



**Diputación
de Granada**

**Asistencia a Municipios
y Emergencias**

Sección de Urbanismo



Plan Básico de Ordenación Municipal de Ventas de Huelma

DOCUMENTO:

APROBACIÓN INICIAL

EQUIPO REDACTOR:

RUBÉN YESTE.....Ingeniero C.C.P.

DOCUMENTO

**ESTUDIO HIDROLÓGICO
E HIDRÁULICO**

FECHA:

MAYO 2025

MEMORIA

ÍNDICE

1.	PETICIONARIO Y OBJETO DE ESTUDIO	3
2.	SITUACIÓN ACTUAL	4
3.	MARCO LEGISLATIVO.	5
4.	ESTUDIO GEOLÓGICO.	13
5.	ESTUDIO HIDROLÓGICO	14
6.	ESTUDIO HIDRÁULICO.	24
7.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	34

1. PETICIONARIO Y OBJETO DE ESTUDIO

El presente Estudio Hidrológico e Hidráulico se realiza a petición del Ayuntamiento de Ventas de Huelma, a través de la Excelentísima Diputación de Granada, con motivo del desarrollo de los instrumentos de ordenación urbanística, exigido por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, para analizar los cauces a su paso por el núcleo urbano de Ventas de Huelma.

Con este estudio hidrológico se pretende estudiar el comportamiento de los ríos o arroyos a su paso por las citadas zonas para determinar las posibilidades de desbordamiento para las máximas avenidas que afecten a los cauces. En concreto para las avenidas de los 10, 50, 100(flujo preferente) y 500 años.

El análisis se realizará para los siguientes ríos y arroyos:

- Barranco Hondo.
- Arroyo de los Frailes.
- Arroyo Ácula

2. SITUACIÓN ACTUAL

A continuación se realiza una breve descripción de los cauces a estudiar:

- Barranco Hondo

La zona de estudio del Barranco Hondo discurre por el casco urbano encontrándose atravesado por dos vías de comunicación mediante obras de paso sin ninguna medida de encauzamiento al tener el mismo un cauce bien definido. El cauce en esta zona se encuentra en mal estado de mantenimiento y con vegetación espesa.

Este barranco se ve atravesado por dos obras de paso de mampostería y hormigón de dimensiones 4 m de ancho y 8 m de altura.

- Barranco de los Frailes

La zona de estudio del Arroyo Frailes discurre fuera del casco urbano en una zona abierta de olivar presentando un cauce de mayores dimensiones y con poca vegetación.

Este arroyo está atravesado por una obra de paso de dimensiones 3 m de ancho y 6 m de altura.

- Arroyo Ácula

La zona de estudio del Arroyo Ácula discurre fuera del casco urbano en una zona abierta de olivar presentando un cauce de mayores dimensiones y con poca vegetación. Este arroyo es la continuación aguas debajo de la unión de los arroyos Frailes y Barranco Hondo.

3. MARCO LEGISLATIVO.

A continuación se expone la normativa vigente en referencia a zonas susceptibles de ser afectadas por las crecidas de los cauces de corrientes naturales y que será adoptada como marco de referencia en el desarrollo del presente Estudio:

3.1.- REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO (R.D. 9/2008, DE 11 DE ENERO).ART.14:

1. Se consideran zonas inundables los terrenos que puedan resultar inundados por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo periodo estadístico de retorno sea de 500 años, *atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas en los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos. Estos terrenos cumplen labores de retención o alivio de los flujos de agua y carga sólida transportadas durante dichas crecidas o de resguardo contra la erosión. Estas zonas se declararán en los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos.*

La calificación como zonas inundables no alterará la calificación jurídica y la titularidad dominical que dichos terrenos tuviesen.

2. Los organismos de cuenca darán traslado a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo de los datos y estudios disponibles sobre avenidas, al objeto de que se tengan en cuenta en la planificación del suelo, y en particular, en las autorizaciones de usos que se acuerden en las zonas inundables.

De igual manera los organismos de cuenca trasladarán al Catastro inmobiliario así como a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo los deslindes aprobados definitivamente, o las delimitaciones de los mismos basadas en los estudios realizados, así como de las zonas de servidumbre y policía, al objeto de que sean incorporados en el catastro y tenidos en cuenta en el ejercicio de sus potestades sobre ordenación del territorio y planificación urbanística, o en la ejecución del planeamiento ya aprobado.

3. El conjunto de estudios de inundabilidad realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y sus organismos de cuenca configurarán el Sistema Nacional de Cartografía

de Zonas Inundables, que deberá desarrollarse en colaboración con las correspondientes comunidades autónoma, y, en su caso, con las administraciones locales afectadas. En esta cartografía, además de la zona inundable, se incluirá de forma preceptiva la delimitación de los cauces públicos y de las zonas de servidumbre y policía, incluyendo las vías de flujo preferente.

La información contenida en el Sistema Nacional de Cartografía de las Zonas Inundables estará a disposición de los órganos de la Administración estatal, autonómica y local.

Se dará publicidad al Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables de conformidad con lo dispuesto en la Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente.

3.2.- REGLAMENTO DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA DEL AGUA Y DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA (R.D. 927/1988, DE 29 DE JULIO). ART.87:

1. **El Plan Hidrológico de cuenca**, con los datos históricos disponibles sobre precipitaciones y caudales máximos y mínimos, **establecerá los criterios para la realización de estudios y la determinación de actuaciones y obras relacionadas con situaciones hidrológicas extremas.**

2. El Plan Hidrológico incluirá un programa para la realización de estudios conducentes a la delimitación de zonas inundables, al objeto de la aplicación del artículo 14 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

3. Con independencia de las determinaciones del artículo 14 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, el Organismo de cuenca deberá remitir a las Administraciones públicas competentes en materia de Ordenación del Territorio y Planeamiento Urbano y de Protección Civil las conclusiones de los distintos estudios a efectos de su conocimiento y consideración de sus actuaciones.

3.3.- CONTENIDO NORMATIVO DEL PLAN HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR (ORDEN DE 13 DE AGOSTO DE 1999). ART. 67 Y 68:

Artículo 67. Objetivos y propuestas de actuación en materia de protección frente a avenidas.

- Se establece como objetivo deseable que todos los cauces puedan evacuar sin daños la avenida de 50 años de período de retorno, como mínimo.
- **Los cauces deberán ser capaces de soportar sin daños el paso de avenidas de hasta 500 años de período de retorno en el cruce de las ciudades.** En ciudades de más de 50.000 habitantes en las que la zona de inundación llegue a exceder la anchura de policía (100 m) se planteará la ampliación de ésta en la zona de inundación. Por el contrario, para ciudades de población inferior, bastará con asegurar la evacuación de una avenida tal que ocupe íntegramente la zona de policía.
- Será obligatorio que los Proyectos de las obras correspondientes a las acciones estructurales dimensionen éstas tomando en consideración los resultados **del Estudio de Extremos** llevando a cabo por el Organismo de Cuenca.
- **Los planes de expansión y ordenación urbana de poblaciones ribereñas deberán respetar las áreas inundables**, por lo que se insta a que desde el Plan Nacional o instrumento legal equivalente se promueva la obligatoriedad de tenerlas en consideración a efectos de las posibles restricciones que sobre el uso de ese suelo urbano pueda establecerse. **Adicionalmente, deberá recabarse el informe preceptivo del Organismo de Cuenca.** Éste, a su vez, instará a los Organismos Competentes para la corrección de las situaciones de riesgo que en la actualidad puedan existir.

3.4.- TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS (R.D L 1/2001, DE 20 DE JULIO). ART. 11:

Artículo 11. Las zonas inundables.

1.- Los terrenos que puedan resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos, conservarán la calificación jurídica y la titularidad dominical que tuvieran.

2.- Los Organismos de cuenca darán traslado a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo de los datos y estudios disponibles sobre avenidas, al objeto de que se tengan en cuenta en la

planificación del suelo y, en particular, en las autorizaciones de usos que se acuerden en las zonas inundables.

3.- El Gobierno, por Real decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. Los Consejos de Gobierno de la Comunidades Autónomas podrán establecer, además, normas complementarias de dicha regulación.

3.5.- PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL (LEY 10/2001, DE 5 DE JULIO).
ART.28:

Artículo 28. Protección del dominio público hidráulico y actuaciones en zonas inundables.

1.- En el dominio público hidráulico se adoptarán las medidas necesarias para corregir las situaciones que afecten a su protección, incluyendo la eliminación de construcciones y demás instalaciones situadas en el mismo. El Ministerio de Medio Ambiente impulsará la tramitación de los expedientes de deslinde de dominio público hidráulico en aquellos tramos de ríos, arroyos y ramblas que se considere necesario para prevenir, controlar y proteger dicho dominio.

2.- Las Administraciones competentes delimitarán las zonas inundables teniendo en cuenta los estudios y datos disponibles que los Organismos de cuenca deben trasladar a las mismas, de acuerdo con lo previsto en el artículo 11.2 de la Ley de Aguas. Para ello contarán con el apoyo técnico de estos Organismos y en particular, con la información relativa a caudales máximos en la red fluvial, que la Administración hidráulica deberá facilitar.

3.- El Ministerio de Medio Ambiente promoverá convenios de colaboración con las Administraciones Autonómicas y Locales que tengan por finalidad eliminar las construcciones y demás instalaciones situadas en dominio público hidráulico y en zonas inundables que pudieran implicar un grave riesgo para las personas y los bienes y la protección del mencionado dominio.

3.6.- PLAN DE PREVENCIÓN DE AVENIDAS E INUNDACIONES EN CAUCES URBANOS ANDALUCES (DECRETO 189/2002, DE 2 DE JULIO). ARTS. 6 Y 14 A 20:

Artículo 6. Información previa para la delimitación de zonas inundables.

De conformidad con el artículo 28 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, y con el artículo 11 del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas, los Organismos de cuenca deberán trasladar los datos y estudios disponibles sobre avenidas y la información sobre caudales máximos en la red fluvial a las Administraciones competentes en la delimitación de las zonas inundables.

El contenido mínimo de dicha información necesario para permitir la delimitación de las zonas inundables será el siguiente:

- Caudales máximos discurrentes por la red fluvial, con indicación de su probabilidad de ocurrencia.
- Límites físicos del terreno aledaño al cauce que tiene una probabilidad de cubrirse por las aguas debido a crecidas no ordinarias cada 25, 50, 100 y 500 años, representados sobre una cartografía con el nivel de precisión y, preferiblemente, referido a un sistema de coordenadas geodésicas UTM.
- Datos de permanencia de inundación, de la altura de la lámina de agua, de la velocidad de la corriente y de su distribución transversal para cada uno de los períodos de retorno referidos en el apartado anterior.
- La información precisa que permita establecer las prescripciones mínimas adicionales a las anteriores reflejadas en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, aprobada por acuerdo del Consejo de Ministros de 9 de diciembre de 1994.
- Definición, modelización y consecuencias de los efectos de los planes de emergencia de las infraestructuras de regulación en la avenida.
- Planificación y programación de actuaciones sobre el cauce y márgenes de los Organismos de cuenca a medio y largo plazo.
- Delimitación y deslinde del Dominio Público Hidráulico realizado por la Administración del Estado, comprendiendo la del cauce y las de servidumbre y de policía definidas en el Texto Refundido de la Ley de Aguas.

Artículo 14. Ordenación de terrenos inundables.

1. Sin perjuicio de lo establecido en los Planes Hidrológicos de cuenca y de las limitaciones de uso que establezca la Administración General del Estado en el ejercicio de la competencia atribuida por el artículo 11 del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la ley de Aguas, la ordenación de los terrenos inundables estará sujeta a las siguientes limitaciones generales, que deberán ser recogidas en los instrumentos de planificación territorial y urbanística:
 - a) En los terrenos inundables de período de retorno de 50 años no se permitirá edificación o instalación alguna, temporal o permanente. Excepcionalmente, y por razones justificadas de interés público, se podrán autorizar instalaciones temporales.
 - b) En los terrenos inundables de períodos de retorno entre 50 y 100 años no se permitirá la instalación de industria pesada, contaminante según la legislación vigente o con riesgo inherente de acciones graves. Además, en aquellos terrenos en los que el calado del agua sea superior a 0,50 metros tampoco se permitirá edificación o instalación alguna, temporal o permanente. Asimismo, en los terrenos inundables de 100 años de período de retorno y donde, además, la velocidad del agua para dicha avenida sea superior a 0,50 m/s se prohíbe la construcción de edificaciones, instalaciones, obras lineales o cualesquiera otras que constituyan un obstáculo significativo al flujo del agua. A tal efecto, se entiende como obstáculo significativo el que presenta un frente en sentido perpendicular a la corriente de más de 10 metros de anchura o cuando la relación anchura del obstáculo/anchura del cauce de avenida extraordinaria de 100 años de período de retorno es mayor a 0,2.
 - c) En los terrenos inundables de período de retorno entre 100 y 500 años no se permitirá las industrias contaminantes según la legislación vigente o con riesgo inherente de acciones graves.

Artículo 15. Ordenación de las zonas de servidumbre y policía.

1. Sin perjuicio de lo establecido en la legislación estatal de aguas y en los Planes Hidrológicos de Cuenca, la ordenación de las zonas de servidumbre y policía estará

sujeta a las siguientes limitaciones, siempre que no sean menos restrictivas que las establecidas en el artículo anterior:

- a) En la zona de servidumbre no se permiten nuevas instalaciones o edificaciones, de carácter temporal o permanente, salvo por razones justificadas de interés público y siempre que se garantice su adecuada defensa frente al riesgo de inundación así como la ausencia de obstáculos al drenaje, todo ello sin perjuicio de la competencia estatal en la materia.
 - b) En la zona de policía se definirán los usos y actividades admisibles de modo que, con carácter general, se facilite el acceso a la zona de servidumbre y cauce, se mantenga o mejore la capacidad hidráulica de éste, se facilite el drenaje de las zonas inundables y, en general, se reduzcan al máximo los daños provocados por las avenidas.
2. Lo establecido en el apartado anterior será recogido en los instrumentos de planificación territorial y de planeamiento urbanístico, siempre que el Organismo de cuenca correspondiente haya efectuado la delimitación del cauce y de las zonas de servidumbre y policía.
 3. Será prioritario, al objeto de permitir su incorporación en la elaboración del planeamiento, el deslinde del dominio público hidráulico.

Artículo 16. Trámites adicionales en la formulación de los instrumentos de planificación territorial y planeamiento urbanístico.

Artículo 17. Informes adicionales para la Aprobación Provisional de los instrumentos de planificación territorial y planeamiento urbanístico.

Artículo 18. Recomendaciones para el planeamiento urbanístico.

1.- El plan hidrológico determinará el régimen de caudales ecológicos en los ríos y aguas de transición definidos en la demarcación, incluyendo también las necesidades de agua de los lagos y de las zonas húmedas, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 49 ter y siguientes del RDPH.

