos hemos ayudado de la página web del IGME y del IGN. Para la información de usos del territorio la oficina de urbanismo del Ayuntamiento de Jaén nos a facilitado la normativas y los planos correspondientes.

Otro apartado a llevar a cabo es la realización de una cartografía de mapas de riesgo. Sin embargo éste apartado no se ha podido realizar como esperábamos, pues los datos históricos de los que disponemos son escasos, y tampoco se cuenta con la información suficiente de datos de caudales y altura de agua en la zona de riesgo para poder realizar un estudio más exhaustivo y establecer periodos de recurrencia más a largo plazo. Por tanto este apartado solo se ha cubierto parcialmente, pues se ha realizado una interpretación gráfica de los distintos eventos de inundaciones producidos desde la fecha en la que tenemos información histórica de datos meteorológicos y de caudales. Se han analizado los cinco eventos de inundaciones ocurridos en diferentes años desde 1996 hasta la actualidad y se ha procedido a un estudio de sus causas y efectos.

Por último, una vez analizados todos los datos que necesitamos, se ha realizado una discusión sobre ellos y se han integrado para discutir la relación existe entre ellos.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de la cuenca de drenaje

Lo primero ha sido delimitar la cuenca de drenaje que alimenta los ríos Eliche y Quebrajano hasta el punto donde ambos confluyen, en el Puente de la Sierra (Figura 6). Una vez delimitada la cuenca hidrográfica y por tanto el área a estudiar, se han recopilado y analizado los datos sobre el medio físico de la cuenca hidrográfica del río Eliche y Quebrajano, para conocer el material geológico del que está formado, la vegetación típica, la climatología o el uso del territorio. Se ha estudiado también la cuenca que afecta al embalse del Quebrajano ya que toda el agua acumulada en él, también influye sobremanera en las crecidas aguas abajo.

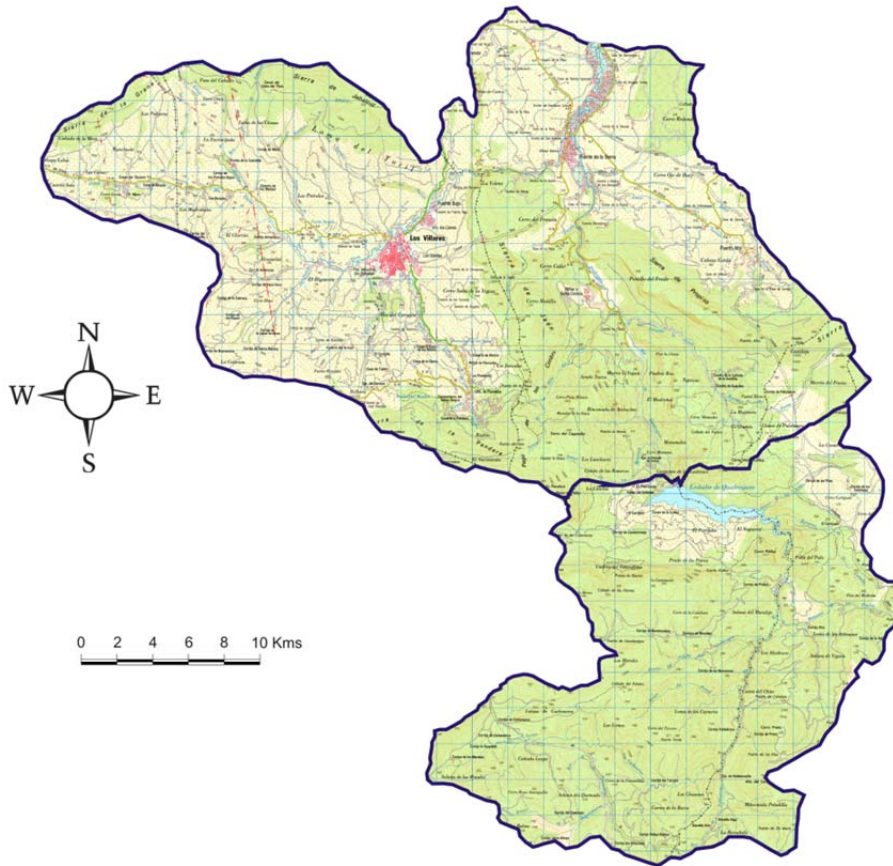


Figura 6.- Mapa topográfico de la cuenca

3.1.1. Geografía

La cuenca hidrográfica del río Eliche – río Quiebrajano se encuentra en la provincia de Jaén, ocupando los términos de Martos, Jaén, Valdepeñas de Jaén y Alcaudete, y por supuesto el de Los Villares, que queda integrado en la propia cuenca. Tiene un área aproximada de 900 Km². La morfología de la cuenca es muy importante en este caso, ya que el Puente de la Sierra se encuentra ubicado en una zona de valle (Figura 7). Esto hace que el agua recogida por la cuenca circule muy rápido por los cauces de los ríos y que al llegar a la zona residencial del Puente de la Sierra pierda velocidad y tienda a expandirse. Esto hace que sea un factor de riesgo ya que, aunque no se trata de un abanico aluvial, se comportan como si lo fuera con los mismos efectos.



Figura 7.- Localización del Puente de la Sierra en el fondo del valle

Al norte está la sierra de Jabalcuz y al sur la sierra de la Pandera, haciendo que el cauce del río Eliche circule por un valle que a veces se vuelve abrupto como en los cañones del río Eliche. Esta zona de los cañones es una zona que influye a la hora de que aguas abajo el río provoque inundaciones en Puente de la Sierra. Y esto es porque toda el agua que va por el río a una determinada velocidad, conteniendo además ramas, troncos y otros objetos como basura, tengan que entrar por los cañones y se pueda producir un efecto tapón, haciendo que al salir de ellos lo hagan con más fuerza y violencia. Por su parte la cuenca hidrográfica que afecta al embalse ocupa parte de los términos de Campillo de Arenas y Castillo de Locubín.

3.1.2. *Geología*

En la cuenca seleccionada se dan dos principales unidades litológicas, de origen sedimentario, que caracterizan a todo el territorio. Una unidad más antigua, de edad jurásica, donde se dan calizas y dolomías, materiales muy porosos y que infiltran agua disminuyendo la escorrentía superficial. Por otro lado está la unidad del Cretácico, con predominio de margas, impermeables y que favorecen la escorrentía. Además se da el caso de que toda la zona donde afloran margas está cultivada por el olivar, que junto con las operaciones de laboreo tradicionales incrementan la escorrentía.

Al norte de la cuenca se encuentra la sierra del Jabalcuz, una elevación caliza de edad jurásica donde debido a la gran permeabilidad de las calizas se forman manantiales naturales.

