# CAPÍTULO 3: IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO Y VULNERABILIDAD

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización de los núcleos de población de: A) Alcázar de San juan; B) Alameda de Cervera; C) Cinco Casas ..... 68
Figura 2 Vías de comunicación de los núcleos de población: A) Alcázar de San Juan; B) Alameda de Cervera; C) Cinco Casas ..... 70
Figura 3 Mapa de lámina de inundación de Alcázar de San Juan para un período de retorno de 500 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA ..... 73
Figura 4 Mapa de lámina de inundación inundación de Alameda de Cervera para un período de retorno de 500 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA ..... 73
Figura 5 Mapa de lámina de inundación de Cinco Casas para un período de retorno de 500 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA ..... 73
Figura 6 Mapa de Isolíneas de precipitaciones medias anuales de la publicación "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (DGC, 1999). Zoom de la zona de estudio. ..... 75
Figura 7 Hietograma centrado para el período de retorno de 500 años para la cuenca del arroyo del Albardial ..... 77
Figura 8 Hietograma centrado para el período de retorno de 500 años para la cuenca del arroyo de la Serna ..... 77
Figura 9 Mapa de la delimitación de las cuencas del arroyo Albardial y de la Serna ..... 79
Figura 10 Mapas de los modelos de cuenca para el software HEC.HMS de los arroyos Albardial y de la Serna ..... 81
Figura 11 Resultados de los umbrales de escorrentía o P0 presentes en las cuencas delimitadas para los arroyos del Albardial y de la Serna a su paso por el núcleo de población de Alcázar de San Juan ..... 82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Evolución de la cantidad de población (habitantes) del término municipal de Alcázar de San Juan desde 2005 hasta 2016. Fuente: INE ..... 70
Tabla 2 Cuantiles $Y_t$, de la ley SQRT extraída de la publicación "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (1999). En rojo queda definido el cuantil $Y_t$ correspondiente a la zona del Barranco de las Almunias. ..... 76
Tabla 3 Resumen de la obtención de los cuantiles correspondientes a los diferentes periodos de retorno, utilizando la publicación "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (1999). ..... 76
Tabla 4 Parámetros morfométricos y tiempos característicos del arroyo del Albardial, hasta su llegada al núcleo de población de Alcázar de San Juan ..... 80
Tabla 5 Parámetros morfométricos y tiempos característicos del arroyo de la Serna, hasta su llegada al núcleo de población de Alcázar de San Juan ..... 80
Tabla 6 Resumen de los valores de los umbrales de escorrentía ($P_0$) para la condición de humedad tipo 2 o intermedia para los arroyos del Albardial y de la Serna ..... 83
Tabla 7 Caudales resultantes en la desembocadura del modelo de cuenca del Barranco de las Almunias para las condiciones de humedad tipo 2 y tipo 3. Donde: Qp = Caudal punta; Vol del hidrograma = volumen del hidrograma resultante. ..... 83

## 3.1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente estudio se ha realizado para documentar técnicamente el riesgo de inundaciones en una serie de condiciones específicas en el terreno correspondiente al término municipal de Alcázar de San Juan, situado en la zona noreste de la provincia de Ciudad Real, comunidad autónoma de Castilla La Mancha.

Siguiendo los criterios establecidos tanto por la Directriz Básica para la planificación de protección civil ante el riesgo de inundaciones, como por el Plan especial de protección civil ante el riesgo de inundaciones de Castilla-La Mancha (PRICAM) y por la Orden de la Consejería de Hacienda y Administraciones Públicas de fecha 27-01-2016, dicho proyecto contiene el análisis hidrológico - hidráulico de la red de drenaje de la zona vertiente sobre los núcleos de población de Alcázar de San Juan, Alameda de Cervera y Cinco Casas, los cuales se encuentran en el término municipal de Alcázar de San Juan. Se incluyen igualmente las simulaciones hidráulicas en dos dimensiones de dichas avenidas en el tramo correspondiente a la evacuación de los caudales punta calculados, todo ello con la topografía de la zona a escala apropiada.

Esta información permite no sólo evaluar los acontecimientos actuales que ocurren en esta área, sino también hacer una previsión del comportamiento del agua en situaciones de avenida en la cuenca para los periodos de retorno analizados. Asimismo, dicha herramienta resulta muy efectiva en la gestión del territorio, ya que, conociendo de antemano cómo va actuar el agua y parámetros como el calado o la velocidad que ésta va a alcanzar, es posible conocer la magnitud del factor peligrosidad y, por consiguiente, proponer medidas para minimizar sus consecuencias.

Para ello se emplean los procedimientos regulados por la legislación vigente y las herramientas más avanzadas de apoyo a la modelación hidrológica e hidráulica, como son el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) asociados con el *software* de modelación.

El presente estudio pertenece al Plan de Actuación Municipal ante el riesgo de inundaciones de Alcázar de San Juan, el cual es desarrollo, a su vez, del Plan Territorial de Emergencia Municipal del mismo término municipal.

A nivel nacional, la normativa sobre inundaciones está regulada por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (1997). En esta directriz se detallan las tipologías de inundación respecto al nivel de riesgo esperado.

En un orden jerárquico inferior, el Plan Especial de Protección Civil Ante el Riesgo de Inundaciones de Castilla la Mancha (PRICAM, revisión 2015), constata la necesidad de realizar planes especiales sobre el riesgo de inundación de ámbito local en la comunidad de Castilla la Mancha. En su valoración general del riesgo, este plan establece el término municipal de Alcázar de San Juan con el riesgo más elevado o A1 según la Directriz de Protección Civil.

El propio plan recomienda una metodología de análisis de riesgo clásica (Peligrosidad, Vulnerabilidad y Exposición) en los estudios de este tipo. La aproximación al riesgo debe ser en detalle con un análisis a escala municipal, incluyendo para la peligrosidad el uso de modelos hidrológicos, modelos hidráulicos, uso de datos geomorfológicos, uso de datos históricos y su cruce con variables demográficas y de tipología social para las cuantificaciones de vulnerabilidad exposición.

Por todo ello, la falta de una aproximación en detalle a nivel municipal justifica la realización de este estudio.

## 3.2.- DESCRIPCIÓN DEL TÉRMINO MUNICIPAL

El término municipal de Alcázar de San Juan comprende tres núcleos de población: Alcázar de San Juan, Cinco Casas y Alameda de Cervera (Figura 1). El municipio tiene una superficie de 666,82 km² y una altitud media de 647 msnm.

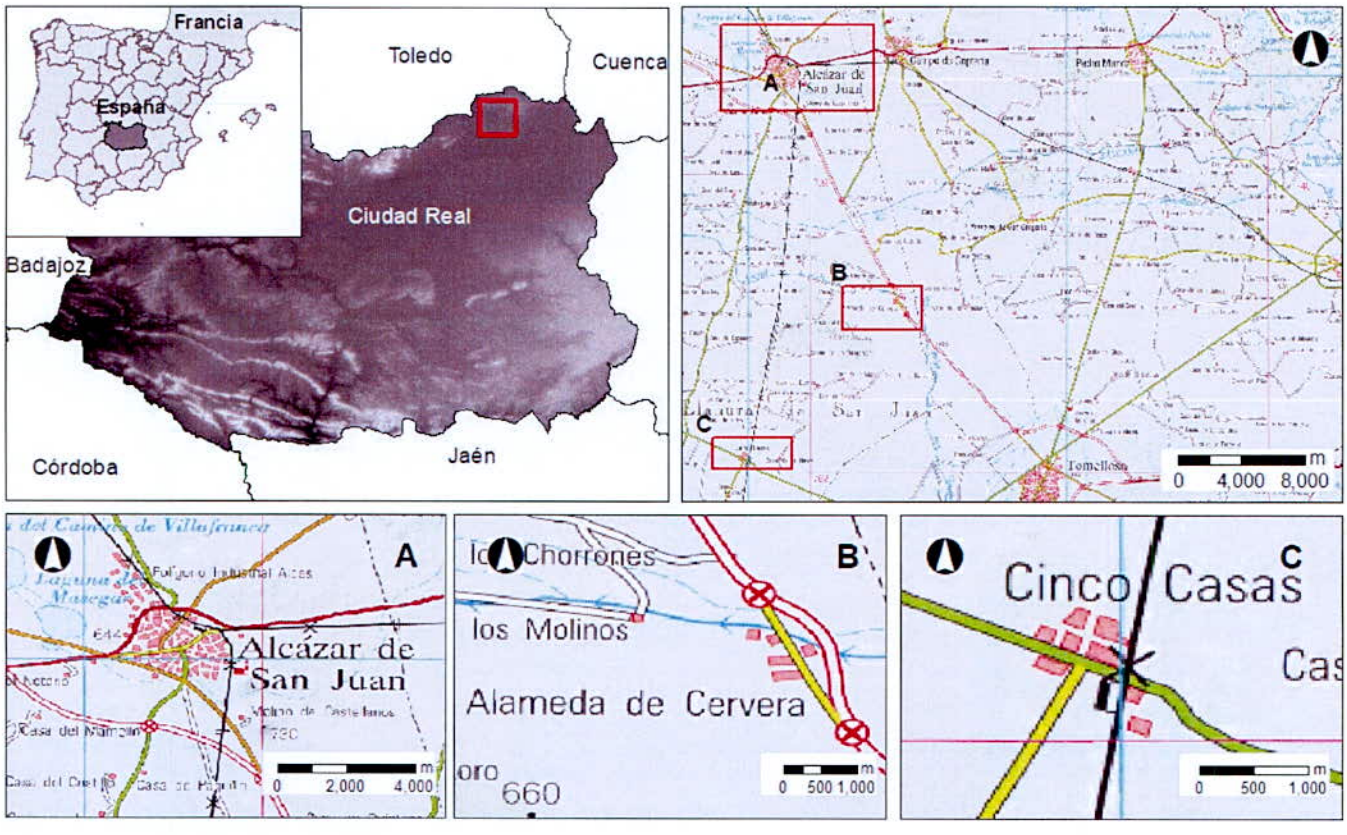



**Figura 1 Localización de los núcleos de población de: A) Alcázar de San juan; B) Alameda de Cervera; C) Cinco Casas**

El clima característico de Alcázar de San Juan es marcadamente mediterráneo con unas precipitaciones medias anuales de unos 400 mm y una temperatura media anual que oscila entre los 13 y 15ºC (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, MAPAMA).

La topografía del terreno, casi totalmente llana, y la naturaleza del sustrato que favorece la percolación de las aguas, producen superficies inundadas a causa del desbordamiento de los ríos y de los aportes de aguas subterráneas.

Tienen además cierta importancia por su riqueza biológica las lagunas, principal exponente de La Mancha Húmeda, en particular el complejo lagunar de Alcázar de San Juan. Próximo a la población, está compuesto por tres lagunas, llamadas La Veguilla, Laguna del Camino de Villafranca y Laguna de Las Yeguas. Es una zona de alto valor natural, lo que ha propiciado la adopción de figuras de protección y reconocimiento como: refugio de fauna, zona de especial protección de aves (ZEPA), Reserva de la biosfera de la Mancha Húmeda (UNESCO), Humedales de importancia internacional (RAMSAR)(Plan de Gestión de HUMEDALES DE LA MANCHA, ES4250010/ES0000091).

### 3.2.1.- Geología y geomorfología

La geología del entorno de Alcázar de San Juan se caracteriza por materiales paleozoicos fundamentalmente Ordovícicos, constituidos por cuarcitas con niveles de areniscas intercaladas del Tremadoc-Arenigiense y pizarras arenosas del Llanvirniense, que fueron plegados y fracturados durante la orogenia Hercínica o Varisca. La erosión posterior ha dado lugar a un relieve montañoso tipo apalechense, organizado en función de la resistencia diferencial y disposición inicial de los sedimentos. Actualmente, estas representaciones silíceas irrumpen a modo de serrezuelas, cerros y lomas de modestas dimensiones, constituyendo los afloramientos más orientales y residuales de los Montes de Toledo.

Sobre los materiales paleozoicos se depositaron de forma discordante los sedimentos Triásicos a favor de las fracturas tardihercínicas y depresiones producidas por la distensión generalizada que hubo durante el Carbonífero Superior y el Pérmico. Están constituidos en la base por areniscas, arcillas y aleuritas de color rojo vinoso (Bundsadstein) y en el techo por margas irisadas, arcillas abigarradas y alta proporción de yesos (Keuper), faltando a nivel local los niveles calizos intermedios del Muschelkalk. Durante el Jurásico y el Cretácico se sucedieron varios episodios de regresión y transgresión marina que alcanzaron la zona de Alcázar de San Juan y Campo de Criptana en los que se depositaron importantes paquetes de calizas y dolomías, intercaladas con margas, arenas, conglomerados y arcillas (Plan de Gestión de HUMEDALES DE LA MANCHA, ES4250010/ES0000091)

### 3.2.2.- Infraestructuras y vías de comunicación

Alcázar de San Juan cuenta con distintas vías de comunicación como son: las líneas de ferroviarias Madrid-Alcázar, Alcázar-Albacete y Alcázar-Jaén y las carreteras Cm-9311, CM-310, CM-400 y la N420 (Figura 2).