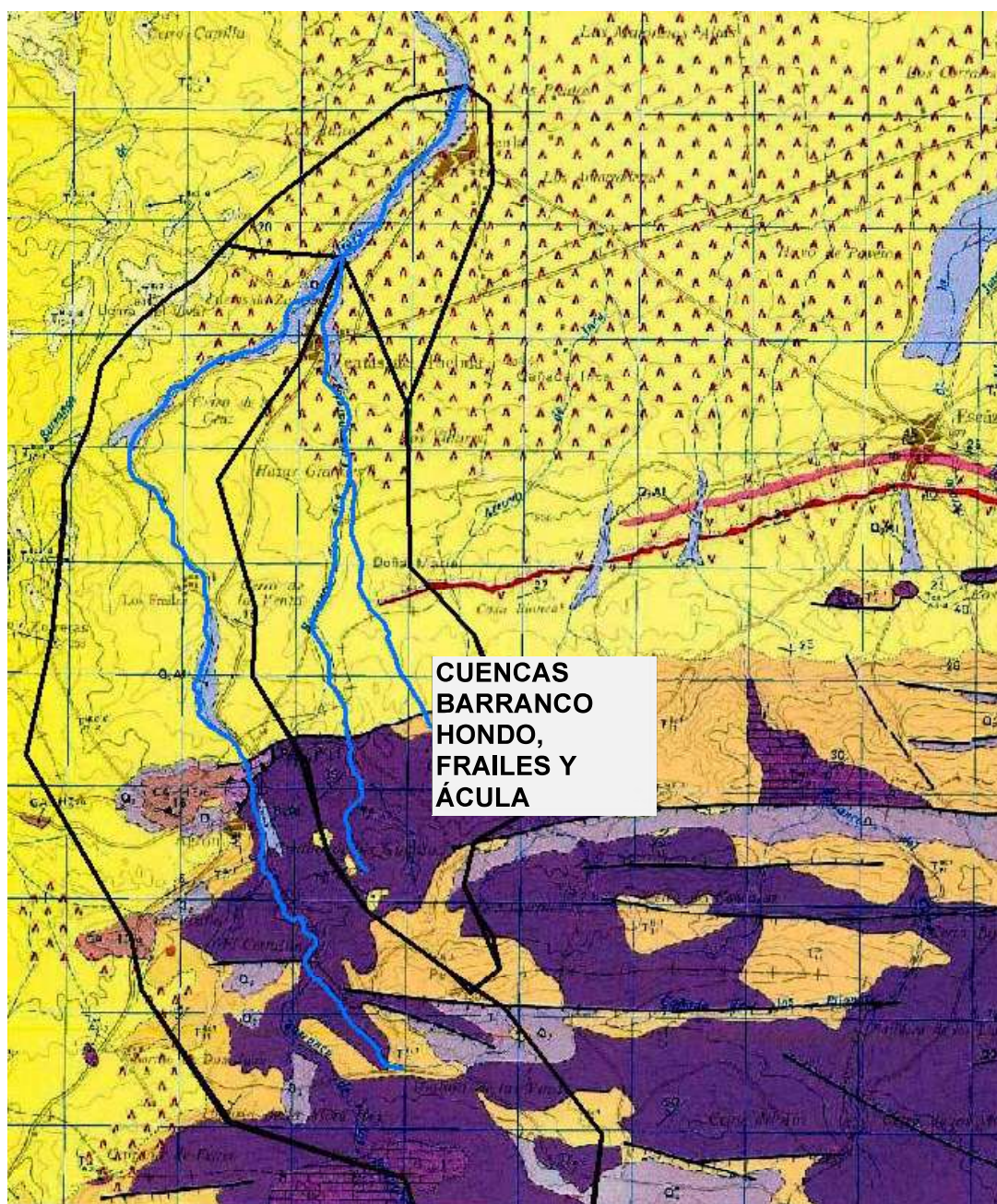
2.- En la ordenación de los suelos urbanizables previstos en los instrumentos de planeamiento se procurará que los cauces urbanos cuenten con sección suficiente para desaguar las avenidas de 500 años de período de retorno.

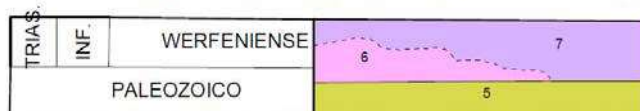
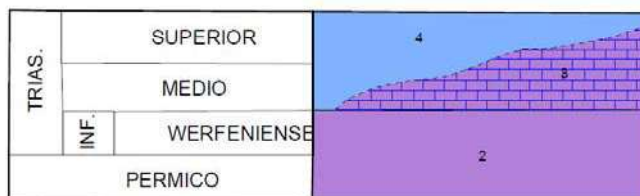
4. ESTUDIO GEOLÓGICO.

El enclave geológico puede estudiarse a fondo en las hojas magna 1026 del Instituto Geológico y Minero de España.

En Anejo nº 1, se desarrolla este apartado.

Hojas 1026. Cuencas Arroyo Frailes, Hondo y Ácula



**ALPUJARRIDE****UNIDADES DEL MANTO DE LOS GUAJARRES****UNIDADES DEL MANTO DE TREVENQUE****5. ESTUDIO HIDROLÓGICO**

El objeto del presente Estudio Hidrológico es la obtención del caudal de avenida de las precipitaciones máximas previstas correspondientes al período de retorno de 10, 50, 100 y 500 años en la zona objeto de estudio y definir el dominio público, el flujo preferente y las zonas inundables en la zona de estudio.

La metodología a seguir para la determinación de los caudales de referencia es la propuesta por la instrucción 5.2-IC de 23 de Mayo de 1990.

Los métodos de estimación de los caudales asociados a distintos periodos de retorno dependen del tamaño y naturaleza de la cuenca aportante:

Para cuencas pequeñas-medianas, son apropiados los métodos hidrometeorológicos, basados en la aplicación de una intensidad media de precipitación a la superficie de la cuenca, a través de una estimación de su escorrentía. Ello equivale a admitir que la única componente de esa precipitación que interviene en la generación de caudales máximos es la que ocurre superficialmente. En las cuencas grandes estos métodos pierden precisión y, por tanto, la estimación de los caudales es menos correcta.

La naturaleza de la cuenca aportante influye en los métodos hidrometeorológicos, según que el tiempo de recorrido del flujo difuso sobre el terreno sea relativamente apreciable.

El método hidrometeorológico es válido para tiempos de concentración inferiores a 6 horas, por lo que para aplicar éste método, hay que comprobar que los tiempos de concentración resultantes para la cuenca no excedan este valor.

Para cuencas grandes, La determinación de caudales máximos por medio del método hidrometeorológico aplicado, se lleva a cabo mediante la utilización de un modelo de simulación del proceso de precipitación-escorrentía basado en el programa HEC-HMS (Hidrologic Modeling System), desarrollado en MS-DOS por el Hidrologic Engineering Center (HEC).

El programa permite simular la respuesta de una cuenca frente a una precipitación dada, determinando dicha respuesta a través de una combinación de mecanismos hidráulicos e hidrológicos interconectados. Cada uno de estos mecanismos constituye uno de los componentes del programa y se refiere a un aspecto del proceso precipitación-escorrentía.

A su vez, el programa permite la aplicación de distintos métodos de cálculo en la estimación paramétrica de las características hidrológicas de la cuenca así como las relaciones matemáticas que describen los procesos físicos que tienen lugar.

Los resultados finales de la simulación son los hidrogramas de esorrentía directa para las subcuencas y los hidrogramas de caudal en lugares predeterminados de la cuenca.

En el caso de las cuencas a estudiar, en todas ellas el tiempo de concentración es inferior a 6 horas (ver apartado 5.1), por lo que se aplicará el **método de cuencas pequeñas-medianas**.

En la presente memoria se recoge el estudio hidrológico necesario para cuencas pequeñas, aportando los datos necesarios en el Anejo 1.

5.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

En el caso normal de cuencas en las que predomine el tiempo de recorrido del flujo canalizado por una red de cauces definidos, el tiempo de concentración T_c (h) relacionado con la intensidad media de la precipitación se podrá deducir de la fórmula:

$$T_c = 0.3 \cdot \left[\left(\frac{L}{J^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.76} \right]$$

Siendo:

- L (Km): la longitud del cauce principal
- J (m/m): su pendiente media

Cuenca	Longitud (km)	Pendiente (%)	Tc (h)
Barranco Hondo	6,50	7,20	2,05
Arroyo Frailes	11,00	4,27	3,38
Arroyo Ácula	12,90	4,03	3,86

5.2 DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA DIARIA.

La determinación del valor máximo de precipitación en 24 horas, dependerá del periodo de retorno considerado. Se dice que el periodo de retorno de un caudal es T cuando, como media, es superado una vez cada T años.

Para ello, se requiere conocer el valor de las máximas lluvias diarias de cada período de retorno, por lo que se ha utilizado el método expuesto en la monografía “Máximas lluvias diarias en la España peninsular”, que de una manera breve y fiable proporciona un valor de la máxima lluvia diaria que sirve de base para el cálculo del caudal de avenida. Éste es un método desarrollado por el CEDEX y cuya aplicación informática se denomina “MAXPLUWIN”.

La precipitación diaria se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$P_t = K_t \cdot \bar{P}$$

Siendo:

- K_t (T, C_v): factor de amplificación para el período de retorno de t años (también denominado Cuantil Y_t de la Ley SQRT-ET max), que es función, por lo tanto, del período de retorno y del coeficiente de variación C_v , y que se encuentra tabulado (Tabla 7.1).
- $\bar{P}$: valor medio de la precipitación diaria anual máxima, que se estima mediante las isolíneas una vez localizado el punto geográfico deseado.
- C_v : coeficiente de variación, estimado mediante el mapa de isolíneas.

C_v	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	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

	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
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
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Tabla 7.1 - Cuantiles Y_t de la Ley SQRT-ET max, también denominados Factores de Amplificación KT, en el “*Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular*” (1997).

5.2.1 Distribución areal de la lluvia

Para tener en cuenta la no simultaneidad en toda la cuenca de un aguacero de determinado periodo de retorno, se introduce un factor reductor que transforma los valores puntuales de lluvia registrados en valores areales sobre toda la cuenca receptora. La experiencia recogida en numerosos trabajos demuestra que el valor de este factor disminuye con el área de la cuenca receptora y aumenta con la duración del aguacero.

En el caso de las cuencas en estudio, al tratarse de cuencas pequeñas-medianas, **no se considera esta reducción.**

5.3 FÓRMULA DE CÁLCULO PARA CUENCAS PEQUEÑAS

El caudal de referencia Q en el punto en el que desagüe una cuenca o superficie se obtendrá mediante la fórmula:

$$Q = \frac{K_1 \cdot C \cdot A \cdot I_t}{K}$$

Siendo:

- K_1 : el coeficiente de uniformidad = $1 + (Tc^{1.25}) / (14 + Tc^{1.25})$
- C: el coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada.
- A: su área, salvo que tenga aportaciones o pérdidas importantes, tales como resurgencias o sumideros, en cuyo caso el cálculo del caudal Q deberá justificarse debidamente.
- I_t : la intensidad media de precipitación correspondiente al período de retorno y a un intervalo igual al tiempo de concentración.
- K: un coeficiente que depende de las unidades en que se expresa Q y A, y que incluye un aumento del 20% en Q para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación. Dado que las unidades seleccionadas para este proyecto serán Km^2 para el área (A) y m^3/s para el caudal (Q), el coeficiente K será igual a 3.

5.3.1 Intensidad media de precipitación para cuencas pequeñas

La intensidad media I_t (mm/h) de precipitación a emplear en la estimación de caudales de referencia por métodos hidrometeorológicos se podrá obtener por medio de la siguiente fórmula:

$$a = \frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}$$

$$\left(\frac{I_t}{I_d} \right) = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^a$$

Siendo:

- I_d (mm/h): la intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al período de retorno considerado. Es igual a $P_d/24$.
- P_d (mm): la precipitación total diaria correspondiente a dicho período de retorno, que podrá tomarse de los mapas contenidos en la publicación “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”, de la Dirección General de Carreteras, o a partir de otros datos sobre lluvias, los cuales deberán proceder preferentemente del Instituto Nacional de Meteorología.
- I_1 (mm/h): la intensidad horaria de precipitación correspondiente a dicho período de retorno.
- t (h): la duración del aguacero de intensidad I_t que se tomará igual al tiempo de concentración.
- I_1/I_d : relación entre la intensidad horaria y la diaria, es un factor que depende de la zona.

5.3.2 Escorrentía para cuencas pequeñas

El coeficiente C de escorrentía define la proporción de la componente superficial de la precipitación de intensidad I , y depende de la razón entre la precipitación diaria P_d correspondiente al periodo de retorno y el umbral de escorrentía P_o , a partir del cual se inicia ésta.

El coeficiente de escorrentía se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C = \frac{\left[\left(\frac{P_d}{P_0}\right) - 1\right] \cdot \left[\left(\frac{P_d}{P_0}\right) + 23\right]}{\left[\left(\frac{P_d}{P_0}\right) + 11\right]^2}$$

En el caso de cuencas heterogéneas, deberán dividirse en áreas parciales cuyos coeficientes de escorrentía se calcularán por separado, por lo que el coeficiente de escorrentía global se obtiene aplicando la media ponderada de cada uno de los coeficientes de escorrentía.

$$C = \frac{\sum C_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

El umbral de escorrentía P_0 , se obtiene a partir de una estimación inicial, que depende de las características intrínsecas de la cuenca y multiplicando por un coeficiente corrector que se obtiene a partir del mapa del coeficiente corrector del umbral de escorrentía. Este coeficiente refleja la variación regional de la humedad habitual en el suelo al comienzo de aguaceros significativos. En nuestro caso el valor de este **coeficiente corrector es de 3**

Para la determinación de P_0 será necesario determinar las características de los suelos, los cuales se clasificarán en distintos grupos, en cuya definición interviene la textura de dicho suelo.

Por razones de seguridad, se considera un valor medio de la humedad inicial del suelo, por lo que **no se aplica el coeficiente corrector del umbral de escorrentía**, usando directamente los P_0 iniciales. En el Anejo 1 se indican los cálculos realizados para estimar el P_0 .

Cuenca	Po Umbral de escorrentía corregido	Po corregido estimado
Barranco Hondo	38,7	12,9
Arroyo Frailes	39,0	13,0
Arroyo Ácula	39,0	13,0

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos para el coeficiente de escorrentía de cada periodo de retorno:

Cuenca	C ₁₀	C ₅₀	C ₁₀₀	C ₅₀₀
Barranco Hondo	0,423	0,55	0,590	0,678
Arroyo Frailes	0,448	0,57	0,616	0,702
Arroyo Ácula	0,421	0,544	0,588	0,675

5.4 CÁLCULO DEL CAUDAL DE AVENIDA PARA CUENCAS PEQUEÑAS.

Como ya se ha dicho anteriormente, para el cálculo de los caudales de avenida se ha empleado el Método Hidrometeorológico, descrito en la “Instrucción 5.2-I.C. de Drenaje Superficial de Carreteras”.