Todo el este de la cuenca, la vega del río Eliche, esta predominado por magas y margocalizas y en menor medida, areniscas, del Cretácico. A diferencia de las calizas del Jabalcuz las margas no infiltran casi nada el agua a no ser que las condiciones del suelo sean muy secas y poco húmedas. Por ello, y debido a la gran superficie que ocupan estas margas rodeando el cauce del río Eliche hace que toda el agua caída en esta zona durante un evento de lluvias vaya a parar directamente al río Eliche transportando y arrastrando sedimentos que pueden intensificar las inundaciones al entrar en los cañones.

La cuenca del río Quiebrajano está formada principalmente por dolomías y calizas jurásicas. Este entorno es menos propicio a favorecer la escorrentía dado que estos materiales absorben con mayor facilidad el agua que las margas. De ahí que el río que mayores problemas ocasiona en el Puente de la Sierra sea el Eliche y no el Quiebrajano, aunque este último también da problemas si las lluvias caídas en la zona lo hacen de manera muy rápida y gran intensidad, evitando que dé tiempo a absorber toda el agua.

En cuanto a las litologías que afloran en el Puente de la Sierra, son margas grises que también favorecen la escorrentía por lo que unas lluvias de gran intensidad en el pueblo también puede favorecer una inundación.

En lo que se refiere a la cuenca de drenaje que va a parar al embalse, al norte afloran calizas y margocalizas jurásicas y en el sur, en menor medida, también se dan afloramientos de materiales calizos y margosos, y alguna dolomía y arcillas. Sin embargo la mayor parte de la superficie está ocupada por margocalizas y margas blancas que favorecen la escorrentía superficial y la crecida de los afluentes del embalse en los periodos de lluvias o precipitaciones puntuales de gran intensidad. En la figura 7 se ven los distintos materiales que constituyen la cuenca seleccionada.

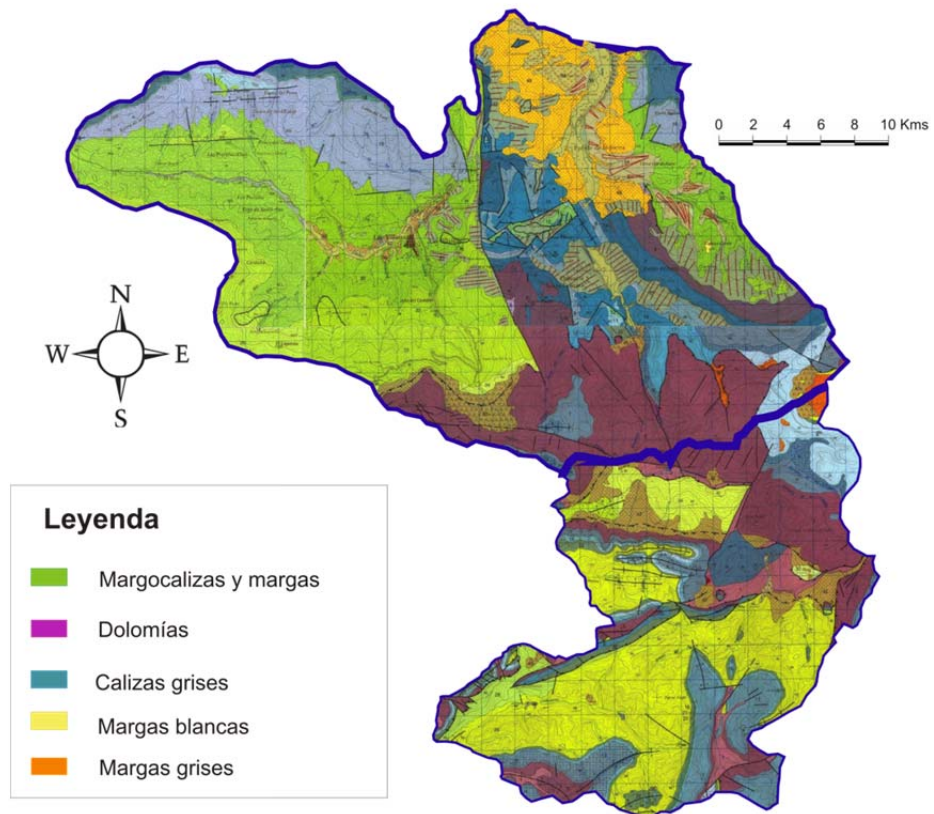


Figura 8.- Mapa geológico de la cuenca

3.1.3. Vegetación

Alguna vegetación que se da aquí es el pinar negro carrasco, olmos y limoniums además de la vegetación típica de la cuenca del río Eliche como la Flor de la Viuda o el Culantrillo. Al este de la cuenca la vegetación predominante de toda la superficie ocupada por margas es el cultivo del olivar, otro agravante al problema de las inundaciones por las malas prácticas agrícolas llevadas a cabo en este cultivo.

La vegetación típica de la zona donde está situado el embalse es el cultivo del olivo alternado con vegetación natural. Esto hace que la calidad de material arrastrado del suelo a los ríos, y posteriormente al embalse, se acumule en él. Como consecuencia e embalse llega a su máximo con mucha rapidez y además, debido a los sedimentos

arrastrados, se colmata de estos con la necesidad de desembalsar el agua acumulada.

3.1.4. Climatología

La climatología es muy similar en toda la cuenca y típica de la zona. El clima es mediterráneo continentalizado de fríos inviernos y abundantes heladas y veranos calurosos y de escasas precipitaciones. Aunque hay que distinguir el clima de la sierra de la pandera que, aunque con escasa diferencia al resto, por su altura se dan unas condiciones de temperatura y precipitaciones algo diferentes al resto.

3.2. Datos meteorológicos y de caudales

Se han analizado los registros de los distintos puntos de medida tanto de pluviometría como de caudal que se localizan dentro de la cuenca hidrográfica. Estos puntos están reflejados en la figura 9 y son:

- P1_Eliche → Precipitación en río Eliche (l/m^2). Datos desde el 1/6/2008 hasta el 29/3/2014.
- P2_Piedras → Precipitación en arroyo Las Piedras (l/m^2). Datos desde el 1/6/2008 hasta el 31/3/2014.
- P3_Bonilla → Precipitación en arroyo Bonilla (l/m^2). Datos desde el 1/6/2008 hasta el 31/3/2014.
- P4_Pedregoso → Precipitación en arroyo Pedregoso (l/m^2). Datos desde el 1/6/2008 hasta el 31/3/2014.
- P5_Riofrío → Precipitación en Riofrío (l/m^2). Datos desde el 14/7/2008 hasta el 8/11/2012.
- P6_Parrilla → Precipitación en arroyo La Parrilla (l/m^2). Datos desde el 1/6/2008 hasta el 31/3/2014.
- P7_Quiebrajano → Precipitación en río Quiebrajano (l/m^2). Datos desde el 1/6/2008 hasta el 15/6/2010.

- P8_Naranjos → Precipitación en arroyo Los Naranjos (l/m^2). Datos desde el 1/6/2008 hasta el 31/3/2014.
- M1_Río Eliche → Nivel en río Eliche (mts). Datos desde el 12/8/2008 hasta el 31/3/2014.
- M2_Río Quebrajano → Nivel en río Quebrajano (mts). Datos desde el 30/7/2008 hasta el 31/3/2014.