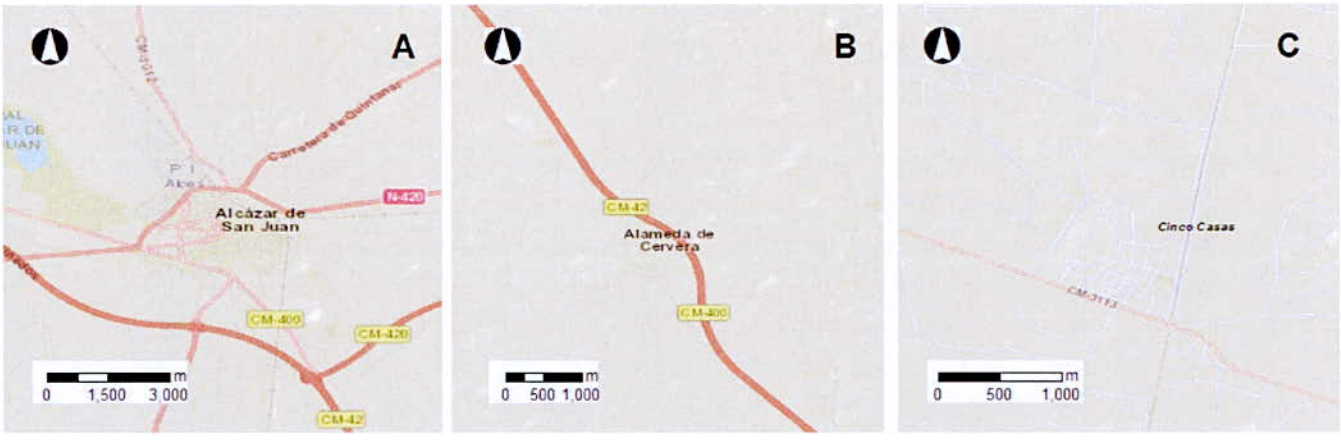



Figura 2 Vías de comunicación de los núcleos de población: A) Alcázar de San Juan; B) Alameda de Cervera; C) Cinco Casas

### 3.2.3.- Demografía

La demografía del término municipal de Alcázar de San Juan se ha visto incrementada en la última década, llegando a registrar una población de 30.967 habitantes en 2016 (último registro anual, INE)

Tabla 1 Evolución de la cantidad de población (habitantes) del término municipal de Alcázar de San Juan desde 2005 hasta 2016. **Fuente: INE**

| *año* | *población (habitantes)* |
|---|---|
| ***2016*** | 30.967 |
| ***2015*** | 31.269 |
| ***2014*** | 31.650 |
| ***2013*** | 31.973 |
| ***2012*** | 31.992 |
| ***2011*** | 31.652 |
| ***2010*** | 31.120 |
| ***2009*** | 30.675 |
| ***2008*** | 30.408 |
| ***2007*** | 29.693 |
| ***2006*** | 29.625 |
| ***2005*** | 28.783 |

## 3.3.- TIPOLOGÍA DE LAS INUNDACIONES

A efectos de la Directriz Básica se consideran todas aquellas inundaciones que representen un riesgo para la población y los bienes, produzcan daños en infraestructuras básicas o interrumpan servicios esenciales para la comunidad y que puedan ser encuadradas en alguno de los tipos siguientes:

a) *Inundaciones por precipitaciones `in situ`*

b) *Inundaciones por escorrentía, avenida o desbordamiento de cauces*, provocada por:

- Precipitaciones

- Deshielo o fusión de nieve

- Obstrucción de cauces naturales o artificiales

- Invasión de cauces, aterramientos o dificultades de avenamiento

c) *Inundaciones por rotura o la operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica*

Según lo apuntado dentro del Plan Territorial de Emergencia de Castilla-La Mancha (PLATECAM), el estudio del Riesgo se ha de abordar para las situaciones provocadas por:

- Acción directa sobre cualquier territorio de lluvias torrenciales.
- Crecida del caudal de ríos y torrentes en una o varias cuencas, debido a episodios de lluvias intensas dentro o fuera del territorio castellano manchego.
- Rotura de presas o similar, no necesariamente debidas a fenómenos meteorológicos.

Las zonas inundables se clasificarán por razón del riesgo en la forma siguiente:

- **Zonas A, de riesgo alto.** Son aquellas zonas en las que las avenidas de cincuenta, cien o quinientos años producirán graves daños a núcleos de población importante. También se considerarán zonas de riesgo máximo aquellas en las que las avenidas de cincuenta años producirán impactos a viviendas aisladas, o daños importantes a instalaciones comerciales o industriales y/o a los servicios básicos.
- Dentro de estas zonas, y a efectos de emergencia para las poblaciones, se establecerán las siguientes subzonas:
  - **Zonas A-1. Zonas de riesgo alto frecuente.** Son aquellas zonas en las que la avenida de cincuenta años producirá graves daños a núcleos urbanos.
  - **Zonas A-2. Zonas de riesgo alto ocasional.** Son aquellas zonas en las que la avenida de cien años produciría graves daños a núcleos urbanos.
  - **Zonas A-**3, de riesgo alto excepcional. Son aquellas en las que la avenida de quinientos años produciría graves daños a núcleos urbanos.
- **Zonas B, de riesgo significativo.** Son aquellas zonas, no coincidentes con las zonas A, en las que la avenida de los cien años produciría impactos en viviendas aisladas, y las avenidas de período de retorno igual o superior a los cien años, daños significativos a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos.

- **Zonas C, de riesgo bajo.** Son aquellas, no coincidentes con las zonas A ni con las zonas B, en las que la avenida de los quinientos años produciría impactos en viviendas aisladas, y las avenidas consideradas en los mapas de inundación, daños pequeños a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos.

Teniendo en cuenta esta zonificación de las zonas inundables establecida para Protección Civil, se procedió de la manera siguiente:

### 3.3.1.- Inundaciones por escorrentía, avenida o desbordamiento de cauces

Como primera aproximación al riesgo de inundación fluvial, este estudio se ha basado en delimitar las zonas con alguna probabilidad de inundación y aquellas sin ninguna probabilidad por encontrarse fuera del alcance del peligro por inundación.

Para este fin se utilizó la cartografía de inundaciones del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables de España o SNCZI (MAPAMA). Esta cartografía ha servido para determinar en qué áreas se debe focalizar el estudio para el cálculo del riesgo por inundación fluvial.

El SNCZI establece riesgo de inundación fluvial por desbordamientos en el núcleo de población de Alcázar de San Juan, para los períodos de retorno 50, 100 y 500 años tal y como establece la zonificación de Protección Civil. Pero no determina riesgo de inundación por desbordamiento para estos periodos de retorno en los núcleos de población de Alameda de Cervera y Cinco Casas.

En las figuras 3, 4 y 5 se puede observar la mancha de inundación resultante del SNCZI para el periodo de retorno de 500 años para los núcleos de población de Alcázar de San Juan, Alameda de Cervera y Cinco Casas, el resto de manchas de inundaciones del SNCZI para los periodos de retorno de 50 y 100 años se encuentran en el Anejo II de la memoria.

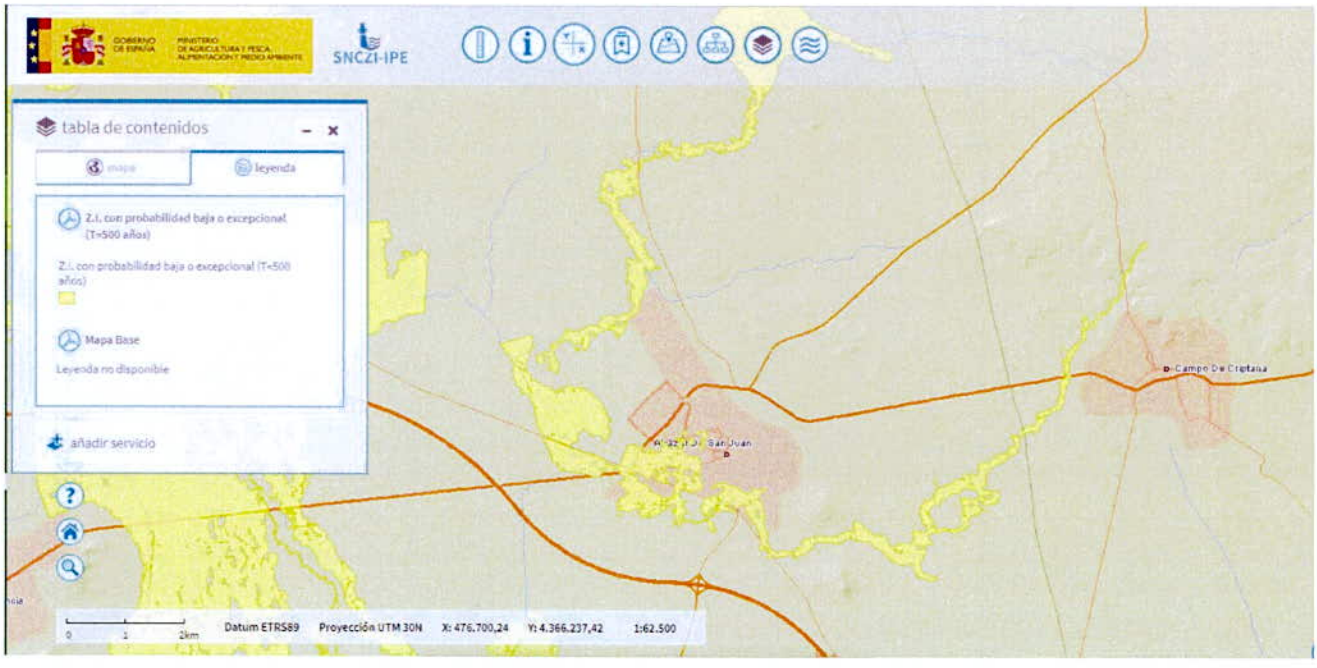


**Figura 3 Mapa de lámina de inundación de Alcázar de San Juan para un período de retorno de 500 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

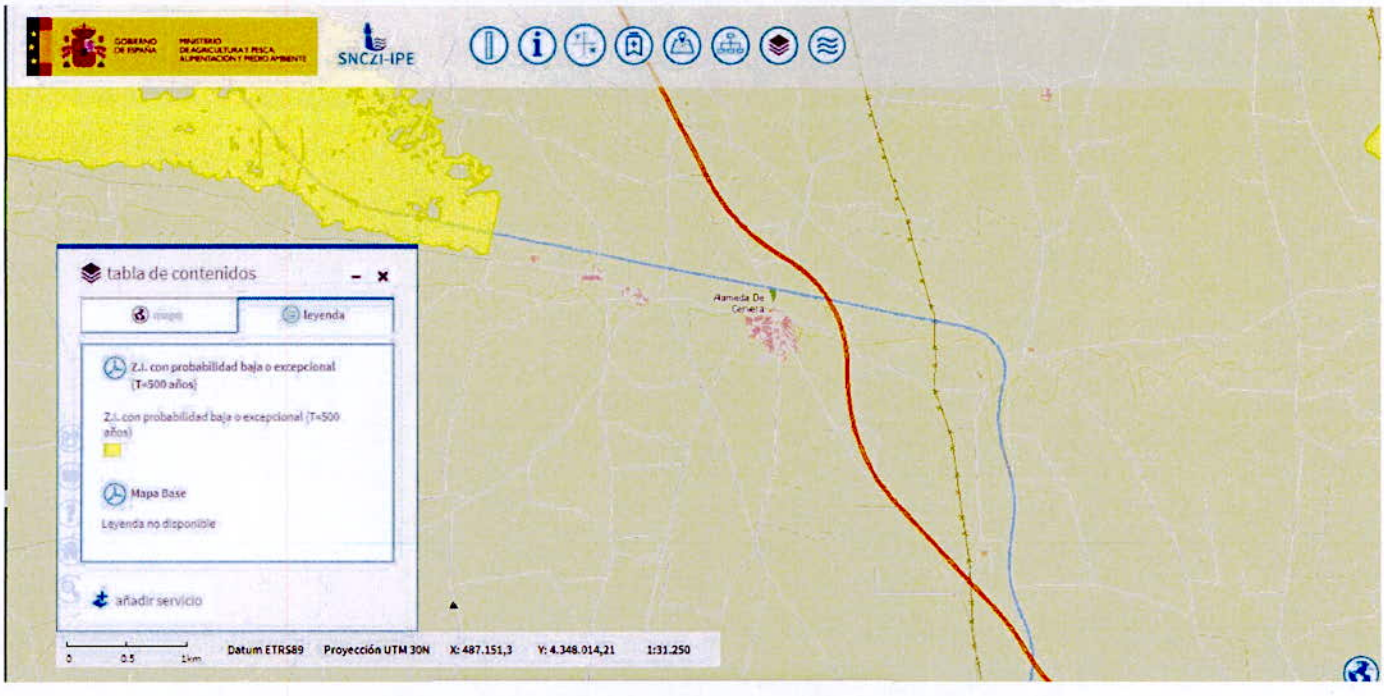



**Figura 4 Mapa de lámina de inundación inundación de Alameda de Cervera para un período de retorno de 500 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

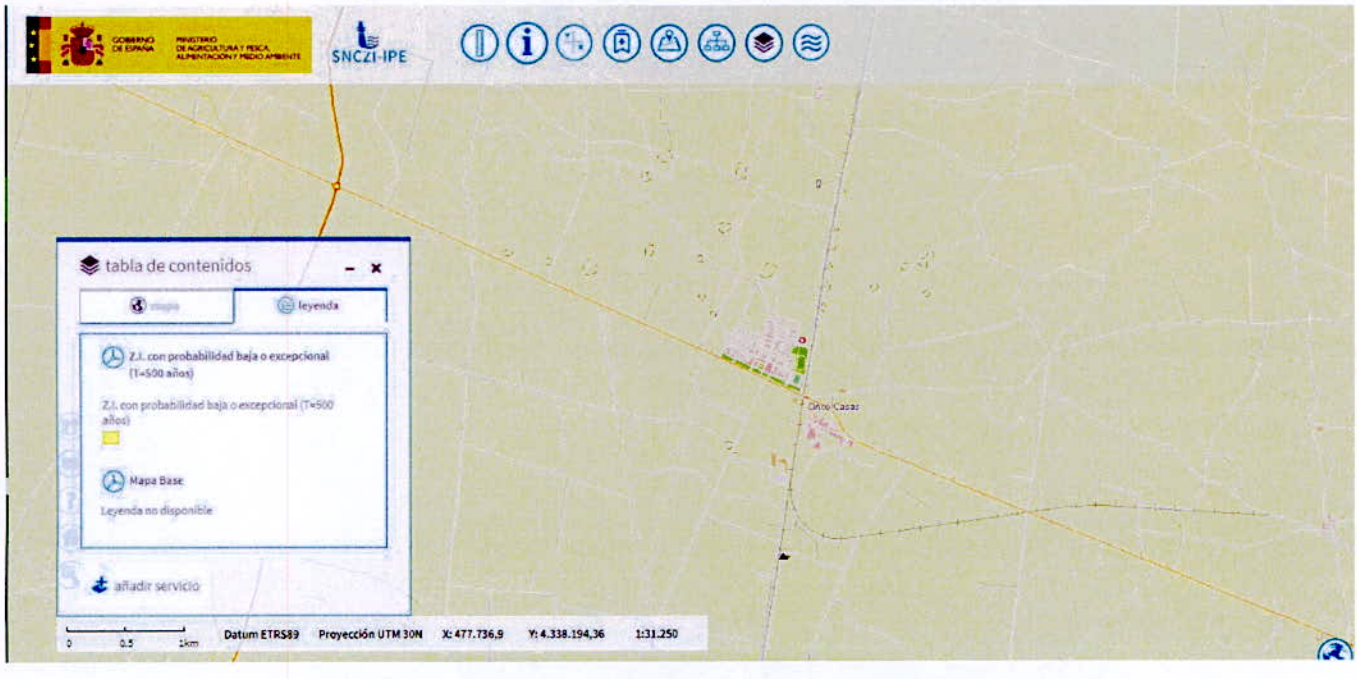



**Figura 5 Mapa de lámina de inundación de Cinco Casas para un período de retorno de 500 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

A la vista de estos resultados, se procedió a realizar un estudio de riesgo de inundaciones por desbordamiento o escorrentía más exhaustivo únicamente en el núcleo de población de Alcázar de San Juan, dónde nos indica el SNCZI que hay inundaciones para los períodos de retorno de 50, 100 y 500 años.

### 3.3.1.1.- Estudio Hidrológico

Este riesgo de inundación fluvial proviene principalmente de dos arroyos: El arroyo de la Serna y el arroyo del Albardial, ambos cercanos al núcleo de Alcázar de San Juan.

Para poder cuantificar el riesgo de inundación fluvial para la población se procedió a utilizar métodos hidrológicos que permiten la simulación del proceso de transformación de las precipitaciones en escorrentía. Mediante herramientas informáticas como los sistemas de información geográfica (SIG), y su combinación con programas de modelización hidrológica como HEC-HMS (Hydrologic Modeling System – Hydrologic Engineering center) y su extensión HEC-GeoHMS, han permitido un avance en la sistematización y simulación de estos eventos (Llorente et al. 2009).