5.4.1 Características físicas de la cuenca.

En el Anejo de planos se adjunta un plano donde se han representado las características de la cuenca estudiada y que aparecen reflejadas en el siguiente cuadro:

Cuenca	Superficie (Km ²)	Longitud (km)	Cota Inferior (m)	Cota Superior (m)	Pendiente (%)
Barranco Hondo	8,80	6,50	830	1300	7,20
Arroyo Frailes	18,70	11,00	830	1300	4,20
Arroyo Ácula	30,30	12,90	780	1300	4,03

5.4.2 Precipitación media máxima diaria.

Como habíamos explicado con anterioridad, ésta se calculará para los distintos períodos de retorno a partir del Mapa de Máximas luvias diarias del Ministerio de Fomento.

Las coordenadas UTM aproximadas del centroide de la cuenca y las precipitaciones medias máximas para los períodos de retorno son:

Cuenca	Coord. X	Coord. Y	P ₁₀ (mm/día)	P ₅₀ (mm/día)	P ₁₀₀ (mm/día)	P ₅₀₀ (mm/día)
Barranco Hondo	427.300	4.100.467	62	88	100	131
Arroyo Frailes	426.348	4.098.046	67	95	109	143
Arroyo Ácula	426.696	4.099.537	62	88	100	131

5.4.3 Caudales de avenida.

El caudal de avenida de la cuenca de estudio obtenido a partir de las expresiones mostradas con anterioridad es el siguiente:

Cuenca	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₅₀₀ (m ³ /s)
Barranco Hondo	22,93	42,00	51,56	77,58
Arroyo Frailes	44,13	79,63	98,80	147,62
Arroyo Ácula	58,60	107,48	131,99	198,79

6. ESTUDIO HIDRÁULICO.

La simulación se ha realizado empleando el programa de cálculo bidimensional IBER.

- **IBER** es un modelo numérico bidimensional de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen variable, que incorpora como esquema numérico el método de alta resolución de Volúmenes Finitos. Es promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y desarrollado en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (de la Universidad de A Coruña), el Grupo Flumen (de la Universitat Politècnica de Catalunya UPC y de la Universitat de Barcelona UB) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE (vinculado a la Universidad Politécnica de Cataluña UPC), en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua.

6.1 MODELO BIDIMENSIONAL IBER

IBER consta de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos.

Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, el cual constituye la base de IBER, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad o ecuaciones de Saint Venant.

En el esquema de los volúmenes finitos en dos dimensiones, el dominio físico se descompone en polígonos (elementos triangulares o cuadriláteros), que se denominan volúmenes de control o finitos. Cada volumen tiene una superficie formada por los lados del polígono y este viene definido por sus vértices. La distribución de los vértices puede ser irregular y formar una malla no estructurada, o regular y formar una malla estructurada.

Para un análisis en dos dimensiones, los volúmenes finitos no forman un volumen sino un área y sus superficies son curvas cerradas. El uso de volúmenes finitos permite considerar soluciones discontinuas de manera inmediata y además la discretización espacial se adapta mejor a dominios con formas arbitrarias.

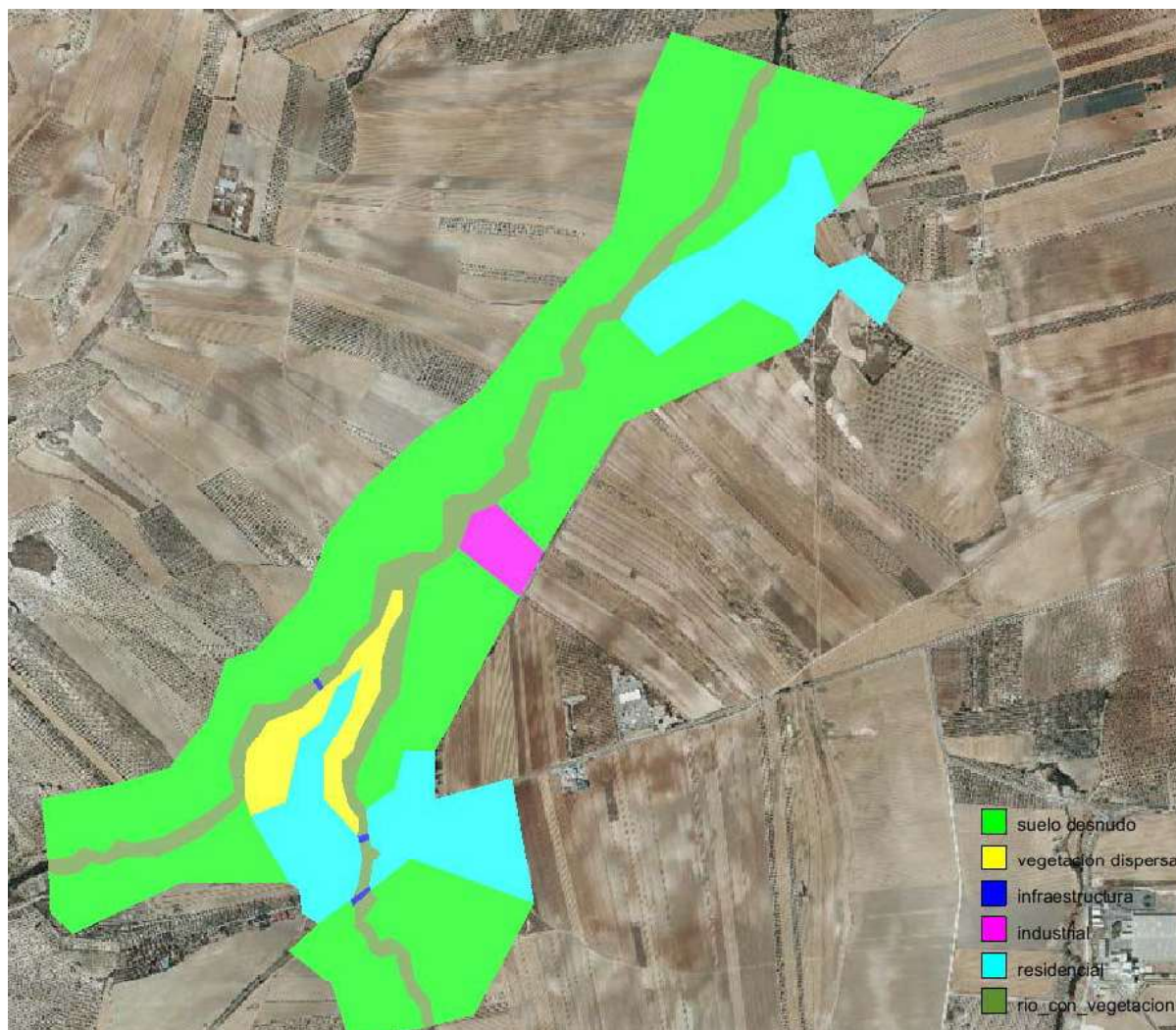
De igual manera que con HEC-RAS, para resolver las ecuaciones no lineales de Saint Venant se requiere especificar las condiciones iniciales y las condiciones de contorno.

Por otro lado, para resolver una ecuación diferencial por el método de volúmenes finitos es necesario realizar previamente una discretización espacial del dominio a estudiar. Para ello se divide el dominio de estudio en celdas de tamaño relativamente pequeño (malla de cálculo). La malla de cálculo es un elemento fundamental para conseguir buenos resultados. IBER dispone de multitud de maneras de obtener una buena malla de cálculo, y en función de las características del problema un tipo de malla será mejor que otro,

En este caso, para las simulaciones realizadas en el presente trabajo se ha construido en IBER una malla estructurada sobre superficies, con una división por línea. El objetivo es crear una malla con un número adecuado de elementos pero que no haga el proceso de simulación demasiado robusto y por lo tanto difícil de calcular.

Como coeficientes de rugosidad del terreno se han adoptado los siguientes valores del coeficiente de Manning en función del tipo de terreno:

Barranco Hondo, Frailes y Ácula



Rugosidad del terreno

Suelo desnudo: 0.023

Vegetación dispersa: 0.08

Infraestructura: 0.020

Industrial: 0.10

Residencial: 0.15

Río con vegetación: 0.05

6.1.1 Malla de cálculo

La malla de cálculo empleada para la simulación hidráulica con Iber se ha obtenido a partir del siguiente modelo TIN (Triangulated Irregular Network), el cual a su vez ha sido generado a partir de la topografía facilitada por el cliente.

Barranco Hondo, Frailes y Ácula



Mallado del modelo

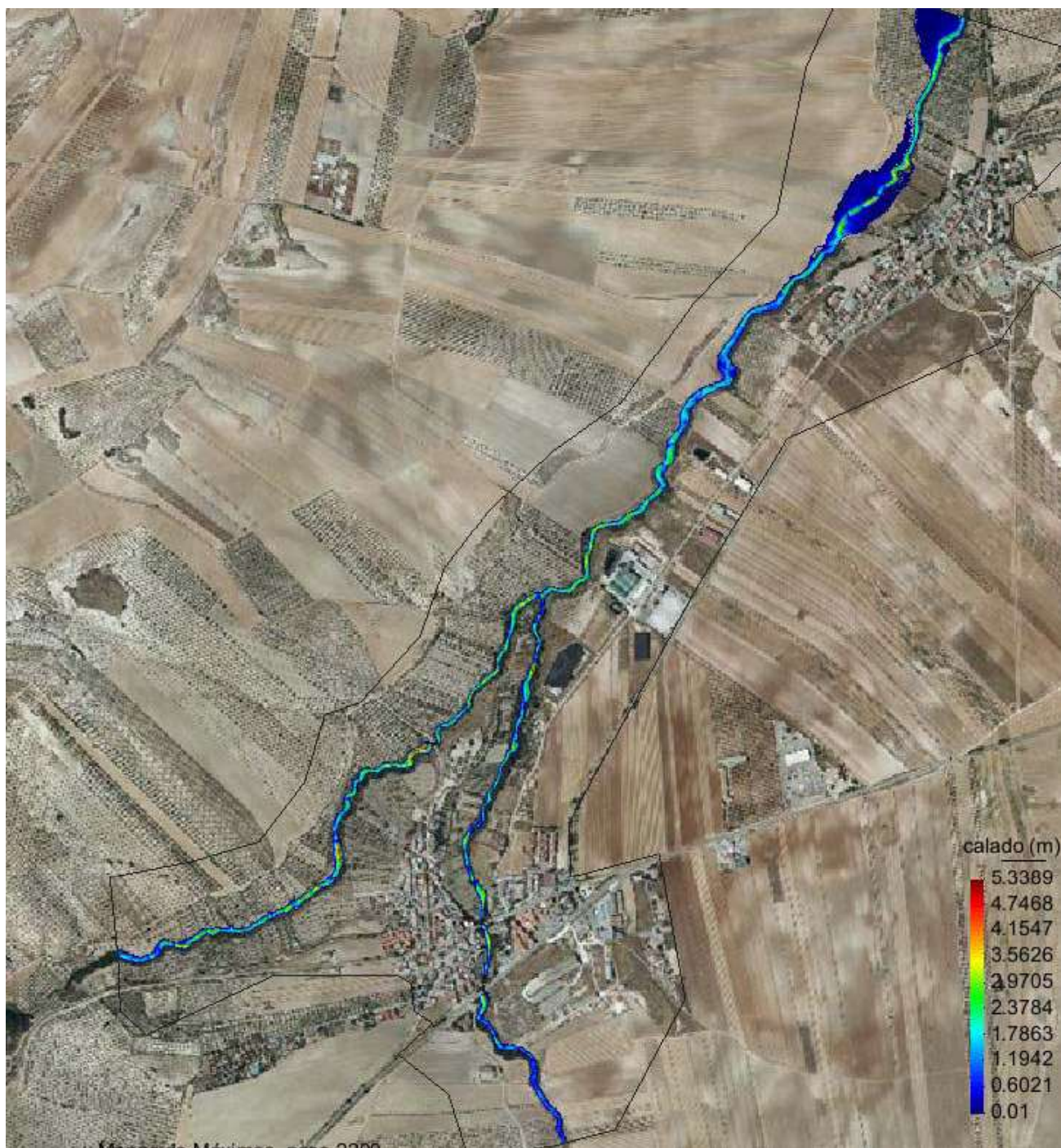


Modelo y ortofotografía superpuesta

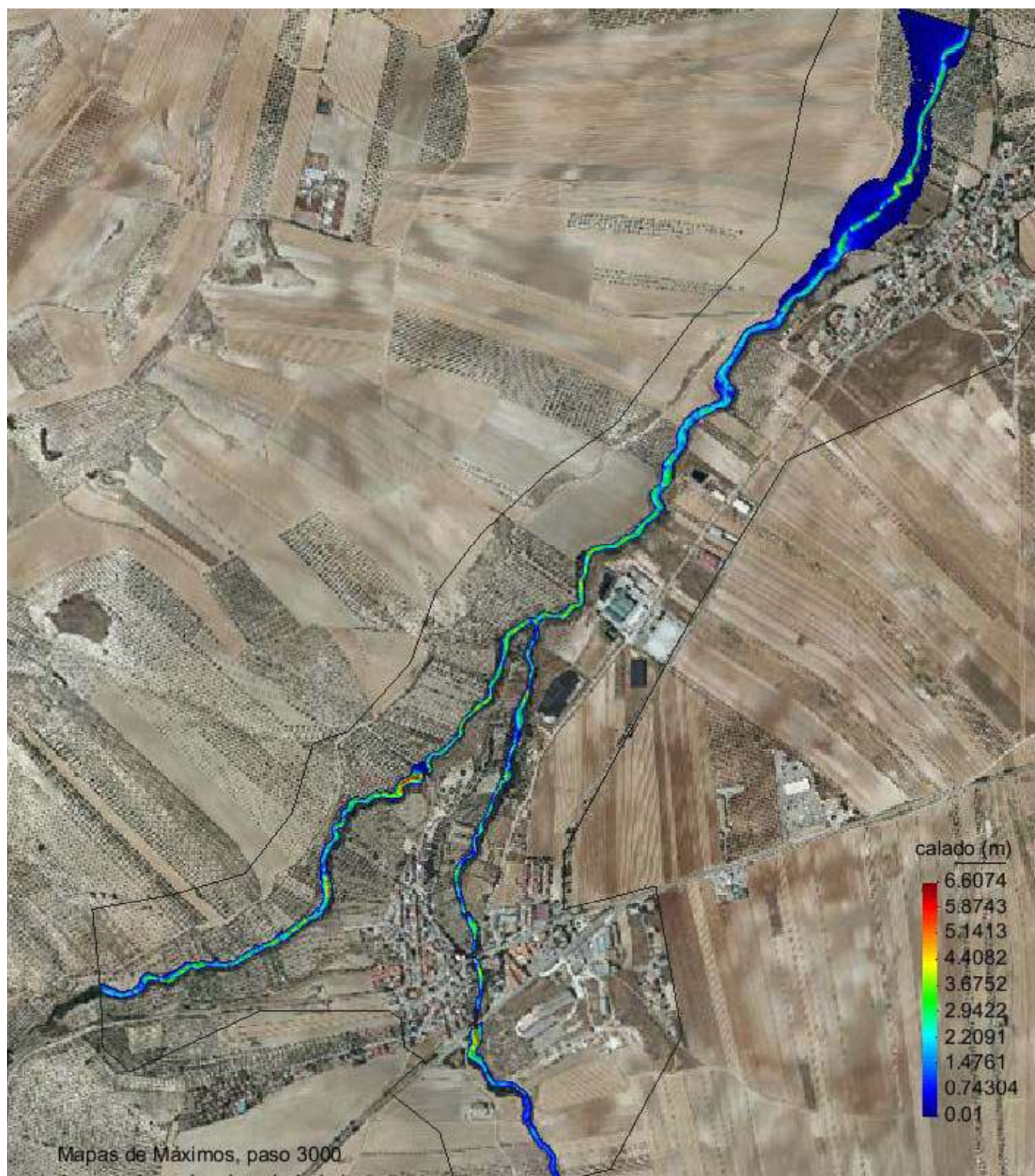
6.1.2 Resultados de cálculo

A continuación se muestran los resultados de la simulación realizada para la avenida de periodo de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, para el río estudiado.