Son 8 puntos de registros pluviométricos situados en los márgenes de los ríos y arroyos mencionados más los 2 puntos de medida de nivel del río tanto del río Eliche como del río Quebrajano a su paso por el Puente de la Sierra. Analizando éstos datos hemos podido establecer una relación entre los distintos eventos de lluvia producidos y que han causado algún tipo de daños en la zona con estos datos meteorológicos y de caudales.

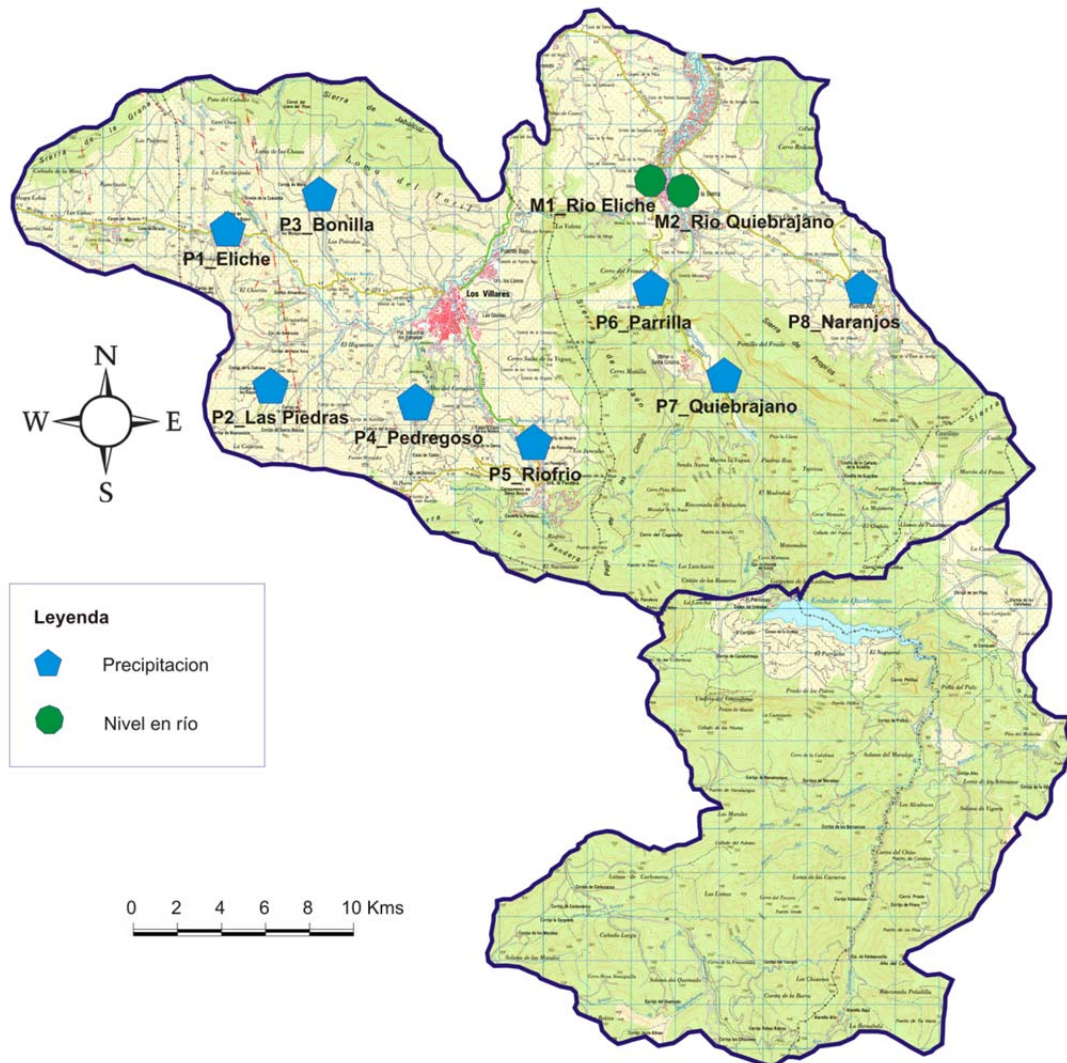


Figura 9.- Ubicación de los puntos de medida

3.3. Episodios de Inundación

Se han seleccionado los eventos de inundaciones más significativos producidos desde el año 1996 hasta la actualidad, cuando tuvo lugar la inundación más severa y que ocasionó más daños. Se ha procedido a la comparación de estos eventos con los distintos registros de lluvia y caudal de los que disponemos para establecer una relación entre los posibles tipos de lluvia caída y el tipo de inundación dado.

3.3.1. Inundación del 15/8/1996

Fue la mayor inundación producida en esta zona desde que se dispone de registro. Ocurrió el jueves 15 de agosto de 1996 durante la noche (Figura 10). Se debió principalmente a una tromba de agua caída esa misma noche en la zona y a que los cauces estaban bastante sucios de ramas y sedimentos. Se anegaron las inmediaciones del área residencial, sobre todo la parte izquierda, que es la que corresponde al margen derecho del río Eliche. Más de 100 vecinos tuvieron que ser evacuados. El agua destrozó cultivos, chalets, viviendas, coches...



Figura 10.- Artículo de prensa Inundación de 15/8/1996. Diario Jaén

3.3.2. Inundación del 4/9/2003

Cayó una tormenta de escasa duración, alrededor de 1 hora pero de gran intensidad. Durante este periodo cayeron entre 30 – 50 litros por metro cuadrado aunque después siguió lloviendo más levemente. Este evento fue menos destructivo con las viviendas de la zona y solo se vieron afectadas las casas que estaban peor ubicadas con respecto a la llanura de inundación del río. Un motivo por el cual no se tomaron medidas de prevención ante este evento fue que Jaén no se encontraba en alerta por fuertes lluvias para ese día, por lo que no se activaron las medidas de predicción de inundaciones.



Figura 11.- Artículo de prensa Inundación 4/9/2003. Diario Jaén

3.3.3. Inundación del 9/5/2008

Se debió a un episodio de corta duración de lluvias muy intensas en la zona. La tromba dejó 61,8 litros por metro cuadrado en una hora, lo que, sumado a las precipitaciones caídas días antes, provocó el desbordamiento del río Eliche. Se tuvo que desalojar a 16 familias.

3.3.4. Inundación del 23/2/2010

Cayeron 40 litros por metro cuadrado durante la noche del 22 de febrero de 2010. En este caso lo peor se produjo como consecuencia de la unión del río Eliche y el río Quiebrajano. Además el pantano del Quiebrajano tuvo que dejar de desembalsar agua para prevenir que la situación fuera a peor. Varias familias tuvieron que ser desalojadas y pasar la noche fuera de sus viviendas, que quedaron anegadas. En las figuras 11 y 12 se puede apreciar cómo ese día se recogieron unas cantidades enormes de precipitación en los puntos de medida de los dos principales ríos que forman la cuenca, el Eliche y el Quiebrajano. Como vemos el río Eliche recogió para ese día aproximadamente 50 litros por metro cuadrado y el Quiebrajano casi 45. Como se aprecia en las figuras son los únicos días con elevada precipitación, por lo que parece que la

inundación se produjo por una fuerte tormenta en la zona que dio origen a una inundación de tipo local o *flash flood*.

