

Demarcación Hidrográfica del Júcar

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS MAPAS DE PELIGROSIDAD Y RIESGO DE INUNDACIÓN (2º CICLO)

JULIO 2019



Índice

1	Introducción.....	1
2	Alcance.....	3
3	Metodología	5
4	Modelo digital del terreno	6
4.1	Alcance	6
4.2	Trabajos a desarrollar.....	9
4.2.1	Trabajos topográficos de campo	9
4.2.2	Trabajos topográficos de Oficina Técnica.....	9
4.3	Documentación inicial.	9
4.3.1	Datos LIDAR.	9
4.4	Procedimientos.	12
4.4.1	Trabajos Topográficos.....	12
4.4.2	Trabajos de Oficina Técnica.....	14
5	Estudio hidrológico	18
5.1	Modelo HEC-HMS.....	18
5.1.1	Caracterización fisiográfica e hidrológica.....	18
5.1.2	Cálculo de caudales.....	32
5.2	Modelo TETIS	35
5.2.1	Estimación de parámetros.....	39
5.2.2	Información hidrometeorológica disponible	40
5.2.3	Calibración y validación del modelo a escala de evento.....	40
5.3	Generación de avenidas sintéticas.....	42
5.3.1	Estimación de la probabilidad de las avenidas.....	43
5.3.2	Obtención de hidrogramas - hietogramas.....	44
6	Modelo hidráulico	46
6.1	Componente geométrica	46
6.2	Componente hidráulica	47
6.3	Escenarios modelados	49
6.4	Resultados	49
7	Delimitación del Dominio Público Hidráulico Probable	51
7.1	Introducción	51
7.2	Metodología para el análisis geomorfológico del cauce.....	52
7.2.1	Etapas 1: Análisis Histórico sobre fotografías aéreas	52
7.2.2	Etapas 2: Análisis del Modelo Digital del Terreno actual	55
7.2.3	Etapas 3: Análisis de fotografía aérea actual	56

7.2.4	Etapa 4: Comparación del cauce histórico y actual. Delimitación del DPHP y clasificación.	56
7.3	Resumen.....	58
8	Generación de mapas.....	59
9	Referencias	60
10	Siglas y acrónimos	61

ANEXOS

- *ANEXO 1: FICHAS DE LAS ARPSI*

1 Introducción

La presente memoria recoge la metodología seguida para la confección de los mapas de peligrosidad de inundación de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, atendiendo a los criterios establecidos en la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación y en el RD 903/2010, de 9 de julio, de Evaluación y Gestión de Riesgos de Inundación.

La Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación establece:

Artículo 6

1. Los Estados miembros prepararán, para cada demarcación hidrográfica y cada unidad de gestión mencionada en el artículo 3, apartado 2, letra b), mapas de peligrosidad por inundaciones y mapas de riesgo de inundación, a la escala que resulte más apropiada para las zonas determinadas con arreglo al artículo 5, apartado 1.

2. Para la preparación de mapas de peligrosidad por inundaciones y mapas de riesgo de inundación de las zonas determinadas con arreglo al artículo 5 que son compartidas con otros Estados miembros, los Estados miembros de que se trate intercambiarán previamente información al respecto.

3. Los mapas de peligrosidad por inundaciones incluirán las zonas geográficas que podrían inundarse según los escenarios siguientes:

a) baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos;

b) probabilidad media de inundación (período de retorno ≥ 100 años);

c) alta probabilidad de inundación, cuando proceda.

4. Respecto a cada uno de los escenarios enumerados en el apartado 3 se indicarán los elementos siguientes:

a) extensión de la inundación;

b) calados del agua o nivel de agua, según proceda;

c) cuando proceda, la velocidad de la corriente o el caudal de agua correspondiente.

El RD 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación que traspone al articulado legal español la Directiva 2007/60/CE, establece:

Artículo 8:

1. Para cada demarcación hidrográfica se elaborarán mapas de peligrosidad por inundación para las zonas determinadas con arreglo al artículo 5. Estos mapas contemplarán, al menos, los escenarios siguientes:

- a) Alta probabilidad de inundación, cuando proceda.*
- b) Probabilidad media de inundación (periodo de retorno mayor o igual a 100 años).*
- c) Baja probabilidad de inundación (periodo de retorno igual a 500 años).*

2. En las zonas costeras donde exista un nivel adecuado de protección, el mapa de peligrosidad se limitará al escenario de baja probabilidad de inundación.

3. Para cada uno de los escenarios anteriores los mapas deberán contener:

- a) Extensión previsible de la inundación y calados del agua o nivel de agua, según proceda.*
- b) En aquellos casos en que se considere necesario, se podrá incluir también información adicional relevante como los caudales y/o velocidades máximas alcanzadas por la corriente en la zona inundable.*
- c) En las inundaciones causadas por las aguas costeras y de transición se reflejará el régimen de oleaje y de mareas, así como las zonas sometidas a procesos erosivos y las tendencias en la subida del nivel medio del mar como consecuencia del cambio climático.*

4. Adicionalmente, en los mapas de peligrosidad se representará la delimitación de los cauces públicos y de las zonas de servidumbre y policía, la zona de flujo preferente en su caso, la delimitación de la zona de dominio público marítimo-terrestre, la ribera del mar en caso de que difiera de aquella y su zona de servidumbre de protección.

