

PLAN GENERAL DE ORDENACIÓN URBANÍSTICA DE ZAFARRAYA



M.05 - ESTUDIO HIDROLÓGICO DE AVENIDAS E INUNDACIONES



Contenido documentos

MEMORIAS

- M01-MEMORIA INFORMATIVA
- M02-MEMORIA JUSTIFICATIVA
- M03-ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL Y VALORACIÓN DE IMPACTO EN LA SALUD
- M04-ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO. PROGRAMA ACTUACIÓN, INFORME DE SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA
- M05-ESTUDIO HIDROLÓGICO
- M06-M06-DETERMINACIONES EN MATERIA DE AGUAS Y CICLO INTEGRAL DE AGUA
- M07-INVENTARIO ACTIVIDADES CONTAMINANTES
- M08-INVENTARIO EDIFICACIONES SNU
- M09-RESUMEN AMBIENTAL
- M10-INFORME DE ASENTAMIENTOS

NORMATIVA

- N01-NORMATIVA URBANÍSTICA DE RÉGIMEN GENERAL
- N02-ORDENANZAS DE URBANIZACIÓN Y DE EDIFICACIÓN
- N03-FICHAS URBANÍSTICAS
- N04-CATÁLOGO GENERAL PATRIMONIO

ANEXOS - INFORMES

- X01 - INFORMES DE ALEGACIONES
- X02 – INFORME DE REPOSICIÓN
- X03 – RESULTADOS DE LA INTERVENCIÓN ARQUEOLÓGICA DE ESTUDIO
- X04 – INFORME DE TELECOMUNICACIONES
- X05 – INFORME DE CONTESTACIÓN AL INFORME DE VERIFICACIÓN
- X06 - INCORPORACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES, RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN PÚBLICA Y CAMBIOS INTRODUCIDOS A LOS DOCUMENTOS DURANTE SU TRAMITACIÓN AMBIENTAL
-

PLANIMETRÍA

INFORMACIÓN	ORDENACIÓN
1. Encuadre Territorial	1.1. Estructura General del Territorio
2. Topografía	1.2. Usos Globales, Dotaciones y Sistemas Generales
3. Geología	1.3. Figuras de Protección
4. Geotécnico	1.4. Catálogo de caminos
5. Hidrológico	1.5 Infraestructura Hidráulica
6. Usos del Suelo	1.6. a/b Inundabilidad
7. Unidades Ambientales Homogéneas (UAH)	2.1. Clasificación de Suelo. Zafarraya
8. Afecciones territoriales	2.2. Clasificación de Suelo. El Almendral
9. Red de Abastecimiento	3.1. Usos Pormenorizados. Zafarraya
10. Red de Saneamiento	3.2. Usos Pormenorizados. El Almendral
11. Alturas Edificaciones	4.1. Usos Globales, Densidades y Edificabilidades. Zafarraya
12. Estado Pavimento y Alumbrado	4.2. Usos Globales, Densidades y Edificabilidades. El Almendral
13. Edificaciones SNU	5.1. Catálogo General de Protección. Zafarraya
14. DSU-Planeamiento vigente	5.2. Catálogo General de Protección. El Almendral
15. Catastro	6.1. Alineaciones y Rasantes. Zafarraya
Riesgos naturales – a / b	6.2. Alineaciones y Rasantes. El Almendral
16. Edad de la edificación	7.1. Zonificación Acústica y lumínica. Zafarraya
17. Uso de la Edificación	7.2. Zonificación Acústica y lumínica. El Almendral
	0.1 – Resumen ejecutivo – Clasificación
	0.2. – Resumen ejecutivo - Calificación

Fases redacción, ediciones y revisiones

- El Contrato de Consultoría y Asistencia para la redacción del PGOU de Zafarraya se hace efectivo con fecha de 8 de mayo de 2009.
- En 26 de febrero de 2010 se aprueba, en Pleno Corporativo, el documento de Aprobación Inicial del P.G.O.U. y se publica en BOP con fecha de 24 de mayo de 2010, quedando en exposición pública por periodo de un mes.
- El 29 de junio de 2012 se aprueba la modificación de la Aprobación Inicial del PGOU de Zafarraya y publicado en el BOP con fecha del 23 de julio de 2012,
- En Julio 2016 se elabora el documento que se aprueba el mismo mes provisionalmente quedando en exposición pública
- En Diciembre 2016 se elabora informe de Alegaciones y se incorpora correcciones aprobadas por el Pleno Municipal.
- En septiembre de 2017 se incorpora al documento del Plan General las condiciones impuestas por los informes de verificación y se elabora el correspondiente Informe - Certificación del redactor del instrumento de planeamiento en la que se acredite dicho cumplimiento.
- El Pleno del Ayuntamiento, en sesión ordinaria celebrada el veinticuatro de noviembre de 2017, aprobó provisionalmente el Plan General de Ordenación Urbanística de Zafarraya, con la adecuación a los condicionantes señalados en la declaración ambiental estratégica (expediente EAE/1484/2010).
- Se abrió el correspondiente periodo de Alegaciones al documento, durante el cual se recibió 4 alegaciones.
- Posteriormente se recibió un recurso de reposición sobre una alegación recibida durante el periodo de exposición de la Aprobación Provisional de 2016.
- En 2020, se perfecciona el presente documento, incorporando reciente normativa urbanística derivada de las últimas modificaciones legislativa el reciente Decreto Ley 2/2020.
-

La redacción de este documento de INFORME DETERMINACIONES EN MATERIA DE AGUAS al Plan General de Ordenación Urbanística (PGOU) del municipio de Zafarraya ha sido realizado por FFGeo Geógrafos B-18572792), por encargo de su Excelentísimo Ayuntamiento. Granada, en Septiembre de 2020.

EQUIPO REDACTOR

Jörg Fischer	Doctor Geógrafo. Hidrólogo
Miguel Martín Heredia	Arquitecto
Rafael Fuentes-Guerra	Geógrafo. Técnico Urbanista
Fabián Mesa Millán	Biólogo
Juan Carlos Aznar Pérez	Ldo. En Geografía e Historia - Arqueólogo
Jesusa Vega Pérez,	Abogada urbanista.
Lucía Lara Garzón,	Lda. Ciencias Ambientales
José Gálvez Salinas,	Ldo. Ciencias Ambientales
Rafael Pedrosa Quintero	Geógrafo

(FFGeo S.L.) Control documentos

Contenido	X_ZAFARRAYA_M05- ESHID_1711			
	Responsable	Puesto	Firma	
Revisa	Miguel Martín Heredia	Arquitecto		
Verifica	Jörg Fischer	Geógrafo		
Registros de ediciones		Fecha		
Nº	Motivación	Referencia	Revisa	Verifica
3	Ap.inicial	1206	28/06/2012	28/06/2012
4	Ap. Provisional	1502	20/02/2015	20/02/2015
5	Ap. Provisional	1607	20/02/2015	20/02/2015
6	Condicionado	1709	22/09/2017	
7	Subsanación	2008	28/08/2020	

Índice de contenido

1	EVALUACIÓN DE LAS ZONAS INUNDABLES DEL POLJE DE ZAFARRAYA.....6			
1.1	Esquema hidrogeológico6			
1.2	Inundaciones históricas del Polje de Zafarraya7			
1.2.1	Análisis hidráulico de la Inundación de 1996-1997 -----8			
1.3	Estimación de la máxima inundación10			
1.4	Conclusiones10			
2	Estudio hidrológico-hidráulico.....12			
2.1	Estudio hidrológico12			
2.1.1	Alcance y ámbito del estudio -----12			
2.1.2	Problemática y planteamiento general -----13			
2.1.3	Delimitación de las cuencas Vertientes-----13			
2.1.4	Determinación del caudal del periodo de retorno-----16			
2.2	Construcción del hidrograma.....21			
2.2.1	Preparación del Modelo-----21			
2.2.2	Análisis Precipitaciones - Generación del hietograma -----22			
2.2.3	Generación de la escorrenfía -----22			
2.2.4	Propagación de caudales-----23			
2.2.5	Periodo de recurrencia de 10, 100 y 500 años: -----23			
2.3	El Estudio Hidráulico Bidimensional: Iber.....25			
2.3.1	Generación de la geometría inicial -----25			
2.3.2	Condiciones de contorno-----25			
2.3.3	Condiciones Iniciales-----25			
2.3.4	Condiciones Internas y estructuras-----25			
2.3.5	Sumideros.-----26			
2.3.6	Coeficiente de rugosidad-----26			
2.3.7	Generación de la malla -----26			
3	RESULTADOS.....26			
3.1	Tiempo de retorno de 10años (T10)26			
3.1.1	CaladoT10-----27			
3.1.2	Cota máxima T10-----27			
3.1.3	Velocidad -máxima T10-----28			
3.2	Tiempo de retorno T100.....28			
3.3	Resultados Periodo de retorno T500.....31			
		3.3.1	Calado de inundación T500 -----32	
		3.3.2	Cota máxima T500-----32	
		3.3.3	Velocidad -máxima T500-----33	
		3.4	Determinación de la Zona de Flujo preferente y Vía de intenso desagüe 33	
		3.5	El efecto de las obras de defensa hidráulica. 35	
		3.6	Cálculo del escenario de máxima inundación 38	
		3.7	Determinación del Dominio Público Hidráulico 39	
4	Protección del suelo urbano existente 40			
4.1	Infraestructuras previstas 40			
4.2	Cotas de referencia de las obras de defensa 41			
5	Índices y tablas 43			

1 EVALUACIÓN DE LAS ZONAS INUNDABLES DEL POLJE DE ZAFARRAYA

La evaluación de la inundabilidad del Polje de Zafarraya no se puede determinar con métodos numéricos recogidos en instrucciones generalmente aceptadas. Como demuestran diversos trabajos científicos elaborados al respecto no se ha podido demostrar una correlación directa y clara tanto entre los eventos de precipitaciones como de episodios de escorrentías superficiales con los episodios históricos de inundación. A continuación se evaluará las cotas máximas probables, basándonos sobre los diferentes episodios de inundación conocidos. El presente estudio se basa principalmente sobre los estudios elaborados por HIDALGO (2002) con referencias adicionales MORENO (1987), HIDALGO (1973) y LÓPEZ CHICANO y PULIDO-BOSCH (1998)

1.1 Esquema hidrogeológico

El polje de Zafarraya se localiza en el dominio subbético interno de las Cordilleras Béticas, en las proximidades del contacto con las unidades de la Zona Bética. Desde el punto de vista hidrogeológico forma parte de una entidad hidrogeológica importante, constituida por los materiales carbonatados jurásicos de las unidades de Sierra Gorda y Zafarraya, que configuran un gran acuífero de complejo funcionamiento.

A grandes rasgos, se puede considerar que este sistema se compone de dos subunidades: acuífero carbonatado de Sierra Gorda y acuífero detrítico del polje de Zafarraya.

El acuífero carbonatado de Sierra Gorda es el de mayor entidad hidrogeológica. Ocupa un área con forma ovalada cuya superficie es de 293 km² y una potencia que puede superar los 1000 metros. Está rodeado y sellado en sus bordes por materiales cretácicos y neógenos de baja permeabilidad. El sustrato, a una profundidad desconocida, está constituido, probablemente, por materiales triásicos de facies arcillosas y evaporíticas. Se trata de un acuífero esencialmente libre salvo en algunos sectores de los bordes Norte y Este donde se produce confinamiento. La permeabilidad se

debe a la fisuración y karstificación, ampliamente representada en todo el macizo, donde abundan las dolinas, uvalas, poljes, simas, etc. Los valores de transmisividad son muy variables, con magnitudes comprendidas entre 40 y 16.400 m²/día. El coeficiente de almacenamiento medio es del orden de 1,5 %. La velocidad de circulación subterránea, establecida mediante trazador (fluoresceína) es del orden de 150-200 m/día hacia el Sur y 400-550 m/día hacia el Norte (Hidalgo 1974).

La alimentación del acuífero se produce por infiltración de la precipitación directa sobre los materiales permeables y por la infiltración de aportes externos procedentes, sobre todo, de las estribaciones septentrionales de Sierra Tejada. Las salidas se producen a través de los manantiales situados en los bordes Norte y Sur de Sierra Gorda y por extracciones producidas en los sondeos existentes en el polje de Zafarraya. El volumen drenado por los manantiales se cifra en 120-140 hm³/año de los que el 95 % corresponden a salidas por el borde Norte. Las extracciones por bombeo se estiman en 9 hm³/año. El mayor volumen drenado hacia el Norte se justifica en razón de la menor cota topográfica de los manantiales septentrionales, que determinan, así mismo, la localización de la divisoria hidrogeológica en las proximidades del pueblo de Zafarraya. En este sector, donde se sitúa la divisoria, se producen importantes fluctuaciones del nivel piezométrico, en función de las condiciones pluviométricas. En algunos puntos se han llegado a observar fluctuaciones de más de 100 metros, circunstancia ésta que tiene una gran influencia sobre los problemas de inundación del polje (Hidalgo 1973).

El acuífero detrítico del polje de Zafarraya está formado por materiales cuaternarios que ocupan una extensión de 22 km² con una potencia máxima de unos 60 metros. Se trata de un acuífero libre, permeable por porosidad intergranular, con valores de transmisividad del orden de 20 a 90 m²/día y coeficiente de almacenamiento del 13 % (Ollero y García 1983). La alimentación procede de la infiltración directa de las precipitaciones sobre los materiales permeables, además de las surgencias situadas en los bordes y sobre todo, de las aportaciones alóctonas, procedentes de las estribaciones septentrionales de Sierra Tejada, a través de un arroyo que recorre longitudinalmente el polje hasta desaparecer por un grupo de sumideros situados en el extremo occidental. El drenaje se realiza por transferencia de flujo hacia el acuífero carbonatado y por extracciones en

los numerosos pozos que jalonan el polje.

La génesis del polje está íntimamente relacionada con periódicos episodios de inundación que han producido el relleno detrítico cuaternario en épocas geológicas recientes. Las inundaciones ocurren en épocas de elevada pluviometría que producen importantes ascensos del nivel piezométrico en el acuífero carbonatado, coincidentes con la aportación de grandes volúmenes de agua procedentes de la cuenca del Arroyo de la Madre, situada en las estribaciones septentrionales de Sierra Tejeda. Estas circunstancias determinan una drástica disminución de la capacidad de drenaje del agua superficial a través de los sumideros y zonas de infiltración, que se traduce en retenciones de agua cuya magnitud depende de las condiciones pluviométricas según se expondrá con mayor detalle en los apartados siguientes.

1.2 Inundaciones históricas del Polje de Zafarraya

El polje de Zafarraya, y también otros poljes de la cuenca mediterránea, sufre periódicas inundaciones que forman parte esencial de la propia hidrodinámica del polje y que contribuye a su génesis y configuración actual. Esta misma circunstancia determina que, en los poljes en general y en el de Zafarraya en particular, se desarrollen suelos de gran potencial agrícola, intensamente explotados con cultivos de alto rendimiento. El problema se plantea cuando la propia dinámica natural produce episodios de inundación que arruinan los cultivos y inundan zonas urbanas en extensiones que, a veces, resultan catastróficas. Estas situaciones críticas se producen, no obstante, con menos frecuencia de lo que normalmente se piensa. En el caso de Zafarraya solo existe constancia escrita de seis episodios catastróficos, aunque con escasos datos sobre su alcance. Sorprende la ausencia de datos documentados sobre cotas de máxima inundación, tiempo de persistencia y otras cuestiones de interés, siendo este un fenómeno que cuando se produce ocasiona importantes daños económicos. Estos datos se infieren, en los casos históricos, a través de métodos indirectos basados en testimonios orales, fotográficos o cómputos de daños producidos. Solamente la última inundación, del 1996-1997, posee una documentación más completa.

Desde antiguo existen referencias sobre el fenómeno de las inundaciones

en el llano de Zafarraya. A este respecto son ilustrativas las dos referencias siguientes:

Fernández Navarrete F. (1732) dice textualmente: "en el campo de Zafarraya hay un sitio bajo, cercado de alturas de cuatro Sierras de cuyas vertientes se hace allí una Laguna que llega a las cruces de los árboles y, por consumirse allí mismo, le llaman el sumidero de Zafarraya. De éste creen aquellos naturales que se surten y brotan las copiosas Fuentes de Loxa y la principal salida dicen que es el copioso nacimiento de Guaro. Suelen estos sumideros coger tanta agua que los que vienen de Málaga, Vélez y la dejan el camino y toman el de las Sierras de Loxa para Granada."