Precipitación río Eliche (l/m²)

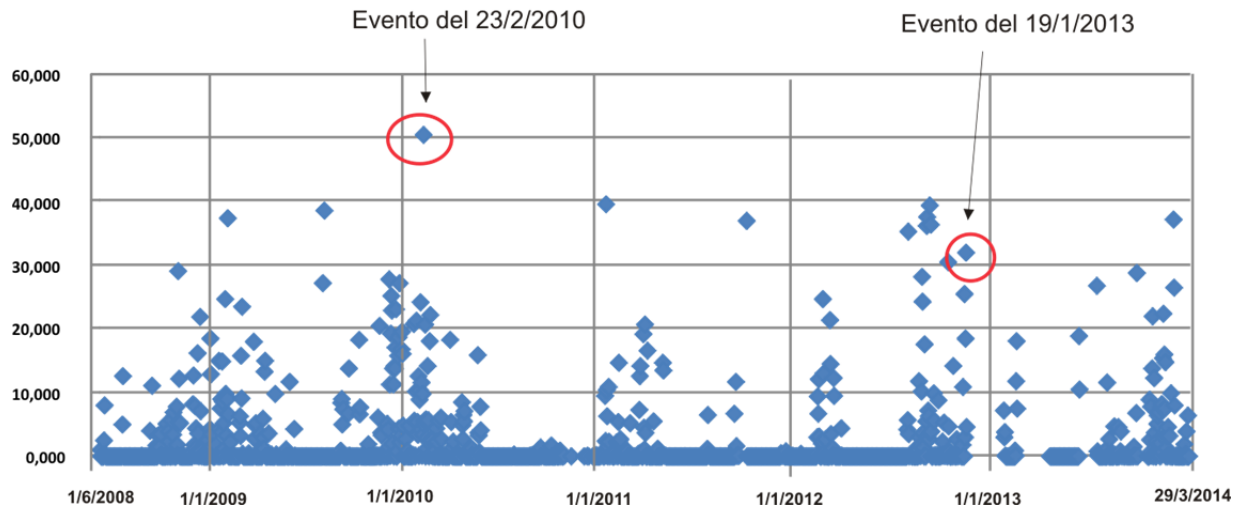


Figura 12.- Precipitación río Eliche (P_1)

Precipitación río Quebrajano (l/m²)

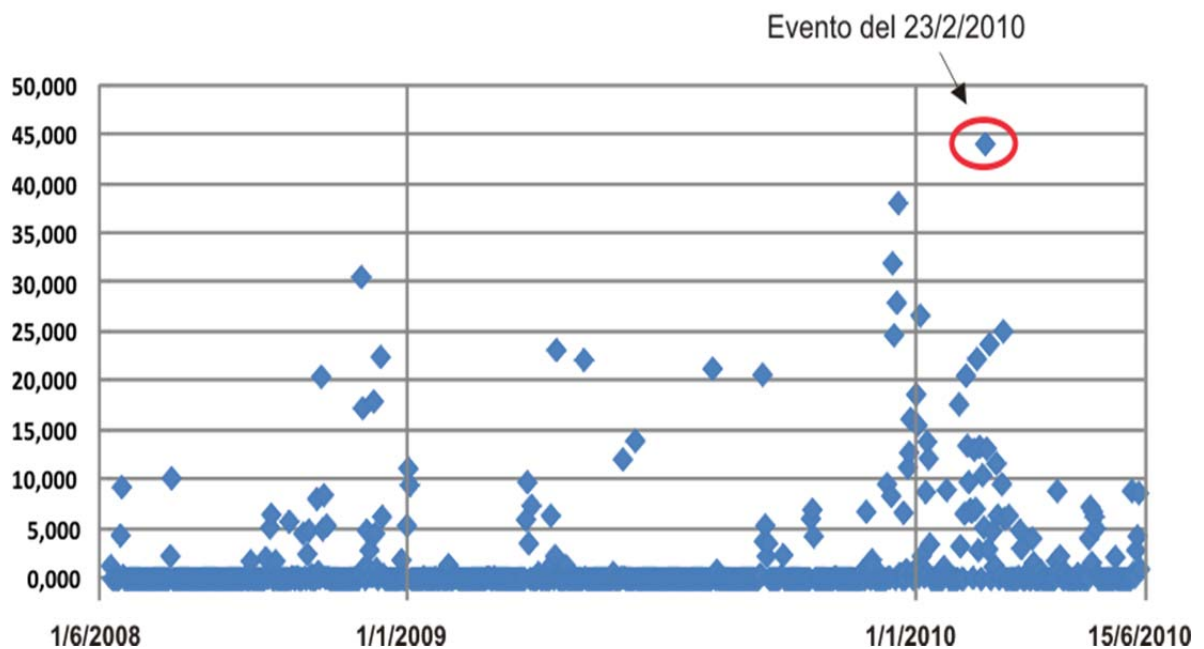


Figura 13.- Precipitación río Quebrajano (P_7)

3.3.5. Inundación del 19/1/2013

Es la inundación mas reciente ocurrida en el Puente de la Sierra. Se debió al desbordamiento del rio Eliche como consecuencia de las precipitaciones caídas durante todo el día y los 4 anteriores, dónde las precipitaciones medias en toda la cuenca fueron de 20 – 25 litros por metro cuadrado. Fue un episodio de lluvias generalizadas que provocó que la provincia de Jaén se encontrara en alerta naranja por fuertes lluvia y nieve en las zonas más altas. Afectó principalmente a las urbanizaciones de El Naranjo y El Palomo. El agua alcanzo los 2 metros de altura en algunas zonas. 6 familias tuvieron que ser rescatadas.