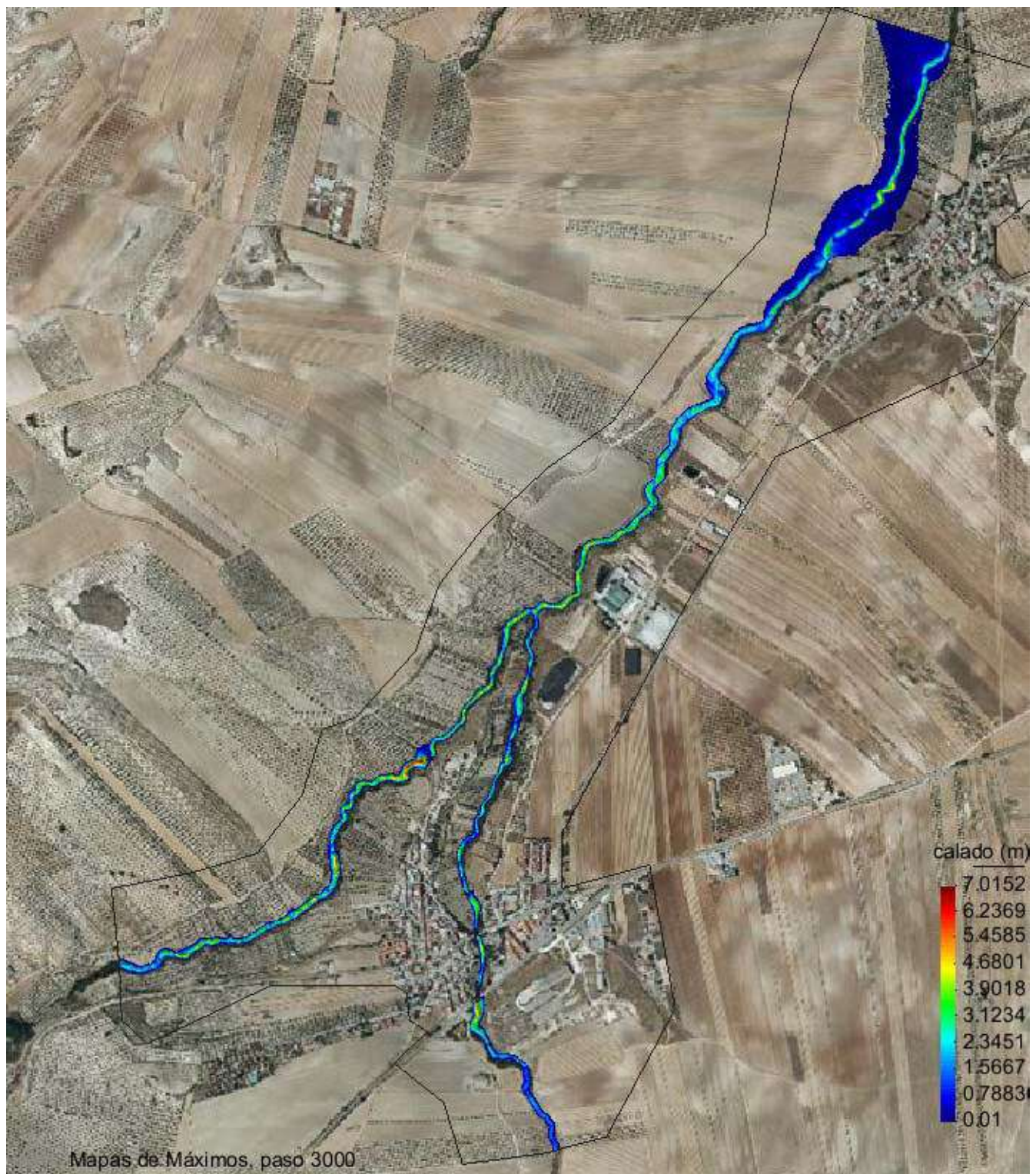
Barranco Hondo, Frailes y Ácula



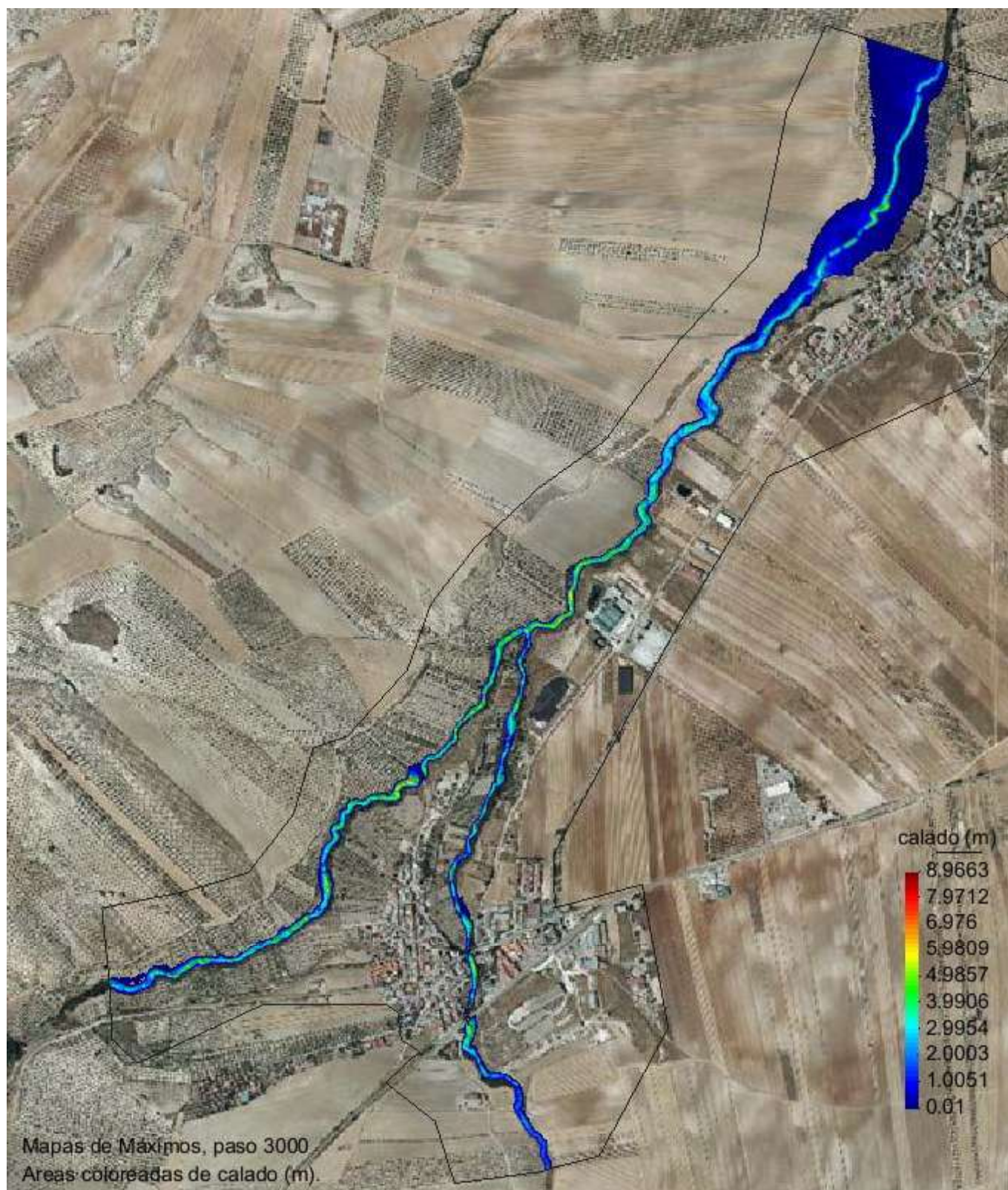
Calado máximo –Periodo de Retorno de 10 años



Calado máximo –Periodo de Retorno de 50 años

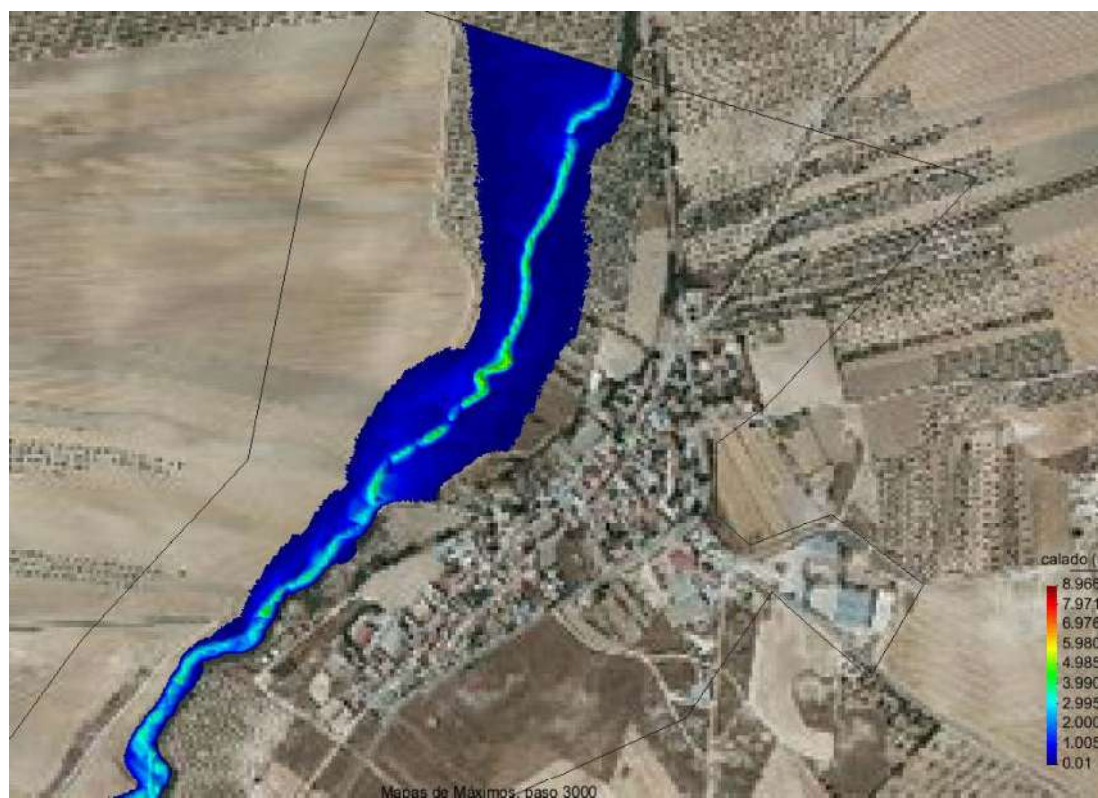


Calado máximo – Periodo de Retorno de 100 años





Ventas de Huelma



Ácula

Calado máximo – Periodo de Retorno de 500 años

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El principal cometido del presente estudio es el de evaluar el riesgo de inundación, para el municipio de Ventas de Huelma y Ácula, que producirían los arroyos Frailes, Barranco Hondo y Ácula.

Tras la simulación con el modelo hidráulico del cauce se han obtenido las líneas de inundación para los períodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, que quedan grafiadas en los planos correspondientes.

La línea de inundación de 10 años de periodo de retorno delimita la máxima crecida ordinaria, por lo que definen la planta del cauce y, por tanto, las zonas de dominio público hidráulico. La zona de servidumbre, según la legislación vigente, será de 5 m a cada lado del mismo y la de policía de aguas será 100 m a cada lado del mismo.

La línea de inundación de 50 años de periodo de retorno no se permitirá edificación o instalación alguna.

La línea de inundación de 100 años de periodo de retorno delimitan las zonas de flujo preferente.

Las líneas de inundación de 500 años de periodo de retorno delimitan las zonas inundables por la máxima avenida extraordinaria a considerar, dentro de cuyos límites no se podrán planear usos del suelo incompatibles con la legislación y normativa citada en el apartado correspondiente del presente estudio.

De los puentes que cruzan los arroyos, se indica que:

- Puentes Barranco Hondo: Tienen capacidad para evacuar las avenidas de cálculo, pero corren riesgo de obstrucción al no tener margen de resguardo y por la cantidad de vegetación existente.
- Puente Arroyo Frailes: No tiene capacidad para evacuar la avenida de cálculo.

También hay que indicar que los arroyos presentan mucha vegetación en su lecho, lo que provoca que se disminuya la capacidad de las obras de paso existentes.

Con el presente Estudio Hidrológico e Hidráulico de los Arroyos Frailes, Barranco Hondo y Ácula del municipio de Ventas de Huelma y Ácula (Granada), se pretende haber dado cumplimiento al encargo recibido, del que se hace mención en el punto primero del presente documento.

En Granada, mayo de 2.018

El Ingeniero de C.C.P.



Fdo. Rubén Yeste Martín

ANEJO Nº1
CÁLCULOS HIDROLÓGICOS

CÁLCULO HIDROMÉTRICO DE CAUDALES MÁXIMOS EN PEQUEÑAS CUENCAS NATURALES.

1.- CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA CUENCA.

CUENCA: Arroyo Frailes

- Área de la cuenca $A=18,7 \text{ Km}^2$.
- Longitud del cauce principal $L=11 \text{ Km}$.
- Cota superior del cauce principal $H_s= 1.300\text{m}$.
- Cota inferior del cauce principal $H_i= 830 \text{ m}$.
- Pendiente media del curso principal $J(\%)=4,2$

CUENCA: Barranco Hondo

- Área de la cuenca $A=8,8 \text{ Km}^2$.
- Longitud del cauce principal $L=8,8\text{Km}$.
- Cota superior del cauce principal $H_s= 1.300\text{m}$.
- Cota inferior del cauce principal $H_i= 830 \text{ m}$.
- Pendiente media del curso principal $J(\%)=7,2$

CUENCA: Arroyo Ácula

- Área de la cuenca $A=30,30 \text{ Km}^2$.
- Longitud del cauce principal $L=12,9\text{Km}$.
- Cota superior del cauce principal $H_s= 1.300\text{m}$.
- Cota inferior del cauce principal $H_i= 780 \text{ m}$.
- Pendiente media del curso principal $J(\%)=4,03$

2.- CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS.