De los diferentes tipos de métodos para el estudio de la peligrosidad de inundaciones y de la respuesta hidrológica ante eventos de avenida (Díez-herrero et al., 2008) se han escogido métodos hidrometeorológicos de transformación precipitación-aportación debido a la ausencia de estaciones de aforo en los arroyos del Albardial y de la Serna.

#### 3.3.1.1.1.- Precipitaciones y estimación de los cuantiles de lluvia

Las series de precipitaciones fueron obtenidas de las estaciones totales más cercanas al área de estudio, concretamente de Ciudad Real, Toledo y Albacete. Todas ellas incluidas en la red de estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET).

Las series derivadas de las tres estaciones fueron utilizadas para obtener la estimación de la lluvia máxima diaria para varios periodos de retorno.

A pesar de la gran distancia entre el ámbito y las estaciones meteorológicas, la homogeneidad del clima y la situación orográfica sin una excesiva variación de altura, permitieron extrapolar los datos sin tener una distorsión excesiva.

Fueron consideradas las series que estuviesen compuestas por un número mínimo de 35 años completos para así poder determinar las precipitaciones representativas de la zona. Aquellas estaciones que, a pesar de su cercanía, tenían una serie inferior a 35 años de datos completos, fueron descartadas.

Debido a que las estaciones pluviométricas más cercanas no tienen series suficientemente largas de registro, para realizar un análisis estadístico consistente de las precipitaciones características de la zona de estudio, se decidió utilizar la publicación del Ministerio de

Fomento "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (Ministerio de Fomento, 1999), donde se realiza una estimación de las máximas lluvias previsibles y de diferentes cuantiles en las distintas regiones de la España peninsular, utilizando los datos de las 1545 estaciones pluviométricas nacionales con 30 o más años, aplicándolas un factor de regionalización según el comportamiento similar estadístico de las distintas regiones de la España Peninsular, para poder calcular de manera rápida y fiable los caudales a desaguar por los pequeños cauces existentes sin registro o ausencia de datos representativos de precipitaciones, como son el caso del arroyo del Albardial y de la Serna.

Se eligieron los periodos de retorno (T) de 50, 100 y 500 años para la estimación de los cuantiles de lluvia (basándose en los umbrales de la Directriz Básica de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones)

Seguidamente y tomando como referencia la publicación "Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular" (Ministerio de Fomento, 1999) se calcularon los cuantiles de la siguiente forma:

1) Localización en los planos el punto correspondiente a la zona objeto de estudio.
2) Estimación mediante las Isolíneas representadas del coeficiente de variación $C_v$ (Figura 6) y del valor medio de $\overline{P}$de la máxima precipitación diaria anual.

**Figura 6 Mapa de Isolíneas de precipitaciones medias anuales de la publicación "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (DGC, 1999). Zoom de la zona de estudio.**

3) Para el periodo de retorno $T$ y el valor $C_v$, obtención de cuantil regional $Y_t$, mediante la Tabla 2.

Tabla 2 Cuantiles $Y_t$, de la ley SQRT extraída de la publicación "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (1999). En rojo queda definido el cuantil $Y_t$ correspondiente a la zona del Barranco de las Almunias.

| | PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_v$ | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 | 500 |
| 0.30 | 0.935 | 1.194 | 1.377 | 1.625 | 1.823 | 2.022 | 2.251 | 2.541 |
| 0.31 | 0.932 | 1.198 | 1.385 | 1.640 | 1.854 | 2.068 | 2.296 | 2.602 |
| 0.32 | 0.929 | 1.202 | 1.400 | 1.671 | 1.884 | 2.098 | 2.342 | 2.663 |
| 0.33 | 0.927 | 1.209 | 1.415 | 1.686 | 1.915 | 2.144 | 2.388 | 2.724 |
| 0.34 | 0.924 | 1.213 | 1.423 | 1.717 | 1.930 | 2.174 | 2.434 | 2.785 |
| 0.35 | 0.921 | 1.217 | 1.438 | 1.732 | 1.961 | 2.220 | 2.480 | 2.831 |
| 0.36 | 0.919 | 1.225 | 1.446 | 1.747 | 1.991 | 2.251 | 2.525 | 2.892 |
| 0.37 | 0.917 | 1.232 | 1.461 | 1.778 | 2.022 | 2.281 | 2.571 | 2.953 |
| 0.38 | 0.914 | 1.240 | 1.469 | 1.793 | 2.052 | 2.327 | 2.617 | 3.014 |
| 0.39 | 0.912 | 1.243 | 1.484 | 1.808 | 2.083 | 2.357 | 2.663 | 3.067 |
| 0.40 | 0.909 | 1.247 | 1.492 | 1.839 | 2.113 | 2.403 | 2.708 | 3.128 |
| 0.41 | 0.906 | 1.255 | 1.507 | 1.854 | 2.144 | 2.434 | 2.754 | 3.189 |
| 0.42 | 0.904 | 1.259 | 1.514 | 1.884 | 2.174 | 2.480 | 2.800 | 3.250 |
| 0.43 | 0.901 | 1.263 | 1.534 | 1.900 | 2.205 | 2.510 | 2.846 | 3.311 |
| 0.44 | 0.898 | 1.270 | 1.541 | 1.915 | 2.220 | 2.556 | 2.892 | 3.372 |
| 0.45 | 0.896 | 1.274 | 1.549 | 1.945 | 2.251 | 2.586 | 2.937 | 3.433 |
| 0.46 | 0.894 | 1.278 | 1.564 | 1.961 | 2.281 | 2.632 | 2.983 | 3.494 |

4) Realización del producto del cuantil regional $Y_t$ por el valor medio $\overline{P}$ obteniéndose el cuantil local de PMDA

Tabla 3 Resumen de la obtención de los cuantiles correspondientes a los diferentes periodos de retorno, utilizando la publicación "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (1999).

| T (años) | Cv | $\overline{P}$ (mm/día) | $Y_t$ | $X_t$(mm/día) |
|---|---|---|---|---|
| **50** | 0.39 | 35 | 2.083 | 73 |
| **100** | 0.39 | 35 | 2.357 | 82 |
| **500** | 0.39 | 35 | 3.067 | 107 |

3.3.1.1.2.- Hietogramas sintéticos

Disponiendo ya de la precipitación máxima diaria con un periodo de retorno *T*, se debe de calcular la intensidad de precipitación para un intervalo de tiempo equivalente al $t_c$.

A partir de la metodología expuesta en la norma 5.2 – IC drenaje superficial de la instrucción de Carreteras se han generado hietogramas para representar la variación de la intensidad de precipitación a lo largo de 24 horas, tomando como intervalo de tiempo 30 minutos. Se han producido hietogramas centrados mediante el método de los Bloques Alternos (Chow et al.,

1994), para cada uno de los periodos de retorno considerados (50, 100 y 500 años) para los arroyos del Albardial y de la Serna.

En las figuras se muestran los hietogramas creados para el periodo de retorno de 500 años tanto para la cuenca del arroyo Albardial como del arroyo de la Serna. El resto de hietogramas se muestran en el Anexo I de la memoria.

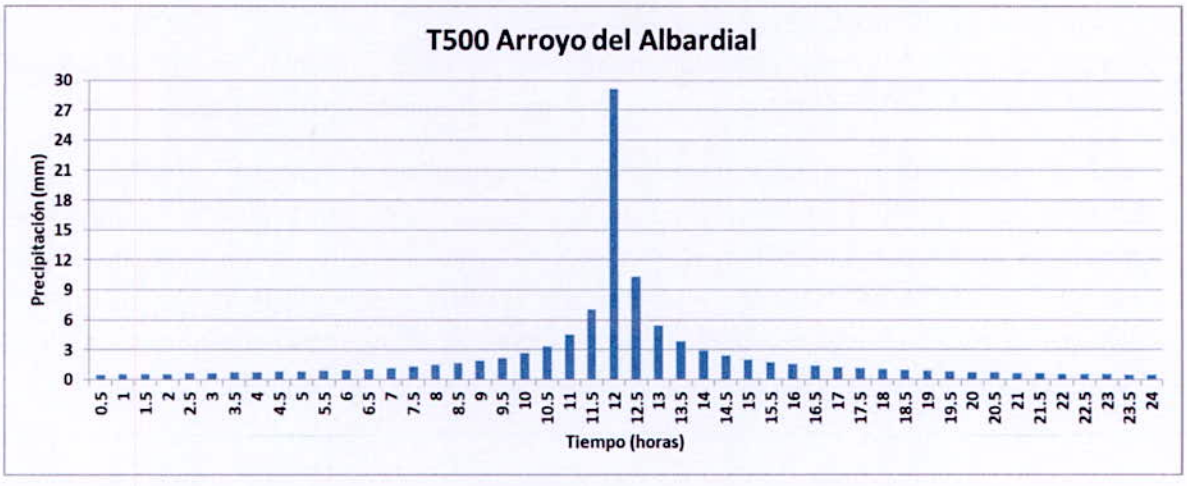



Figura 7 Hietograma centrado para el período de retorno de 500 años para la cuenca del arroyo del Albardial

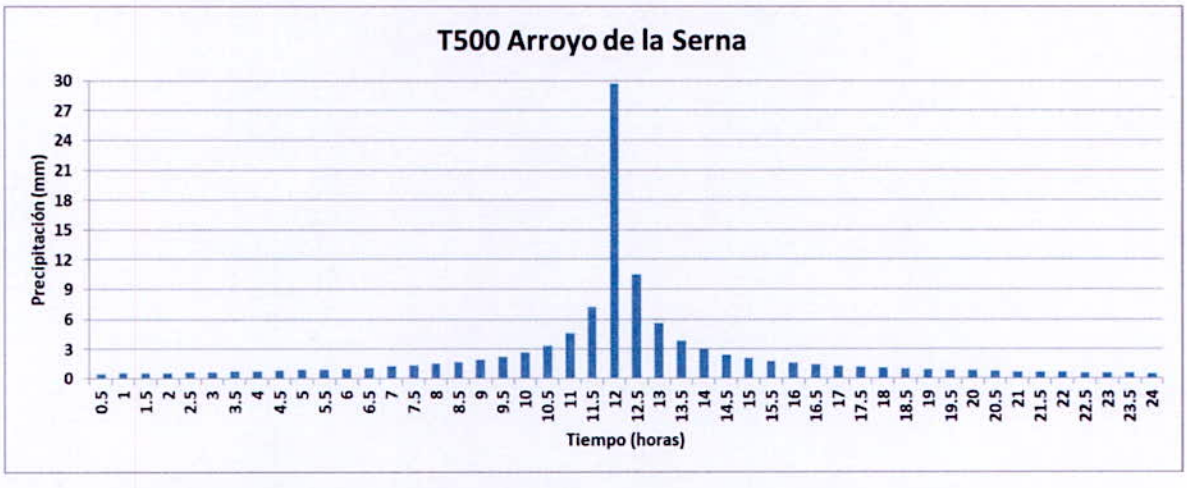



Figura 8 Hietograma centrado para el período de retorno de 500 años para la cuenca del arroyo de la Serna

3.3.1.1.3.- Modelo de Cuenca

Se recopiló información de diferentes bases de datos cartográficas institucionales:

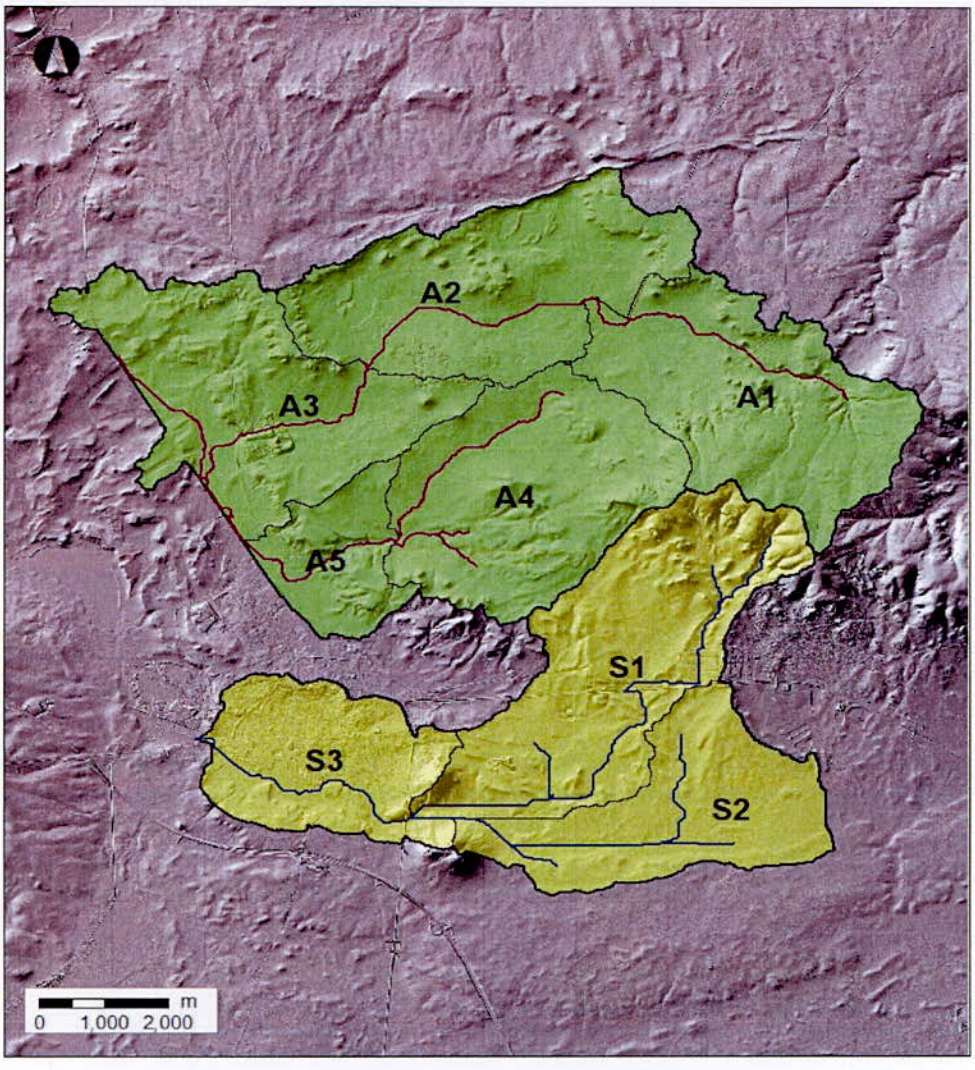
- Modelos digitales del terreno (MDT) procedente de LiDAR 2x2 m, con fecha del 2009 del Instituto Geográfico Nacional (IGN)
- MDT 5x5 m, con fecha del 2012 del IGN
- Plan Nacional de Ortografía Aérea (PNOA) del IGN con fecha de 2009.