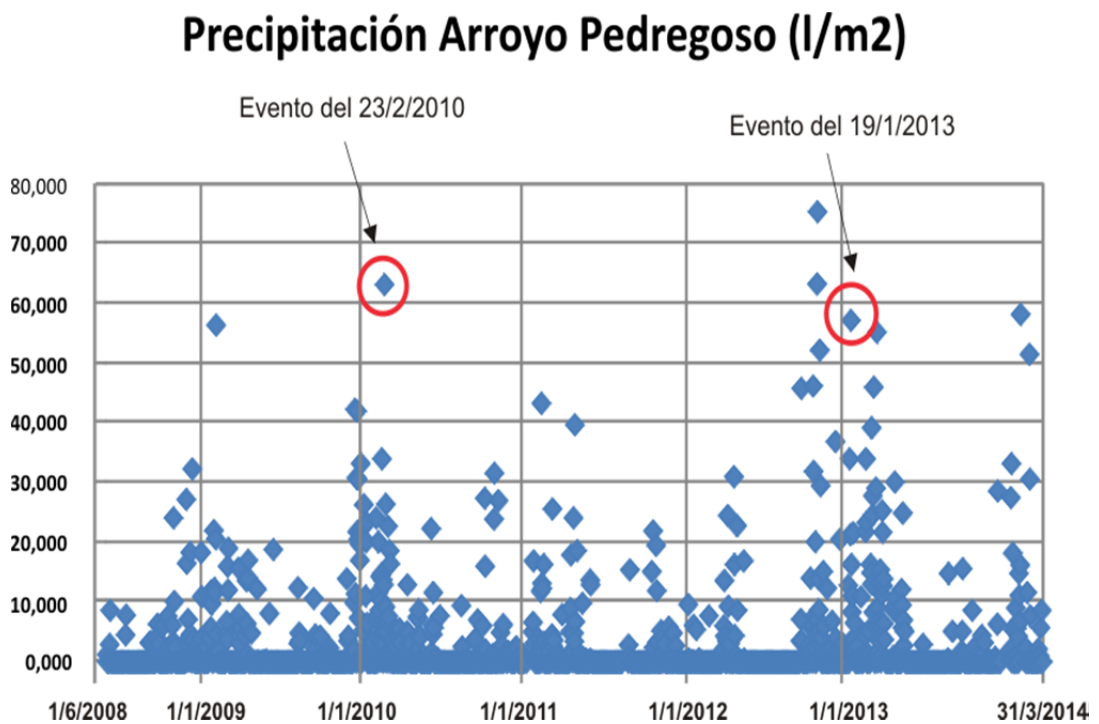
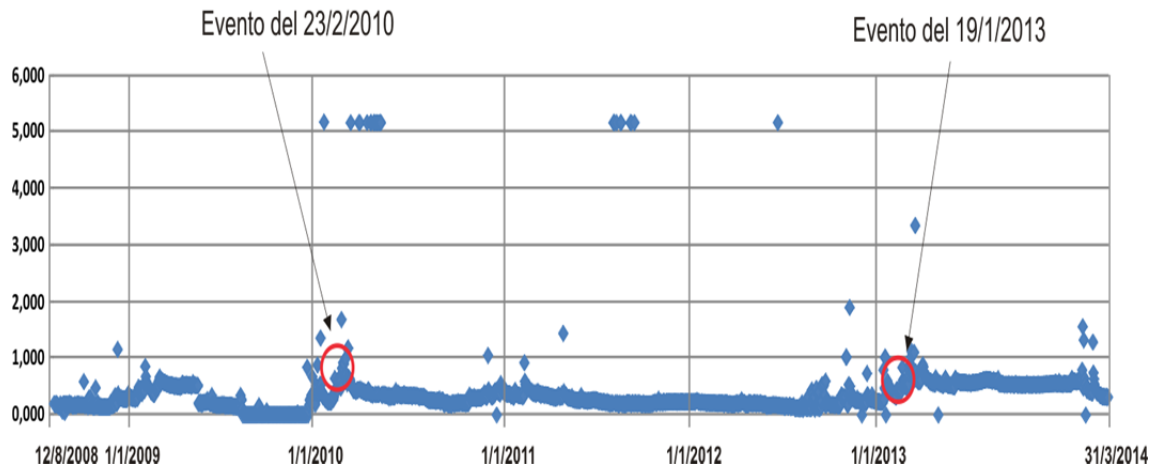


Figura 14.- Precipitación arroyo Pedregoso (P_4)

Nivel en río Eliche Pte Sierra (m.l.a.)



Nivel en río Quebrajano Pte Sierra (metros)

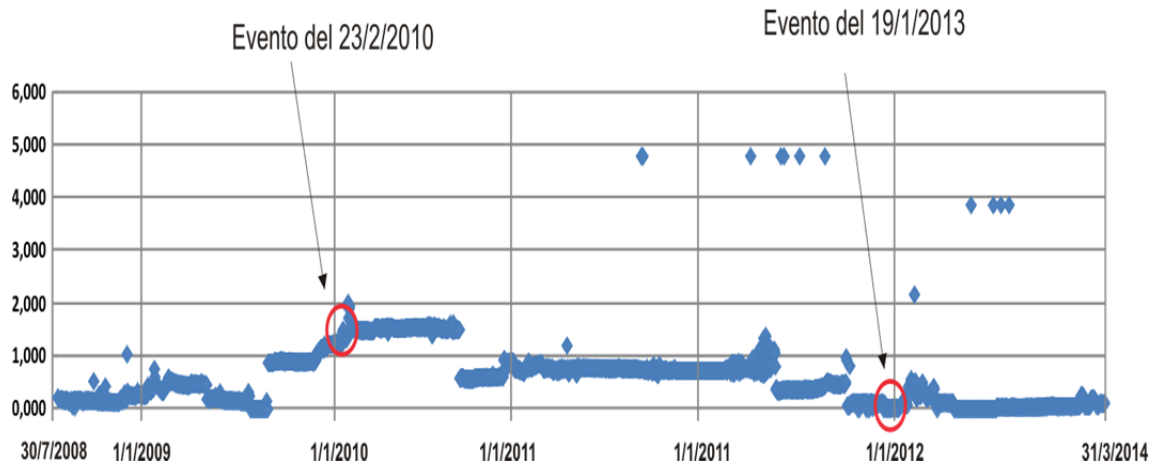


Figura 15.- Nivel de los ríos Eliche y Quebrajano (M_1 y M_2)

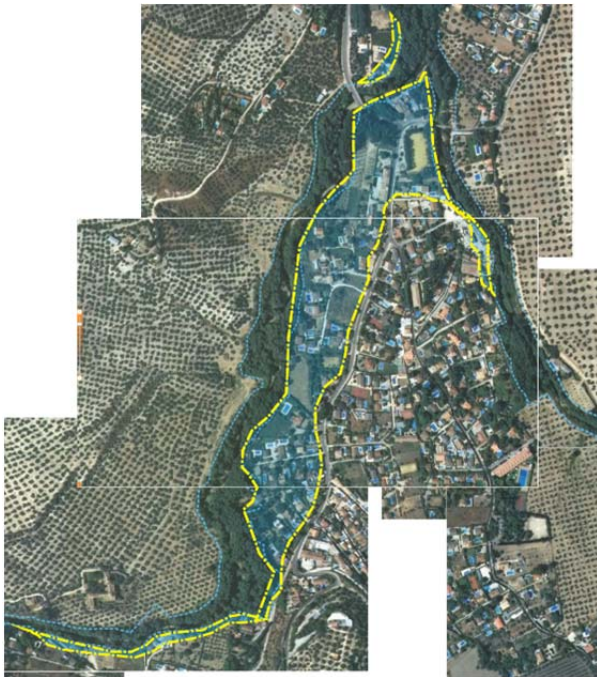
Como se puede apreciar en las figuras, en algunos arroyos como el Arroyo Pedregoso (Figura 14), se recogieron en algunos puntos hasta 60 litros por metro cuadrado. Además había estado lloviendo los días anteriores por lo que la escorrentía era mayor. Esto hizo que el nivel del río Eliche y del río Quebrajano aumentara a su paso por Puente de la Sierra, como se puede ver en la figura 15, haciendo que se desbordasen y se desarrollara la inundación.