- Precipitaciones máximas diarias para los distintos períodos de retorno:

Cuenca	Coord. X	Coord. Y	P_{10} (mm/día)	P_{50} (mm/día)	P_{100} (mm/día)	P_{500} (mm/día)
Barranco Hondo	427.300	4.100.467	62	88	100	131

Cuenca	Coord. X	Coord. Y	P ₁₀ (mm/día)	P ₅₀ (mm/día)	P ₁₀₀ (mm/día)	P ₅₀₀ (mm/día)
Arroyo Frailes	426.348	4.098.046	67	95	109	143
Arroyo Ácula	426.696	4.099.537	62	88	100	131

-Intensidad media diaria según periodo de retorno: $I_d = \frac{P_d}{24}$

	I _{d10} (mm/h)	I _{d50} (mm/h)	I _{d100} (mm/h)	I _{d500} (mm/h)
Barranco Hondo	2,58	3,67	4,16	5,45
Arroyo Frailes	2,79	3,95	4,54	5,95
Arroyo Ácula	2,58	3,67	4,16	5,45

- $\frac{I_1}{I_d}$ valor obtenido según mapa de isóneas de la Instrucción 5.2-IC

$$\frac{I_1}{I_d} = 9,5$$

- MAPA DE ISOLÍNEAS (I_1/I_d)



3.-CARACTERÍSTICAS DE ESCORRENTÍA.

El proceso de cálculo empleado es el siguiente:

3.1. ESTIMACIÓN DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA P_0

Es necesario tener en cuenta las siguientes tablas y figuras pertenecientes a la Instrucción 5.2-IC "DRENAJE SUPERFICIAL".

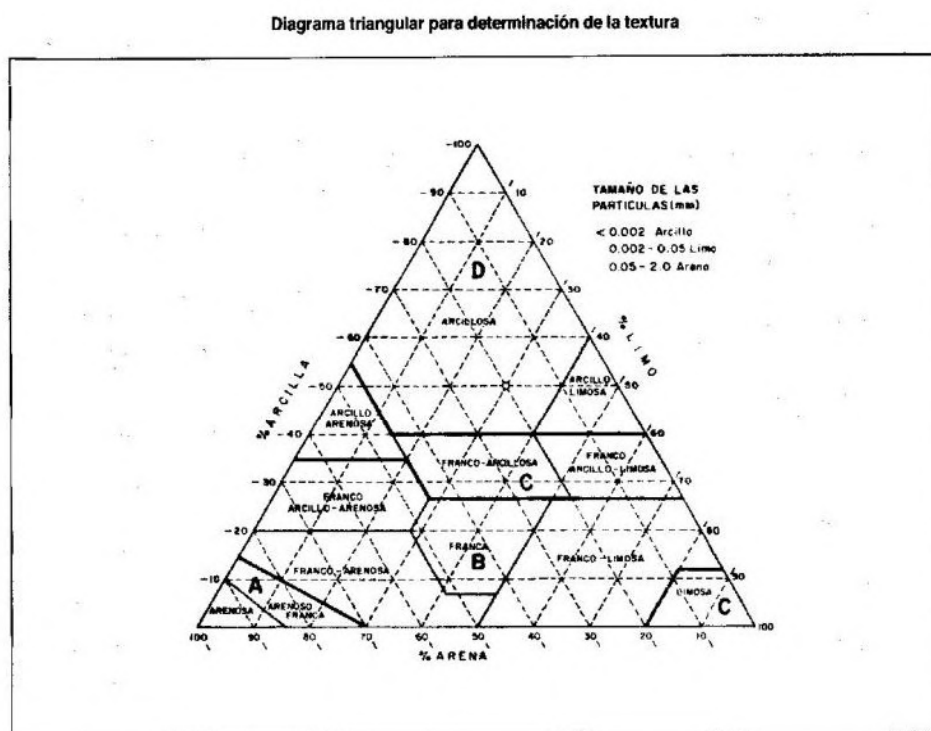


Figura 2.6

GRUPO	INFILTRACIÓN (cuando están muy húmedos)	POTENCIA	TEXTURA	DRENAJE
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el grupo D

SUELOS**GRUPO A=**

En ellos el agua se infiltra rápidamente
(Arenas, o Arena-limos)

GRUPO B=

Cuando se están muy húmedos tiene
capacidad de infiltración moderada.
Profundidad moderada (Textura franco-
arenosa, Franca, Franco-arcillo-arenosa)

GRUPO C=

Cuando están muy húmedos infiltración
lenta. Profundidad media (Textura franco-
arcillosa limosa o arcillo-arenosa)

GRUPO D=

Cuando estando muy húmedas la
infiltración es muy lenta. Tiene horizontes
de arcilla en la superficie (Arcillas y suelos
con nivel freático permanente muy alto)

NOTA: Los valores de P_0 notablemente altos se
han sustituido en la tabla por una raya. La
superficie a que correspondan esos valores
deben considerarse inexistente a efectos del
cálculo de avenidas, pues no cabe esperar que
provocuen escorrentía

Tabla para la estimación inicial del parámetro P_0 .

Uso de la tierra	Pendiente %	Características hidrológicas	Grupo suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	>3	R	15	8	6	4
	>3	N	17	11	8	6
	<3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en húmeda	>3	R	23	13	8	6
	>3	N	25	16	11	8
	<3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	>3	R	29	17	10	8
	>3	N	32	19	12	10
	<3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	>3	R	26	15	9	6
	>3	N	28	17	11	8
	<3	R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	>3	R	37	20	12	9
	>3	N	42	23	14	11
	<3	R/N	47	25	16	13
PRADERAS	>3	Media	53	23	14	9
		Buena	—	33	18	13
		Muy buena	—	41	22	15
	<3	Media	—	35	17	10
		Buena	—	—	22	14
		Muy buena	—	—	25	16
Plantaciones re- gulares de apro- vechamiento fo- restal	>3	Pobre	62	26	15	10
		Media	—	34	19	14
		Buena	—	42	22	15
	<3	Pobre	—	34	19	14
		Media	—	42	22	15
		Buena	—	50	25	16
Masa forestal (bosque, monte bajo etc.)		Muy claro	40	17	8	5
		Claro	60	24	14	10
		Media	—	34	22	16
		Espeso	—	47	31	23
		Muy espeso	—	65	43	33
Rocas permeables	>3			3		
	<3			5		
Rocas impermea	>3			2	6	1
	<3			4		

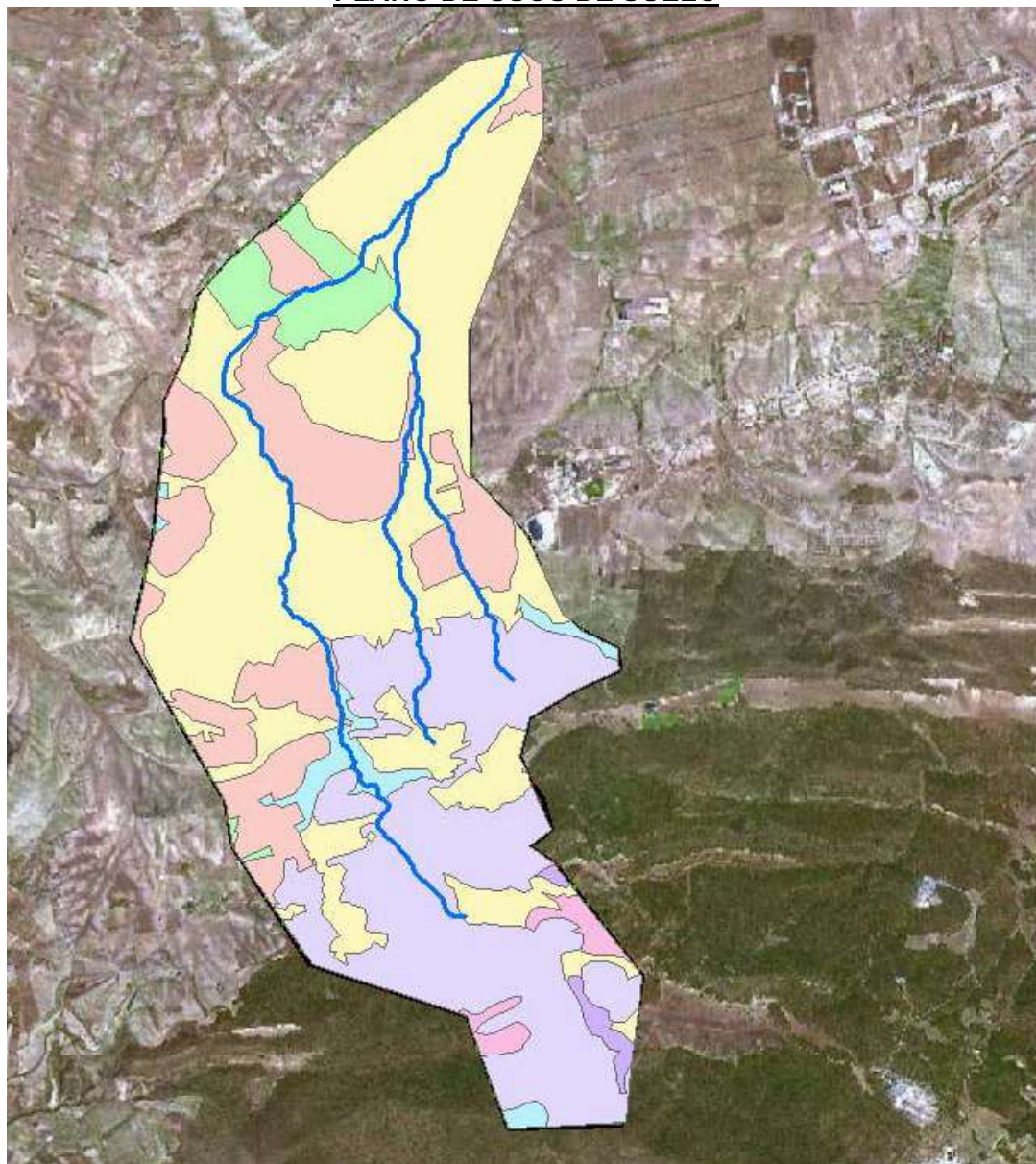
Se ha obtenido el **umbral de escorrentía** para cada cuenca de estudio. En su estimación se han tenido en cuenta los siguientes planos de las cuencas:

- **Plano de cuenca**
- **Plano de usos de suelo**
- **Plano de pendientes**
- **Plano de geología**

PLANO DE CUENCA

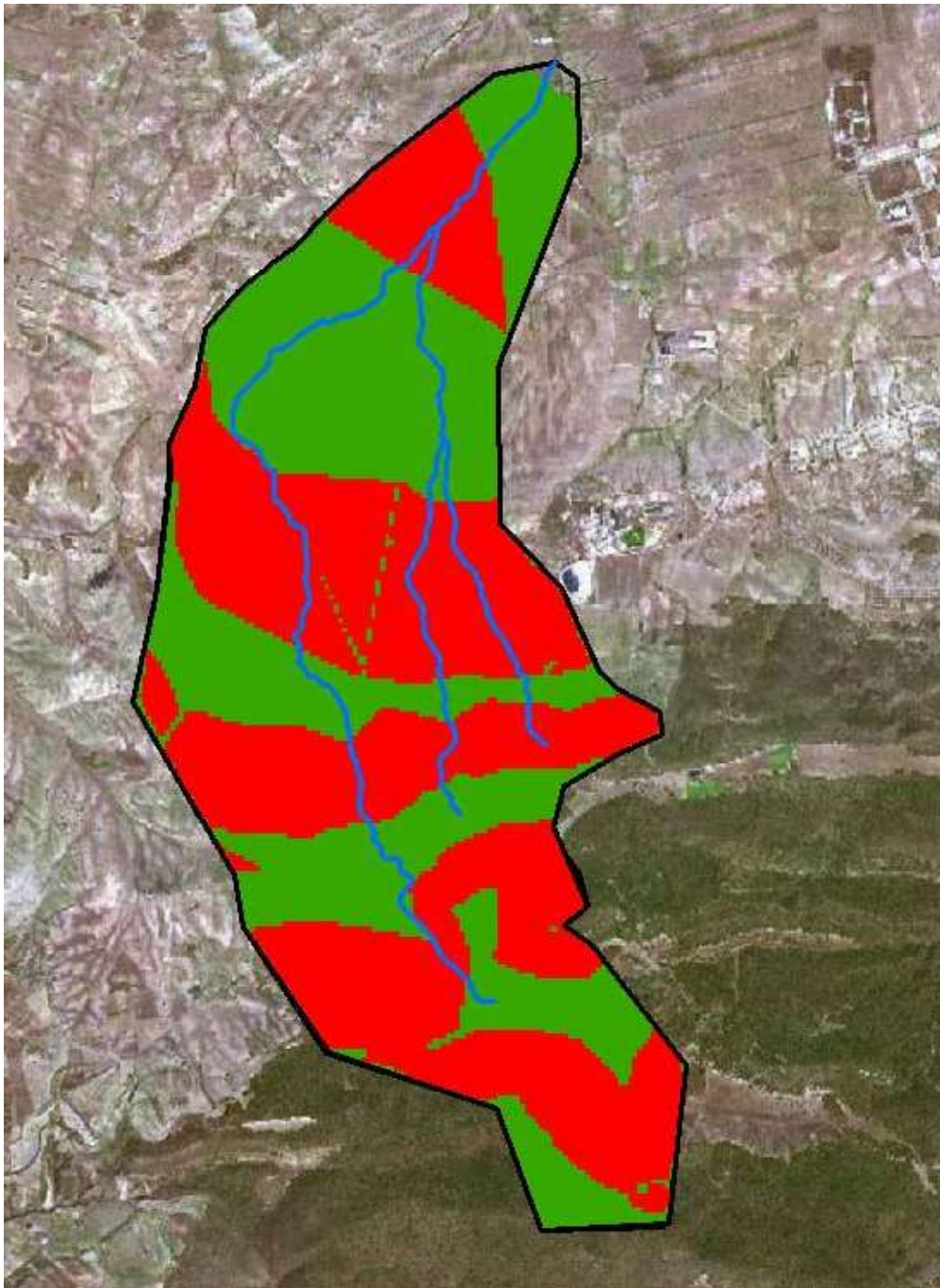


PLANO DE USOS DE SUELO



- Bosque de frondosas
- Landas y matorrales mesófilos
- Matorral boscoso de transición
- Mosaico de cultivos
- Olivares
- Sistemas agroforestales
- Tierras de labor en secano