Madoz P. (1845-1850) cita en el artículo correspondiente a Zafarraya:

"cruza (el llano) de Este a Oeste un arroyo llamado la Madre, que recoge las aguas llovedizas de todas las sierras que rodean el campo, y como estas mismas sierras impiden su salida, no hay otro desagüe que el que proporcionan unos grandes sumideros naturales situados cerca de la unión de las sierras de Loja y Marchamonas. Alguna vez, cuando las aguas son muy copiosas, se queda hecho una gran balsa todo el campo e incomunicados sus habitantes; y si esto no sucede ahora con la frecuencia que en lo antiguo es por haberse aumentado el laboreo de las tierras según expusimos en el artículo del partido judicial de Alhama"

En este artículo, referente al partido judicial de Alhama, se lee:

"...En el extenso campo de Zafarraya no tienen las aguas salida descubierta: corren por medio del valle, formando en los inviernos verdaderos ríos que llaman madres, tan respetables a veces, que no es fácil vadear/os, y llegando a ciertos puntos se pierden u ocultan por lo que dicen los sumideros. Si no fuese por esta salida, formada por la naturaleza, sería una gran laguna, porque está rodeada de sierras elevadas que llevan a este campo sus vertientes; y todavía cuentan los ancianos de todo crédito del país, que vieron por sí mismos alguna vez, en grandes temporales, cubiertas de agua las mayores encinas y los árboles más corpulentos situados en lo más hondo del llano a la inmediación de los sumideros, cuando Zafarraya era un bosque espesísimo e inculto, y que entonces tardaban los

sumideros un día o dos lo más absorber toda aquella laguna que se formaba. Luego que se rompió y laboreó dicho campo no se ha notado semejante rebalsa, por lo que el terreno chupa mucho por todos aquellos parajes y/os sumideros son suficientes a embeber el río o madre principal que reúne las aguas de las lluvias. Se cree que estos sumideros sean causa de la abundancia de fuentes que se observa en Loja, de cuya ciudad dista unas de 4 ó 5 leguas..."

Las inundaciones más importantes, de las que existen referencias escritas con datos más o menos concretos son las siguientes:

Invierno de 1891-1892

Se produce una inundación que mantuvo incomunicados a los tres núcleos de población (Zafarraya, Ventas de Zafarraya y El Almendral). Los vecinos construyeron una barcaza para trasladarse entre estos núcleos, hecho que se recuerda como "el año de la barca". Moreno (1987), sugiere que el nivel de agua debió alcanzar la cota 900 para justificar la inundación de los núcleos. Esta estimación parece excesiva ya que, en tal caso, el volumen de agua acumulada en el llano superaría los 90 hm³, cifra que parece desmesurada. La situación de incomunicación se justifica, sobradamente, suponiendo una cota máxima de 892 metros (figura 4).

Año 1957

Moreno (1987) cita que la inundación afectó a una superficie estimada en más de 400 has. De acuerdo con el gráfico de la figura 2, la cota de inundación debió situarse ligeramente por encima de 891'5 metros. Paradójicamente ese año no fue muy lluvioso ni tampoco las lluvias fueron muy intensas.

Invierno 1962-1963

Se produce una inundación que mantuvo incomunicados a los tres núcleos. Las referencias fotográficas (Hidalgo 1974) y los testimonios orales sugieren que la cota de inundación no superó los 892 metros aunque autores que sitúan la lámina de agua en la cota 897 (López Chicano, 1992), lo que hubiese supuesto una superficie inundada de más de 1200 has y un volumen embalsado de unos 54 hm³. La inundación debió de producirse entre el 26 de Diciembre de 1962 y el 21 de Enero de 1963 con un registro pluviométrico

de 856 mm en la estación pluviométrica de Ventas de Zafarraya (López Chicano 1992).

Enero de 1970

Moreno Garzán (1973) cita una inundación en que las aguas alcanzaron las casas más bajas de Zafarraya, tras dos semanas de fuertes precipitaciones, sugiriendo que la lámina de agua alcanzó la cota 895.

Febrero 1987

López Chicano (1992) cita desbordamientos localizados del arroyo de la Madre donde se midieron caudales superiores a 2 m³/s. El episodio debió ser de escasa magnitud y de ocurrencia relativamente frecuente en otros años.

Diciembre 1996-Enero 1997

Se produce la última gran inundación del polje. De este episodio se dispone de información más completa tanto en lo referente a aportaciones pluviométricas como a la evolución de los niveles piezométricos en algunos sondeos y al área de cultivos afectada. ORTEGA (1998) sitúa la lámina de agua en la cota 897 que hubiese supuesto según HIDALGO (2002) la inundación de más de 1200 has con un volumen de agua embalsado de unos 54 hm³. Los datos obtenidos in situ, con nivelación de puntos topográficos, así como la estimación de daños efectuada por la Agencia de Extensión Agraria, que cifra la superficie afectada en unas 500 has, confirman que la lámina de agua alcanzó la cota 892.

1.2.1 Análisis hidráulico de la Inundación de 1996-1997

HIDALGO (2002) realiza un análisis pormenorizado de esta última inundación que según el aporta criterios objetivos para entender mejor los fenómenos hidrológicos que afectan a la zona. A partir de los datos aportados por la Confederación Hidrográfica del Sur y la información contenida en Ortega (1998) el elaboró un gráfico que relaciona las evoluciones de la pluviometría, caudales del Arroyo de la Madre y nivel piezométrico en dos sondeos y que se refleja en la siguiente descripción:

La primera inundación se produjo entre los días 12 y 20 de noviembre de 1996 y afectó solo a la zona de los sumideros situados al Norte de Zafarraya (Laguna Norte). Después de un mes prácticamente seco (la lluvia previa

más importante se produjo el 13 de octubre con un registro de 45,9 mm) se registran lluvias entre el 12 y 16 de noviembre que totalizan 151,4 mm en Ventas de Zafarraya y 348 mm en la Alcaicería. En el arroyo de la Madre (Estación de la Alcaicería) se registran caudales variables entre 6,147 m³/s el día 12 de noviembre y 0,119 m³/s los días 19 y 20 de noviembre. Los niveles piezométricos de dos sondeos representativos (Cementerio y Palique) se sitúan a cotas variables entre 810 y 860 m.

Esta primera inundación duró 9 días y solo afectó a la Laguna Norte. Se estima que la lámina de agua no alcanzó la cota 890, cubriendo a una superficie inferior a 100 has.

Dada la situación piezométrica del acuífero, las causas de esta primera inundación se deben, exclusivamente, a la incapacidad de los sumideros para evacuar el agua aportada por la cuenca del arroyo de la Madre.



Ilustración 1. Polje Inundado (Enero 1997) Fuente:

http://grupomonteandax.blogspot.com.es/2010_10_01_archive.html
(acceso 17/02/2014)

- La segunda inundación, más importante, se produjo entre el 13 de diciembre de 1996 y el 20 de marzo de 1997 y afectó tanto a la Laguna Norte como a la Laguna Sur.
- La pluviometría registrada, en el periodo de persistencia de la inundación, fue de 765,8 mm en Ventas de Zafarraya (correspondientes a los meses de diciembre 1996 y enero 1997) y de 1080,6 mm en la Alcaicería (mismo periodo).
- El registro de caudales en el arroyo de la Madre, suministra cifras que varían entre 8,450 m³/s y 0,420 m³/s. En total, el volumen registrado asciende a unos 15 hm³.
- Los niveles piezométricos ascienden progresivamente hasta situarse aproximadamente a la cota 892 en el llano y a más de 900 m en sondeos situados, sobre las calizas al Norte de Zafarraya.
- Esta inundación duró 98 días y la lámina de agua alcanzó la cota 892 afectando a numerosas viviendas situadas en el borde Norte del núcleo urbano de Zafarraya. La superficie cubierta por el agua fue de unas 550 has y el agua acumulada alcanzó un volumen próximo a 7 hm³.
- De acuerdo con la evolución de los niveles piezométricos y los aportes del arroyo de la Madre, las causas de esta segunda inundación se deben a la disminución progresiva de la capacidad de drenaje de los sumideros hasta su total anulación. En efecto, la primera inundación produce un rápido ascenso del nivel piezométrico, situado, inicialmente a varias decenas de metros bajo la superficie del polje. Los nuevos aportes de la segunda inundación aceleran el proceso hasta que el nivel piezométrico alcanza o supera la cota mínima topográfica (alrededor de 887 metros), hecho que ocurre en la primera semana de enero de 1997. En ese momento los sumideros dejan de funcionar, e incluso en días posteriores, actúan como fluencias de agua. En estas condiciones toda el agua aportada por el arroyo se acumula y el nivel de la lámina de agua se mantiene, con escasas variaciones, durante un mes aproximadamente. Con el cese de las lluvias, el nivel piezométrico

desciende de forma progresiva y aumenta, proporcionalmente, la capacidad de absorción de los sumideros hasta que se produce la evacuación total del agua embalsada.

HIDALGO (2002) describe el funcionamiento del esquema hidráulico así: "La situación descrita es muy complejo ya que el acuífero es muy anisótropo y existen compartimentos y barreras hidrogeológicas en un sector del acuífero donde se sitúa la división hidrogeológica entre las cuencas mediterránea y atlántica. No obstante, el modelo conceptual puede responder al siguiente esquema: en épocas de importantes aportes pluviométricos se producen modificaciones importantes de la superficie piezométrica que se traducen en un desplazamiento hacia el Sur de la divisoria y un ascenso espectacular de los niveles de agua, que pueden superar los 100 metros y que pueden ocupar total o parcialmente la zona habitualmente no saturada del acuífero. Se produce así una situación singular donde la superficie piezométrica presenta sendos domos bajo los relieves montañosos al Norte y al Sur del llano que actúa, en este caso, como nivel de drenaje transitorio hasta que los niveles vuelven a su posición original. Ello justifica que, a veces, los sumideros no solo no absorben agua sino que actúan como manantiales, y que las lagunas Norte y Sur sigan una evolución diferente en el proceso de vaciado."

1.3 Estimación de la máxima inundación

Los datos disponibles hasta el momento permiten establecer algunas conclusiones de interés para explicar y prever el fenómeno de las inundaciones:

Los fenómenos de inundación son muy frecuentes en el polje de Zafarraya y se producen casi todos los años aunque con moderada magnitud, y se limitan a desbordamientos puntuales del arroyo de la Madre o pequeños encharcamientos de las zonas próximas a los sumideros.

- Las inundaciones importantes son relativamente poco frecuentes, aunque cuando ocurren las consecuencias económicas son catastróficas.
- No existe una relación directa entre las inundaciones y la pluviometría

- anual, ni siquiera con la magnitud de la intensidad máxima diaria.
- El factor esencial que interviene en el proceso, es la evolución del nivel piezométrico ya que a medida que asciende disminuye la capacidad de infiltración del polje hasta anularse, completamente, cuando el nivel alcanza la superficie topográfica. Este hecho se produce cuando existe un periodo continuado de lluvias, no necesariamente de gran intensidad. En estas condiciones es muy difícil predecir con suficiente garantía la ocurrencia del fenómeno y mucho menos su magnitud.

HIDALGO (2002) realiza unos cálculos para determinar la inundación máxima probable. A tal efecto representa la correlación entre cota estimada de inundación, superficie inundada y volumen total embalsado.

Tabla 1: Estimación de la cota máxima de inundación

Autor	Año	Cota estimada según autor	Cota estimada por HIDALGO (2002)
MORENO (1987)	1891/92	900	892
MORENO (1987)	1957	-	891,5
LOPEZ CHICANO (1992)	1962/63	897	892
MORENO (1973)	01-1970	895	-
ORTEGA (1998)	1996/97	897	892
HIDALGO	1996/97	892	892

A partir de todos los datos analizados por HIDALGO y superpuesto sus conclusiones sobre las cotas sobre el modelo digital más reciente disponible se deduce que la cota máxima que ha alcanzado la lámina de agua en las inundaciones ocurridas hasta el momento es, aproximadamente, la 893 y no 892 como lo establece el autor..

1.4 Conclusiones

Según los resultados de HIDALGO (2002) el nivel máximo de inundación no supera a la cota 892, 893 una vez contrastado con los niveles topográficos de los modelos más recientes digitales disponibles. Sus análisis hidráulicos son concluyentes el escenario de que las inundaciones pudieran llegar a niveles superiores parecen bastante improbables.

El supuesto de que las inundaciones hubieran llegado hasta cotas de 897



m.s.n.m supondría inundaciones que alcanzaran ámbito urbanos del núcleo de Zafarraya para los que no existe ninguna documentación que lo corroborara.

Sólo MORENO (1987) cita a cotas de inundación superiores a los 900 metros para las inundaciones 1891/92, dato no contrastado ante las fuentes aportadas por HIDALGO.

2 ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO

Una vez analizada la inundabilidad potencial del Polje de Zafarraya por encharcamiento por el nivel piezométrico del acuífero hay que analizar la inundabilidad potencial por eventos de avenidas.

En el caso del núcleo de Zafarraya existe un cauce principal con potencial de crear inundaciones y avenidas. Se trata de A^a de la Madre, incluido en el Plan de Prevención de cauces urbanos de la Junta de Andalucía y clasificado en la categoría A del mencionado Plan.

A continuación se analizará el riesgo de inundación de dicho cauce, tanto en situación de drenaje ordinario y sin encharcamiento como para el caso de que coincidiera un evento de inundación con recurrencia de 500 años con el máximo nivel de encharcamiento observado definido como cota de inundación en el anterior capítulo.

2.1 Estudio hidrológico

2.1.1 Alcance y ámbito del estudio

En el presente estudio se intentan definir las zonas de inundación de los suelos urbanizables ubicadas a orillas de los cauces públicos. En este caso el único cauce susceptible de generar problemas de avenidas es el denominado Arroyo de La Madre, que viene recogido e "Plan de Prevención de avenidas e inundaciones en cauces urbanos andaluces", por causa de la "elevación del nivel de base" y por "otras causas", asignándole un nivel de prioridad "A3".

Arroyo de la Madre.

El Arroyo de la Madre recoge las aguas de los arroyos de la vertiente oriental del Polje así como algunos aportes de manantiales como el de Parrilla. Se adentra en el municipio por su borde oriental y lo atraviesa hacia el oeste dividiendo prácticamente el municipio en dos partes iguales. Este arroyo recoge una cuenca de unos 30 Km².

Un hecho de especial relevancia y que caracteriza a este arroyo es la pérdida de caudal al contactar con los materiales detríticos del acuífero de Zafarraya entre el Cortijo de la Alcaicería y el Cortijo Revuelos, donde se encuentra una estación de aforos, también existen filtraciones aunque de

menor importancia aguas abajo entre este último cortijo y el trasvase.

Teniendo en cuenta diversos aforos directos realizados en el sector de la Alcaicería, se estima que los caudales controlados en la estación de aforos del cortijo Revuelos constituyen entre el 60% y el 70% del total de los aportados por el Arroyo de la Madre a su entrada en el polje de Zafarraya (López Chicano, 1992). Estas pérdidas por infiltración han sido comprobadas por distintos autores mediante aforos diferenciales simultáneos a lo largo de su recorrido. El arroyo de la madre desagua a través de los denominados sumideros o ponors, Los ponors situados al NO de Zafarraya, son los que drenan la mayor parte del arroyo de La Madre, y la componen principalmente el Sumidero del Porteño y el área de sumideros del Cortijo Sabanillas. El caudal máximo observado, infiltrado en los ponors terminales del Arroyo de la Madre, sin ocurrencia de inundaciones, ronda los 3 m³/s (IGME, 1983).

Una característica muy particular de este ámbito es que, por las características propias del polje, es posible la ocurrencia de avenidas incluso caudales no muy elevados del arroyo de La Madre, esto ocurre por el particular comportamiento hidráulico. HIDALGO (2002) describe el funcionamiento del esquema hidráulico así: "La situación descrita es muy compleja ya que el acuífero es muy anisótropo y existen compartimentos y barreras hidrogeológicas en un sector del acuífero donde se sitúa la división hidrogeológica entre las cuencas mediterránea y atlántica. No obstante, el modelo conceptual puede responder al siguiente esquema: en épocas de importantes aportes pluviométricos se producen modificaciones importantes de la superficie piezométrica que se traducen en un desplazamiento hacia el Sur de la divisoria y un ascenso espectacular de los niveles de agua, que pueden superar los 100 metros y que pueden ocupar total o parcialmente la zona habitualmente no saturada del acuífero. Se produce así una situación singular donde la superficie piezométrica presenta sendos domos bajo los relieves montañosos al Norte y al Sur del llano que actúa, en este caso, como nivel de drenaje transitorio hasta que los niveles vuelven a su posición original. Ello justifica que, a veces, los sumideros no solo no absorben agua sino que actúan como manantiales, y que las lagunas Norte y Sur sigan una evolución diferente en el proceso de vaciado."