3.4. Mapas de riesgo

Una vez estudiados los datos meteorológicos y de caudales, y tras haber analizado también los distintos episodios de inundación, se han representado en mapas las áreas que quedaron anegadas tras los eventos de lluvias. De esta manera establecemos una relación entre la lluvia caída y las zonas hasta dónde llegó el agua, o dependiendo de cómo se den las precipitaciones, ya sean más puntuales o más regionales, o bien, de escasa pero intensa duración o de larga y continua duración, también sabemos que zonas son más propicias a inundarse con respecto a ésta información. Si bien estos mapas recogen los datos de las inundaciones históricas de las que se tiene registro, sirven también como mapas de riesgo ya que al no haberse realizado cambios en la cuenca que afecten a su dinámica, delimitan las principales áreas de riesgo de futuras inundaciones. Como se indicó en la introducción, la escasez de datos de caudales y su limitado registro histórico han impedido la realización de otros mapas de riesgo más elaborados. A continuación, en la figura 16, se muestran los distintos mapas de inundación.

Cómo se ve en la figura 16 y como se ha comentado en los episodios de inundación, la inundación del año 1996 fue la más grave y la que más área de territorio ocupó. El agua llegó con mucha fuerza a la curva del río Eliche y se desbordó, ocupando el margen derecho de éste. Además el puente hizo de bloqueo haciendo que el agua retrocediera tendiendo a inundar más la zona. Toda la parte derecha del Puente de la Sierra quedó inundada. A raíz de ese año se empezaron a tomar medidas para que no volviera a ocurrir algo parecido.

En cuanto a la inundación de 2010 afectó a la zona del puente, que volvió a actuar de barrera y a hacer que el agua retrocediera, y a la zona próxima a la confluencia del río Eliche y el río Quiebrajano. En este caso solo se vieron afectados zonas de cultivo que se encontraban en la llanura de inundación del río.



Inundación del 18/8/1996



Inundación del 4/9/2003



Inundación del 9/5/2008



Inundación del 23/3/2010

Figura 16.- Mapas de riesgo de los eventos de inundación de los años 1996, 2003, 2008, 2010

Por último, la inundación del 19/1/2013, afectó a dos urbanizaciones, la del Naranjo y la del Palomo, que están situadas fuera del ámbito del Puente de la Sierra y que por tanto no se ha podido hacer el mapa de riesgo.

4. DISCUSION

Las inundaciones en el Puente de la Sierra son un fenómeno que se da por la dinámica fluvial natural. El Puente de la Sierra está situado en la llanura de inundación de los ríos Eliche y Quiebrajano y por tanto está expuesto a que se den inundaciones. Otro factor que influye en las inundaciones del Puente de la Sierra son las lluvias. Como ya se ha dicho, en ésta zona se dan dos tipos de lluvias, las frontales y las torrenciales, y ambas pueden provocar inundaciones. En la figura 16 están representados 4 de los 5 eventos de inundaciones. En la inundación de 1996 fue una tormenta la que provocó la inundación, es decir, fueron lluvias de tipo torrencial pero que afectaron a un área bastante extensa. Además se vio agravada por una mala gestión del cauce del río Eliche, que estaba muy sucio. La inundación de 2003 también se debió a una tromba de agua repentina, pero en este caso, de menor intensidad. En cambio la inundación de 2008 resultó consecuencia de la lluvia caída en el área de la cuenca durante los 4-5 días anteriores, dando lugar a que el suelo no pudiera infiltrar más agua y que por tanto favoreciera el proceso. La inundación de 2010 se debió a una fuerte tormenta, en este caso bastante puntual, que inundó la zona dónde cayeron las precipitaciones.

En nuestra zona estudiada no existe un claro predominio de un tipo de lluvias sobre otras o de un tipo de crecida sobre otra, ya que pueden darse términos intermedios o combinaciones de ambas que, en función de otras variables a tener en cuenta como la geología de terreno o los usos del suelo, van a derivar en inundaciones de mayor o menor intensidad.

4.1. Factores intensificadores

Es conveniente discutir qué factores son los que intensifican el que se produzca una inundación. Estos factores van a influir también, evidentemente, en los daños causados a infraestructuras o personas.

El principal factor agravante en las inundaciones, y raíz del problema, es la urbanización en la llanura de inundación del río. Como ya se ha dicho, ya sea por desconocimiento o por falta de legislación, la gente ha construido en éstas llanuras haciendo que cuando el río se desborda y tienda a ocupar un espacio que le pertenece, estén ahí las viviendas que son las que más se ven afectadas. Además el Puente de la Sierra está ubicado en una zona de valle dónde el agua, al llegar, pierde fuerza y tiende a expandirse.

Otro factor intensificador de inundaciones, y que tuvo mucha culpa de lo que ocurrió en la inundación del 15/8/1996, fue el puente del río Eliche. Este puente no está bien diseñado y hace que el agua, junto con ramas y sedimentos, retrocedan cuando llegan a ese punto. En la figura 17 se ve el puente del río Eliche.



Figura 17.- Puente del río Eliche a su paso por Puente de la Sierra

También es un factor agravante de las inundaciones el hecho de que en la mayor parte del territorio que afecta a la cuenca de drenaje la vegetación predominante sea el cultivo del olivar. El cultivo del olivar se da normalmente

sobre margas, que por naturaleza no infiltran gran cantidad de agua, y además, las labores agrícolas contribuyen a que el suelo esté desnudo y se favorezca la escorrentía, transportando sedimentos a los cauces de los ríos que se colmatan antes induciendo la formación de riadas e inundaciones.

4.2. Factores mitigadores

El principal factor para mitigar los efectos de las inundaciones son los sistemas de alarma. Hacer seguimientos meteorológicos y de caudales para estar alerta ante posibles eventos. Por ejemplo, en la inundación del 4/9/2003 Jaén no estaba en riesgo por inundaciones ni lluvias intensas, y sin embargo, se produjo una inundación.

El embalse del Quiebrajano también es un factor que puede reducir la intensidad de las inundaciones. Aunque como ya hemos dicho los cauces que alimentan al embalse son poco caudalosos y tienen un papel secundario, la presencia de la presa y la regulación de ésta pueden reducir los riesgos. Esto es lo que ocurrió en la inundación del 23/2/2010, que el embalse tuvo que dejar de desembalsar agua porque aguas abajo ya se había producido una inundación.

En cuanto a las viviendas ubicadas en la llanura de inundación del río, y que por tanto están más expuestas, la construcción de muros de protección reduce el riesgo.