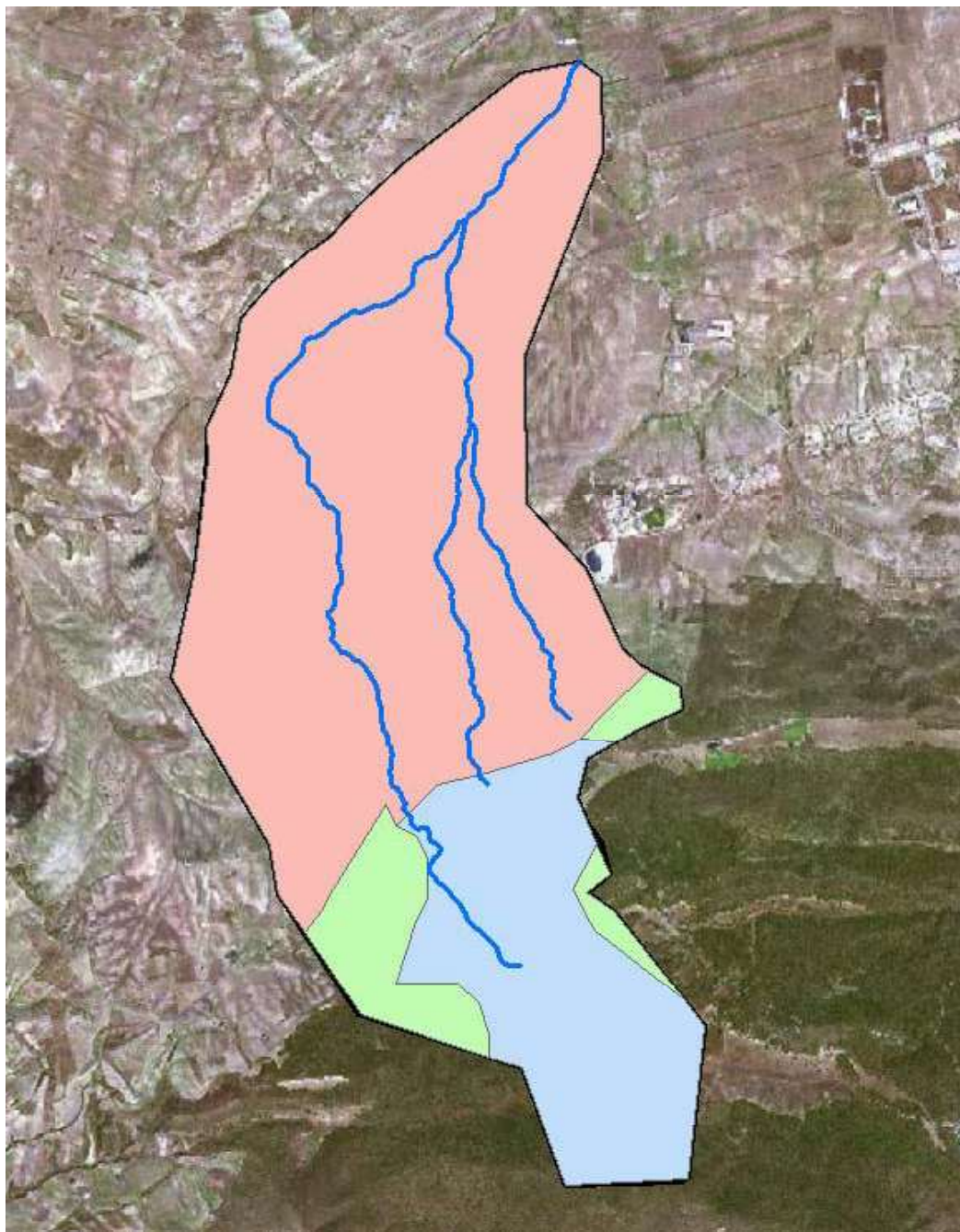
PLANO DE PENDIENTES



☐ >3%

☐ <3%

PLANO DE GEOLOGÍA



- Conglomerados, arenas, arrecifes, limos amarillos, yesos y sales haloideas. Conglomerados, arenas y calizas lacus
- Conglomerados, calcarenitas, calizas arrecifales, areniscas y margas con niveles turbidíticos
- Conglomerados, calizas y margas. Margas con olistostromas de origen diverso

CUENCA FRAILES				
USO	TIPO SUELO	PENDIENTE	AREA (% total)	Po
Bosque	C	---	32,7	15
Tierra de labor y olivares	C	>3%	33,0	11
Tierra de labor y olivares	C	<3%	26,7	14
Resto	C	---	7,6	9

Del análisis de los planos y realizando la media ponderada del Po obtenido en la tabla anterior se obtiene un $P_0 = 13$

CUENCA BARRANCO HONDO				
USO	TIPO SUELO	PENDIENTE	AREA (% total)	Po
Bosque	C	---	26	15
Tierra de labor y olivares	C	>3%	40	11
Tierra de labor y olivares	C	<3%	30	14
Resto	C	---	4	9

Del análisis de los planos y realizando la media ponderada del Po obtenido en la tabla anterior se obtiene un $P_0 = 12,9$

CUENCA ÁCULA				
USO	TIPO SUELO	PENDIENTE	AREA (% total)	Po
Bosque	C	---	27,5	15
Tierra de labor y olivares	C	>3%	36,2	11
Tierra de labor y olivares	C	<3%	31,7	14
Resto	C	---	4,6	9

Del análisis de los planos y realizando la media ponderada del Po obtenido en la tabla anterior se obtiene un $P_0 = 13$

3.2. CÁLCULO DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA CORREGIDO

Este valor es necesario corregirlo por un coeficiente corrector, el cual obtenemos a partir del mapa de la instrucción 5.2-IC



Mapa del coeficiente corrector del umbral escorrentía.

El valor del **coeficiente corrector del umbral de escorrentía de 3** para la zona de estudio. No obstante, por motivos de proyecto, **no se ha aplicado este coeficiente corrector.**

3.3. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Para cada valor del umbral de escorrentía en cada zona de la cuenca existirá un único valor de coeficiente de escorrentía según la fórmula:

$$C_i = \frac{\left[\left(\frac{P_d}{P_0} \right) - 1 \right] \cdot \left[\left(\frac{P_d}{P_0} \right) + 23 \right]}{\left[\left(\frac{P_d}{P_0} \right) + 11 \right]^2}$$

3.4. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA GLOBAL DE LA CUENCA

Se obtiene aplicando la media ponderada de cada uno de los coeficientes de escorrentía.

$$C = \frac{\sum C_{i_i} \cdot A_i}{\sum A_i}$$

A continuación se presentan los planos utilizados para la estimación del umbral de escorrentía:

CÁLCULOS DE COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Cuenca	Po Umbral de escorrentía corregido	Po corregido estimado
Barranco Hondo	38,7	12,9
Arroyo Frailes	39,0	13,0
Arroyo Ácula	39,0	13,0

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos para el coeficiente de escorrentía de la cuenca de estudio:

Cuenca	C ₁₀	C ₅₀	C ₁₀₀	C ₅₀₀
Barranco Hondo	0,423	0,550	0,590	0,678
Arroyo Frailes	0,448	0,570	0,616	0,702
Arroyo Ácula	0,421	0,544	0,588	0,675

4.- TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Viene dado en función de la longitud del cauce principal y de la pendiente media.

$$T = 0.3 \cdot \left[\left(\frac{L}{J^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.76} \right]$$

Cuenca	Longitud (km)	Pendiente (%)	Tc (h)
Barranco Hondo	6,50	7,20	2,05
Arroyo Frailes	11,00	4,27	3,38
Arroyo Ácula	12,90	4,03	3,86

5.- INTENSIDAD MEDIA DE PRECIPITACIÓN.

En función del período de retorno y el tiempo de concentración.

$$a = \frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}$$

$$\left(\frac{I_t}{I_d} \right) = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^a$$

Cuenca	It ₁₀ (mm/h)	It ₅₀ (mm/h)	It ₁₀₀ (mm/h)	It ₅₀₀ (mm/h)
Barranco Hondo	16,06	22,79	25,90	33,93
Arroyo Frailes	12,66	17,96	20,6	27,03
Arroyo Ácula	10,78	15,30	17,39	22,78

6.- CAUDAL DE REFERENCIA.

$$Q = \frac{\sum K_1 \cdot C_i \cdot A_i \cdot I_t}{K}$$

Cuenca	K_1	$Q_{10} (m^3/s)$	$Q_{50} (m^3/s)$	$Q_{100} (m^3/s)$	$Q_{500} (m^3/s)$
Barranco Hondo	1,15	22,93	42,00	51,56	77,58
Arroyo Frailes	1,25	44,13	79,63	98,80	147,62
Arroyo Ácula	1,28	58,60	107,48	131,99	198,79

ANEJO Nº2:
CÁLCULOS HIDRÁULICOS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El Estudio Hidráulico consistirá en la aplicación de un modelo hidráulico de simulación de los cauces a estudiar, cuyo caudal ha sido calculado en el Anejo Nº1 – Estudio Hidrológico.

Es importante aclarar que, a diferencia del estudio hidrológico, en el estudio hidráulico se tendrán sólo en cuenta los tramos de cauce relevantes y susceptibles de provocar inundaciones que afecten a la zona de estudio.

Así, el objetivo del estudio hidráulico es delimitar la zona de inundación.

2. CAUCES DE ESTUDIO Y CONDICIONES DEL TERRENO

El primer paso es definir los cauces adyacentes a las zonas de estudio. En este sentido, tal y como se describe en la cartografía vectorial a escala 1:10.000 del Instituto Cartográfico de Andalucía, la visita en campo y la ortofotografía aérea (2m) del año 1998, ha permitido verificar la existencia de los flujos de agua que han sido analizados en el estudio hidrológico.

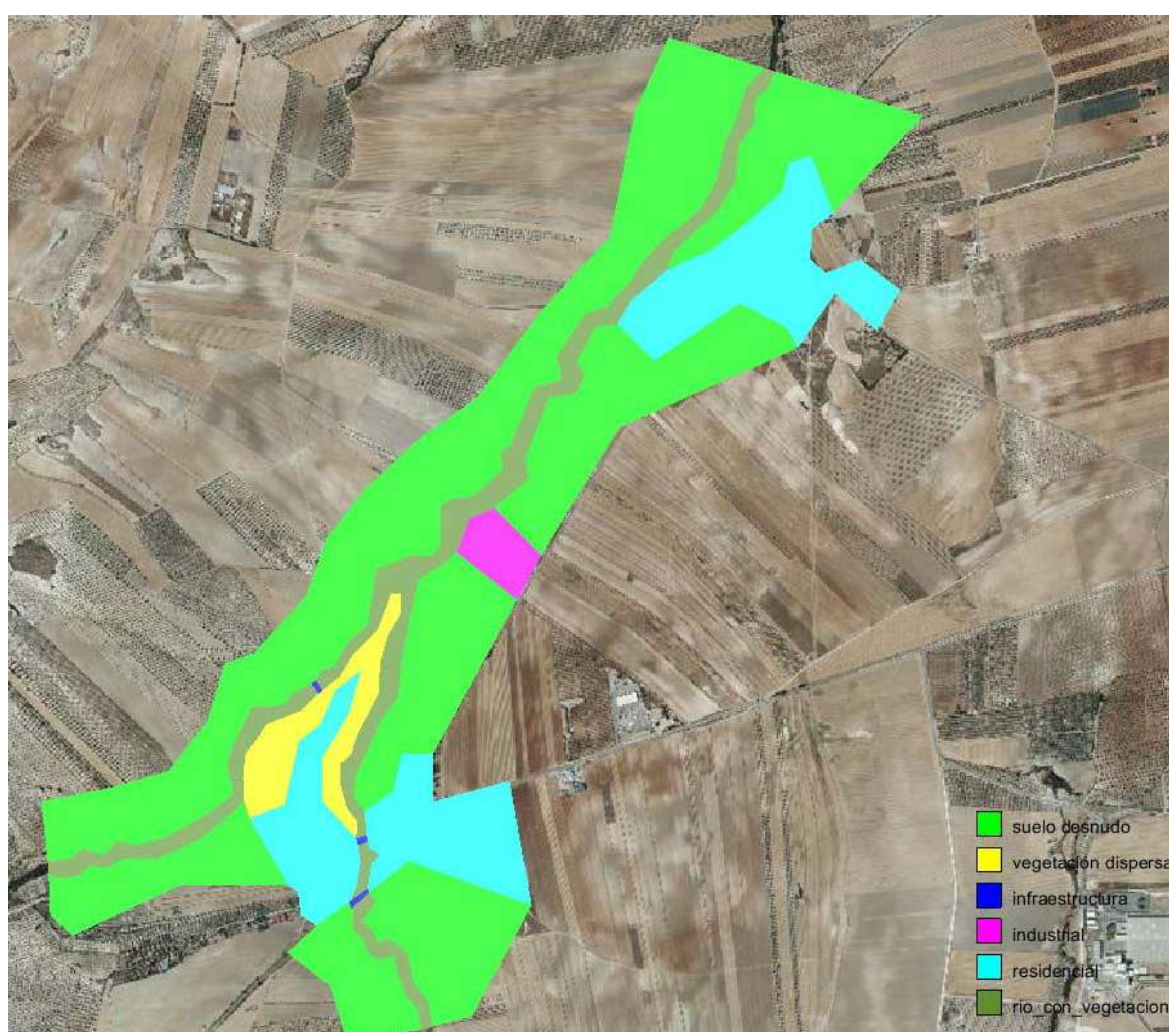
Para establecer la localización exacta y sus características se ha elaborado un Modelo Digital de Elevaciones y la posterior triangulación, lo que permitirá conocer las cotas en cada punto de los cauces, llanura de inundación y zonas adyacentes, susceptibles de inundarse. Los pasos básicos para conseguir un modelo óptimo y admisible son los siguientes:

- Topografía: Se ha utilizado la topografía obtenida del modelo digital del terreno MDT05 del instituto geográfico nacional con paso de malla de 5m.
- Elaboración de Modelo Digital de Elevaciones, el cual es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de las cotas.
- Triangulación del modelo.

3. COEFICIENTES DE MANNING

A continuación se indica en planta el reparto de los coeficientes de Manning en función del tipo de suelo.

Barranco Hondo, Frailes y Ácula



Rugosidad del terreno

Suelo desnudo: 0.023

Vegetación dispersa: 0.08

Infraestructura: 0.020

Industrial: 0.10

Residencial: 0.15

Río con vegetación: 0.05

4. SIMULACIÓN HIDRÁULICA

La simulación se ha realizado empleando el programa de cálculo bidimensional IBER.

- **IBER** es un modelo numérico bidimensional de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen variable, que incorpora como esquema numérico el método de alta resolución de Volúmenes Finitos. Es promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y desarrollado en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (de la Universidad de A Coruña), el Grupo Flumen (de la Universitat Politècnica de Catalunya UPC y de la Universitat de Barcelona UB) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE (vinculado a la Universidad Politécnica de Cataluña UPC), en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua.

MODELO BIDIMENSIONAL IBER

IBER consta de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos.

Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, el cual constituye la base de IBER, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad o ecuaciones de Saint Venant.

En el esquema de los volúmenes finitos en dos dimensiones, el dominio físico se descompone en polígonos (elementos triangulares o cuadriláteros), que se denominan volúmenes de control o finitos. Cada volumen tiene una superficie formada por los lados del polígono y este viene definido por sus vértices. La distribución de los vértices puede ser irregular y formar una malla no estructurada, o regular y formar una malla estructurada.

Para un análisis en dos dimensiones, los volúmenes finitos no forman un volumen sino un área y sus superficies son curvas cerradas. El uso de volúmenes finitos permite considerar soluciones discontinuas de manera inmediata y además la discretización espacial se adapta mejor a dominios con formas arbitrarias.

De igual manera que con HEC-RAS, para resolver las ecuaciones no lineales de Saint Venant se requiere especificar las condiciones iniciales y las condiciones de contorno.