- Sistema de Información sobre Ocupación de Suelo de España (SIOSE) actual del IGN con fecha de 2011
- Red Hidrográfica 1:25.000 en formato *shape* (shp) de la Confederación Hidrográfica del Guadiana
- Base Topográfica Nacional de España a escala 1:25.000 (BTN25)
- Base Cartográfica Nacional de España a escala 1:200.000 (BCN200)

*Delimitación de Subcuencas*

Las cuencas de ambos arroyos han sido tratadas por separado en la modelización utilizándose el MDT 5x5 m de la zona de estudio, con sistema de coordenadas ETRS89 UTM30.

A partir de este MDT y mediante el *software* ArcGIS 10.3 (ESRI Geosystems), se ha procedido a la delimitación de las cuencas y la red de drenaje (Figura 9), así como a la obtención de diferentes parámetros morfométricos (Tablas 4 y 5): máxima longitud de flujo, área de la cuenca y pendiente de los cauces. El área delimitada para la delineación de subcuencas han sido las cuencas del arroyo del Albardial y de la Serna, desde la cabecera hasta su paso por el núcleo de población de Alcázar de San Juan (Figura 1).




Leyenda:
Arroyo de la Serna
Arroyo del Albardial
Límite de Cuenca
nnn Número de subcuenca

**Figura 9 Mapa de la delimitación de las cuencas del arroyo Albardial y de la Serna**

*Tiempos Característicos*

Los tiempos característicos calculados a partir de las características morfométricas de las subcuencas han sido: el tiempo de concentración o $t_c$ de cada subcuenca y el tiempo de retardo o $t_{lag}$ asociado a éste último (Tablas 4 y 5).

El tiempo de concentración $t_c$, "es el tiempo mínimo necesario desde el comienzo del aguacero para que toda la superficie de la cuenca esté aportando escorrentía en el punto de desagüe y se obtiene calculando el tiempo de recorrido más largo desde cualquier punto de la cuenca hasta el punto de desagüe." (Ministerio de Fomento, 2016).

En España se utiliza para su cálculo, la expresión que aparece en la normativa 5.2 - IC "Drenaje Superficial" de la Instrucción de Carreteras (Ministerio de Fomento, 2016)

$$t_c = 0{,}3 * L_c^{0{,}76} * J_c^{-0{,}19}$$

Donde:

$t_c$ (horas) = Tiempo de concentración

$L_c$ (km) = Longitud del cauce

$J_c$ (m/m) = Pendiente media del cauce

Para la longitud del cauce y la pendiente de éste se ha utilizado el máximo recorrido del flujo que se produce en cada subcuenca, ya que la instrucción indica que se debe tomar el cauce del agua que mayor $t_c$ produzca.

Para el cálculo del tiempo de retardo $t_{lag}$ se ha utilizado la siguiente fórmula (SCS, 1972):

$$t_{lag} = 0{,}6 * t_c$$

Tabla 4 Parámetros morfométricos y tiempos característicos del arroyo del Albardial, hasta su llegada al núcleo de población de Alcázar de San Juan

| | SUBCUENCA | | CAUCE MÁS LARGO (Longest Flow Path) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nombre | Área (km²) | Longitud (km) | Cota Máx (msnm) | Cota Mín (msnm) | Δ Altura (m) | Pendiente (m/m) | $t_c$ (horas) | $t_c$ (min) | $t_{lag}$ (0,6*Tc) |
| Arroyo del Albardial | 1 | 13.33 | 9.97 | 775 | 681 | 94 | 0.009 | 4.18 | 250.81 | 150.49 |
| | 2 | 13.86 | 7.53 | 704 | 673 | 31 | 0.004 | 3.95 | 237.09 | 142.25 |
| | 3 | 14.30 | 7.95 | 693 | 642 | 51 | 0.006 | 3.79 | 227.11 | 136.27 |
| | 4 | 13.08 | 8.11 | 765 | 659 | 106 | 0.013 | 3.35 | 201.30 | 120.78 |
| | 5 | 4.51 | 5.43 | 681 | 643 | 39 | 0.007 | 2.78 | 166.73 | 100.04 |
| | Total | 59 | | | | | | | | |

Tabla 5 Parámetros morfométricos y tiempos característicos del arroyo de la Serna, hasta su llegada al núcleo de población de Alcázar de San Juan

| | SUBCUENCA | | CAUCE MÁS LARGO (Longest Flow Path) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nombre | Área (km²) | Longitud (km) | Cota Máx (msnm) | Cota Mín (msnm) | Δ Altura (m) | Pendiente (m/m) | $t_c$ (horas) | $t_c$ (min) | $t_{lag}$ (0,6*Tc) |
| Arroyo de la Serna | 1 | 15.73 | 10.66 | 763.74 | 647.36 | 116.38 | 0.011 | 4.275 | 256.515 | 153.909 |
| | 3 | 8.43 | 5.52 | 721.38 | 633.71 | 87.67 | 0.016 | 2.413 | 144.774 | 86.865 |
| | 2 | 10.13 | 7.93 | 669.17 | 647.36 | 21.81 | 0.003 | 4.437 | 266.225 | 159.735 |
| | Total | 34 | | | | | | | | |

A partir de estos resultados se ha creado un modelo de cuenca para el software de simulación hidrológica HEC-HMS 4.0 (*Hydrologic Modeling System – Hydrologic Engineering Center*), en donde se puede observar cada subcuenca (*subbasin*), confluencia (*junction*) y tramos de circulación (*reaches*) generados (Figura 10).

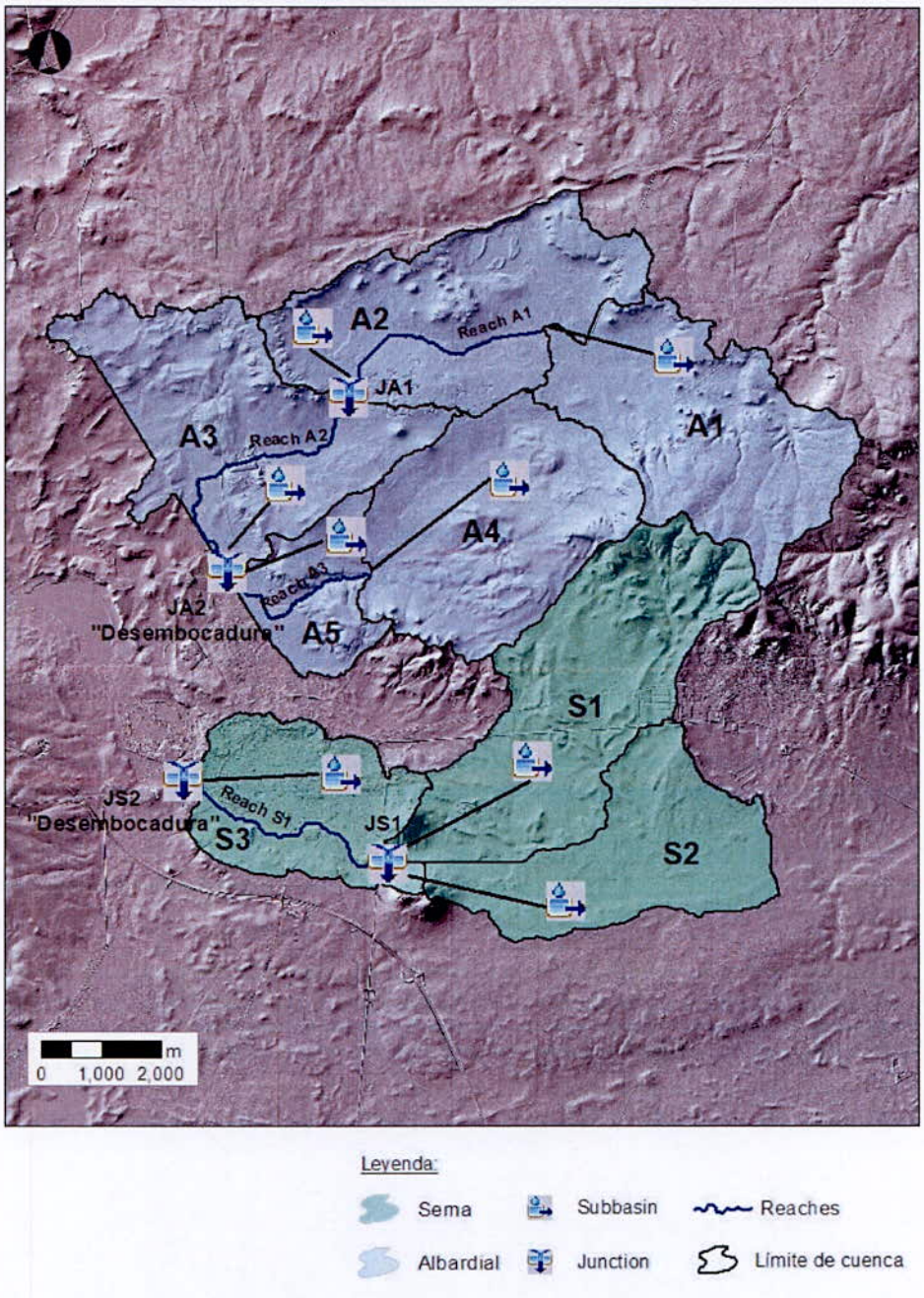



**Figura 10 Mapas de los modelos de cuenca para el software HEC.HMS de los arroyos Albardial y de la Serna**

## 3.3.1.1.4.- Modelo de Escorrentía

Para poder calcular la precipitación neta ($P_n$), o aquella precipitación que genera escorrentía, se ha utilizado el método del "Número de Curva" (*CN*) del Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU. (S.C.S) (NRCS, 2004 y 2007), el cual está implementado en el modelo HMS (HEC, 2015).

Para la obtención del CN, primero se debe calcular el umbral de escorrentía mediante el cruce de tres variables: los grupos hidrológicos del suelo, los diferentes usos que hay, y las pendientes de la zona.

Se han consultado las tablas que aparecen en la Instrucción 5.2-IC (Ministerio de Fomento, 2016) para asignar a los usos del suelo un valor inicial del umbral de escorrentía ($P_0$), teniéndose en cuenta las pendientes medias de cada subcuenca y optándose por la elección de una condición de humedad previa del suelo tipo 2 o intermedia.

Con estos valores de $P_0$ (Figura 11), ha sido posible calcular los valores de número de curva ($CN$) que es necesario tener para poder introducir en el programa HEC-HMS (Tabla 6).

Equivalencia $CN - P_0$ (Ferrer, 2003):

$$CN = \frac{5080}{(P_0 + 50{,}8)}$$

Se han validado los resultados obtenidos teniéndose en cuenta el trabajo de Ferrer (2003).

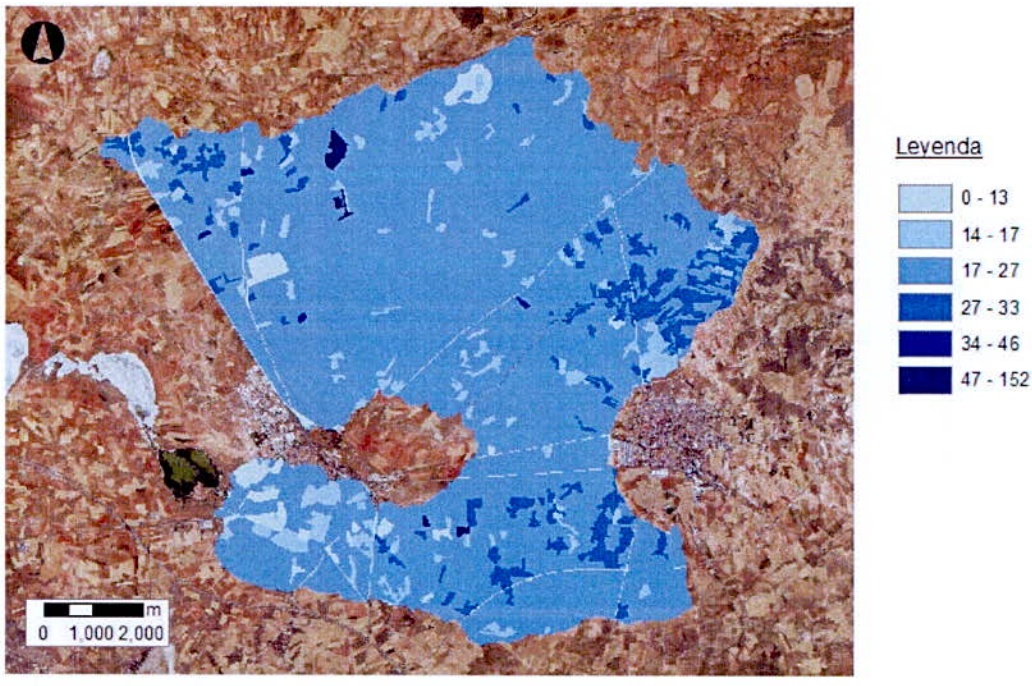



**Figura 11 Resultados de los umbrales de escorrentía o P0 presentes en las cuencas delimitadas para los arroyos del Albardial y de la Serna a su paso por el núcleo de población de Alcázar de San Juan**

Tabla 6 Resumen de los valores de los umbrales de escorrentía ($P_0$) para la condición de humedad tipo 2 o intermedia para los arroyos del Albardial y de la Serna

| | Albardial | |
|---|---|---|
| Subcuenca | $P_0$ | CN |
| A1 | 19 | 73 |
| A2 | 19 | 73 |
| A3 | 17 | 74 |
| A4 | 17 | 75 |
| A5 | 17 | 75 |

| | Serna | |
|---|---|---|
| Subcuenca | $P_0$ | CN |
| S1 | 19 | 73 |
| S2 | 20 | 72 |
| S3 | 16 | 76 |

### 3.3.1.2.- Resultados hidrológicos

Para la realización de esta modelación se ha utilizado el software de simulación hidrológica HEC-HMS 4.0 como ya se ha indicado anteriormente, el cual tiene implementado el método del Hidrograma Unitario del SCS.

Para la transformación de la lluvia neta en escorrentía se ha elegido el método del Hidrograma Unitario del SCS, y como flujo base, inexistente, ya que no hay ríos permanentes en los arroyos objeto de estudio.

Y por último para la circulación de la onda de avenida por los cauces se optó por el método de Muskingum-Cunge, el cual modela el almacenamiento volumétrico del flujo en un cauce mediante la suma del almacenamiento en prisma y el almacenamiento en cuña (Chow, et al., 1994).

Se ha ejecutado el programa HEC-HMS con los hietogramas generados para cada periodo de retorno *T*. Se han elegido como puntos de control los Junction A2 y S2 (Figura 10) para calcular los caudales puntas resultantes de la simulación. En la tabla 7 se observan los resultados en los puntos de control para los hietogramas; las salidas gráficas de los hidrogramas resultantes de la simulación se muestran en las figuras A1.7 y A1.8 del Anexo I.