4.3. Medidas

Es importante establecer medidas de protección ante inundaciones con el fin de reducir el riesgo. Estas medidas estarán condicionadas según el grado de exposición y de vulnerabilidad al que estén sometidas las infraestructuras y viviendas.

4.3.1. No estructurales

En primer lugar no ocupar las llanuras de inundación del río, aunque una vez hecho esto es difícil la vuelta atrás y se deberían tomar otras medidas.

Limpiar los cauces periódicamente de ramas, sedimentos, rocas o basura para favorecer el curso del agua también es una medida a plantear y que en nuestro caso es de gran importancia, pues la acumulación de estas ramas y la presencia del puente mal diseñado desembocan en la formación de la inundación.

Obviamente, y que como ya se ha dicho con anterioridad, los sistemas de alarma y de seguimiento de caudales y precipitaciones son la primera medida a llevar a cabo.

4.3.2. *Estructurales*

Como medidas estructurales podemos mencionar la construcción de escolleras, que en los márgenes del río Eliche ya se han realizado puntualmente como se puede ver en la figura 18.



Figura 18.- Escollera en el río Eliche.

Algo que se planteó hacer fue construir una presa aguas arriba del cauce del río Eliche, pero al final se rechazó la proposición ya que con esto únicamente se estaba trasladando el problema aguas arriba.

También se podrían llevar a cabo modificaciones del cauce para facilitar inundaciones controladas en áreas de baja vulnerabilidad siempre y cuando afectaran a suelo de dominio público y no se vieran involucradas infraestructuras privadas.

5. CONCLUSIONES

La principal conclusión de éste trabajo es que las inundaciones en el Puente de la Sierra son un proceso natural que forma parte de la dinámica fluvial. Sin embargo las inundaciones se convierten en riesgo cuando afectan a las personas e infraestructuras. La mala gestión del territorio ha hecho que se construya el área residencial del Puente de la Sierra parcialmente sobre una llanura de inundación, por lo que este área esté sujeta a que se produzcan inundaciones en su entorno.

Las inundaciones están ocasionadas por las precipitaciones, que son de dos tipos: súbitas y muy localizadas en el espacio, y de tipo más similar a las consideradas regionales, que se producen tras varios días de precipitaciones intensas en el conjunto de la cuenca de drenaje.

Se proponen diversas medidas para reducir riesgos en el futuro, tanto estructurales como no estructurales.

6. BIBLIOGRAFIA

Ayala, F.J. y Olcina, J. (2002). Riesgos Naturales. Ed. Ariel Ciencia.1512 pags.

Chow, V.T. (1956). Hydrologic Studies of Floods in the United States. International Association Science Hydrological.

Gregory, K.J., y Walling, D.E. (1973). Drainage Basin Form and Process.Ed. Arnold. London. 456 pags.

Vv.Aa. (2000). Jaén, Pueblos y Ciudades . Editorial Diario Jaén.

Schumm, S.A. (1977). The Fluvial System. Ed. Wiley. New York. 338 pags.

Smith, K., y Ward, R. (1998). Floods: Physical Processes and Human Impacts. Ed. Wiley. Chichester. 382 pags.

Otras fuentes consultadas:

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Ayuntamiento de Jaén.

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG).

Instituto de Estudios Giennenses.

<http://www.igme.es/internet/default.asp>

<http://www.ign.es/ign/main/index.do>

<http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

7. ANEXOS GRAFICOS

Tag	Nombre	Descripción	Punto	Tipo	Valor	Unidades	Desfase
2287	E17_101_X	VOLUMEN EMBALSADO	E17_QUIEBRAJANO	Analog.	Valor	Hm ³	0
2296	E17_215_X	DESEMBALSADO TOTAL	E17_QUIEBRAJANO	Acumul.	Increment	x10 ³ m ³	0
2299	E17_250_X	APORTACION AL EMBALSE	E17_QUIEBRAJANO	Acumul.	Increment	x10 ³ m ³	0
2291	E17_202	PRECIPITACION	E17_QUIEBRAJANO	Acumul.	Increment	l/m ²	0

Foto 1: Conjunto de datos facilitados por la confederación hidrográfica del Guadalquivir.



Foto 2: Delimitación Hidrográfica de los cauces del río Eliche y Quebrajano.



Foto 3: A la izquierda ejemplo de una mala edificación en la llanura de inundación del río Eliche. A la derecha los cañones del río, factor intensificador de las inundaciones.

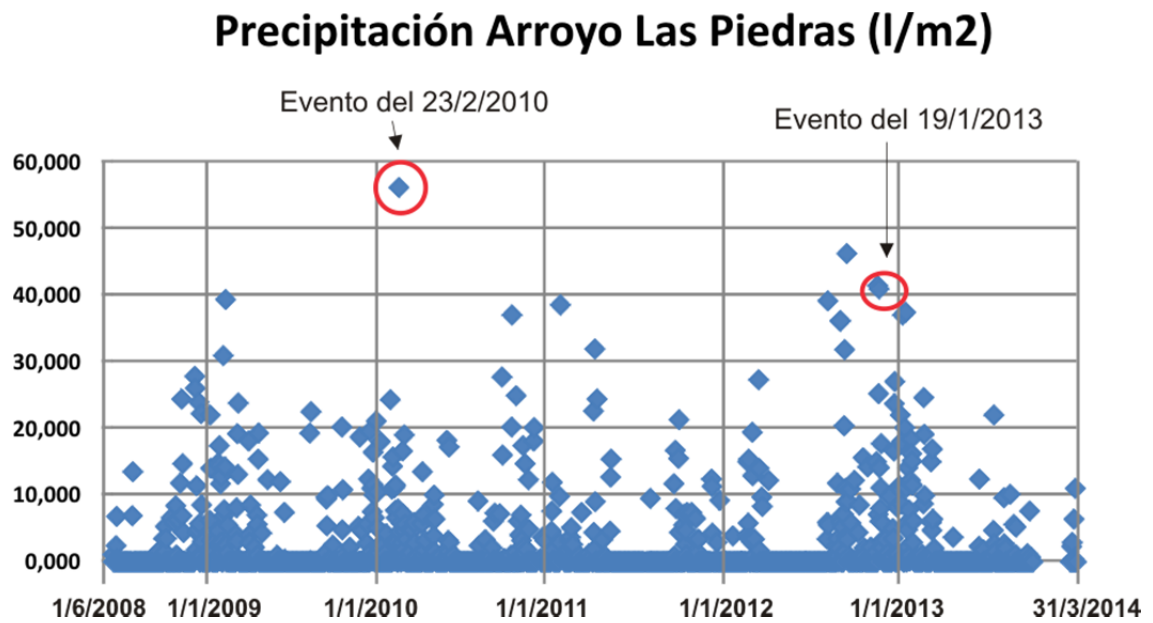


Foto 4: Precipitación Arroyo Las Piedras.