2.1.2 Problemática y planteamiento general

El nuevo Plan de Ordenación Urbanística de Zafarraya, actualmente en proceso de elaboración, plantea la regularización de desarrollos urbanísticos fuera de ordenación. Se trata de desarrollos urbanísticos realizados al amparo del documento de Aprobación Provisional de las Normas Subsidiarias de Planeamiento de Zafarraya, cuya Aprobación se produjo en el año 1997 y cuya tramitación no había culminado con un Aprobación definitiva por parte de la Comisión Provincial de Urbanismo y Ordenación del Territorio..

El objetivo principal es la regularización de las edificaciones que cuentan con licencia municipal y cuyos propietarios realizaron sus actuaciones con todos los parabienes de la administración local, incluyendo la urbanización de los ámbitos y la cesión de suelo de propiedad privada para la ejecución de las infraestructuras urbanísticas y sistemas generales.

De esta forma en el se han delimitado ámbitos de suelo urbano no consolidado, destinada a uso residencial, denominada por el plan como UEs. S trata de los terrenos intersticiales entre el límite del núcleo consolidado y el polígono industrial ejecutado en los Llanos.

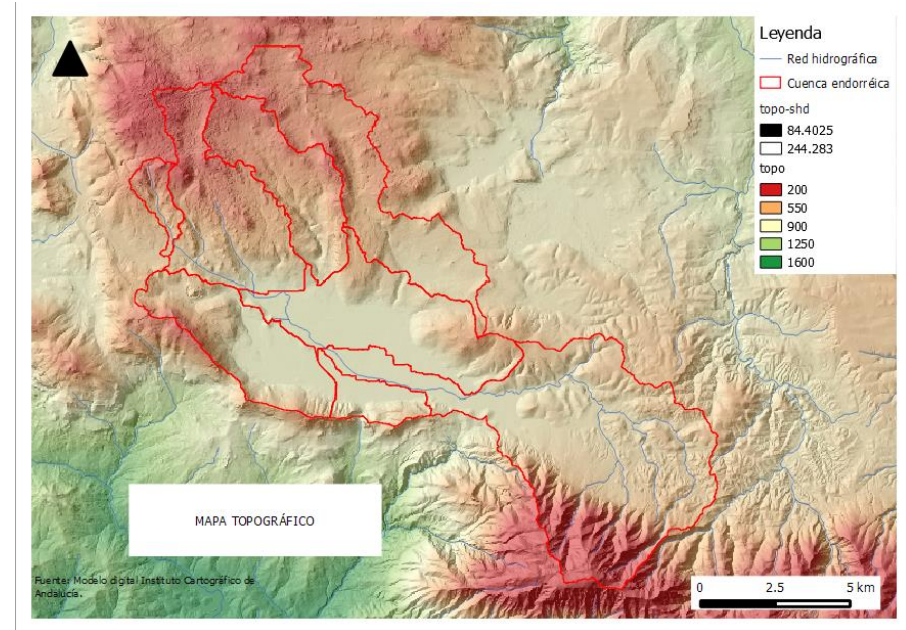


Ilustración 2. Modelo digital del terreno

La Propuesta del PGOU incluye además unos sectores de suelo urbanizable sectorizados y no sectorizados cuyo desarrollo queda postergado al futuro.

Éste estudio hidrológico evalúa la inundabilidad tanto para los suelos urbanos, urbanizables sectorizados como no sectorizados.

2.1.3 Delimitación de las cuencas Vertientes

Se aporta análisis de las cuencas hidrológicas. Cabe destacar la peculiaridad de la cuenca por tratarse de una cuenca endorréica.

El análisis se ha realizado con la herramienta HydrotoolsTM.. El proceso de construcción del modelo se ha realizado utilizando el Modelo digital del terreno del instituto de cartografía de la Junta de Andalucía. Los diferentes pasos, realizados en SIG está reflejados a continuación:

A partir del modelo digital del terreno se construye los diferentes factores geomorfológicos que definen las características físicas-hidráulicas de las cuencas. En un primer paso se calcula la pendiente del terreno, factor que posteriormente se incluirá en el cálculo del Umbral de escorrentía (P0).

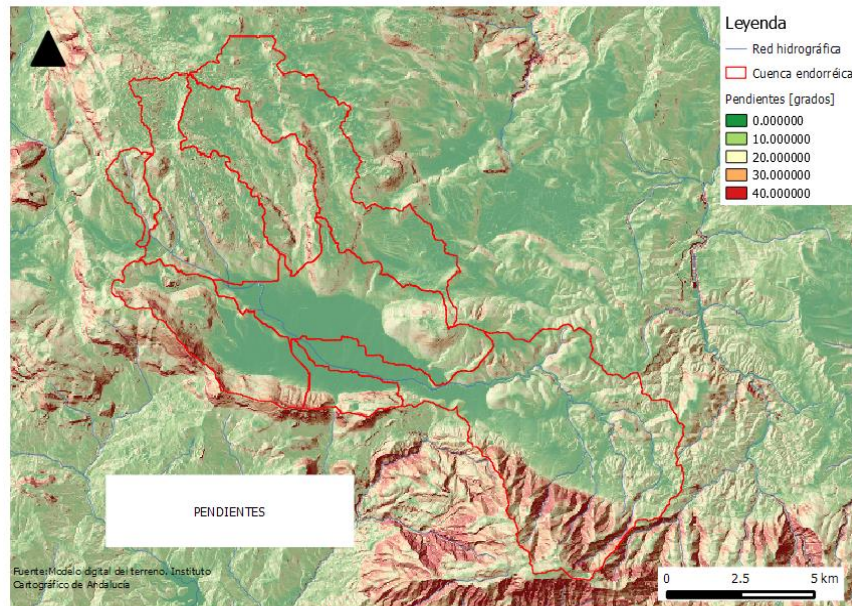


Ilustración 3. Pendientes

El modelo digital del terreno sirve igualmente para el cálculo de la orientación de ladera del terreno, otro factor geomorfológico que influye en los proceso de escorrentía superficial.

A partir de estos datos se realiza el cálculo de determinación de la red de drenaje y delimitación de subcuencas.

Se delimita las siguientes principales subcuencas:

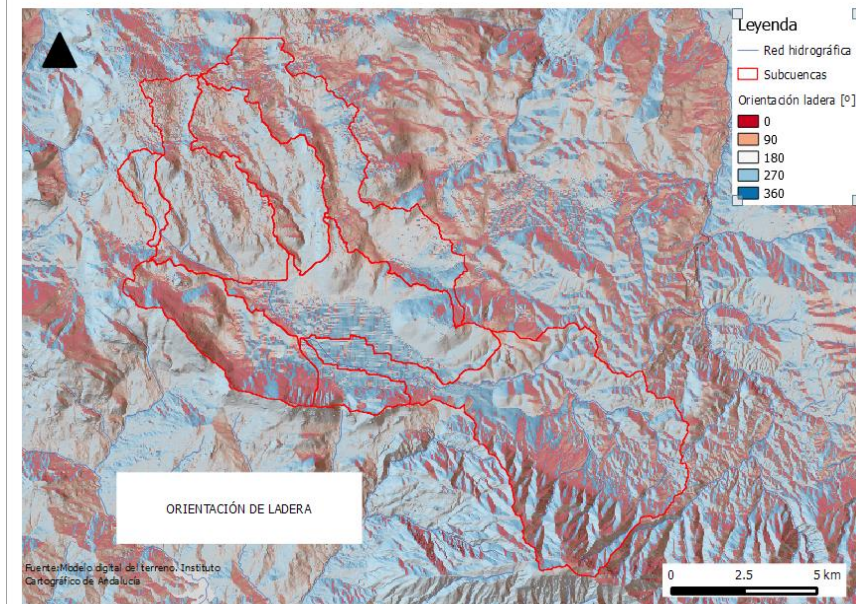


Ilustración 4. Orientación de la ladera

Tabla 2: Denominación de las Subcuencas

Código	Denominación	Área [km ²]
1	A° de la Madre	47,169
2	A° de la Madre Chica	4,198
3	Llanos	20,636
4	Sumidero	14,805
5	A°. Albarcas	21,634

6	Aº. Cazadores	13,616
7	Ayos. Peñón, Hediondo y Caballón.	18,742
8	Aº. Periconero	2,655

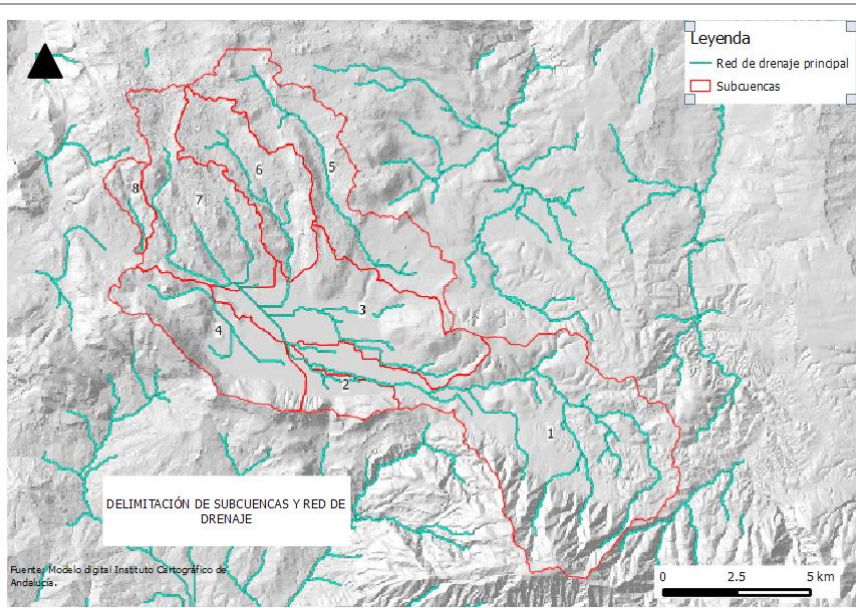


Ilustración 5. Delimitación de las subcuencas

La superficie total de la cuenca hidrográfica endorréica es según estos calculos unos 143,5 km²..

El análisis de las líneas de drenaje y generación de la avenida de la zona que nos atañe demuestra que las subcuencas generadoras de eventos de Escorrentía superficial se componen de la cuenca del Aº de la Madre

(Código 1) y Aº de la Madre Chica (Código 2), exclusivamente. Las restantes subcuencas contribuyen a sistemas hidráulicos diferenciados que tributan a otros sectores de los llanos que cuyos eventos de inundación solo afectan indirectamente a la zona estudiada.

El resto de las subcuencas son tributarias del sistema endorréico pero no contribuyen de forma directa a los eventos de inundación del Aº de la Madre. A continuación se aporta un breve descripción de la situación hidráulica de las Subcuencas.

La cuenca hidrográfica del Aº de la Madre se compone por tanto de las subcuencas 1 y 2 sumando en total unos 51,4 km².

Tabla 3: Características hidrológicas de las subcuencas

Cód.	Superficie	Denominación	Descripción	Sistema de Sumideros
1	47,1	Aº de la Madre	Cuenca principal del Aº de la Madre	S1 (Sumidero Sabanillas)
2	4,1	Aº de la Madre Chica	Cuenca parcial del Aº de la Madre Chica	S1 (Sabanillas)
3	20,6	Llanos	Zona central de los llanos sin línea de drenaje definida (el drenaje se produce principalmente a través de las acequias.	S1 (Sabanillas)
4	14,8	Sumidero	Zona de drenaje perteneciente los sumideros de la zona Sur	S2 (Sumidero del Alcachofar)
5	21,6	Aº. Albarcas	Zona de drenaje del Aº Albarcas con presencia de fuertes fenómenos kársticos, sin conexión superficial de drenaje con el resto de la cuenca endorréica	S3

6	13,6	Aº. Cazadores	Zona de drenaje del Aº Cazadores con presencia de fuertes fenómenos kársticos en la cabecera de la cuenca. La zona alta de la cuenca no presenta conexión superficial de drenaje con el resto de la cuenca endorréica	Parcial S1 (Sumidero Guerreros)
7	18,7	Ayos. Peñón, Hediondo y Caballón.	Zona de drenaje de los Aº Peñón Hediondo y Caballón con presencia de fuertes fenómenos kársticos en la cabecera de la cuenca. La zona alta de la cuenca no presenta conexión superficial de drenaje con el resto de la cuenca endorréica	Parcial S1 (Sumidero Guerreros)
8	2,6	Aº Periconeri	Zona de drenaje del Aº. Periconero con presencia de fuertes fenómenos kársticos, sin conexión superficial de drenaje con el resto de la cuenca endorréica	S4 (Sumidero Guerreros)

2.1.4 Determinación del caudal del periodo de retorno

Con la entrada en vigor de la Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras, el método de cálculo se modifica ligeramente.

Siguiendo la mencionada orden, el caudal máximo anual correspondiente a un determinado período de retorno QT, se debe determinar a partir de la información sobre caudales máximos que proporcione la Administración Hidráulica competente. En caso de no disponer de dicha información, se debe calcular a través de la metodología que se establece en este capítulo.

A los efectos de esta norma se consideran los siguientes métodos de cálculo de caudales:

- Racional: Supone la generación de escorrentía en una determinada cuenca a partir de una intensidad de precipitación uniforme en el tiempo, sobre toda su superficie. No tiene en cuenta:
 - Aportación de caudales procedentes de otras cuencas o trasvases a ellas.
 - Existencia de sumideros, aportaciones o vertidos puntuales, singulares o accidentales de cualquier clase. o Presencia de lagos, embalses o planas inundables que puedan producir efecto laminador o desviar caudales hacia otras cuencas. o Aportaciones procedentes del deshielo de la nieve u otros meteoros. o Caudales que afloren en puntos interiores de la cuenca derivados de su régimen hidrogeológico.

Cuando se aplique el método racional se debe comprobar que ninguno de estos factores pueda resultar relevante.

Estadístico: Se basa en el análisis de series de datos de caudal medidos en estaciones de aforo u otros puntos. Dichas series se pueden complementar con datos sobre avenidas históricas.

- Otros métodos hidrológicos: que deben ser adecuados a las características de cada cuenca.

La elección del método de cálculo más adecuado a cada caso concreto debe seguir el siguiente procedimiento:

- En cuencas de área inferior a cincuenta kilómetros cuadrados ($A < 50 \text{ km}^2$):

Utilización de datos sobre caudales máximos proporcionados por la Administración Hidráulica. o si la Administración Hidráulica no dispone de datos sobre caudales máximos se debe aplicar el método racional, con las particularidades del apartado 2.3 cuando las obras se ubiquen en el Levante y Sureste peninsular.

- En cuencas de área superior o igual a cincuenta kilómetros cuadrados ($A > 50 \text{ km}^2$):
 - Utilización de datos sobre caudales máximos proporcionados por la Administración Hidráulica.

- Si la Administración Hidráulica no dispone de datos sobre caudales máximos:
- Cuando existan estaciones de aforo próximas, que se consideren suficientemente representativas, se utilizará el método estadístico.
- Cuando los caudales no puedan estimarse a partir de estaciones de aforo, se deben aplicar métodos hidrológicos adecuados a las características de la cuenca, que se deben contrastar con la información de que se disponga sobre caudales de avenida. En la realización de estos estudios se tendrá en cuenta la información disponible sobre avenidas históricas o grandes eventos de precipitación.

En el caso de Zafarraya la cuenca del A^o de la Madre cuenta con una superficie de 51.4 km². Considerando que no existe ninguna estación de aforos con series históricas ni observaciones fiables de caudales de avenidas se opta en el marco del presente estudio por la aplicación del Método racional acorde a la mencionada Orden.

Cantidad total de lluvia en un punto

La estimación de la cantidad total de lluvia suele abordarse mediante el análisis estadístico de los datos registrados en las estaciones pluviométricas de la zona, expresando normalmente los resultados en forma gráfica como isoyetas de un determinado período de retorno.