Tabla 7 Caudales resultantes en la desembocadura del modelo de cuenca del Barranco de las Almunias para las condiciones de humedad tipo 2 y tipo 3. Donde: Qp = Caudal punta; Vol del hidrograma = volumen del hidrograma resultante.

| *Hidrogramas arroyo del Albardial -Junction A2-* | *Centrado* | *Sesgado a la derecha* |
|---|---|---|
| *T* | $Q_p$ *(m3/s)* | $Q_p$ *(m3/s)* |
| ***50*** | 51.1 | 82.0 |
| ***100*** | 68.7 | 101.7 |
| ***500*** | 121.3 | 164.5 |

| *Hidrogramas arroyo de la Serna -Junction S2-* | *Centrado* | *Sesgado a la derecha* |
|---|---|---|
| *T* | $Q_p$ *(m3/s)* | $Q_p$ *(m3/s)* |
| ***50*** | 28.6 | 42.9 |
| ***100*** | 38.0 | 55.1 |
| ***500*** | 65.9 | 88.8 |

3.3.1.2.1.- Modelo hidráulico

La metodología hidráulica seguida en este trabajo se ha centrado en la modelización bidimensional del flujo de agua circulante por los arroyos de la Serna y el Albardial para los períodos de retorno propuestos anteriormente. La finalidad de este proceso ha sido la de conocer la distribución de calados máximos alcanzados en el término municipal para cada uno de los escenarios propuestos en este estudio.

Dicha modelización hidráulica se ha realizado con Iber, un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en ríos y estuarios desarrollado a partir de la colaboración del Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidade da Coruña), del Grupo de Ingeniería Matemática (Universidade de Santiago de Compostela), del Instituto Flumen (Universitat Politècnica de Catalunya y Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria) y promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Iber es un modelo numérico desarrollado directamente desde la administración pública española en colaboración con las universidades mencionadas y diseñado para ser especialmente útil a las necesidades técnicas específicas de las confederaciones hidrográficas en la aplicación de la legislación sectorial vigente en materia de aguas (Bladé, 2014).

Algunas características que hacen de este *software* una herramienta de gran utilidad son su amplia difusión en España e Iberoamérica, la posibilidad de su descarga de forma libre y gratuita y su capacidad de modelización 2D. Esta capacidad de modelización bidimensional hace posible no sólo simular la dirección del flujo en la dimensión longitudinal, sino también en la transversal, ofreciendo, por tanto, información detallada tanto del calado que alcanza la lámina de agua en cada punto del flujo como de la velocidad que éste adquiere.

La elección del modelo bidimensional frente al unidimensional (como podría ser el software *Hec-Ras*) se ha basado en las características físicas de las inundaciones en la zona. A pesar de que el tiempo de computación sea mucho mayor, estos modelos reproducen de forma más fiel las áreas inundables y se ajustan más a las condiciones de Alcázar de San Juan, donde los flujos laterales tras el desborde del cauce son importantes.

Aparte, el software *Iber*, permite procesar las áreas de acumulación de precipitación in situ, mientras que otros modelos unidimensionales no. Permite, también, conocer el flujo en algunos de los abanicos aluviales presentes cerca del núcleo de Alcázar al modelizar la escorrentía en los escarpes.

Para realizar esta precisa modelización en Iber, ha sido necesario en primer lugar generar una malla con la siguiente información cartográfica, elaborada previamente en ArcGIS (Tabla 8):

**Tabla 8. Tabla esquemática de la metodología aplicada.**

| Información | Características | Origen | Formato |
|---|---|---|---|
| **Modelo Digital de Elevaciones** | Lidar 2x2m | Centro Nacional de Descargas | GRID y ASCII |
| **Rugosidad** | N de Manning | Elaboración propia a nivel municipal. (Chow, 2004 y Smith et al., 2004) | Shapefile y ASCII |
| **Número de curva** | Número de curva | Derivado del P0 por la fórmula de Témez. | Shapefile y ASCII |
| **Infiltración P0** | Infiltración P0 | Elaboración propia a nivel municipal. | Shapefile |
| **Caudal fluvial de entrada** | Hidrograma | Resultado del modelo hidrológico | Tabla de datos |
| **Precipitación in situ** | Hietograma | Resultado del modelo hidrológico | Tabla de datos |

La asignación del número de curva proviene de una capa previa de P0. Este parámetro, que hace referencia a la infiltración, ha sido calculado a nivel municipal siguiendo la fórmula de Témez (referencia) considerándose la permeabilidad, la cobertura del suelo y la pendiente topográfica en porcentaje.

Por su parte, los coeficientes de rugosidad de Manning empleados son los detallados en la siguiente tabla:

Tabla 9. Coeficientes de rugosidad utilizados. Chow, 2004.

| Uso en el municipio | Valor "*n*" | Equivalencia |
|---|---|---|
| **Arroyo (Arroyo de la serna)** | 0,05 | Canal sin mantenimiento, fondo limpio y matorrales en los lados |
| **Canalización (Norte cementerio)** | 0,022 | Limpia, con exposición a la intemperie |
| **Arroyo (El Albardial)** | 0,04 | Serpenteante, con bancos de arena y limpio |
| **Escarpe (Norte del FFCC)** | 0,025 | Escarpes con exposición de roca |
| **Canalización (Alameda de Cervera)** | 0,027 | Canal recto, uniforme y pastos cortos con algunos matorrales |
| **Canalización (Polígono y La Veguilla)** | 0,08 | Sin mantenimiento, malezas densas |
| **Cauce (El Albardial)** | 0,045 | Cauce serpenteante con algo de maleza |
| **Escombreras** | 0,025 | Rocas y piedras sin cohesión |
| **Carreteras** | 0,013 | Carreteras pavimentadas |
| **Ferrocarril** | 0,02 | Vías de ferrocarril |
| **Dehesas** | 0,04 | Bosques clareados |
| **Bosques** | 0,016 | Bosques mezclados |
| **Salares** | 0,05 | Marismas de salar Lagunas desecadas |
| **Caminos** | 0,016 | Caminos no pavimentados |
| **Mosaico de cultivos** | 0,03 | Campos de cultivo maduros |
| **Cultivos de secano** | 0,035 | Cultivos en línea maduros |
| **Viñedos** | 0,035 | Cultivos en línea maduros |
| **Parques** | 8,000 | Áreas verdes urbanas |
| **Matorral** | 0,04 | Matorrales medios a densos en invierno |
| **Alcantarillas-aliviaderos** | 0,01 | Canalización subterránea |
| **Puentes** | 0,12 | Infraestructuras elevadas |
| **Pastizales** | 0,035 | Pastos cortos y altos |

Respecto a las condiciones temporales en las que se ha desarrollado la modelización:

- Instante inicial de modelización en el segundo 0.

- Tiempo máximo de simulación de 24 h.

- Intervalo de tiempo en el que se registran resultados: cada 1 h.

Es preciso indicar que en la modelización no han podido considerarse los factores turbulencia, sedimentos en suspensión y transporte de fondo por ausencia de datos relativos a estas variables.

El resultado de este proceso ha sido una representación cartográfica de la localidad para cada una de las alternativas propuestas, donde cada píxel, de resolución 2 $m^2$, contiene la información de la cota de agua máxima alcanzada para los períodos de retorno especificados.

Asimismo, se ha utilizado como métodos alternativo la comparación, por un lado, de los resultados referentes a la peligrosidad asociada a los tres periodos de retorno con el análisis de geomorfología fluvial de la zona y por otro, con la distribución de la lámina de agua asociada a cada uno de estos periodos extraída del trabajo SNCZI del MAPAMA.

El primero de ellos, se ha basado en la identificación de evidencias de inundación a partir de la morfología superficial. Para ello, el principal objetivo ha sido buscar surcos, sedimentos de tamaño arena, escarpes, cauces históricos y zonas de ribera, empleando las fotografías aéreas del vuelo americano B de 1950 (Fototeca CNIG), el sombreado MDT y PNOA actual. Según este método, las formas del terreno consecuencia de estos eventos de inundación se asocian con

un periodo de retorno concreto según el grado de erosión; siendo las formas menos erosionadas las más recientes (T50 años por ejemplo).

La velocidad del flujo de agua es estimada a partir de este método debido a que los sedimentos de tamaño arena aparecen cuando hay una velocidad mínima de $1m^3/s$.

El análisis fundamentado en los trabajos SNCZI ha consistido en la representación en SIG de las láminas de inundación elaboradas en dicho proyecto y su posterior comparación con los resultados bidimensionales del modelo, así como las evidencias geomorfológicas mencionadas.

### 3.3.2.- Inundaciones por precipitaciones ´in situ`

El módulo bidimensional de Iber permite la introducción de datos de precipitación *in situ* mediante la entrada de hietogramas sintéticos. Estos, resultado del análisis hidrológico, han permitido determinar la inundación por acumulación de precipitación in situ a partir del hietograma centrado, que representa con mayor fidelidad las precipitaciones que generan la inundación.

### 3.3.3.- Inundaciones por rotura o la operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica

Las posibles inundaciones derivadas de la operación incorrecta de las obras hidráulicas, o de la rotura de las mismas señalan a la presa del embalse de Peñaroya como única posibilidad. Sin embargo, estas opciones ya han sido contempladas en el respectivo Plan de Emergencias de la misma.

## 3.4.- ANÁLISIS DE EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD

El análisis de la exposición se ha realizado a nivel social, teniendo en cuenta para ello la afectación de las avenidas a los núcleos de población considerados, haciendo especial hincapié en aquellos edificios de mayor concentración humana a lo largo del día. Estos vienen representados fundamentalmente por edificios dedicados a la enseñanza, a la salud, eventos deportivos o centros penitenciarios.

Sin embargo, analizando en profundidad el factor vulnerabilidad, se ha comprobado que las zonas de mayor exposición debida a la elevada afluencia de personas continua, son al mismo tiempo las que presentan mayor vulnerabilidad. Esto es así porque en los edificios anteriormente mencionados (centros de salud, educativos, etc.) se concentran al mismo tiempo personas de mayor dependencia, ya sea por cuestión de edad o de enfermedad.

Tabla 10. Elementos de exposición y vulnerabilidad característica

| Titular | Dirección |
|---|---|
| **Ayuntamiento de Alcázar de San Juan** | Calle Santo Domingo 1 |
| **Hospital General La Mancha Centro** | Avda de La Constitucion 3 |
| **Ministerio de Justicia - Alcázar de San Juan** | Mediodia 8 |
| **Centro de Salud Alcázar I** | Avda de los Institutos s/n |
| **Centro de Salud Alcázar II** | Joaquin Rodrigo 1 |
| **Medfyr** | Avda. de Criptana esquina Calle Menor, 1 |
| **Clinica Qurion Salud** | C/ Dr. J. González Merlo, s/n |
| **Sescam-Centro Salud I** | Avda de los Institutos s/n |
| **Sescam-Centro Salud II** | Joaquin Rodrigo 1 |
| **Clínica Asyter Alcázar de San Juan** | Doctor Mazuecos 17 |
| **CEIP-ALCES (Público)** | Jupiter 2 |
| **Caramelo (Centro Privado de E.I)** | Corredera, 26 |
| **Centro Penitenciario (Ed. Adultos)** | Avda Quero 51 |
| **Colores (Centro Privado de E.I)** | Mosaicos, 45 |
| **Coquitos (Centro Privado de E.I)** | Doctor Creus, 35 |
| **El Osito (Centro Privado de E.I)** | Rondilla Cruz Verde 5 |
| **CEIP-El Santo (Público) I** | Juan Bautista de la Concepción, 12 |
| **CEIP-El Santo (Público) II** | Libertad 56 |
| **El Torreón (Escuela Pública de E.I)** | Tomas Tapia, 5 |
| **Centro Público de Educación de Adultos** | Gral. Benavent García, 21 |
| **Escuela Familiar Agraria "El Gamonal"** | Miguel Esteban, s/n |
| **Escuela Municipal de Música y Danza I** | Juan Bautista de la Concepcion 22 |
| **Escuela Municipal de Música y Danza II** | Isaac Peral, 52 |
| **CEIP-Gloria Fuertes (Público)** | doctor Jesús González Merlo, S/n. |

| | |
|---|---|
| **CEIP-Jardin de Arena (Público)** | Juan Genovés, s/n |
| **CEIP-Jesus Ruiz de la Fuente (Público)** | Santo Domingo, 8. |
| **IES-Juan Bosco (Público)** | Avda de Los Institutos s/n |
| **CEIP-Juan de Austria (Público)** | Mary Monreal Nº 18 |
| **EOI- La Equidad (Público)** | Corregidor, 2 |
| **IES-María Zambrano (Público)** | Avenida de los Institutos, s/n |
| **IES-Miguel de Cervantes Saavedra (Público)** | Avda de Los Institutos s/n |
| **Col. Nuestra Señora de la Trinidad (Priv-Conc)** | Horno 16 |
| **CEIP-Ruíz Picasso (Público)** | García Morato, 45 |
| **Pasitos(Centro Privado de E.I)** | Avenida Regiones, 41 |
| **Pinocho (Centro Privado de EI)** | Salamanca, 20 |
| **Colegio Sagrada Familia (Priv.Concertado)** | Plaza Santa Quiteria, 13 |
| **CEIP-Santa Clara** | Paseo del Parque, 2 |
| **Colegio Santisima Trinidad (Priv.Concertado)** | Trinidad 31 |
| **Centro de Mayores** | General Benavent Garcia 23 |
| **Residencia Dulcinea (Pública-Gest Priv)** | Av. de los Institutos, s/n |
| **Residencia Santa Marta (Priv)** | vda. Santa Teresa Jornet |
| **G.B Residencias (Priv)** | Carretera N-420 km 285 |
| **Casa de la Música-Conserv de Música** | Calle Jesús Romero, 1, |
| **Frida Khalo** | Libertad 56 |
| **Residencia Joaquin Rodrigo (Pub-Conc)** | Sancho Panza, 19 |
| **Pabellón Municpal Antonio Díaz Miguel** | Avd de Herencia 33 |
| **Pabellón Municipal Picasso** | Calle Gibraltar Español, 38 |
| **Centro de Formación DEVIS (Público)** | Pintor Jose Luis Samper 1 |

Por otra parte, se han tenido en cuenta una serie de instalaciones consideradas como de riesgo con carácter previo a la realización de este estudio, por suponer un factor aumentador del mismo en caso de verse afectadas por un evento de inundación. Estas vienen representadas en la Tabla 11.

Tabla 11. Instalaciones de riesgo

| Titular | Dirección |
|---|---|
| **AGROVIN** | Avda. de los Vinos s/n - P.I. Alces, |
| **CLH- Central Logística de Hidrocarburos** | Ctra. Criptana, s/n, CM-420 |
| **Centrales Termosolares** | Cinco Casas |

## 3.5.- ANÁLISIS Y ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

A partir de los resultados obtenidos en el estudio de los factores peligrosidad, exposición y vulnerabilidad y de su intersección en SIG, se ha procedido a la zonificación del riesgo y a su análisis.

### 3.5.1.- Clasificación de las zonas inundables según su riesgo

La clasificación de las zonas inundables se ha realizado siguiendo la clasificación de la Directriz Básica en las categorías de A1, A2, A3, B y C. A continuación se muestra de forma gráfica la representación de las mismas en el núcleo de población de Alcázar de San Juan (figura 1).

### 3.5.2.- Puntos conflictivos

A partir de la zonificación realizada en el apartado anterior se ha identificado una serie de puntos de conflicto que representan los tramos de vías de comunicación existentes en las zonas inundables. Además, se han considerado los elementos de mayor vulnerabilidad tales como los mencionados anteriormente. Estos se han representado en la figura 2.