Precipitación Arroyo Los Naranjos (l/m²)

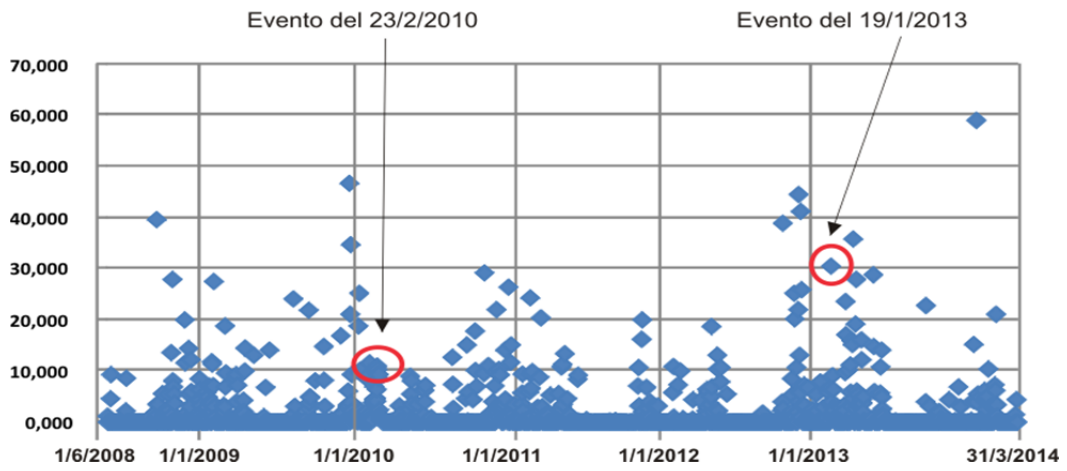


Foto 5: Precipitación Arroyo Los Naranjos.

Precipitación Arroyo La Parrilla (l/m²)

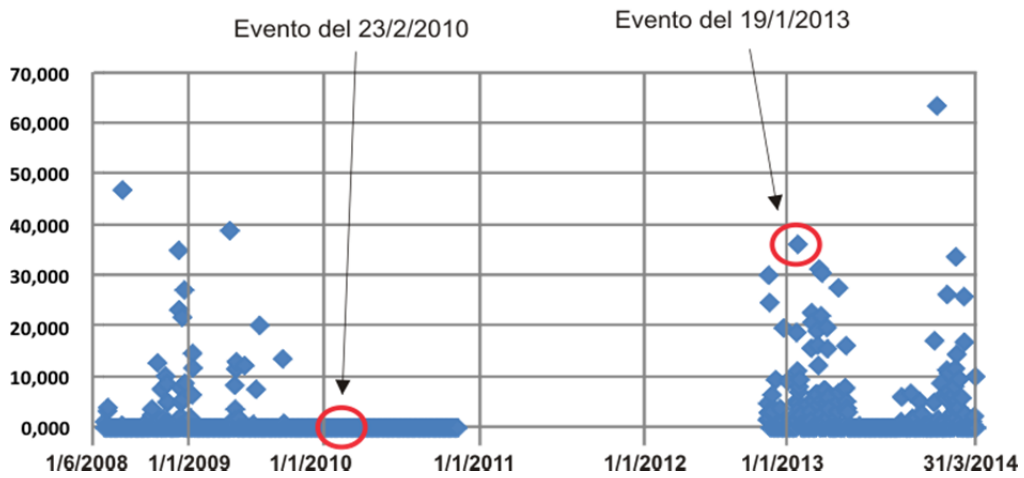


Foto 6: Precipitación Arroyo La Parrilla.

Precipitación Riofrío Jaén (l/m2)

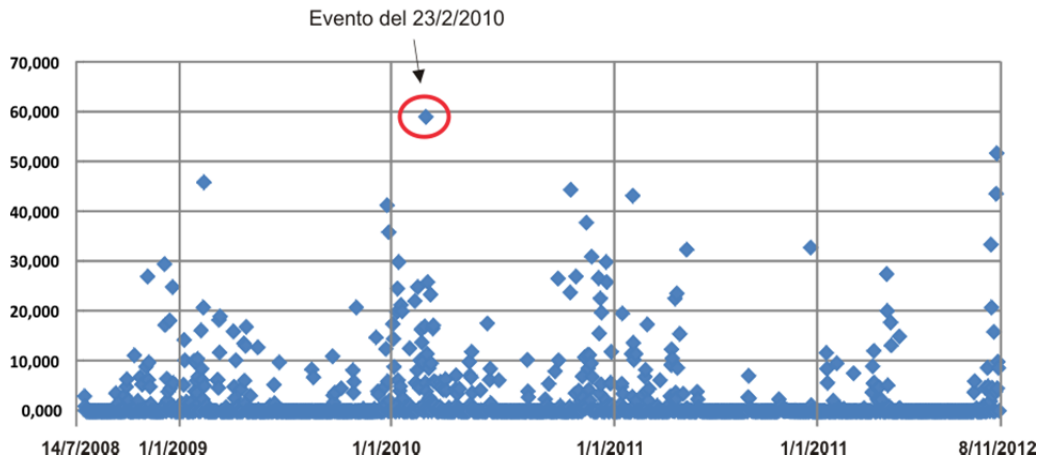


Foto 7: Precipitación Arroyo Riofrío.

Precipitación arroyo Bonilla (l/m2)

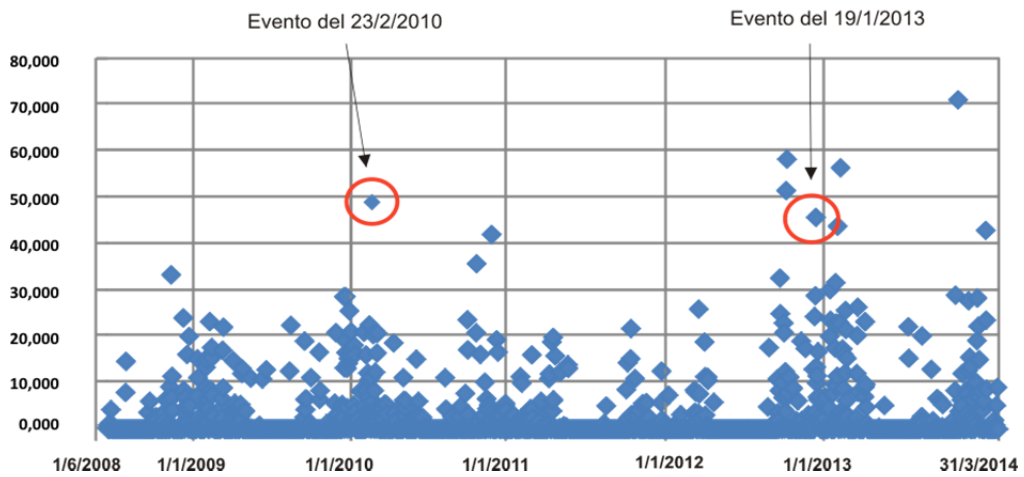


Foto 8: Precipitación Arroyo Bonilla.