La situación española, con una inmensa mayoría de estaciones pluviométricas que sólo registran lluvias diarias, hace que habitualmente sea ésta utilizando la duración utilizada para la obtención de las isoyetas, aunque el procedimiento para distintas duraciones sería análogo al expuesto brevemente a continuación.

En el análisis estadístico de lluvias máximas suelen emplearse modelos de series anuales de máximos, con lo que sólo se considera el mayor valor de cada uno de los años con datos, y métodos paramétricos que utilizan diversas leyes de distribución cuyos parámetros son ajustados a partir de los datos. La modelación estadística de máximas lluvias presenta análoga problemática a la existente en el caso de caudales (Ferrer, F.J. 1992), aunque más suavizada por el menor coeficiente de variación y de sesgo que suelen mostrar los datos pluviométricos.

Esta modelación requiere la elección de:

- una ley de distribución de la población:
- método de estimación de parámetros y cuantiles
- esquema de uso combinado, en su caso, de datos locales y regionales

por lo que un análisis completo viene definido por la combinación seleccionada de los tres factores.

La Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento y el Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del mismo Ministerio ha elaborado, después de un exhaustivo estudio estadístico de las diferentes estaciones pluviométricas, una Guía para la determinación de las Máximas Lluvias diarias en la España peninsular. Basándose finalmente en la Ley SQRT-ETmax, su programa adjunto permite la determinación del valor Pmax a través de un SIG para cada cuenca hidrográfica. L

A continuación se empleará estos datos para el subsiguiente cálculo de los caudales máximos, ya que su empleo garantiza la extrapolación de los datos a toda la cuenca hidrográfica.

El valor Pmax se determinará totalizando los valores para toda la cuenca hidrográfica mediante un Sistema de Información Geográfica, lo que permite realizar todos los cálculos correspondientes. La reducida dimensión de las cuencas permite aplicar los mismos valores de precipitación máxima diaria para cada cuenca.

Para el cálculo de las precipitaciones se contrasta los resultados Maxin con la metodología propuesta por la reformulación de Salas.

Los datos de entrada son:

Tabla 4: Parámetros de estimación de la $I(d;T)$

DATOS		Zonas	
PMDA=	76	<i>h cortas</i>	<i>h largas F</i>
K=	9,7	2	2
α =	0,175		
CV=	0,46		

La aplicación del método racional modificado da como resultado el

caudal de avenida para los periodos de retorno considerados (10, 20, 50, 100 y 500 años).

Tabla 5: Precipitaciones para los tiempos de recurrencia en mm/día

	med	años							
		2	5	10	25	50	100	200	500
PMDA (T)	76	68,25	96,52	117,12	145,54	168,72	194,26	219,79	256,27
PM24 (T)		77,12	109,07	132,35	164,46	190,65	219,51	248,36	289,59

Tabla 6: Precipitación máxima para el periodo de retorno

Precipitación máxima para el periodo de retorno (mm)	
Periodo de retorno 10 años:	132
Periodo de retorno 50 años:	191
Periodo de retorno 100 años:	218
Periodo de retorno 500 años:	290

El procesamiento en SIG, y la asignación del valor P0 por superposición de la información, pendiente, vegetación y grupos de suelos conduce a la información matricial del valor del parámetro P0 sobre todo el territorio.

El resultado del análisis mediante SIG matricial de los valores del umbral de escorrentía conseguido por este procedimiento nos da los siguientes valores de P0 medio para las cuencas analizadas:

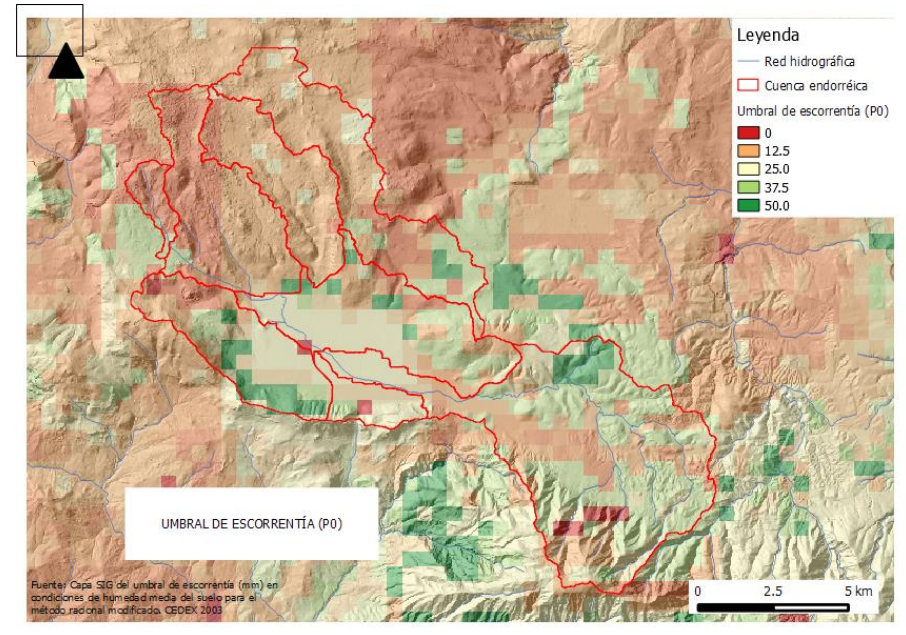


Ilustración 6. Umbral de escorrentía

Tabla 7: Umbral de escorrentía de las subcuencas

Código	Superficie	Denominación	P0 (medio)
1	47,169	A° de la Madre	23,130
2	4,198	A° de la Madre Chica	23,120
3	20,636	Llanos	23,800
4	14,805	Sumidero	25,540
5	21,634	A°. Albarcas	17,780

6	13,616	A°. Cazadores	14,110
7	18,742	Ayos. Peñón, Hediondo y Caballón.	12,500
8	2,655	A°. Periconero	14,900

El resultado del análisis mediante SIG matricial de los valores del umbral de escorrentía para la cuenca contribuyente del A° de la Madre es de 23,14.

Las características físicas de la cuenca

En la siguiente tabla se presenta las características físicas de la cuenca
 Tabla 8: Características hidráulicas del A° de la Madre (incluyendo al A° de la Madre Chica)

Río	A° de La Madre y A° Madre Chica	
Area	51.4	km2
L	25206	m
Ho	892	m
Hmax	1990	m
Pendiente J	0.04356	m/m
Po medio	23.14	mm
Cociente li/l _d	9.2	
K (uniformidad)	1.42	
Ka	0.89	
Tiempo concentración de	6.32	

A continuación se muestra una imagen de pantalla del programa web utilizado para el cálculo según la INSTRUCCIÓN DE DRENAJE SUPERFICIAL 5.2-IC (2016).

INSTRUCCIÓN DE DRENAJE SUPERFICIAL 5.2-IC (2016)

Región: 61 Tipo de obra de drenaje: --
 Periodo de retorno (años): 500

DATOS INICIALES
 Región n.º: 61 Tipo de obra: Drenaje auxiliar
 Periodo de Retorno (años): 500

GEOMETRÍA DE LA CUENCA
 Área de la Cuenca (km²): 50.1 Cota Máxima del cauce (m): 892
 Longitud del Cauce (km): 25206 Cota Mínima del Cauce (m): 2010
 T_c - Tiempo de Concentración (h): 4460.11 Pendiente del Cauce (%): 0

PRECIPITACIONES
 P_d - Máxima Lluvia diaria (mm): 290 F₂ - Relación (I₂/I_d) según fórmula: 0.01
 K_a - Factor Reductor de Precipitación: 0.89 F₃ - Relación (I₃/I_d) según pluviómetro: 0
 Forzar valor de K_a = 1 I₃₀(T_c):
 P₁₀ - Máxima Lluvia Corregida (mm/h): 257.14 I₂₄(T_c):
 I_d - Intensidad Media Diaria (mm/h): 10.71 F₁₀₀ - Factor de Intensidad: 0.01
 (I₂/I_d) - Factor Torrencialidad: 9.2 I(500,4460.11) - Intensidad (mm/h): 0.06

PERDIDAS
 P₀ - Umbral de Escorrentía (mm): 23.14 Forzar valor del Coef. corrector β:
 β_m - Coef. corrector Umbral de Escorrentía: 2 β - Coef. corrector utilizado: 2.34
 Δ50% - Intervalo de confianza: 0.25 P₀ - Umbral Escorrentía Corregido (mm): 54.15
 F_T - Factor Periodo de Retorno: 1.17 Relación P₀/P₀: 4.75
 β_{DT} - Coef. Drenaje Transversal: 2.06 C - Coeficiente de Escorrentía: 0.42
 β_{PM} - Coef. Drenajes Auxiliares: 2.34 K₁ - Coeficiente de Uniformidad: 2

RESULTADOS
 CAUDAL TOTAL (m³/s): 0.71

Universidad de Cádiz
 Dpto. Ing. Civil e Ing. Industrial
 UCA
 Área de Ingeniería Hidráulica
 Cádiz, España (2016)
 http://fob-hidrologia.uca.es/
 olegario.castillo@uca.es

Tabla 9: Caudales de Recurrencia del A° de la Madre (incluyendo al A° de la Madre Chica)

	Recurrencia					
	10	25	50	100	500	
Precipitación	132	164	191	218	290	mm
Lluvia reducida	116	145	169	193	257	mm
Intensidad	14.3	17.9	20.8	23.8	31.7	
Caudal	47.5	88.4	120.93	153.4	268	
Caudal específico	0,95	1,76	2,41	3,06	5,34	m3/km2

Los caudales de recurrencia resultantes son inferiores a los caudales obtenidos en el primer cálculo con el Método racional anterior.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la publicación: "Bases científicas para una guía técnica de drenaje específica para la red viaria andaluza - G-GI3000/IDI01" y que propone la utilización del coeficiente corrector del umbral de escorrentía con un valor de β de 1.5. Los Caudales de los periodos de retorno se elevan alrededor de 60 a 90 m³/s por los diferentes tiempos de retorno.

Nania Escobar (2014) resalta sin embargo que: "Teniendo en cuenta que la calibración del coeficiente corrector del umbral de escorrentía mediante contraste con series e caudales ofrece resultados variables dentro de una misma región y que publicaciones recientes españolas consideran valores menores de este coeficiente que se parecen al obtenido simulando tormentas reales y de proyecto, se ha considerado un valor de β de 1.5.

Los resultados de las dos metodologías se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 10: Resultados de los caudales de los periodos de retorno

1 L. Nania Escobar (2014), G-GI3000/IDI0 - Bases científicas para una guía técnica de drenaje específica para la red viaria andaluza. Universidad de Granada

Ç	Recurrencia					
	10	20	50	100	500	
Resultado de según Instrucción de Drenaje superficial (2016)	60,0	88.4	120,9	148	259	m3/s
Resultados según Nania (2014)	85,2	131,0	174.6	221,0	355.6	m3/s

Acorde a las metodologías utilizadas se obtiene un caudal específicos de entre 5,34 y 7,09 m³/s. Ante la incertidumbre a la hora de calibración de los datos y la falta de registros de aforos se optado en el presente estudio a un análisis comparativo con cuencas hidrográficas colindantes. y se ha procedido a una comparación de los caudales de recurrencias obtenidos en el presente estudio con los valores obtenidos en el estudio de MAPA DE CAUDALES MÁXIMOS (CAUMAX)² para grandes cuencas y realizados por el CEDEX en cuencas colindantes.

El mencionado estudio estima para la cabecera del río Nacimiento (o Alhama) al este de la cuenca del A° de la Madre un caudal del periodo de retorno T500 de 172 m³/s. La cuenca correspondiente tiene una superficie de 58 km² con características físicas muy similares, obteniéndose un coeficiente de escorrentía de 2,96 m³/s.

Para la cabecera del río Bermejales el mismo estudio obtiene un caudal de 475 m³/s para unos superficie de 287 km² lo que resulta en un coeficiente de escorrentía de 1,59 m³/s/km².

Los caudales de la Cabecera del Río Salar, al norte de la cuenca arrojan para una cuenca similar a la del A° de la Madre un caudal del periodo de retorno T500 de 176 m³/s situándose el coeficiente de escorrentía en torno de 3.

Tabla 11: Caudales de las cuencas colindantes según tiempo de retorno

Río	Superficie	T10	T100	T500
-----	------------	-----	------	------

2 Mapa de Caudales máximos – CEDEX (2014) Versión 2.3.

		m³/s	m³/s	m³/s
Nacimiento Alhama	o 58	46	109	160
Río Salar	50	55	113	176
Río Bermejales	297	97	261	476

Fuente: Caumax (2014)

Como ya se ha comentado con anterioridad en el caso que nos ocupa no existe ninguna estación de aforo que permita una calibración exacta.

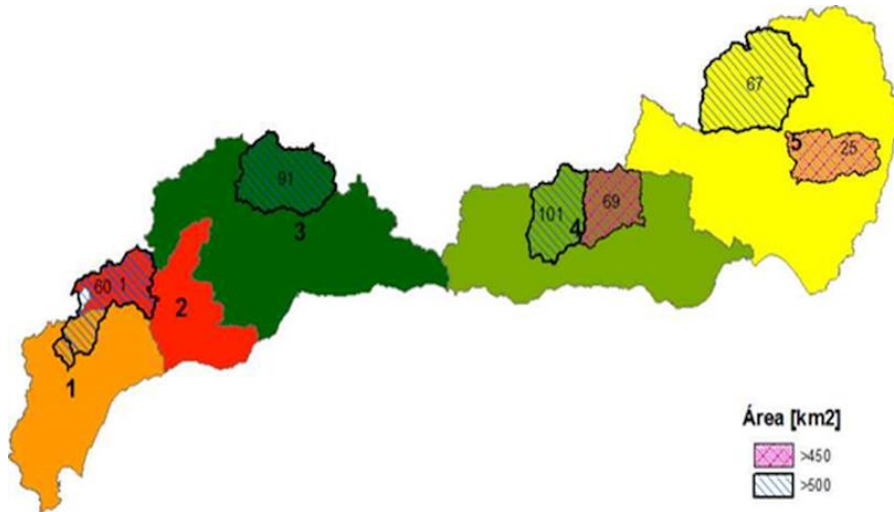


Ilustración 7. Cuencas Grandes en la CMA (Fuente Nania 2014)

Tampoco se considera apropiado el empleo de los métodos de Estimación en cuencas grandes sobre modelos regionales basados en ecuaciones de regresión múltiple. Nania (2014) realizó una caracterización de las grandes de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas donde se relacionó unas

determinadas variables hidrológicas características de las cuencas vertientes con los cuantiles de caudal máximo mediante ecuaciones de regresión lineal múltiple. En el estudio mencionado se elaboró unas ecuaciones para 5 grandes zonas de la cuenca pero sin embargo éstas ecuaciones sólo son válidas para cuencas con superficies mayores de 450 km², por lo que no son aplicable a la cuenca de estudio.

Considerando la comparación expuesta anteriormente y ante la falta de posibilidad de calibración el presente estudio se inclina por los caudales obtenidos por el Método racional acorde a la instrucción de drenaje-

2.2 Construcción del hidrograma

Para los cálculos de simulación hidráulica se precisa de la construcción del hidrograma de referencia para definir el evento de inundación.

Tras los cálculos realizados por el método racional modificado, y teniendo en cuenta que el tiempo de concentración para la cuenca es superior a las 6 horas, o 50 km² se ha optado por realizar un nuevo cálculo empleando el Método de Agregación de Cuencas. Este programa precisa para su correcta ejecución la generación de un hidrograma unitario, que posteriormente hay que calibrar.

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. Una simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico. Las especificaciones de control definen el periodo de tiempo durante el cual se realizará la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar.

Los componentes de los datos de entrada, tales como las series temporales, tablas y datos por celdas son requeridos como parámetros o condiciones de contorno tanto en el modelo de la cuenca como en el meteorológico.

2.2.1 Preparación del Modelo

Para el presente cálculo se ha empleado el software Hec-HMS y su aplicación GIS Geo-HMS. Se comienza generando un modelo digital de elevaciones, para todo el ámbito de la cuenca, a partir de la topografía existente; en este caso se empleó la base topográfica 1:10,000 descargada

mediante el servicio LINEA del Instituto Cartográfico de Andalucía. Una vez generado se obtienen de forma automática todos los datos "topográficos" necesarios para el análisis en Hec-HMS mediante el software Geo-Hms.