# B.- Anejos a la memoria

# Anejo I: Resultados hidrológicos

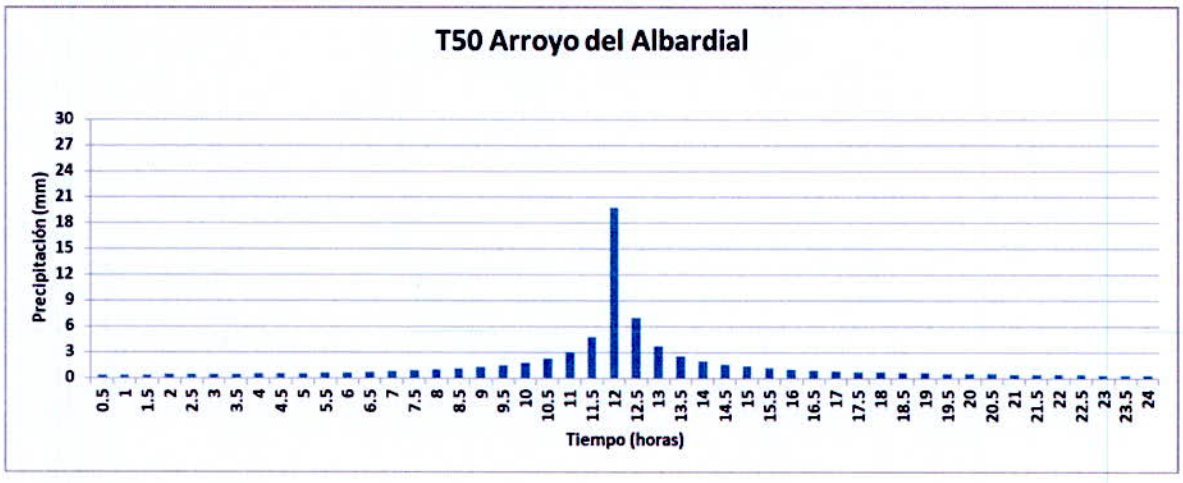



Figura A12 Hietograma centrado para el período de retorno de 50 años para la cuenca del arroyo del Albardial

Figura 13 Hietograma centrado para el período de retorno de 100 años para la cuenca del arroyo del Albardial

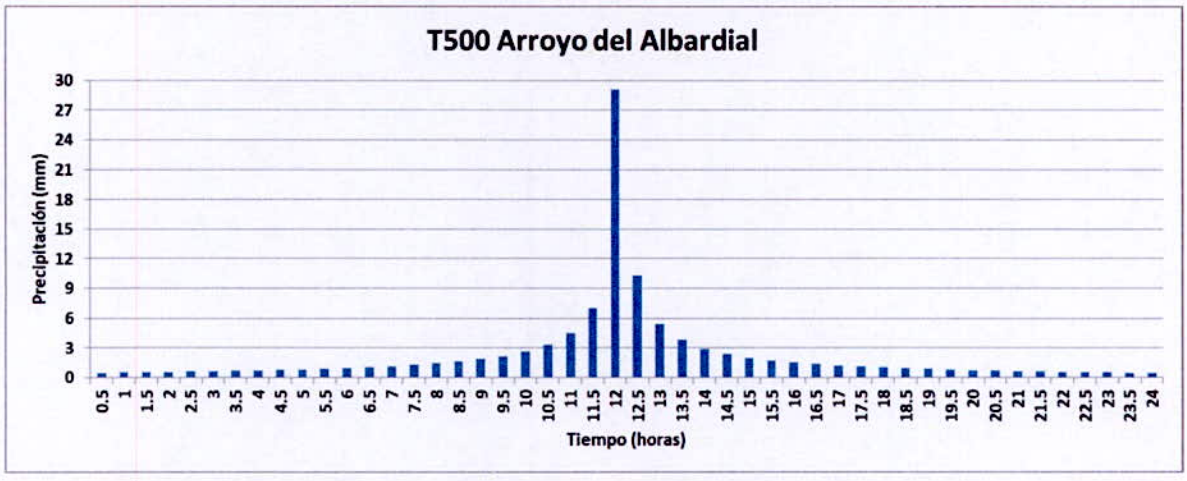



Figura A1.3 Hietograma centrado para el período de retorno de 500 años para la cuenca del arroyo del Albardial

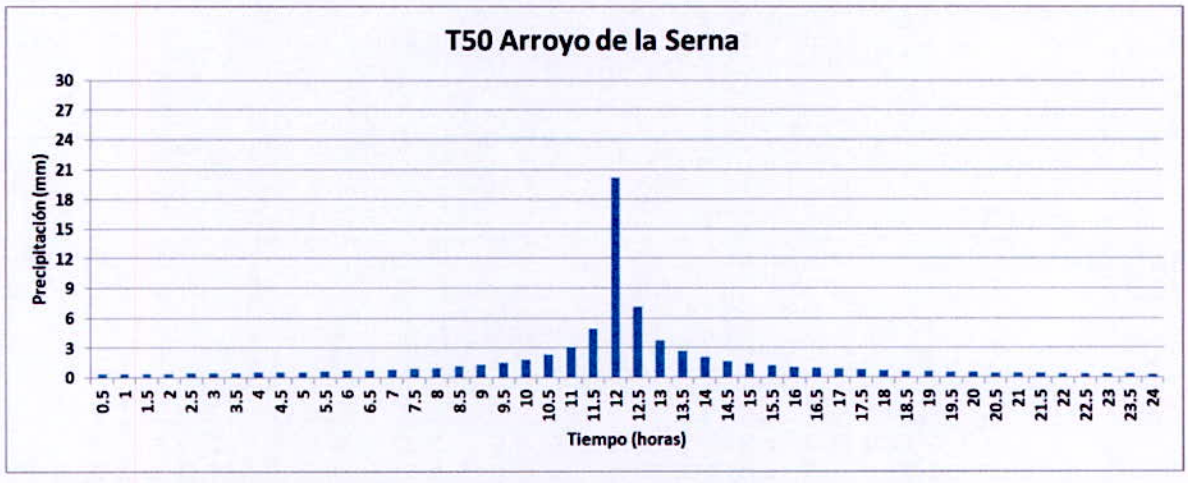



Figura 14 Hietograma centrado para el período de retorno de 50 años para la cuenca del arroyo de la Serna

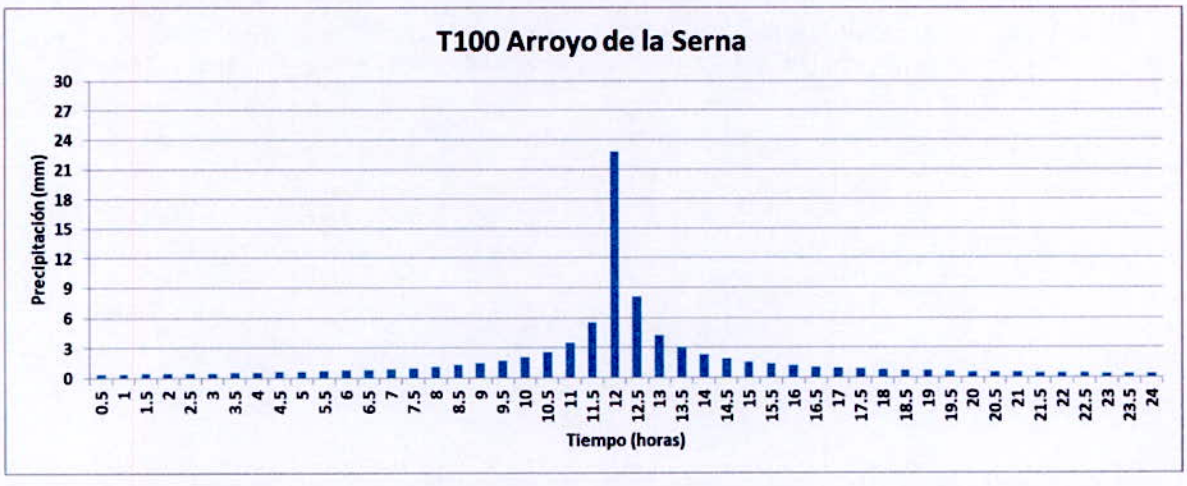



Figura A1.5 Hietograma centrado para el período de retorno de 100 años para la cuenca del arroyo de la Serna

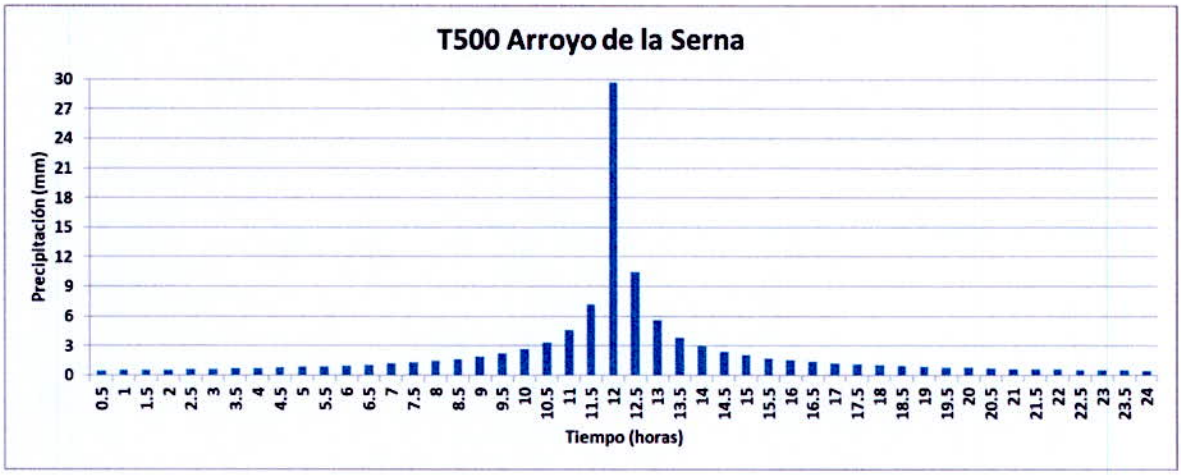



Figura A1.6 Hietograma centrado para el período de retorno de 500 años para la cuenca del arroyo de la Serna

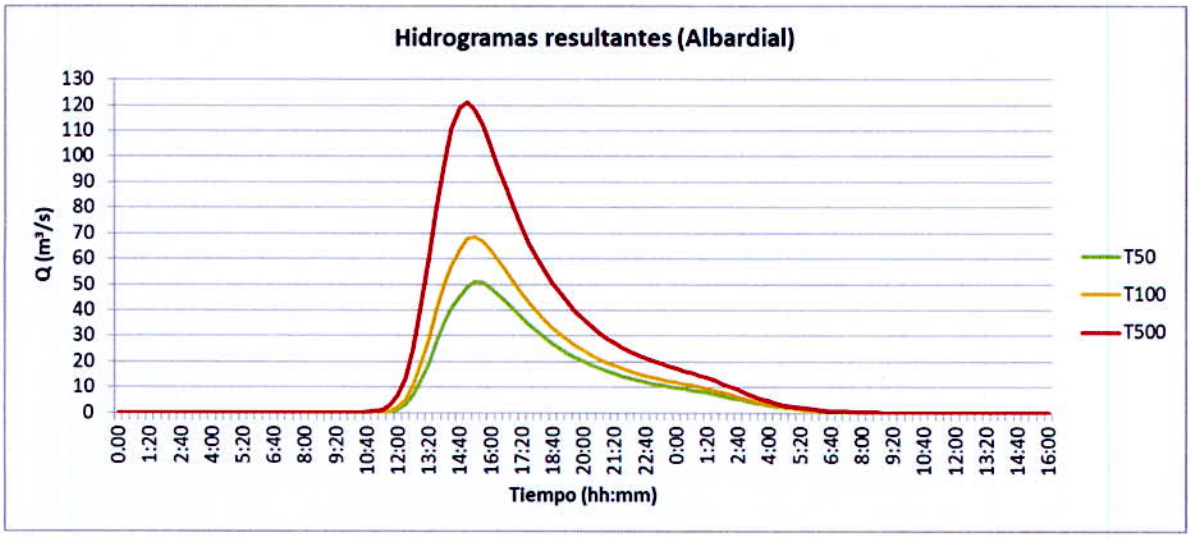



Figura 15 Hidrogramas resultantes de la simulación hidrológica para la cuenca del arroyo del Albardial a su paso por el núcleo de población de Alcázar de San Juan para los diferentes periodos de retorno estudiados

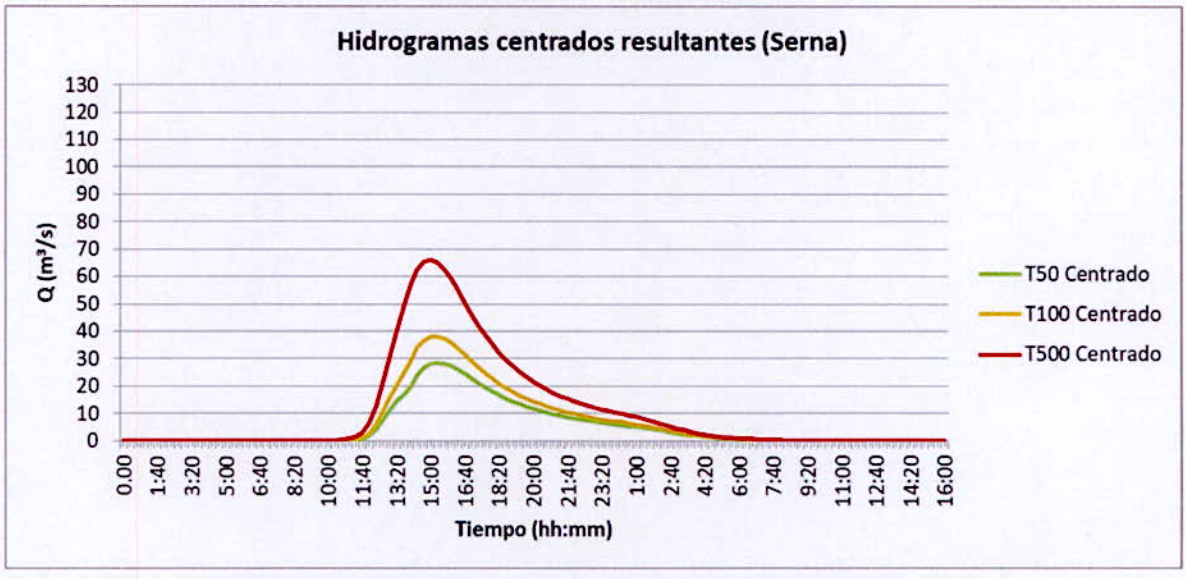



**Figura A1.8 Hidrogramas resultantes de la simulación hidrológica para la cuenca del arroyo de la Serna a su paso por el núcleo de población de Alcázar de San Juan para los diferentes periodos de retorno estudiados**