Por otro lado, para resolver una ecuación diferencial por el método de volúmenes finitos es necesario realizar previamente una discretización espacial del dominio a estudiar. Para ello se divide el dominio de estudio en celdas de tamaño relativamente pequeño (malla de cálculo). La malla de cálculo es un elemento fundamental para conseguir buenos resultados. IBER dispone de multitud de maneras de obtener una buena malla de cálculo, y en función de las características del problema un tipo de malla será mejor que otro,

En este caso, para las simulaciones realizadas en el presente trabajo se ha construido en IBER una malla estructurada sobre superficies, con una división por línea. El objetivo es crear una malla con un número adecuado de elementos pero que no haga el proceso de simulación demasiado robusto y por lo tanto difícil de calcular.

MALLA DE CÁLCULO

La malla de cálculo empleada para la simulación hidráulica con Iber se ha obtenido a partir del siguiente modelo TIN (Triangulated Irregular Network), el cual a su vez ha sido generado a partir de la topografía indicada anteriormente.

Barranco Hondo, Frailes y Ácula



Mallado del modelo

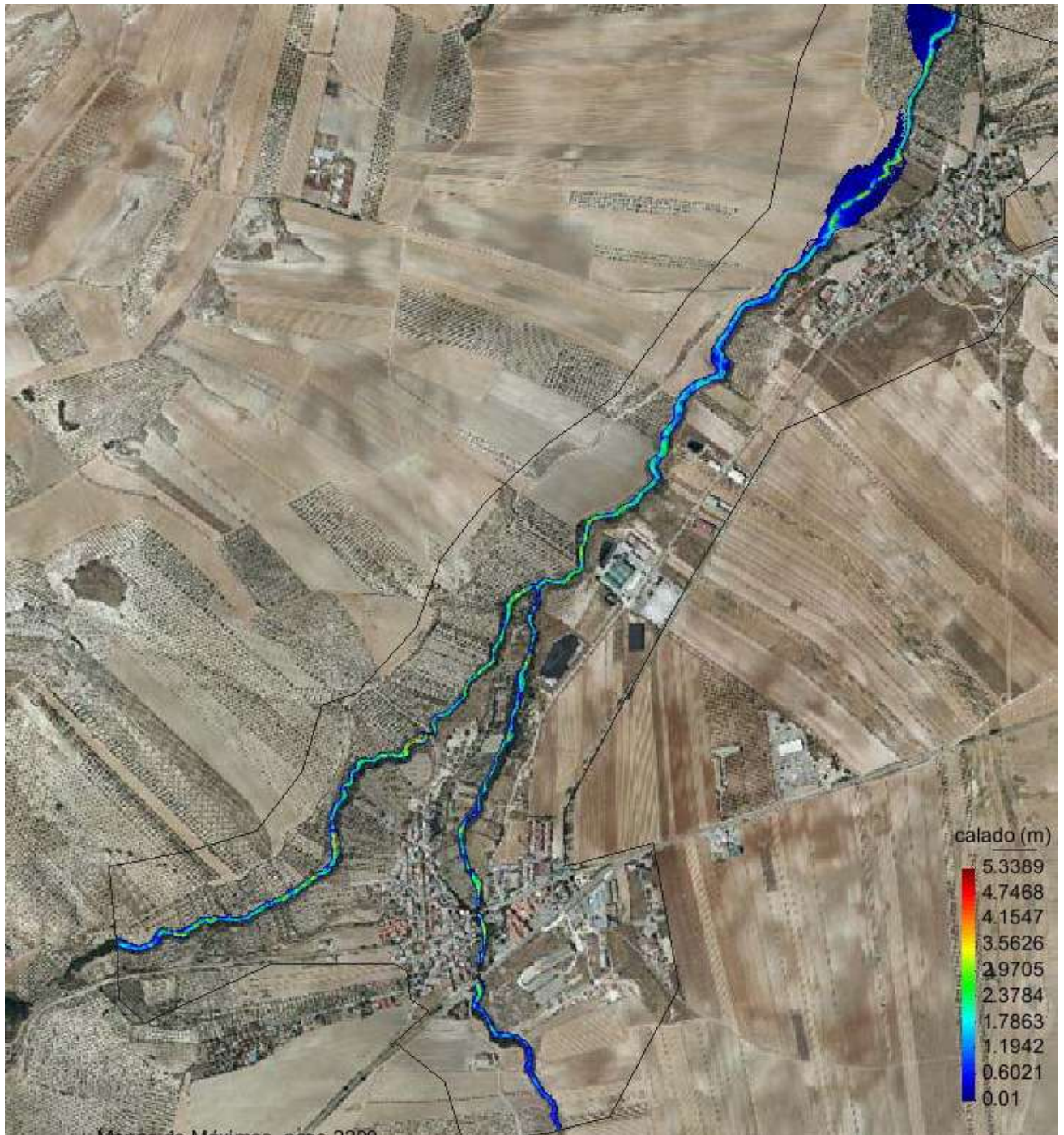


Modelo y ortofotografía superpuesta

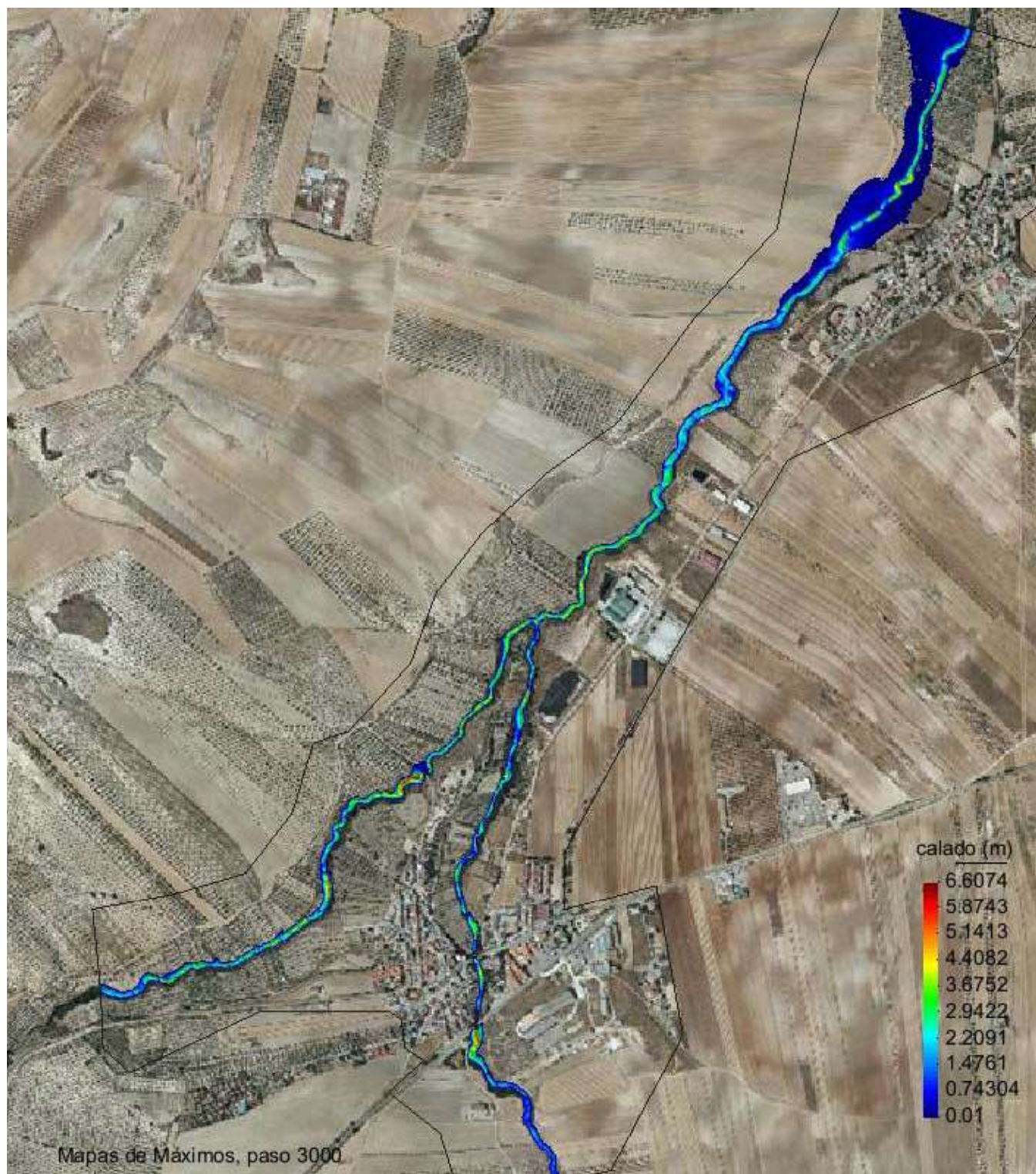
RESULTADOS DE CÁLCULO

A continuación se muestran los resultados de la simulación realizada para la avenida de periodo de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, para cada arroyo estudiado.

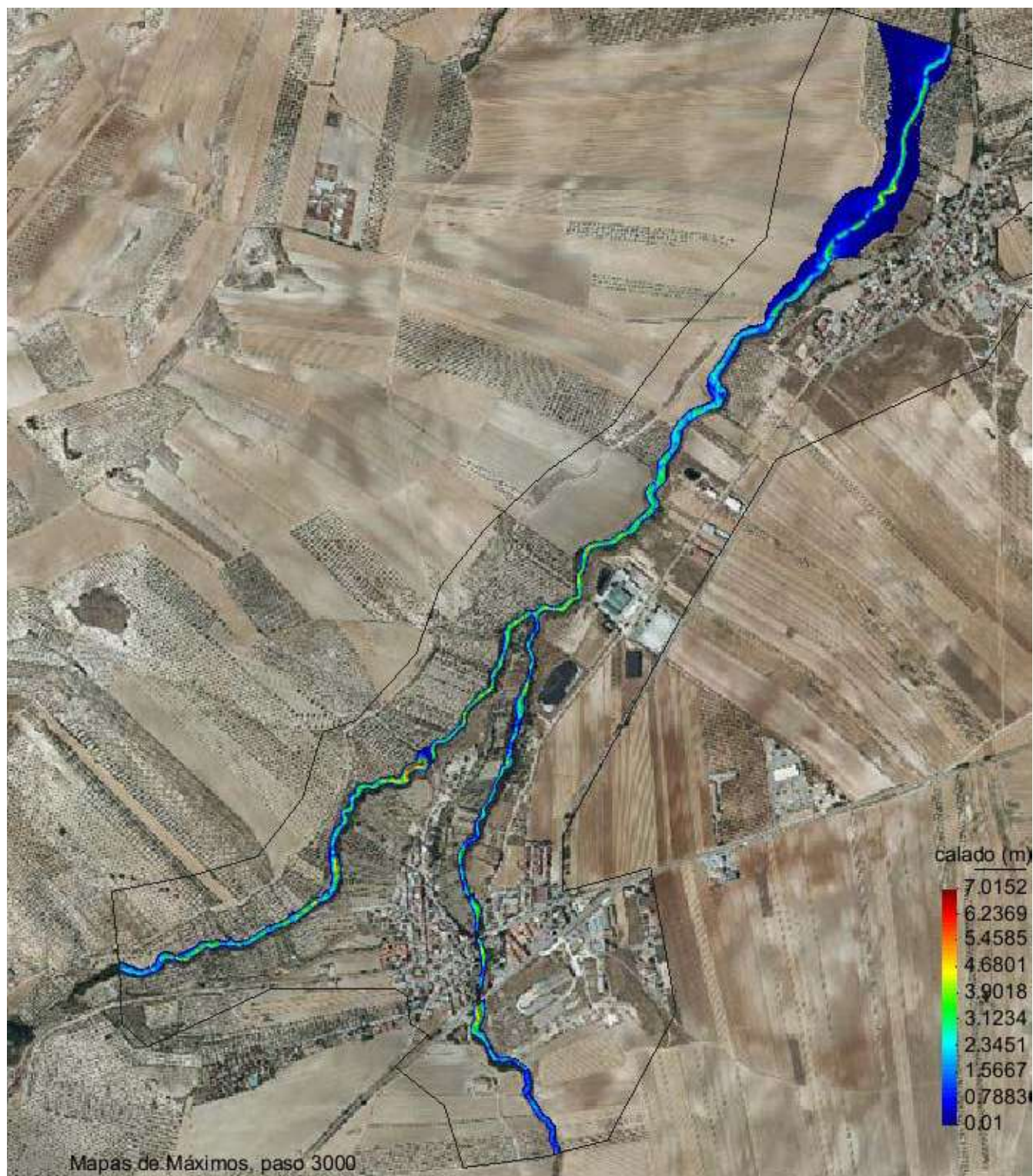
Barranco Hondo, Frailes y Ácula



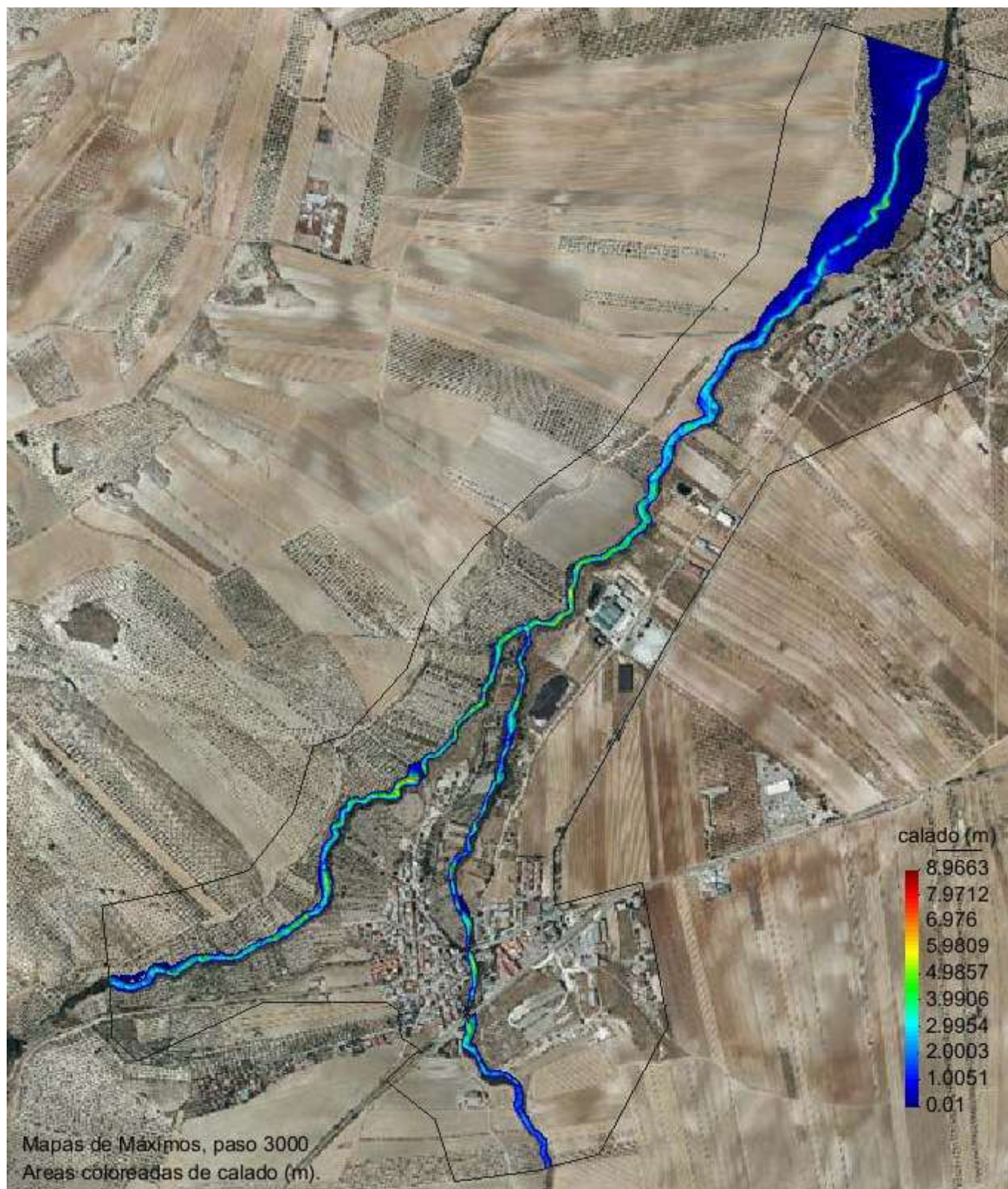
Calado máximo –Periodo de Retorno de 10 años