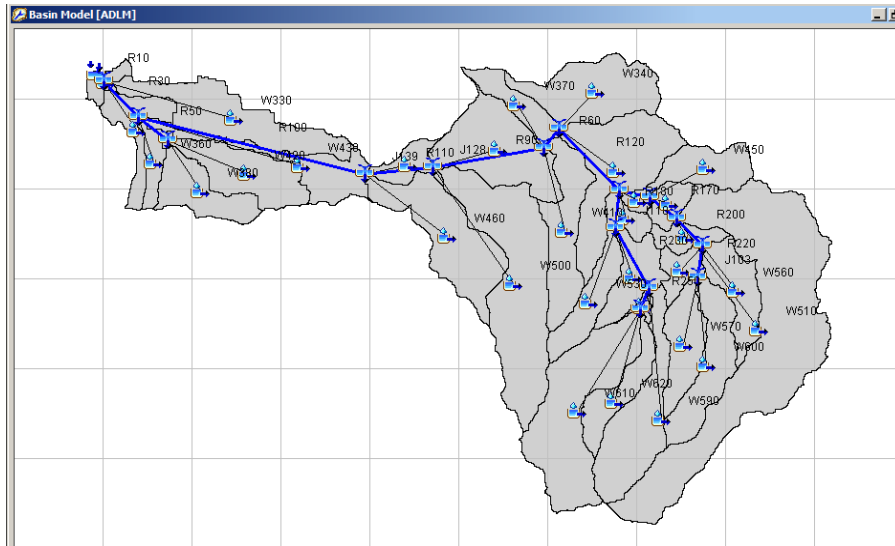


Ilustración 8. Esquema de conectividades del Modelo HMS

2.2.2 Análisis Precipitaciones - Generación del hietograma

Para el análisis en Hec-HMS, se emplean, además de los datos obtenidos anteriormente, datos de precipitaciones y de su distribución; Para este análisis, se ha empleado el método umbrales de escorrentías obtenidos en el estudio original y los tiempos de concentración según Tomez (Método racional). en este sentido generado los hietogramas de diseño necesarios. Los hietogramas se han generado mediante el método de bloques alternos; basado en la fórmula [9], basada en las curvas intensidad - duración.son los siguientes:

Tabla 12: Hietograma de diseño para las recurrencias de 10, 100 y 500 años

	10 años	100 años	500 años
H	mm	mm	mm
1	1,4	2,4	3,2
2	1,6	2,6	3,5
3	1,8	2,9	3,9
4	2,0	3,3	4,4
5	2,2	3,7	5,0
6	2,6	4,3	5,7
7	3,0	5,0	6,7
8	3,6	6,0	8,0
9	4,5	7,5	10,0
10	5,9	9,9	13,1
11	8,7	14,4	19,2
12	16,9	28,2	37,5
13	50,2	83,6	111,2
14	11,4	18,9	25,2
15	7,0	11,7	15,6
16	5,1	8,5	11,3
17	4,0	6,7	8,9
18	3,3	5,5	7,3
19	2,8	4,6	6,2
20	2,4	4,0	5,3
21	2,1	3,5	4,7
22	1,9	3,1	4,1
23	1,7	2,8	3,7
24	1,5	1,3	3,3

Estos datos son asignados a las diferentes subcuencas definidas previamente.

2.2.3 Generación de la escorrentía

La generación de la escorrentía se realizó con el modelo SCS adaptando la metodología a la normativa española.

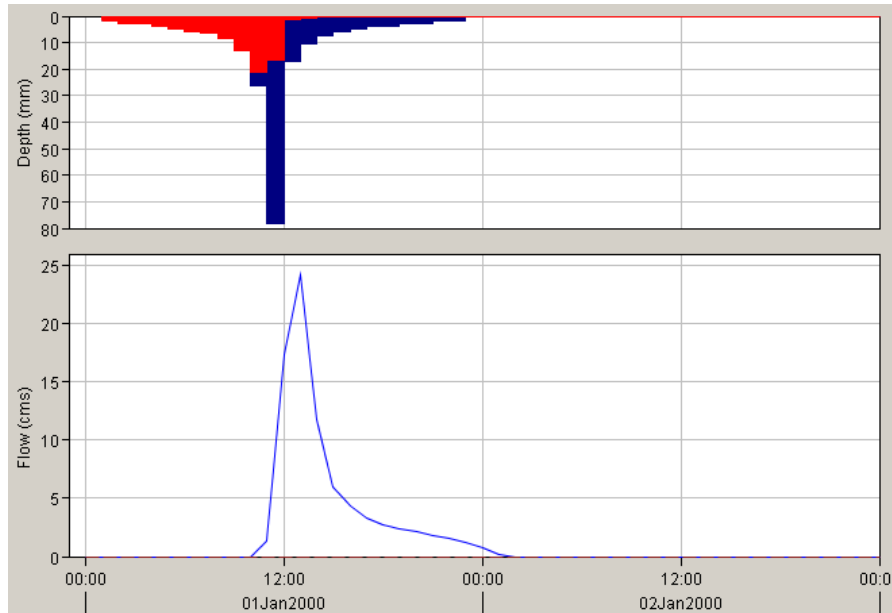


Ilustración 9. Ejemplo de generación

Las pérdidas (Loss) se calculó con el método de número de curva (CN) metodología análoga al método utilizado por el Método racional, donde los valores CN se elabora acorde al método de estimación del umbral de escorrentía P_o utilizando la equivalencia entre el sistema original y la adaptación española .

$$CN=25400/(254+P_o/0,2)$$

La transformación de los caudales se realizó con el método Clark, calculando el tiempo de concentración se ha calculado acorde al método racional.

2.2.4 Propagación de caudales

La propagación de los caudales se realizó con el Método de Muskingum-Cunge.

Dicho método (Cunge, 1969) está basado en el de Muskingum, pero con algunos conceptos de las aproximaciones de las ecuaciones de Saint Venant.

Siguiendo las conclusiones de NANIA ESCOBAR (2014) con calibraciones elaboradas para las Cuencas Mediterráneas Andaluzas en el presente estudio se se observó que el tiempo de salida de las cuencas analizadas era inferior al esperado, obteniéndose unos parámetros notablemente diferentes a los calculados con Muskingum. Acorde a los resultados expuestos en este estudio se aplicó el valor 0.3 para los valores Manning.

De esta manera se obtiene unos hidrogramas calibrados que concuerdan con los resultados de la Instrucción de drenaje.

Con esta metodología se ha realizado la simulación, que se ha realizado se ha realizado usando un periodo de 72 horas dividido en bloques de 1 hora. Finalmente se ejecutó el análisis y se obtuvieron los siguientes resultados:

2.2.5 Periodo de recurrencia de 10, 100 y 500 años:

Para el periodo de recurrencia de 10, 100 y 500 años, el pico de máxima crecida en el punto de salida analizado, se alcanza a las 13:00 horas. Los caudales de crecida máximas de T10, T100 y T500 se calibró a los caudales obtenidos por el método racional modificado (2016) con 47, 0, 169 y 268 m^3/s .

Ilustración 10. Hidrograma T10

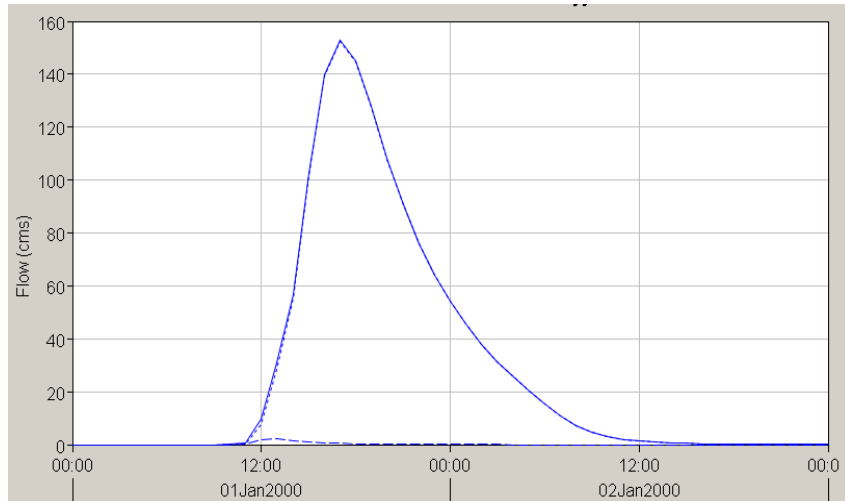


Ilustración 11. Hidrograma T100

Ilustración 12. Hidrograma T500

Los hidrogramas detallados utilizados posteriormente en la modelación bidimensional IBER se reflejan en tabla siguiente

Tabla 13: Hidrograma de diseño para la recurrencias de 10, 100 y 500 años

Día	hora	T10 [m³/s]	T100 [m³/s]	T500 [m³/s]
Día 1	00:00:00	0,0	0,0	0,0
	01:00:00	0,0	0,0	0,0
	02:00:00	0,0	0,0	0,0

	03:00:00	0,0	0,0	0,0
	04:00:00	0,0	0,0	0,0
	05:00:00	0,0	0,0	0,0
	06:00:00	0,0	0,0	0,0
	07:00:00	0,0	0,0	0,0
	08:00:00	0,0	0,0	0,0
	09:00:00	0,0	0,0	0,0
	10:00:00	0,0	0,0	0,0
	11:00:00	0,0	0,4	0,7
	12:00:00	0,0	9,4	5,0
	13:00:00	1,9	30,7	33,6
	14:00:00	7,4	56,7	82,2
	15:00:00	13,3	102,7	154,3
	16:00:00	20,3	139,8	224,0
Día 2	17:00:00	35,8	152,9	258,6
	18:00:00	52,0	145,0	257,0
	19:00:00	59,7	127,7	227,8
	20:00:00	59,9	108,3	193,0
	21:00:00	54,8	90,7	159,0
	22:00:00	48,0	76,0	131,5
	23:00:00	40,9	64,0	109,2
	00:00:00	34,5	54,1	91,1
	01:00:00	28,9	45,5	76,8
	02:00:00	24,1	38,0	64,2

03:00:00	20,0	31,3	53,3
04:00:00	16,5	25,4	43,9
05:00:00	13,6	20,1	35,3
06:00:00	11,1	15,2	27,5
07:00:00	9,0	10,8	20,5
08:00:00	7,0	7,3	14,4
09:00:00	5,3	4,8	9,4
10:00:00	3,7	3,1	6,0
11:00:00	2,5	2,0	3,8
12:00:00	1,7	1,3	2,4
13:00:00	1,0	0,9	1,6
14:00:00	0,6	0,6	1,1
15:00:00	0,4	0,5	0,8
16:00:00	0,3	0,4	0,7
17:00:00	0,2	0,3	0,5
18:00:00	0,1	0,3	0,4
19:00:00	0,1	0,2	0,4
20:00:00	0,1	0,2	0,3
21:00:00	0,1	0,2	0,3
22:00:00	0,1	0,1	0,2
23:00:00	0,1	0,1	0,2
00:00:00	0,0	0,1	0,1

2.3 El Estudio Hidráulico Bidimensional: Iber

2.3.1 Generación de la geometría inicial

El elemento básico en el modelado bidimensional es el modelo tridimensional o modelo digital del terreno a emplear. Para el cálculo en IBER, se partió del modelo 3D generado inicialmente a partir del modelo digital del terreno más reciente, disponible del vuelo LIDAR del programa PNOA.

De los datos vectoriales se generó una malla de resolución de 2 metros, resolución que permitió tiempos de cálculo razonable.

2.3.2 Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno a definir son dos: Entradas y Salidas.

La condición de entrada se ha asignado a la primera línea de la malla que se corresponde con el cauce (aguas arriba), y los datos asignados son los caudales resultantes del cálculo del HMS indicados anteriormente.

Para la condición de salida, y teniendo en cuenta el desconocimiento existente sobre los procesos de infiltración en este tipo de acuíferos kársticos, se ha asumido dos salidas correspondiendo a los dos sectores de sumideros de los Llanos. Las salidas han sido asignadas para la parte norte en el ámbito de los Sumideros de Sabanilla mientras que en la parte sur la salida ha sido asignada en el ámbito de la Tejona. Los parámetros de infiltración han sido asignados como subcrítico teniendo en cuenta que no existe información detallada sobre el funcionamiento hidráulico de los diferentes sumideros distribuidos en las zonas de infiltración.

2.3.3 Condiciones Iniciales

Como condición inicial para todo el ámbito, se ha asumido inicialmente de dos escenarios:

1. Condición seca.
2. Condición con un embalsamiento hasta la cota de 893 m.s.n.m.

2.3.4 Condiciones Internas y estructuras

Como condiciones internas y estructuras se introdujo el Puente existente en el camino vecinal entre Zafarraya y El Almendral y el entubamiento (alcantarillado) existente entre el Arroyo de la Madre Chica y el Cauce del Arroyo de la madre por debajo de la Calle Media Luna.

2.3.5 Sumideros.

Existen numerosos sumideros en el ámbito del Polje de Zafarraya. No existen en la actualidad estudios detallados sobre su capacidad de desagüe. La estimación de la capacidad de desagüe se complica adicionalmente para los eventos de encharcamiento por asenso del nivel freático.

Existen en el sector Norte los sumideros "Sabanillas" y "El Porteño". En el sector Sur se ubican los sumideros "de 2Guerreros", "Antoñico" y "Rincón de las Reinas entre otros.

En el marco del presente estudio se estima la capacidad de desagüe de estos sumideros de manera preliminar y se fija para los sumideros de Sabanillas (el más importante sumidero del polje) en unos 2 m³/s. A los otros sumideros principales (Sumidero Guerreros, etc) se estima una capacidad inicial de desagüe de alrededor de 1 m³/s.

Para los sectores septentrionales y meridionales existentes se asigna de esta manera unos 4 m³/s y 3 m³/s de capacidad de desagüe respectivamente.

Esta capacidad coincide aproximadamente con los caudales citados por Hidalgo observados durante unos eventos de inundación.

2.3.6 Coeficiente de rugosidad

Para el cálculo bidimensional, se creó una cobertura en formato SIG donde se le asignó a cada uso del suelo un coeficiente de rugosidad, que posteriormente se convirtió en un raster, que posteriormente fue exportado a formato ASCII, asignándole mediante la opción "Asignación Automática" en IBER. Los usos de suelo aplicados al modelo son los siguientes:

Tabla 14: Condición de rugosidad (Valores Manning)

Encauzamiento	0.025
Cauce natural	0.030
Cultivos de los Llanos	0.040

6.4. Datos del problema

Para realizar el cálculo se debe especificar varios factores de cálculo como son el tiempo entre cada paso de cálculo, el momento inicial y final. Los parámetros de cálculo son los siguientes:

Tabla 15: Parámetros de tiempo

Instante inicial	0
Tiempo máximo de simulación	72.000 s
Intervalo de Resultados	600

2.3.7 Generación de la malla

Los cálculos en IBER, se realizan no sobre la geometría directamente, sino sobre un mallado de esa geometría. Uno de los procesos que requieren de mayor tiempo y esfuerzo a la hora de desarrollar un estudio de simulación numérica del flujo en ríos es la generación de esta malla de cálculo.

El software permite diferentes opciones de mallado según sea el origen de la geometría y el ámbito a analizar. En nuestro caso se eligió un Mallado estructurado correspondiendo al raster de origen.

3 RESULTADOS

Los resultados de la modelación finalmente obtenidos se muestran a continuación acorde a los tres tiempos de recurrencia empleados:

3.1 Tiempo de retorno de 10 años (T10)

Para el cálculo de de la llanura de inundación se ha utilizado los resultados del estudio hidrológico para el mismo tiempo de recurrencia. El hidrograma generado a través del modelo HMS.

Tabla 16: Hidrograma del tiempo de retorno de 10 años (T10)

Tiempo (s)	Caudal (m ³ /s)	Tiempo (s)	Caudal (m ³ /s)
0	0	39600	40,9

3600	1,9	43200	34,5
7200	7,4	46800	28,9
10800	13,3	50400	24,1
14400	20,3	54000	20,0
18000	35,8	57600	16,5
21600	52,0	61200	13,6
25200	59,7	64800	11,1
28800	59,9	68400	9,0
32400	54,8	72000	7,0
36000	48,0		

El resumen de los cálculos realizados con el programa HMS muestra la siguiente figura. Durante el evento del periodo de retorno se genera una escorrentía superficial de un 2.068.800 m³ que equivale a a 40 mm/m².