# Anejo II: Cartografía de zonas inundables

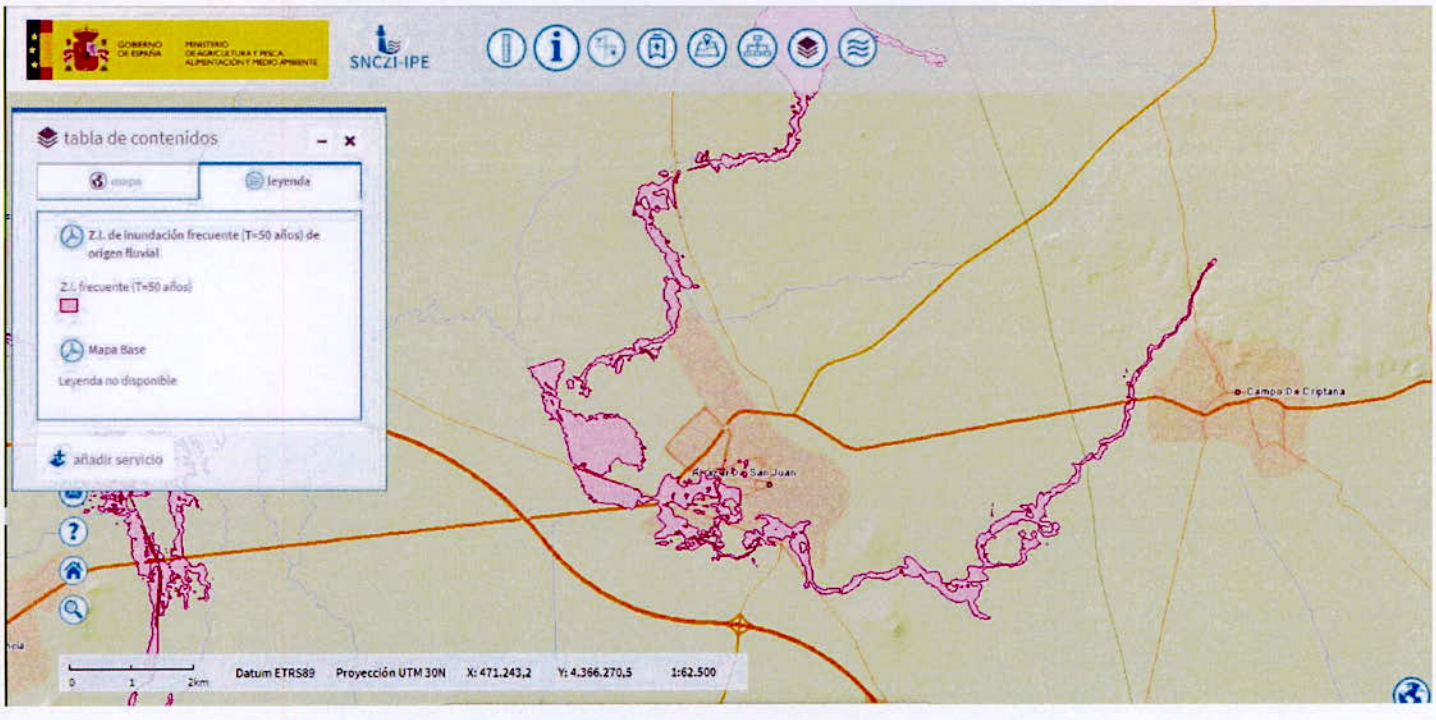



**Figura A2.1 Mapa de lámina de inundación de Alcázar de San Juan para un período de retorno de 50 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

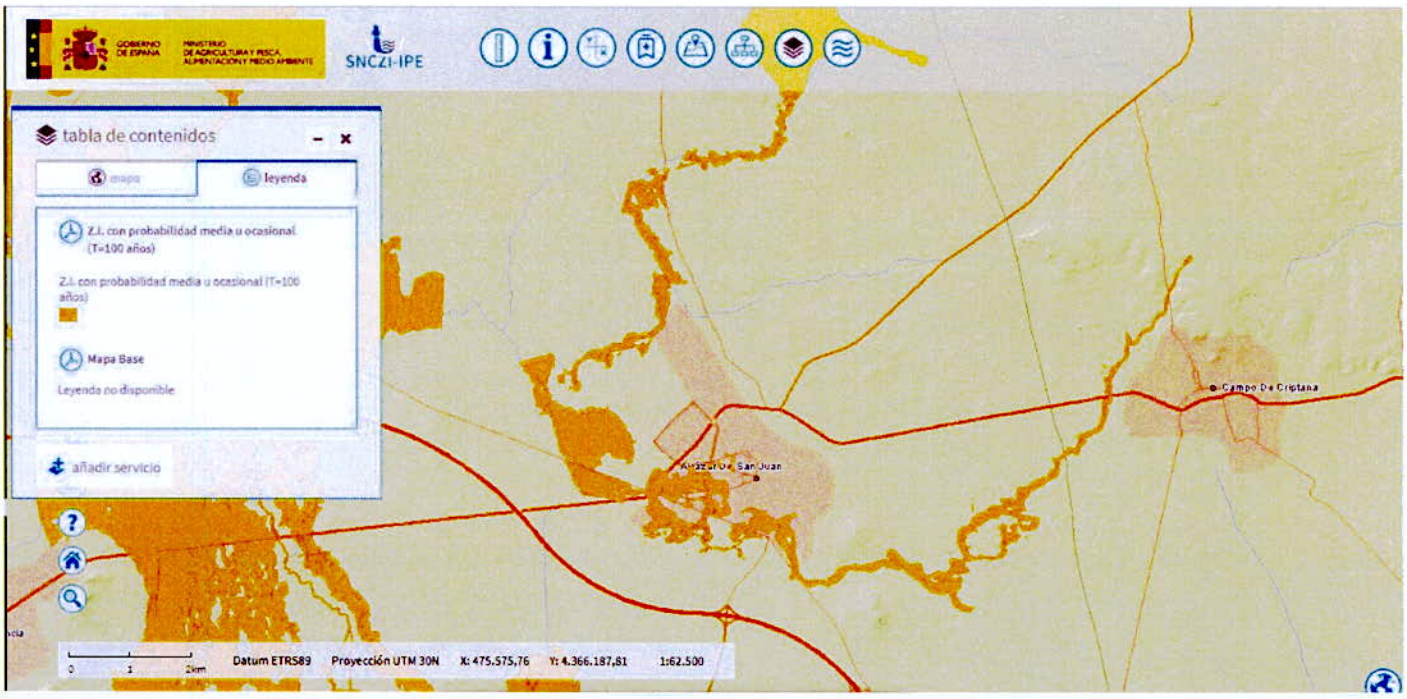



**Figura A2.2 Mapa de lámina de inundación de Alcázar de San Juan para un período de retorno de 100 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

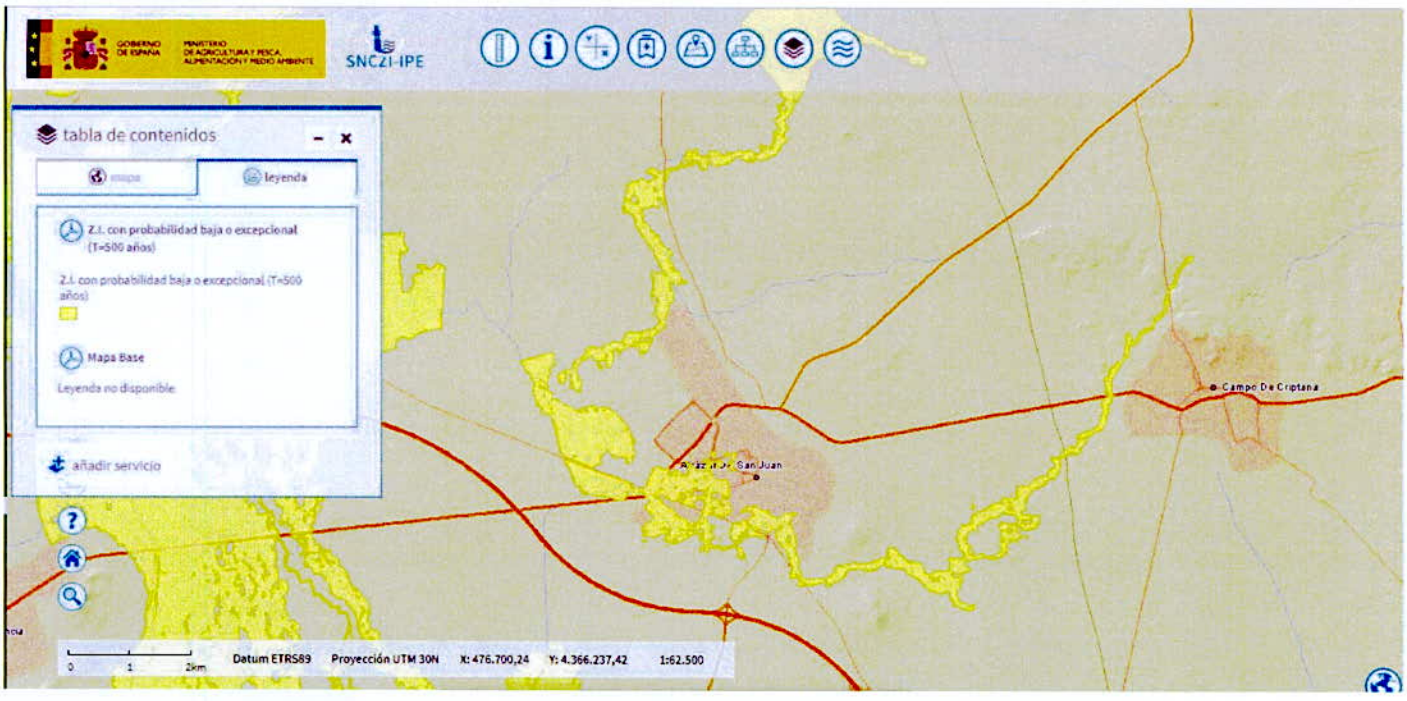



**Figura A2.3 Mapa de lámina de inundación de Alcázar de San Juan para un período de retorno de 500 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

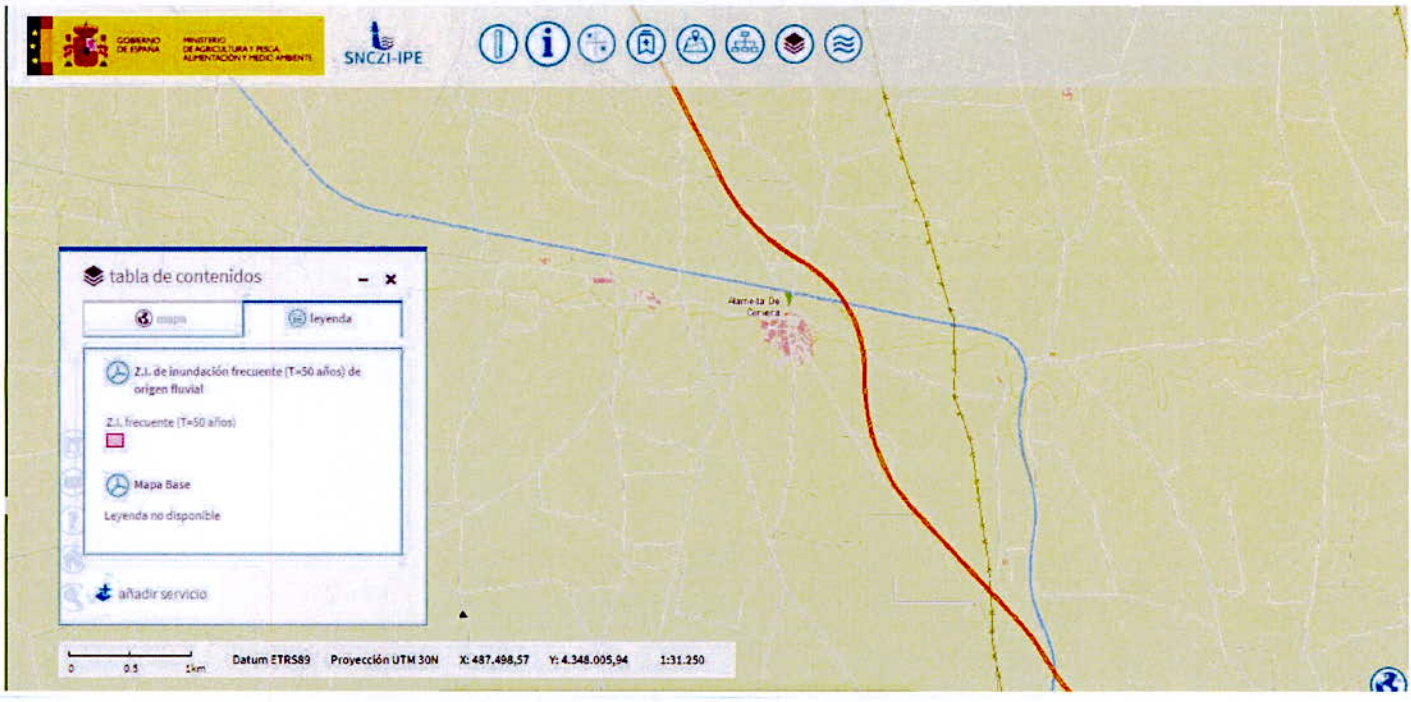



**Figura A2.4 Mapa de lámina de inundación de Alameda de Cervera para un período de retorno de 50 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

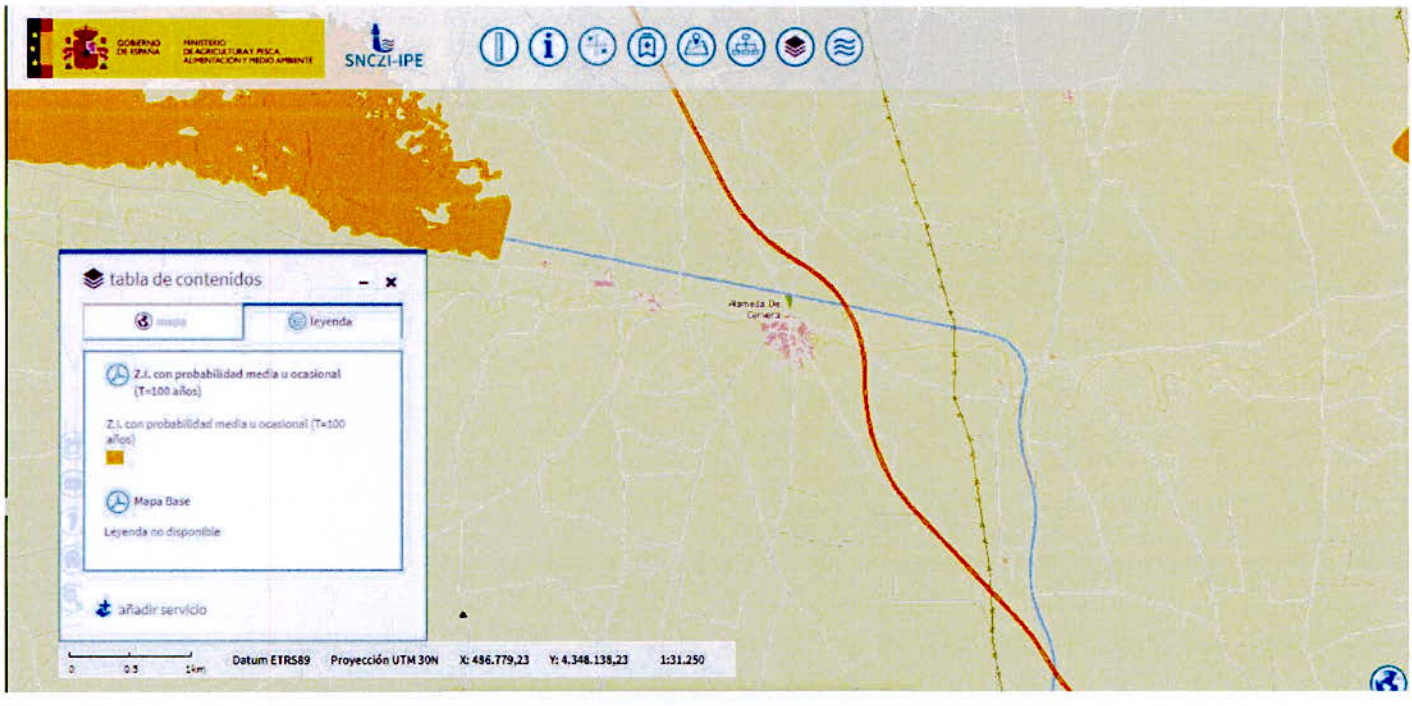



**Figura A2.5 Mapa de lámina de inundación de Alameda de Cervera para un período de retorno de 100 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