Calado máximo –Periodo de Retorno de 50 años

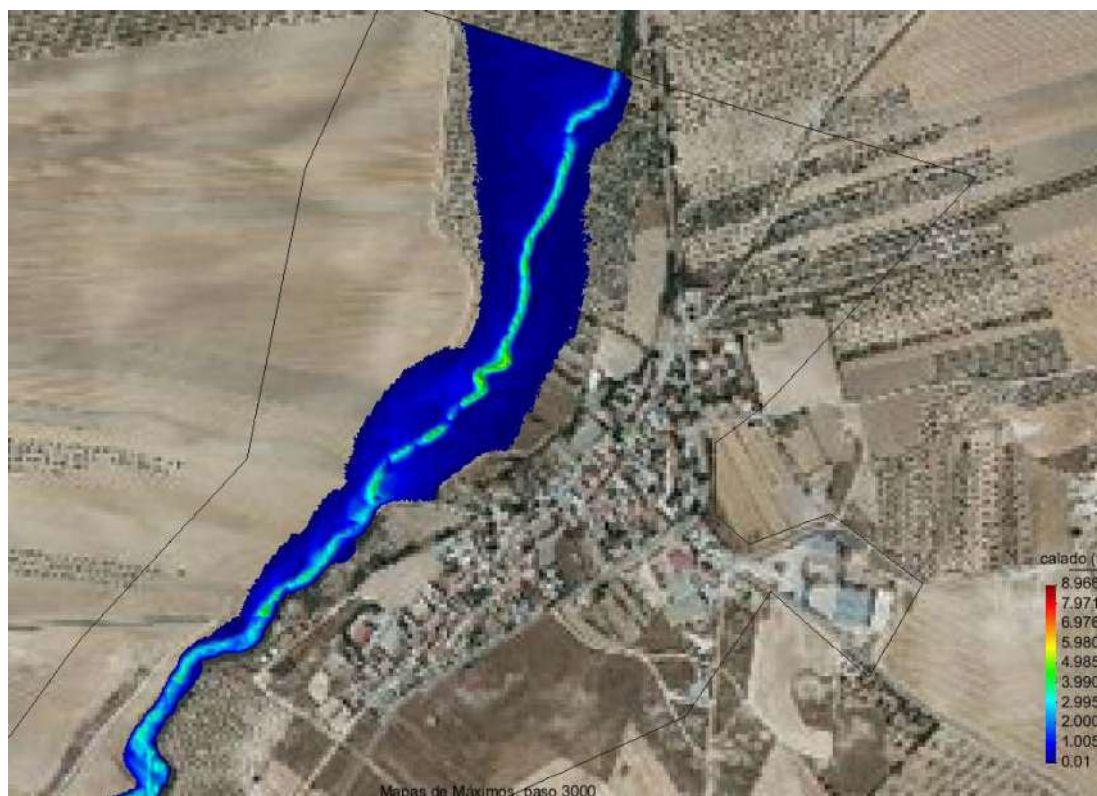


Calado máximo – Periodo de Retorno de 100 años





Ventas de Huelma



Ácula

Calado máximo – Periodo de Retorno de 500 años

5. CÁLCULO SECCIÓN DE LOS PUENTES

A continuación se expone un cálculo manual para estimar la capacidad de la sección de los puentes que cruzan los arroyos en estudio.

CÁLCULO CAPACIDAD DEL ARROYO CON SECCIÓN RECTANGULAR. FÓRMULA DE MANNING-STRICKLER.

Proyecto:

OBRAS DE PASO EN BARRANCO HONDO

Datos del arroyo.

Q, Caudal de cálculo (m3/s):	78	
Velocidad máxima del agua (m/s):	2,84	(Instrucción 5.2-IC, Tabla 1.3)
k, coeficiente de rugosidad(m ^{1/3} /s):	30	(Instrucción 5.2-IC, Tabla 4.1)
I, Pendiente longitudinal (%):	0,5	
H, Altura de la obra de drenaje	8	
B, Ancho de la obra de drenaje (m):	4	

h, altura de lámina de agua (m)

Sm, sección mojada (m2)

Pm, perímetro mojado (m)

Rh, radio hidráulico (m)

V, velocidad real en la sección (m3/s)

$$Q = V \cdot S$$

$$Q = K \cdot \sqrt{J} \cdot R_h^{\frac{2}{3}}$$

h (m)	Sm (m2)	Pm (m)	Rh (m)	V(m/s)	Q (m3/s)
6,900	27,600	17,80	1,5506	2,84	78,43

CÁLCULO CAPACIDAD DEL ARROYO CON SECCIÓN RECTANGULAR.
FÓRMULA DE MANNING-STRICKLER.

Proyecto:

OBRA DE PASO EN ARROYO FRAILES

Datos del arroyo.

Q, Caudal de cálculo (m ³ /s):	148	
Velocidad máxima del agua (m/s):	5,6	(Instrucción 5.2-IC, Tabla 1.3)
k, coeficiente de rugosidad(m ^{1/3} /s):	30	(Instrucción 5.2-IC, Tabla 4.1)
I, Pendiente longitudinal (%):	2,5	
H, Altura de la obra de drenaje	6	
B, Ancho de la obra de drenaje (m):	3	

h, altura de lámina de agua (m)

Sm, sección mojada (m²)

Pm, perímetro mojado (m)

Rh, radio hidráulico (m)

V, velocidad real en la sección (m/s)

$$Q = V \cdot S$$

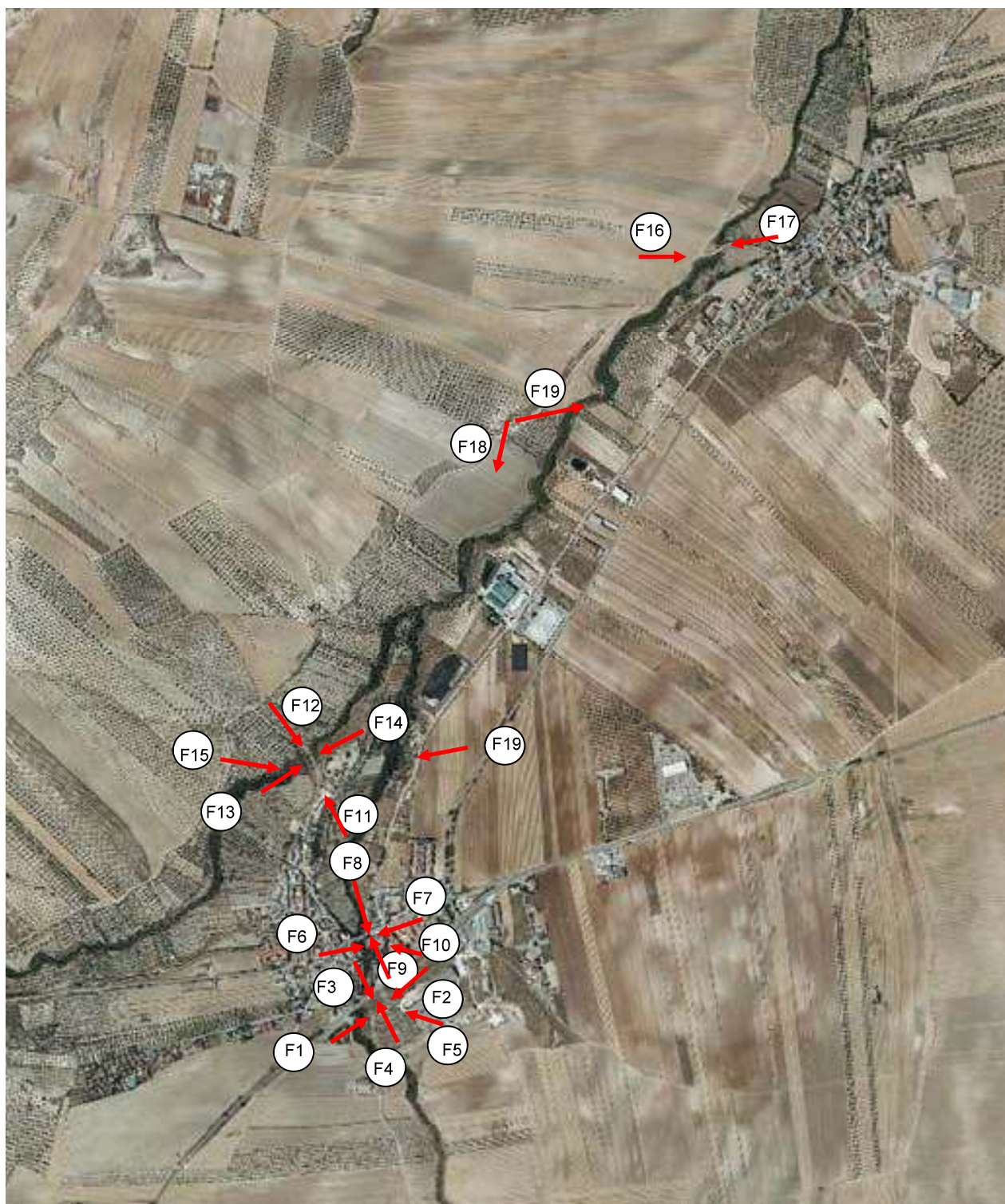
$$Q = K \cdot \sqrt{J} \cdot R_h^{\frac{2}{3}}$$

h (m)	Sm (m ²)	Pm (m)	Rh (m)	V(m/s)	Q (m ³ /s)
8,800	26,400	20,60	1,2816	5,60	147,75

ANEJO N°3:
REPORTAJE FOTOGRÁFICO

SITUACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS:

ARROYO FRAILES, HONDO Y ÁCULA





Fotografía 1. Puente 1 desde margen izquierda



Fotografía 2. Puente 1 desde margen derecha



Fotografía 3. Puente 1 aguas arriba



Fotografía 4. Puente 1 aguas abajo



Fotografía 5. Puente 1



Fotografía 6. Puente 2 desde margen izquierda



Fotografía 7. Puente 2 desde margen derecha



Fotografía 8. Puente 2 aguas arriba



Fotografía 9. Puente 2 aguas abajo



Fotografía 10. Puente 2



Fotografía 11. Puente 3 desde margen derecha



Fotografía 12. Puente 3 desde margen izquierda



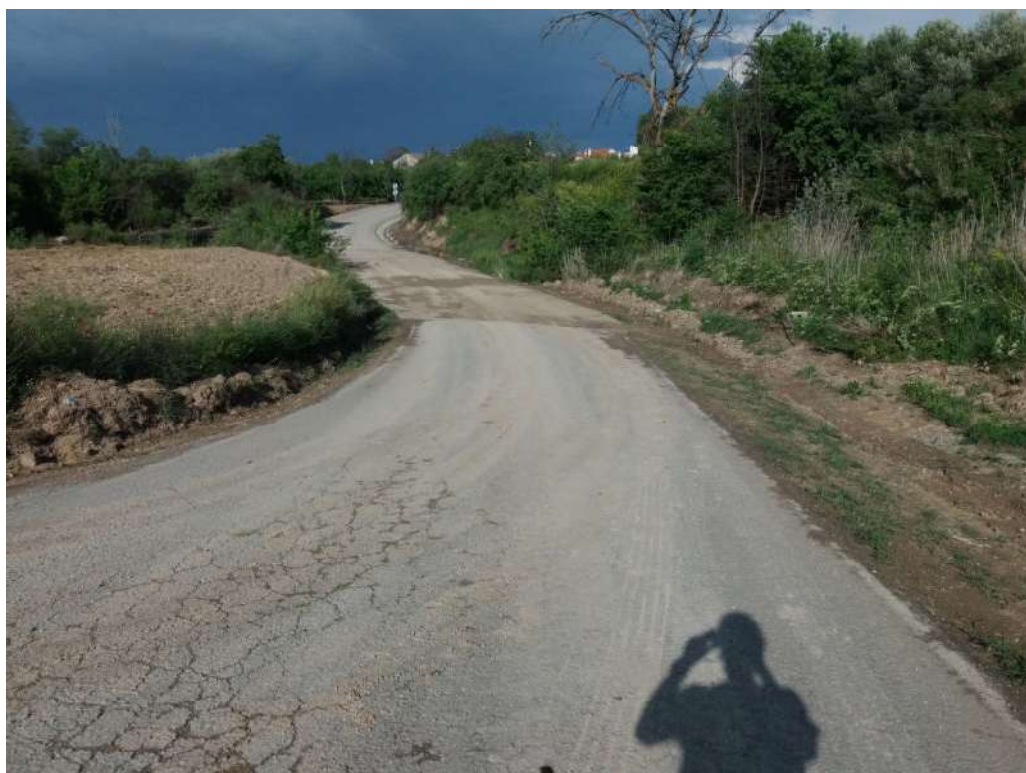
Fotografía 13. Puente 3 aguas abajo



Fotografía 14. Puente 3 aguas arriba



Fotografía 15. Puente 3



Fotografía 16. Vado inundable desde margen izquierda en Ácula



Fotografía 17. Vado inundable desde margen izquierda en Ácula



Fotografía 18. Vista panorámica arroyo Ácula aguas arriba desde margen izquierdo



Fotografía 19. Vista panorámica arroyo Ácula aguas abajo desde margen izquierdo



Fotografía 20. Vista panorámica arroyo pasado Ventas de Huelma desde margen derecho

DOCUMENTO Nº2

PLANOS

ÍNDICE

- 1 SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO**
- 2 CUENCA RECEPTORA**
- 3 USOS DEL SUELO**
- 4 LITOLOGÍAS**
- 5 PENDIENTES**
- 6 LINEAS DE INUNDACIÓN.**
- 7 TOPOGRÁFICO**
- 8 DEFINICIÓN ZONA DE POLICÍA**
- 9 ZONA DE FLUJO PREFERENTE E INUNDACIÓN**