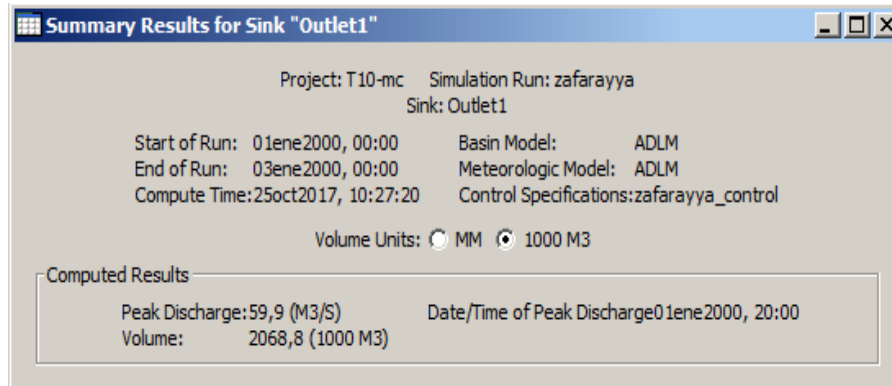


Ilustración 13. Resumen cálculo del hidrograma T10

Los resultados de la llanura de inundación representado se ha representado por medio de los planos de cotas máximas, calado máximo y velocidad máxima.

3.1.1 Calado T10

Ilustración 14. : Calado máximo T10

3.1.2 Cota máxima T10

Ilustración 15. Cota máxima T10

3.1.3 Velocidad -máxima T10

Ilustración 16. Velocidad máxima T10

3.2 Tiempo de retorno T100

Para el cálculo de de la llanura de inundación se ha utilizado los resultados del estudio hidrológico para el mismo tiempo de recurrencia. El hidrograma generado a través del modelo HMS.

Tabla 17: Hidrograma del tiempo de retorno de 100 años (T100)

Tiempo (s)	Caudal (m³/s)	Tiempo (s)	Caudal (m³/s)
	0,0	39600	90,7
3600	0,4	43200	76,0
7200	9,4	46800	64,0
10800	30,7	50400	54,1
14400	56,7	54000	45,5
18000	102,7	57600	38,0
21600	139,8	61200	31,3
25200	152,9	64800	25,4
28800	145,0	68400	20,1
32400	127,7	72000	15,2
36000	108,3		

El resumen de los cálculos realizados con el programa HMS muestra la siguiente figura. Durante el evento del periodo de retorno se genera una escorrentía superficial de un 4.920.600 m³ que equivale a escorrentía de 95,1 mm/m².

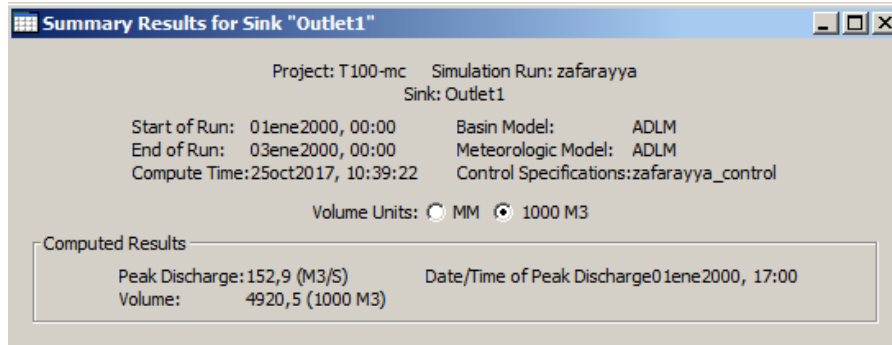


Ilustración 17. Resumen cálculo del hidrograma T100

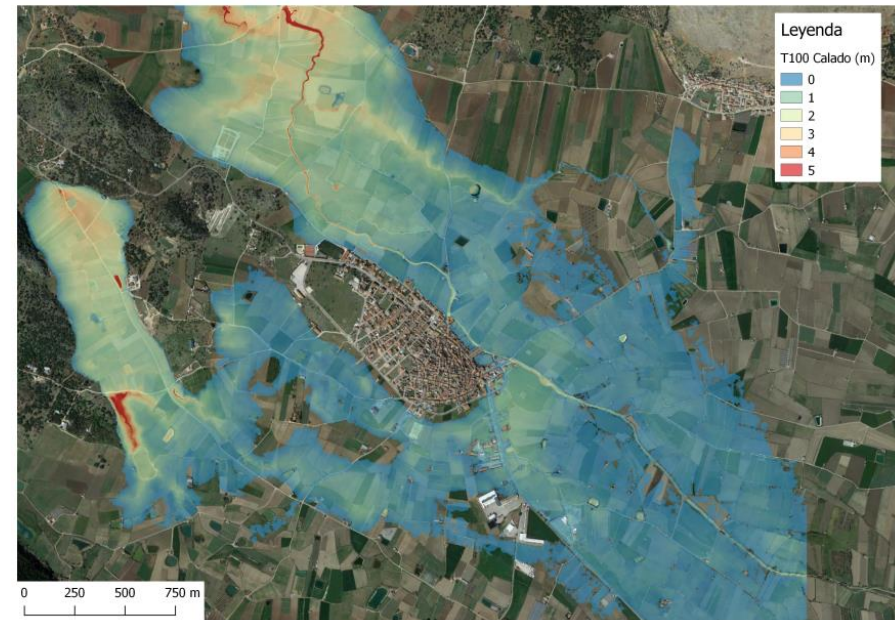


Ilustración 18. Calado de inundación T100

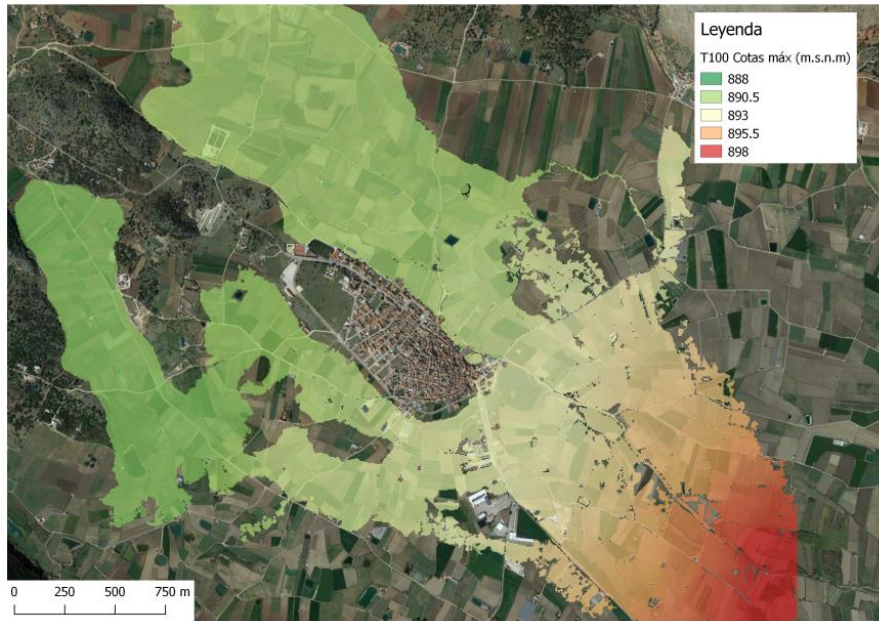


Ilustración 19. Cota de inundación T100

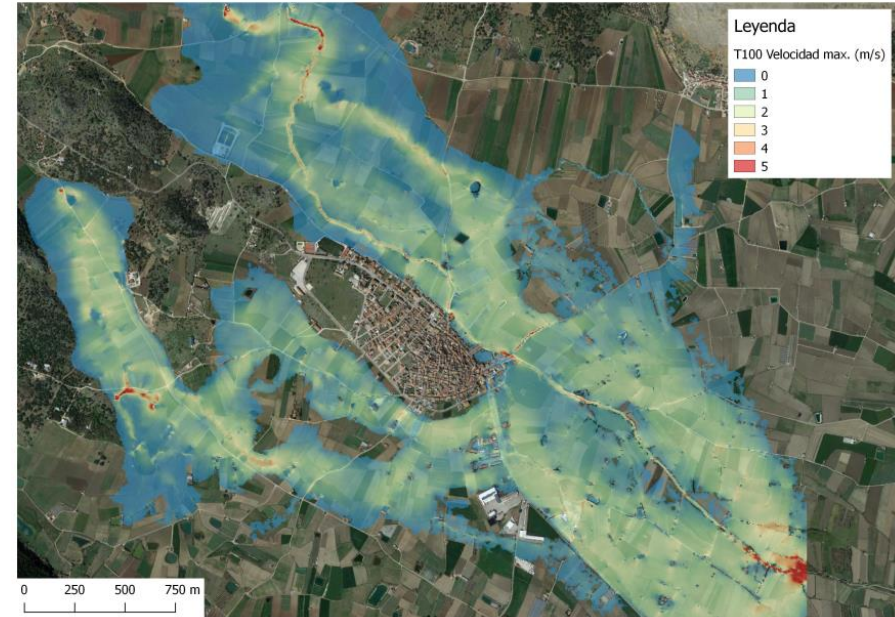


Ilustración 20. Velocidades del agua T100

3.3 Resultados Periodo de retorno T500

Para el cálculo de de la llanura de inundación se ha utilizado los resultados del estudio hidrológico para el mismo tiempo de recurrencia. El hidrograma generado a través del modelo HMS.

Tabla 18: Hidrograma del tiempo de retorno de 500 años (T500)

Tiempo (s)	Caudal (m³/s)	Tiempo (s)	Caudal (m³/s)
	0,0	39600	159,0
3600	0,7	43200	131,5
7200	5,0	46800	109,2
10800	33,6	50400	91,1
14400	82,2	54000	76,8
18000	154,3	57600	64,2
21600	224,0	61200	53,3
25200	258,6	64800	43,9
28800	257,0	68400	35,3
32400	227,8	72000	27,5
36000	193,0		

El resumen de los cálculos realizados con el programa HMS muestra la siguiente figura. Durante el evento del periodo de retorno se genera una escorrentía superficial de un 8.248.000 m³ que equivale a escorrentía superficial de 159,5 mm/m².

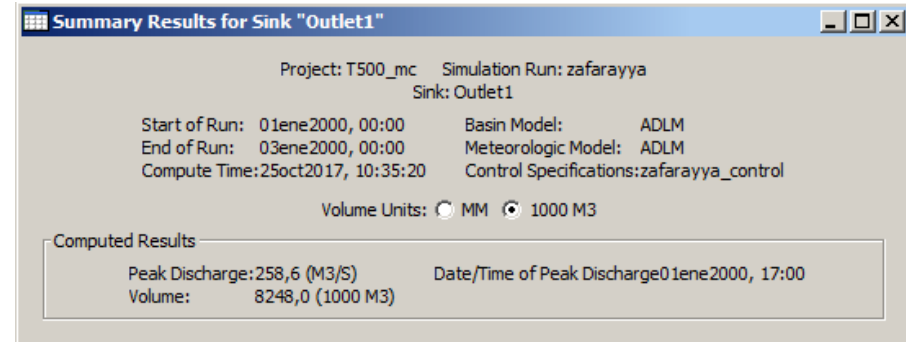


Ilustración 21. Resumen del hidrograma T500

3.3.1 Calado de inundación T500

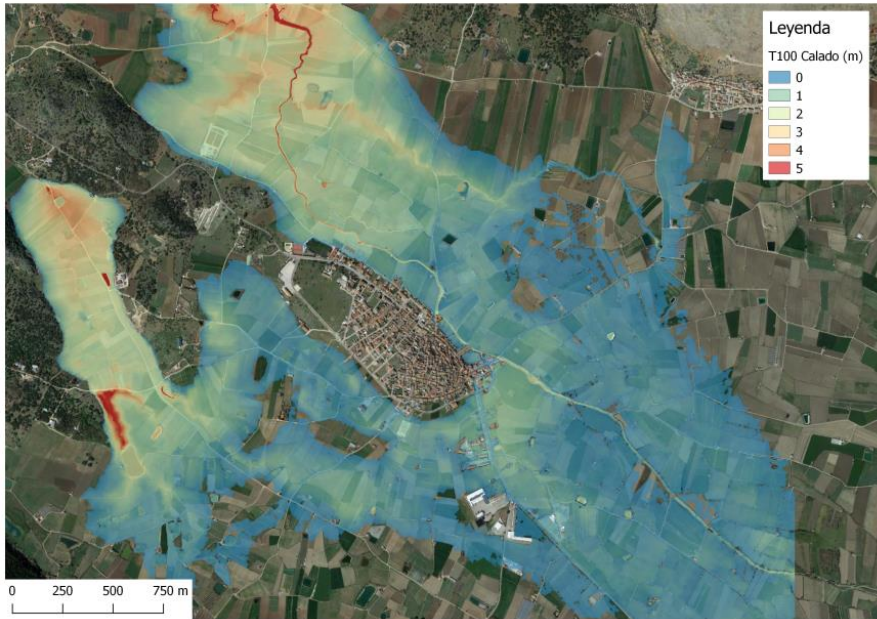


Ilustración 22. Calado máximo de inundación T500

3.3.2 Cota máxima T500

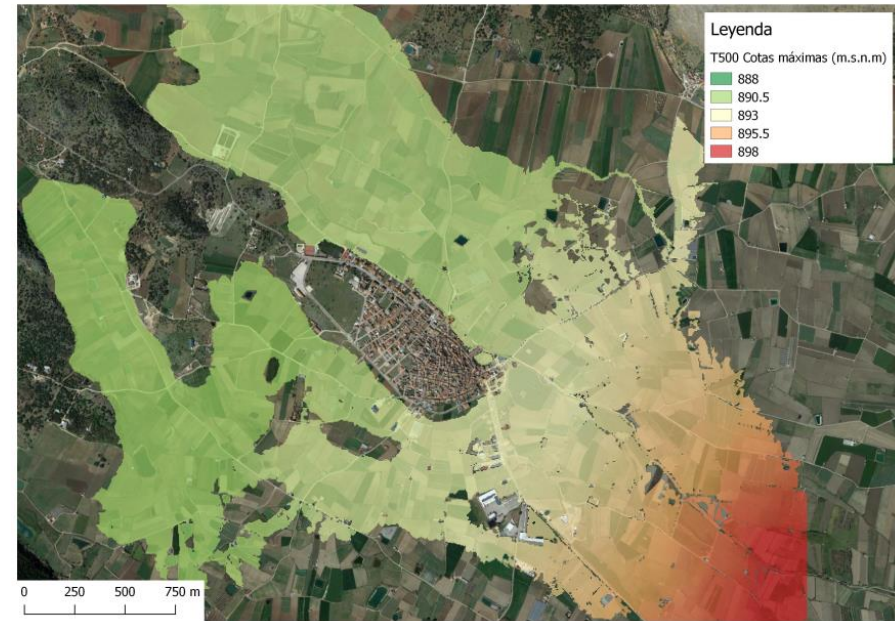


Ilustración 23. Cota máxima T500

3.3.3 Velocidad -máxima T500

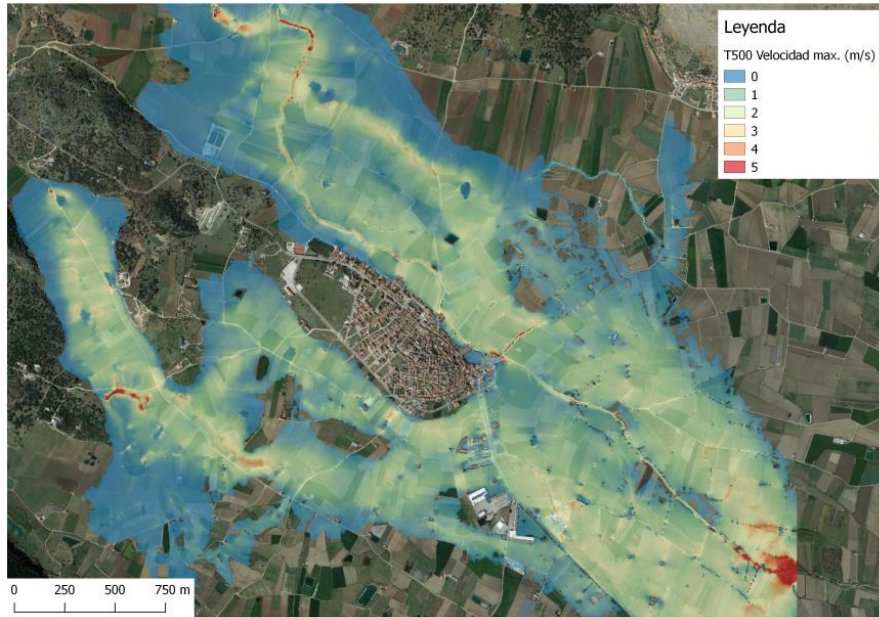


Ilustración 24. Velocidad máxima T500

3.4 Determinación de la Zona de Flujo preferente y Vía de intenso desagüe

La extensión de territorio que abarca un río y sus avenidas ocupa un espacio que es propio del río, en el que se distinguen una serie de partes o zonas. En la Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico mediante Real Decreto 9/2008, se introducen unos conceptos en la zonificación de los espacios fluviales:

Zona de Inundación Peligrosa: zona en la que las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

- Que el calado sea superior a 1 m
- Que la velocidad sea superior a 1 m/s
- Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s.