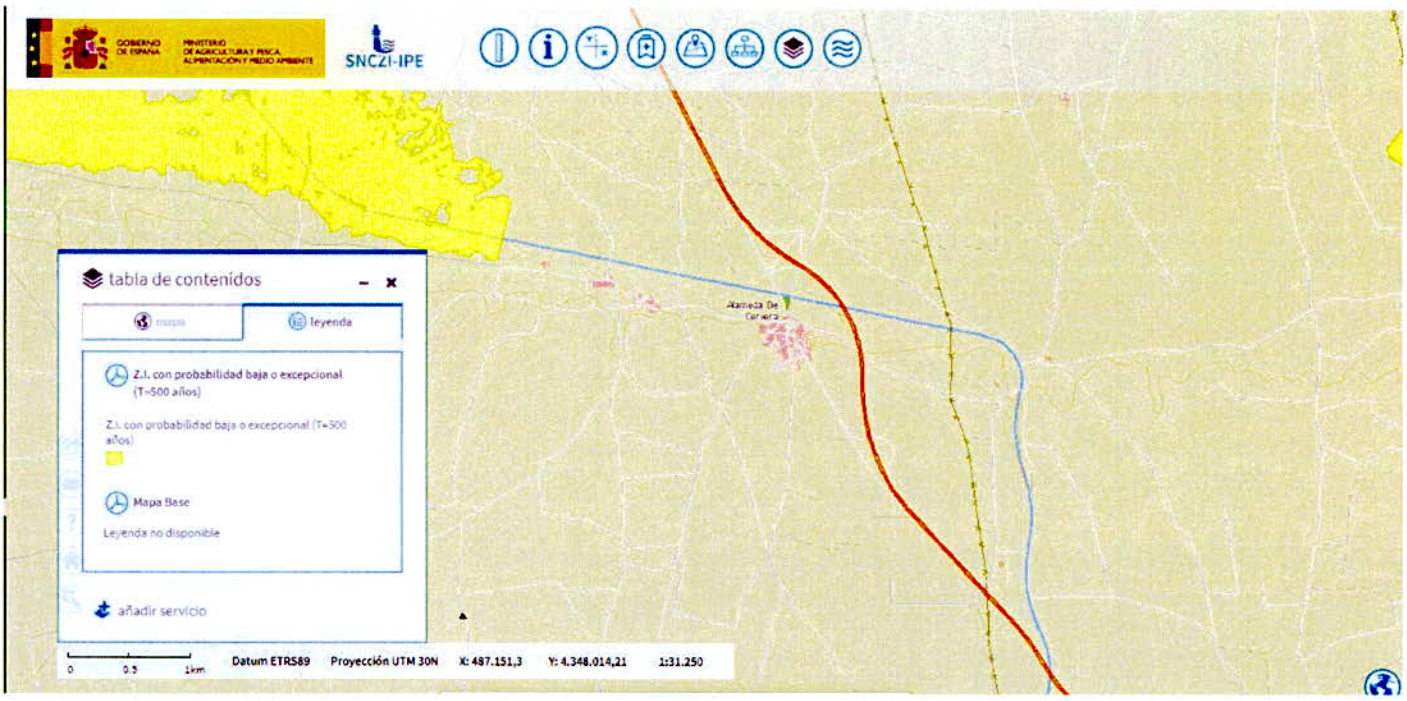



**Figura A2.6 Mapa de lámina de inundación de Alameda de Cervera para un período de retorno de 500 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

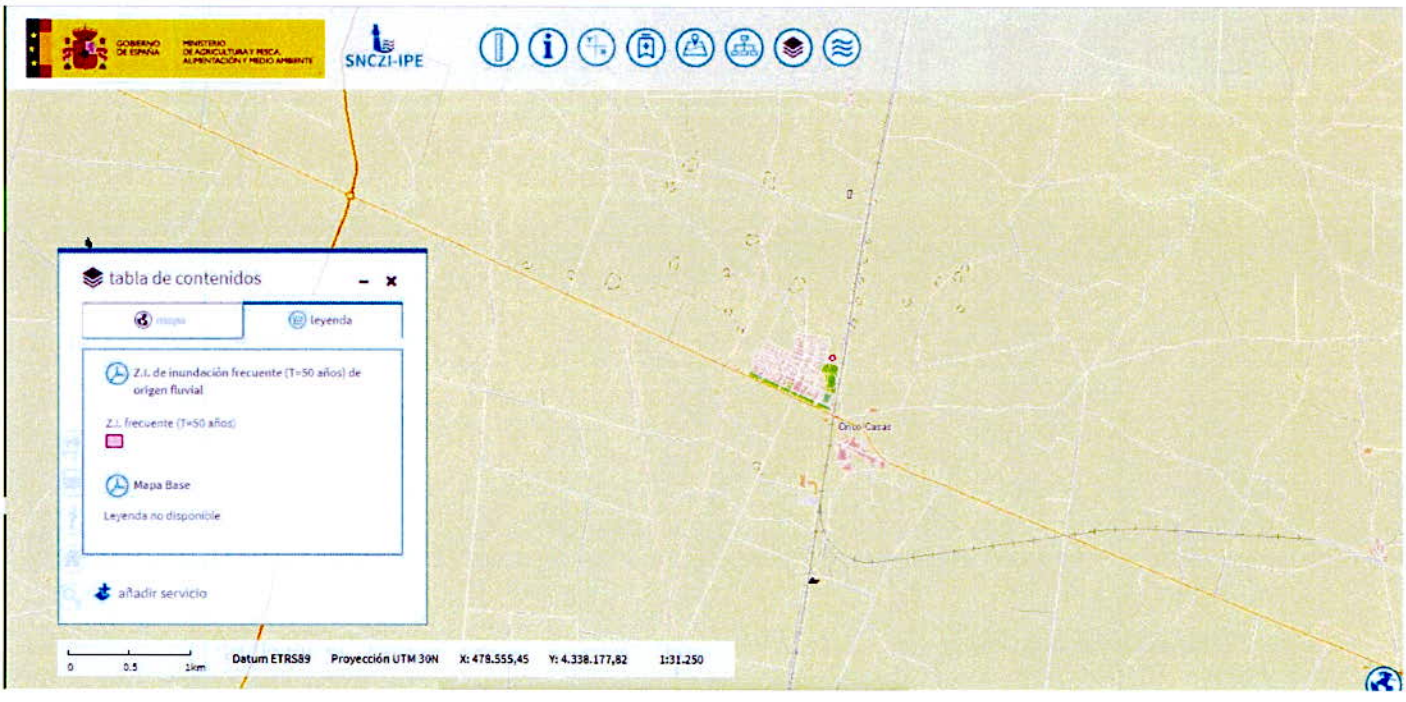



**Figura A2.7 Mapa de lámina de inundación de Cinco Casas para un período de retorno de 50 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

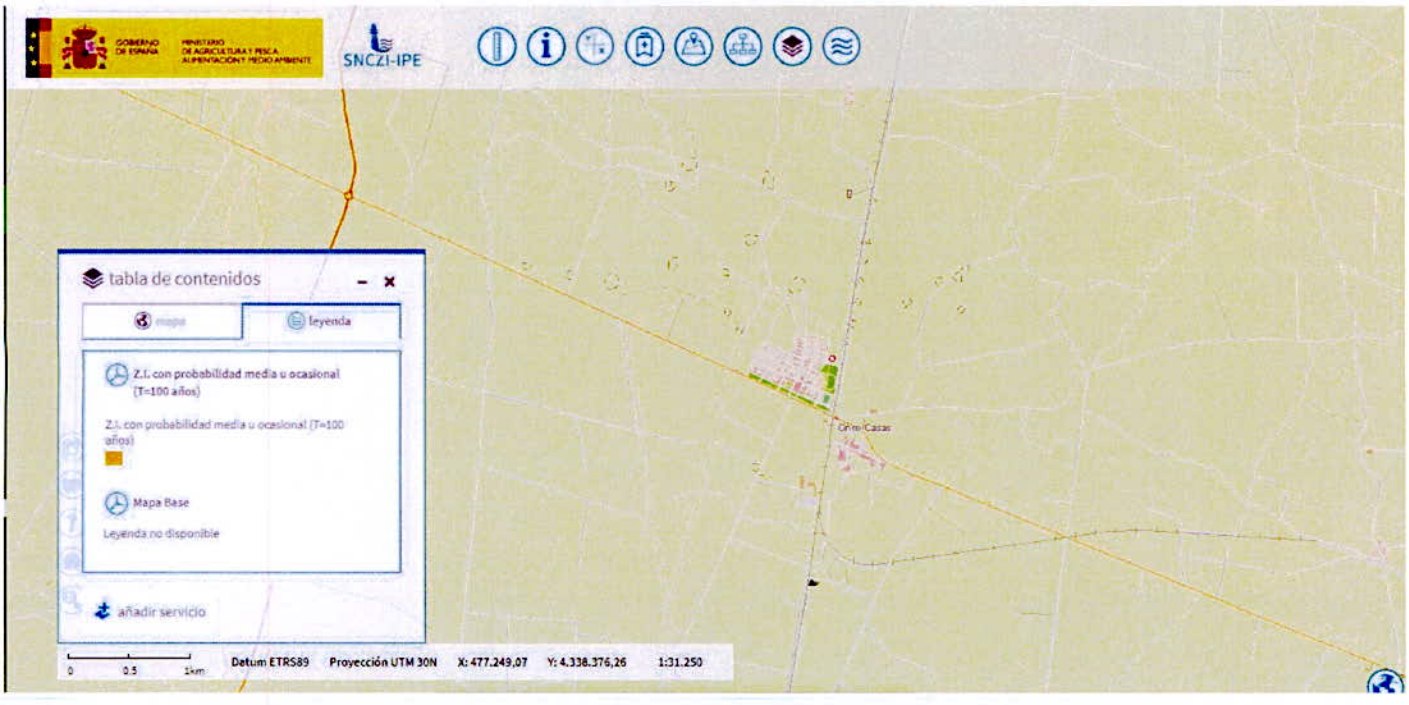



**Figura A2.8 Mapa de lámina de inundación de Cinco Casas para un período de retorno de 100 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

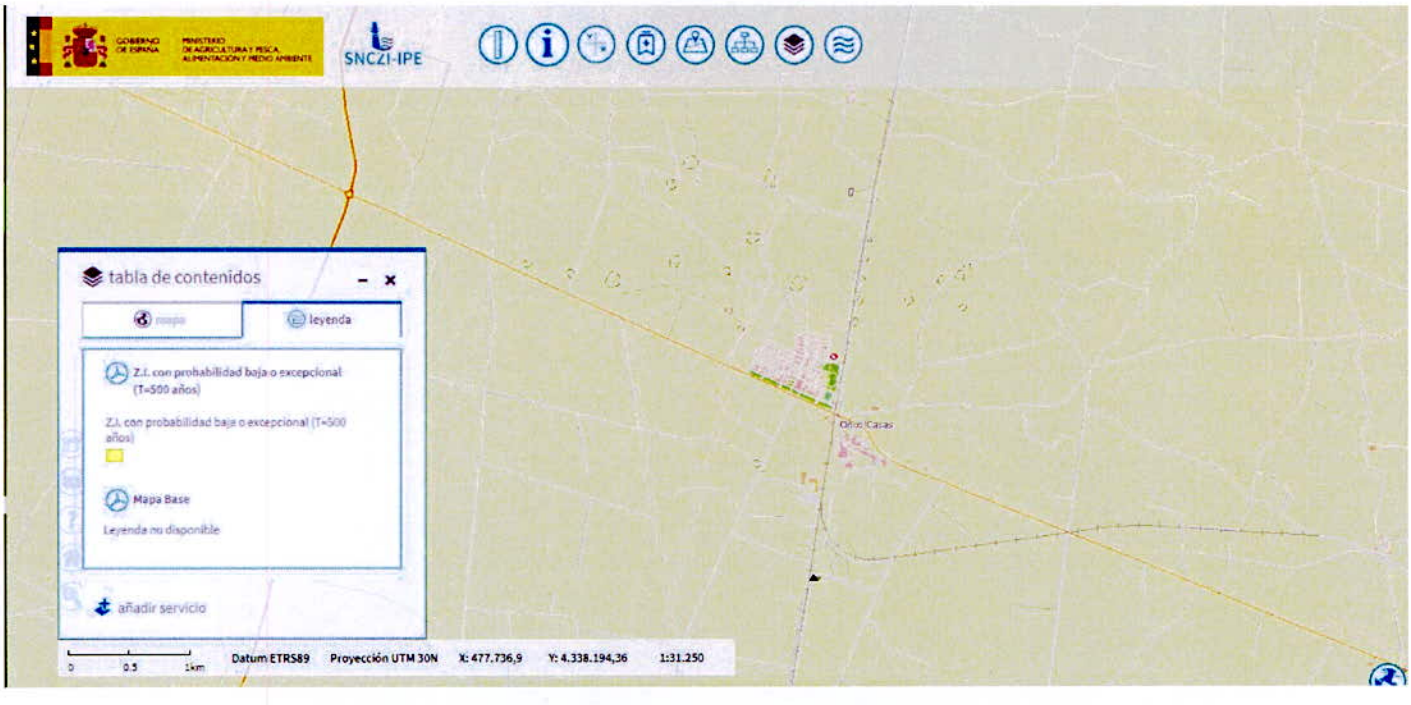



**Figura A2.9 Mapa de lámina de inundación de Cinco Casas para un período de retorno de 500 años. Fuente: SNCZI, MAPAMA**

La cartografía de la zonificación del peligro se encuentra recogida en el Anexo II