Vía de Intenso Desagüe: zona por la que pasaría la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0'3 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente,

Zona de flujo preferente: zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas. Es decir, a efectos prácticos es la envolvente entre la Vía de Intenso Desagüe y la Zona de Inundación Peligrosa.

Los resultados y las zonas sujetas a las limitaciones legales están recogidos en el plano de ordenación 1.6a/b.

Las áreas de inundación peligrosa están reflejadas en la siguiente ilustración:

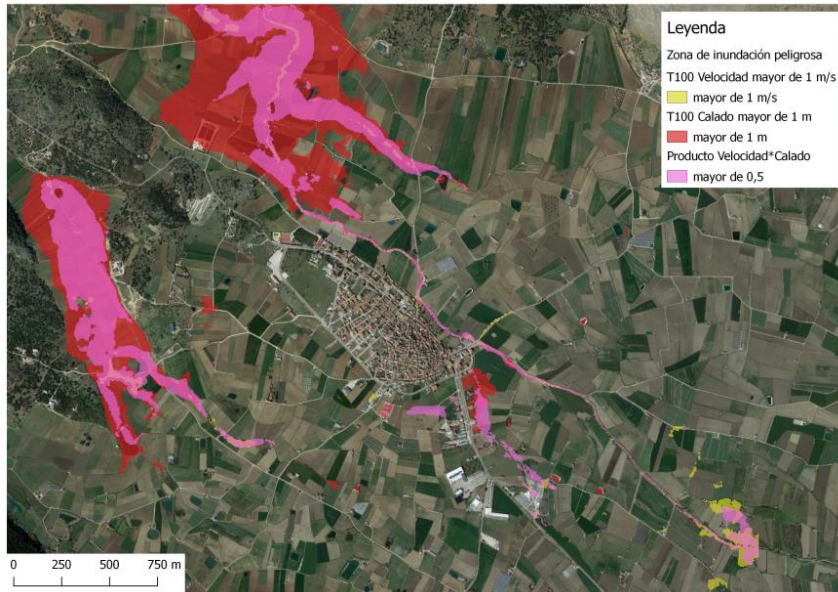


Ilustración 25. Inundación Peligrosa (T100)

Para el cálculo de la Vía de intenso desagüe se ha delimitado la zona en la que la sobreelevación no supere los 0,3 metros. Debido a que es un proceso de itineración los resultados consisten en una aproximación.

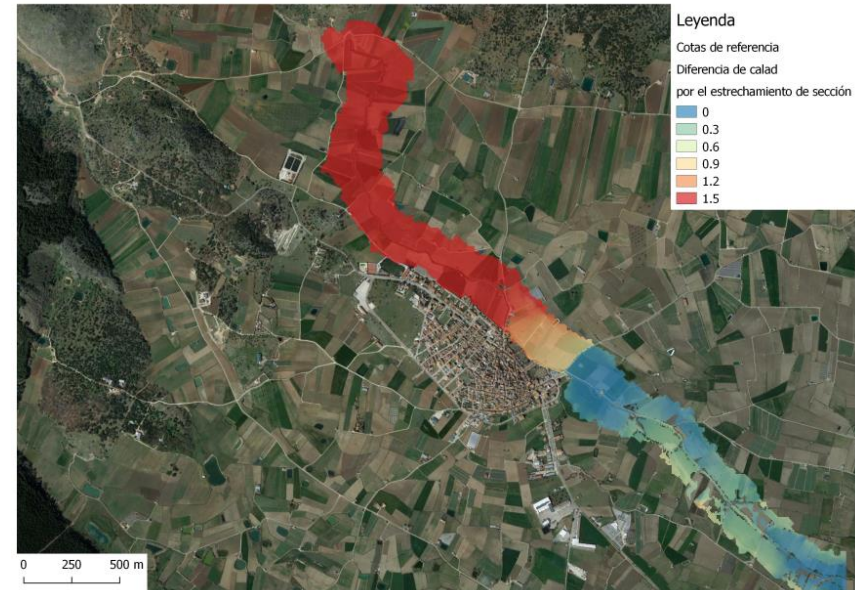


Ilustración 26. Vía de Intenso desagüe

En la práctica el resultado indica que la Vía de intenso desagüe coincide prácticamente con la zona de policía con una franja de ancho de 200 metros o 100 metros en cada lado del cauce. En la zona del núcleo urbano la franja de 200 metros se desplaza hacia la llanura debido al efecto de dique que produce el monte sobre el que está situado el núcleo urbano. Como indica el mapa las sobreelevaciones superan los 30 cm en las zonas de encharcamiento lo que se debe principalmente a que la zona de estrechamiento solo presenta un sumidero aumentándose la cota. Se ha repetido el cálculo concentrando el desagüe en un punto y se demuestra la

validez para una Vía Intensa de Desagüe teórica aunque queda demostrada la limitada aplicabilidad el concepto de la Vía de Intenso desagüe para el presente caso..

Para el caso de Zafarraya se propone que la Vía de intenso desagüe coincide con la zona de policía establecida en la Ley de aguas.

3.5 El efecto de las obras de defensa hidráulica.

En cumplimiento de la normativa hay que analizar el efecto de las obras hidráulicas propuestas sobre la llanura de inundación. A tal efecto, y a efectos prácticos para la determinación de las cotas de referencia se ha realizado el cálculo para el tiempo de retorno de 500 años.

Como se puede ver en el mapa que refleja la diferencia de cota máxima el aumento se produce principalmente en la zona ya inundadas. En el ámbito del suelo urbano el aumento es de entre 15 y 30 centímetros alcanzando un metro en el sector de encharcamiento norte que se debe principalmente a la obstrucción que producen las defensas en el PERI-1 reduciendo el caudal que desagua hacia el sector meridional.

Cabe resaltar que el resultado obtenido supone la aceptación de las condiciones de desagüe de los sumideros mencionados al principio del apartado.

Si se supone que el nivel freático en acuíferos kársticos suelen equilibrarse debido al efecto de vasos comunicantes esta diferencia de cotas entre los dos ámbitos es sin duda cuestionable.

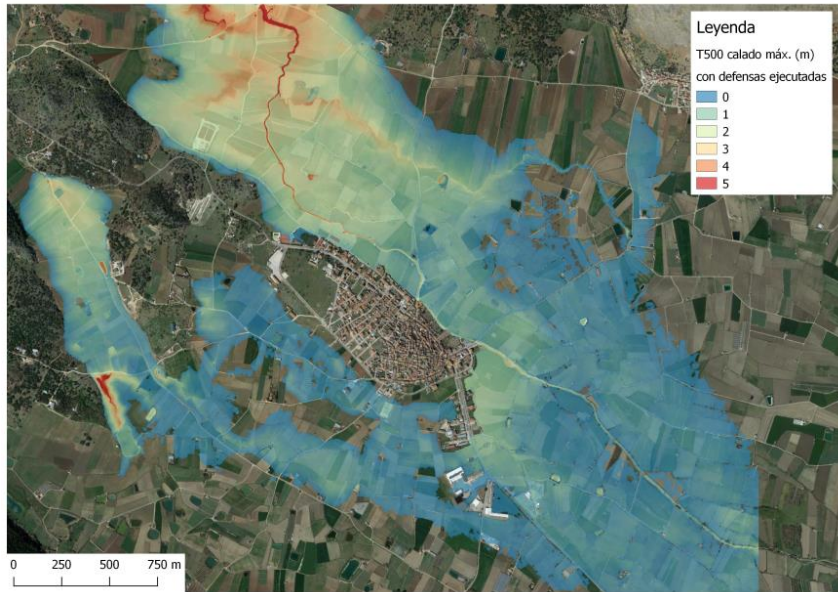


Ilustración 27. Calado máximo para la inundación del periodo de retorno de 500 años con las defensas ejecutadas

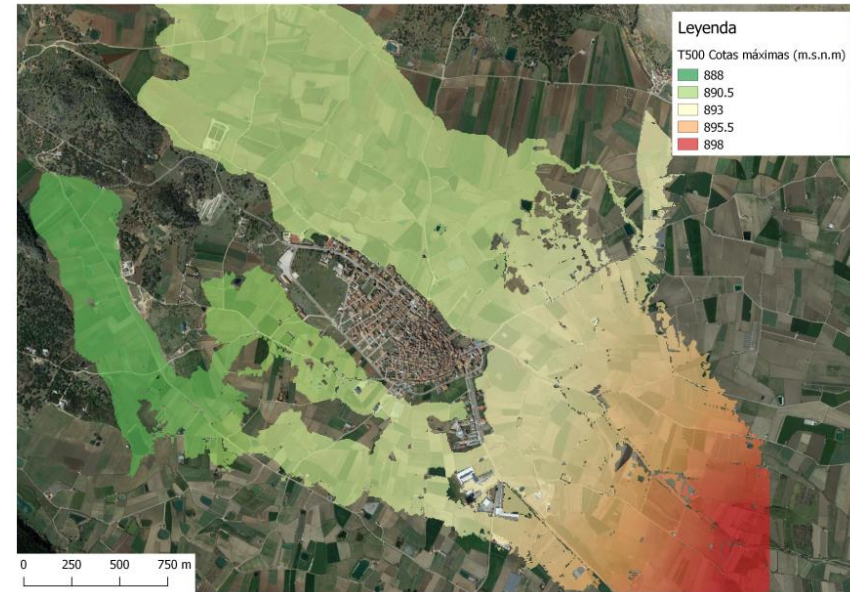


Ilustración 28. Cota máxima para el periodo de retorno de 500 años con las defensas ejecutadas

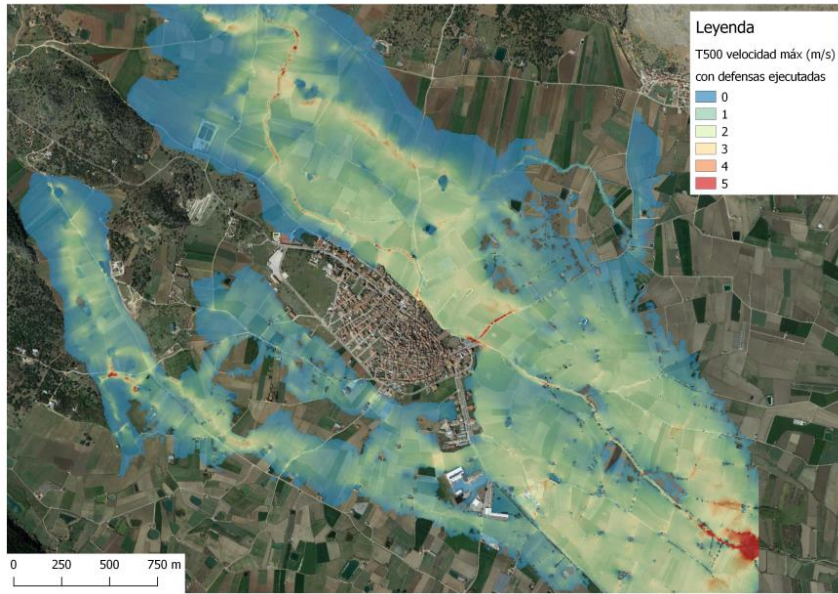


Ilustración 29. Velocidad máxima para el periodo de retorno de 500 años con las defensas ejecutadas

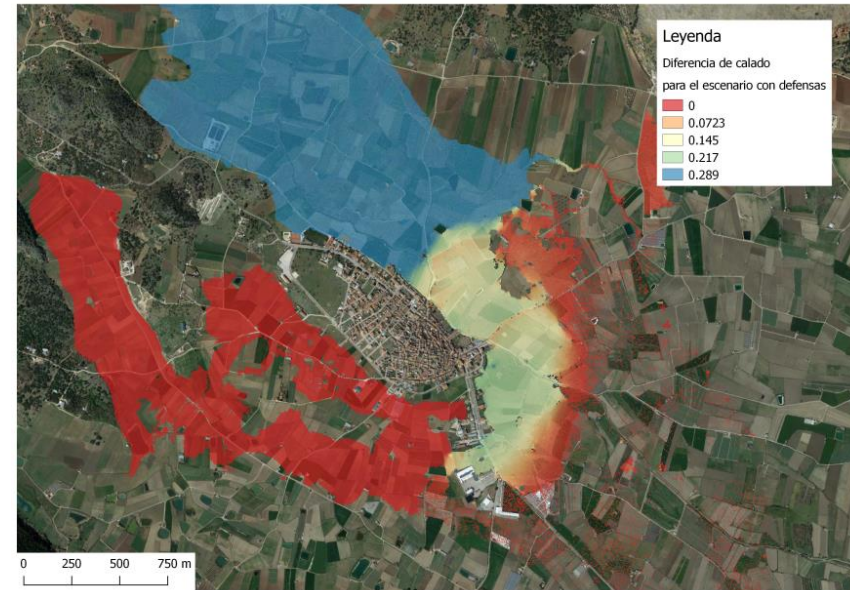


Ilustración 30. Aumento de cota en el escenario con las defensas ejecutadas

3.6 Cálculo del escenario de máxima inundación

Para una estimación para el escenario de máxima inundación se ha realizado una simulación para el improbable caso de que coincidan el evento del periodo de retorno de 500 años con un evento de encharcamiento de los llanos de hasta la cota de 893 m.s.n.m.

Adicionalmente se ha supuesto de que no se pueda producir ningún desagüe debido a la colmatación de todos los sumideros .

Acorde a los resultados obtenidos las cotas máximas de inundación se sitúan a una cota de 893,73 m.s.n.m.,

En el presente estudio se considera la Cota 893,73 como cota máxima para el diseño de las obras de defensa.

El resultado está reflejado en los siguientes mapas:

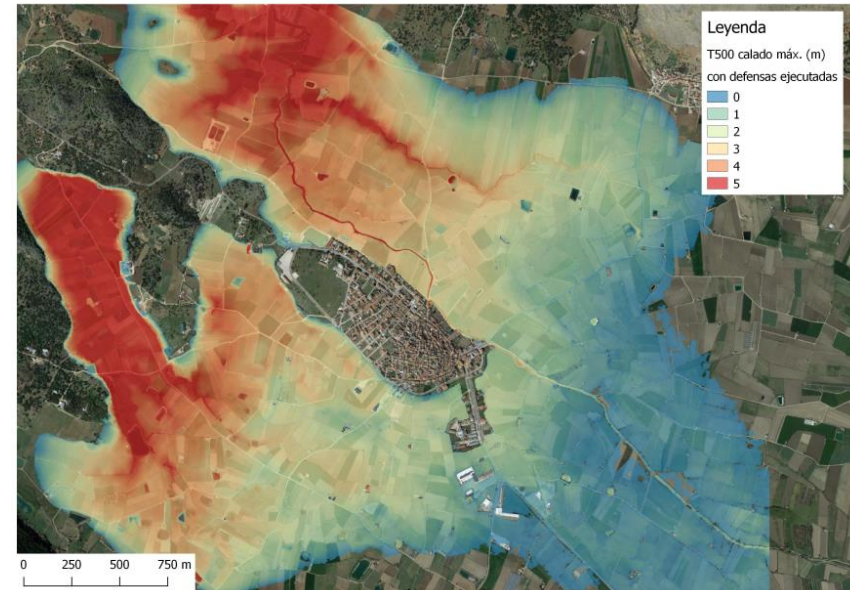


Ilustración 31. Calado máximo para la coincidencia de encharcamiento (T500) y evento T500

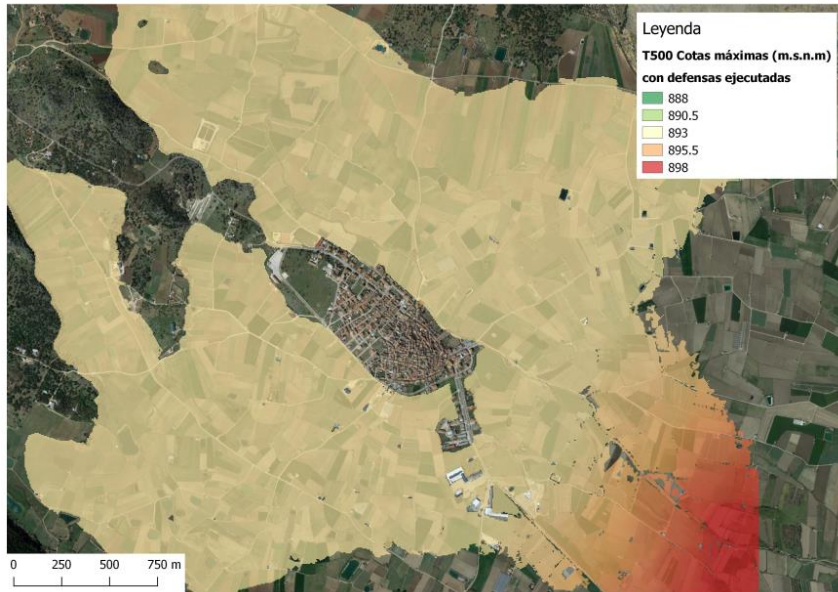


Ilustración 32. Cota máxima para la coincidencia de encharcamiento (T500) y evento T500

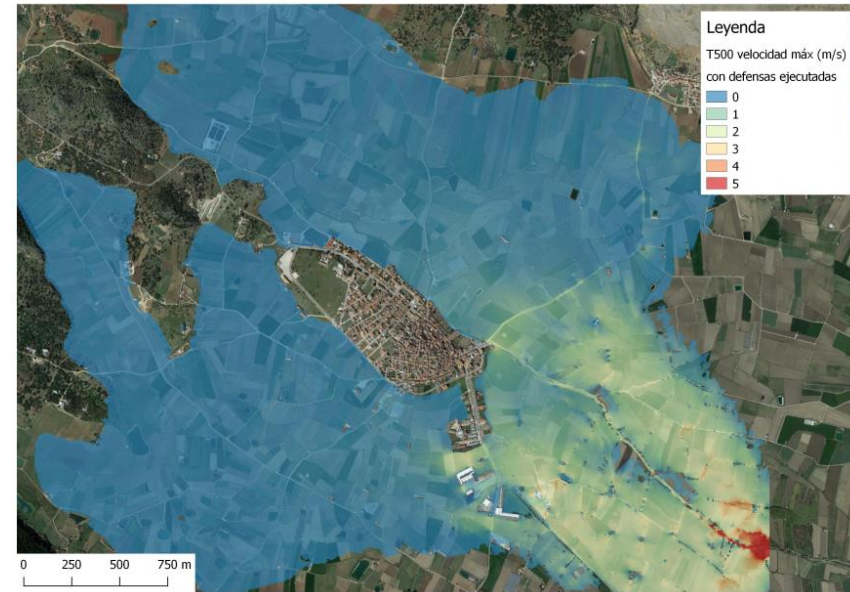


Ilustración 33. Velocidad máxima para la coincidencia de encharcamiento (T500) y evento T500

3.7 Determinación del Dominio Público Hidráulico

En aplicación del reglamento sobre la delimitación del Dominio Público Hidráulico se define el cauce y las zonas de servidumbre y policía así como la máxima crecida ordinaria incluyendo el criterio geomorfológico quedando el dominio público acotado al propio cauce del Arroyo de la Madre.

A partir de los resultados obtenidos de la máxima crecida ordinaria en el estudio hidrológico-hidráulico, incorporando criterios geomorfológicos, ecológicos, cartográficos, ortográficos y referencias históricas se define en el plano de ordenación la delimitación del dominio público hidráulico y las

zonas de servidumbre que coincide con el criterio geomorfológico para la delimitación de los cauces existentes.

4 PROTECCIÓN DEL SUELO URBANO EXISTENTE

4.1 Infraestructuras previstas

El Plan General prevé una serie de intervenciones de defensa ante inundaciones. Las obras previstas incluyen la consolidación de la sección hidráulica del Arroyo de la Madre por su paso por el núcleo urbano (500 m) incluyendo el tramo urbano del cauce del A° de la Madre Chica y Obras de defensa hidráulica del núcleo urbano consolidado (el coste las obras de defensa hidráulica en suelo urbano no consolidado será asumido por las correspondientes Planes Especiales de Reforma interior y Unidades de Ejecución)

Tabla 19: Obras de Defensa hidráulica

Sistemas Generales de Defensa Hidráulica	
SG-DH1	Consolidación de la sección hidráulica del Arroyo de la Madre por su paso a lo largo del núcleo urbano (500 m) y reacondicionamiento y ampliación de la sección hidráulica del entubado del tramo urbano del cauce del A° de la Madre Chica con una ampliación de su sección hidráulica
SG-DH2	Obras de defensa hidráulica del núcleo urbano consolidado

Protección de los ámbitos ubicados en zonas de posibles encharcamientos con pequeñas bermas o muros de protección perimetrales cuya cotas máxima esté por encima de la máxima cota de inundación.

Con el objetivo de proteger el suelo urbano existente de las inundaciones que suelen afectar a este poblamiento, a causa de las particularidades hidrogeológicas del ámbito en el que se asienta, se propone el levantamiento de elementos de protección tipo berma o muro de hormigón (según sea el caso) a lo largo del límite Este del Suelo Urbano del núcleo de

Zafarraya así como en el ámbito del cementerio, el área correspondiente a las SUNC Zona Consultorio, SUNC Zona Avda. Andalucía, Z.PERI1 y SUNC Zona c/Castaños y el suelo urbano terciario adyacente a estas. La berma o el muro, tendrá una altura de +0,5m con respecto a la cota de inundación del periodo de recurrencia de 500 años, por lo que se estima una cota generalizada de 893,73 m..s.n.m. El uso de uno u otro elemento dependerá del espacio disponible para su construcción.

A continuación se presente croquis de las intervención y plano de planta donde figuran las obras de protección hidrológica a efectuar.

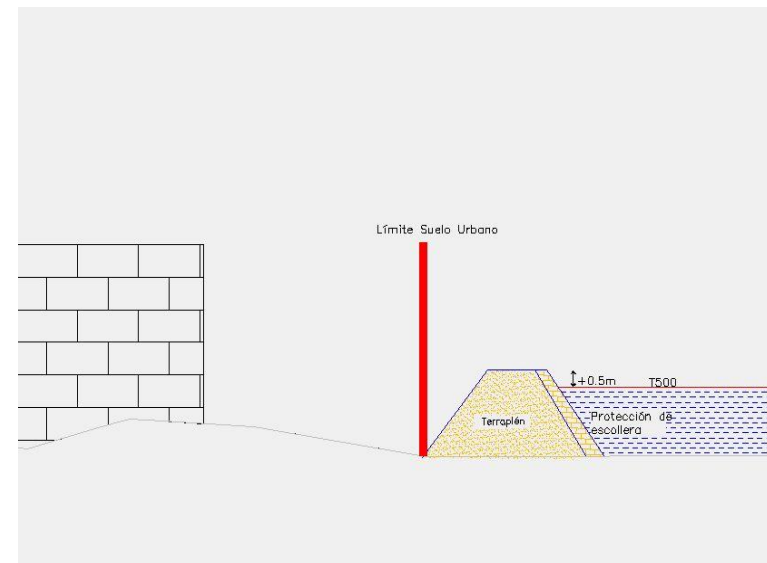


Ilustración 34. Protección tipo Berma. La posición del límite de suelo urbano es puramente representativa

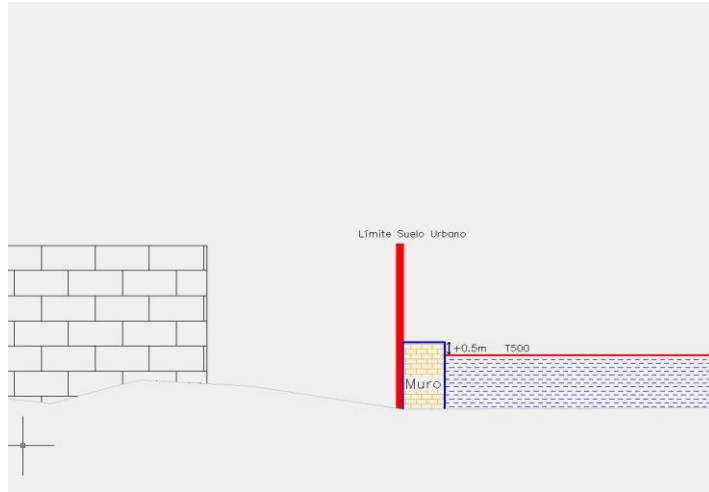


Ilustración 35. Protección tipo Muro. La posición del límite de suelo urbano es puramente representativa

Las cotas de referencia de las obras de referencia para el ámbito urbano están reflejados en el Plan 1.6 a/b.



Ilustración 36. Cotas de referencia

4.2 Cotas de referencia de las obras de defensa

Para la determinación de las cotas de referencia para las obras de defensa se ha realizado la extracción de las cotas del modelo bidimensional (IBER). Las cotas representadas en la siguiente tabla muestran las cotas de inundación para los tiempos de recurrencia calculados. (T10, T100, T500 y T500D que representa las cotas de inundación para el evento de 500 años de retorno y una vez ejecutadas las obras de defensa.

Tabla 20: Cotas de referencia en para las obras de defensa

id	Terreno	T10	T100	T500	T500_D
	m.s.n.m				
1	890,56		891,25	892,06	893,06
2	890,68		891,25	892,06	893,06
3	890,80		891,25	892,06	893,06
4	891,13	891,29	891,48	892,06	893,06
5	890,73	891,61	891,79	892,06	893,06
6	890,74	891,68	891,85	892,07	893,06
7	890,75	891,75	891,93	892,07	893,06
8	890,56	892,41	892,56	892,67	893,06
9	892,09	892,57	892,78	892,90	893,07
10	891,98	892,60	892,82	892,96	893,15
11	891,81	892,60	892,83	892,97	893,17
12	891,56	892,59	892,82	892,96	893,17
13	891,76	892,60	892,83	892,97	893,18
14	891,82	892,60	892,82	892,96	893,18
15	891,62	892,60	892,82	892,95	893,19
16	892,46	892,62	892,87	893,02	893,24
17	892,60	892,63	892,87	893,02	893,25

18	892,36		892,42	892,54	892,58
19	892,34		892,48	892,57	892,36
20	891,81	892,35	892,67	892,82	892,10
21	892,50		892,76	892,90	
22	894,52				
23	893,68				
24	892,93				
25	891,00		891,04	891,39	
26	893,80				

Nomenclatura	
Terreno:	Cota del terreno natural en el punto de referencia
T10	Cota de nivel de inundación en un evento del periodo de retorno de 10 años
T100:	Cota de nivel de inundación en un evento del periodo de retorno de 100 años
T500:	Cota de nivel de inundación en un evento del periodo de retorno de 500 años
T500D:	Cota de nivel de inundación en un evento del periodo de retorno de 500 años evaluando el impacto de las defensas sobre las cotas de inundación.

En la tabla anterior se ha añadido además la cota del terreno en el punto de referencia.

Estas cotas están reflejados además en los Planos de Ordenación 1.6 (a/b) Dominio hidráulico, zonas inundables y obras de defensa previstas y 6.1 y 6.2 Alineaciones y Rasantes.

A efectos de una evaluación del impacto de un evento del periodo de retorno de 500 años coincidiendo con un evento de encharcamiento hasta la cota 893 m.s.n.m se ha podido constatar que el nivel de inundación alcanzaría una cota de 893,73 m.s.n.m.

Todos estos cálculos se ha realizado con la premisa de un desagüe constante de unos 7 m³/s. Ante la incertidumbre sobre la validez de esta condición de salida se realizado otro cálculo del modelo bidimensional con una salida hipotética nula. En este escenario la cota de inundación alcanza una cota máxima de 894,31 m.s.n.m.

5 ÍNDICES Y TABLAS

Índice de tablas

Tabla 1: Estimación de la cota máxima de inundación.....	10
Tabla 2.1: Denominación de las Subcuencas	14
Tabla 3: Características hidrológicas de las subcuencas.....	15
Tabla 4: Parámetros de estimación de la I (d:T)	17
Tabla 5: Precipitaciones para los tiempos de recurrencia en mm/día.....	18
Tabla 6: Precipitación máxima para el periodo de retorno.....	18
Tabla 7: Umbral de escorrentía de las subcuencas.....	18
Tabla 8: Características hidráulicas del A° de la Madre (incluyendo al A° de la Madre Chica)	19
Tabla 9: Caudales de Recurrencia del A° de la Madre (incluyendo al A° de la Madre Chica)	20
Tabla 10: Resultados de los caudales de los periodos de retorno.....	20
Tabla 11: Caudales de las cuencas colindantes según tiempo de retorno..	20
Tabla 2.11: Hietograma de diseño para las recurrencias de 10, 100 y 500 años	22
Tabla 13: Hidrograma de diseño para la recurrencias de 10, 100 y 500 años	24
Tabla 14: Condición de rugosidad (Valores Manning)	26
Tabla 15: Parámetros de tiempo	26
Tabla 16: Hidrograma del tiempo de retorno de 10 años (T10)	26
Tabla 17: Hidrograma del tiempo de retorno de 100 años (T100)	28
Tabla 18: Hidrograma del tiempo de retorno de 500 años (T500)	31
Tabla 19: Obras de Defensa hidráulica.....	40
Tabla 20: Cotas de referencia en para las obras de defensa.....	42

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Polje Inundado (Enero 1997) Fuente: http://grupomonteandax.blogspot.com.es/2010_10_01_archive.html (acceso 17/02/2014).....	9
Ilustración 3. Modelo digital del terreno	13
Ilustración 4. Pendientes	14
Ilustración 5. Orientación de la ladera.....	14
Ilustración 6. Delimitación de las subcuencas.....	15
Ilustración 7. Umbral de escorrentía	18
Ilustración 8. Cuencas Grandes en la CMA (Fuente Nania 2014)	21
Ilustración 9. Esquema de conectividades del Modelo HMS	22
Ilustración 10. Ejemplo de generación.....	23
Ilustración 11. Hidrograma T10	23
Ilustración 12. Hidrograma T100	24
Ilustración 13. Hidrograma T500	24
Ilustración 14. Resumen cálculo del hidrograma T10	27
Ilustración 15. : Calado máximo T10	27
Ilustración 16. Cota máxima T10.....	27
Ilustración 17. Velocidad máxima T10.....	28
Ilustración 18. Resumen cálculo del hidrograma T100	29
Ilustración 19. Calado de inundación T100	29
Ilustración 20. Cota de inundación T100.....	30
Ilustración 21. Velocidades del agua T100	30
Ilustración 22. Resumen del hidrograma T500.....	31
Ilustración 23. Calado máximo de inundación T500	32
Ilustración 24. Cota máxima T500.....	32
Ilustración 25. Velocidad máxima T500	33
Ilustración 26. Inundación Peligrosa (T100)	34
Ilustración 27. Vía de Intenso desagüe	34
Ilustración 28. Calado máximo para la inundación del periodo de retorno de 500 años con las defensas ejecutadas	36
Ilustración 29. Cota máxima para el periodo de retorno de 500 años con las defensas ejecutadas	36
Ilustración 30. Velocidad máxima para el periodo de retorno de 500 años con las defensas ejecutadas	37
Ilustración 31. Aumento de cota en el escenario con las defensas ejecutadas	37
Ilustración 32. Calado máximo para la coincidencia de encharcamiento (T500) y evento T500.....	38
Ilustración 33. Cota máxima para la coincidencia de encharcamiento (T500) y evento T500	39
Ilustración 34. Velocidad máxima para la coincidencia de encharcamiento (T500) y evento T500.....	39
Ilustración 35. Protección tipo Berma. La posición del límite de suelo urbano es puramente representativa	40
Ilustración 36. Protección tipo Muro. La posición del límite de suelo urbano es puramente representativa	41
Ilustración 37. Cotas de referencia	41