Por tanto, tanto en la Directiva como en el Real Decreto se establece la obligatoriedad de desarrollar los mapas de peligrosidad para las áreas de riesgo potencial significativo en su referencia al artículo 5. Estas áreas de riesgo potencial significativo han sido revisadas en la fase de Revisión y Actualización de la EPRI. En el caso de la Demarcación Hidrográfica del Júcar se han añadido nueve subtramos en distintas ARPSIs ya identificadas en el primer ciclo de inundaciones.

Los escenarios contemplados son 10, 100 y 500 años de periodo de retorno para alta, media y baja probabilidades respectivamente.

Por lo tanto, de acuerdo a la normativa vigente, la información a elaborar es la siguiente.

- Mapas de calados máximos para 10, 100 y 500 años de periodo de retorno.
- Delimitación del DPH, zonas de servidumbre y policía.
- Zonas de flujo preferente.

2 Alcance.

De acuerdo tanto con la Directiva como con el Real Decreto los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación se someterán a consulta pública durante un plazo mínimo de tres meses. Por lo tanto, desde su publicación y durante un plazo de 3 meses se pondrá a disposición del público la información relativa a los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación, delimitación del dominio público hidráulico, zonas de policía y servidumbre, zonas inundables para 10, 100 y 500 años de periodo de retorno y zona de flujo preferente de los tramos de ARPSI revisados en el segundo ciclo, así como de los tramos de ARPSI de origen fluvial identificados en la fase de revisión de la EPRI.

Código ARPSI	ARPSI	Código Subramo	Nombre subtramo	CICLO
ARPS_0002	Bajo Vinalopó	ARPS_0002-02	Barranco de San Antón	2
		ARPS_0002-03	Barranco del Grifo	2
ARPS_0011	Rambla Gallinera - Marjal de Pego	ARPS_0011-01	Barranco de Piles o Palmera	1
		ARPS_0011-02	Barranco de la Fon d'Encarròs	1
		ARPS_0011-03	Rambla de Gallinera	1
		ARPS_0011-04	Río Vedat	1
		ARPS_0011-05	Río Revolta	1
		ARPS_0011-06	Río Roller	1
ARPS_0012	Serpis - Beniopa	ARPS_0012-01	Río Vernissa	1
		ARPS_0012-02	Barranco de Beniopa	1
		ARPS_0012-03	Río Serpis	1
ARPS_0014	Bajo Júcar - Ribera del Júcar	ARPS_0014-04	Río Júcar desde embalse de Tous hasta Alzira	1
		ARPS_0014-10	Barranco de Barcheta	1
		ARPS_0014-11	Barranco Ample	1
		ARPS_0014-12	Barranco de la Vila	1
		ARPS_0014-13	Barranco del Tramusser	1
		ARPS_0014-14	Barranco del Estrecho desde barranco del Marqués hasta Alzira	1
		ARPS_0014-15	Barranco de Picassent	1

Código ARPSI	ARPSI	Código Subramo	Nombre subtramo	CICLO
		ARPS_0014-16	Rambla de la Casella	1
		ARPS_0014-18	Río Júcar desde Alzira hasta Cullera	1
		ARPS_0014-19	Río Verde	1
		ARPS_0014-20	Barranco del Estrecho desde CV-50 hasta la Cruz de la Barraca	2
ARPS_0021	Barranco del Carraixet	ARPS_0021-01	Barranco del Carraixet	1
		ARPS_0021-02_01	Palmares Alto	2
		ARPS_0021-02_02	Palmares Bajo	2
ARPS_0022	Bajo Turia	ARPS_0022-02	Barranco Grande	1
		ARPS_0022-03	Rambla de Chiva o de Poyo	1
		ARPS_0022-04	Barranco del Gallego	1
		ARPS_0022-05	Barranc dels Cavalls	1
		ARPS_0022-07	Barranco de Torrent	1
		ARPS_0022-08	Barranco de la Saleta	1
		ARPS_0022-09	Barranco de la Fuente	1
		ARPS_0022-10	Barranco del Mandor – Arroyo de la Granolera	2
ARPS_0025	Río Seco y Barranco de la Parreta	ARPS_0025-01	Riu Sec	1
		ARPS_0025-02	Barranco de la Parreta	1
		ARPS_0025-03	Barranco del Sigalero	1

Tabla 1. ARPSIs en la Demarcación Hidrográfica del Júcar revisadas y elaboradas en el segundo ciclo.

La fase de consulta pública incluye además los mapas de riesgo de inundación de todas las ARPSI identificadas para la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tanto en el primer ciclo como en el segundo ciclo.

3 Metodología

La metodología general seguida para la elaboración de los mapas de peligrosidad sigue los criterios considerados en la *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables* (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid 2011), que ha servido de base para la elaboración de los trabajos descritos en la presente memoria.

De forma general, la metodología empleada sigue el siguiente esquema:

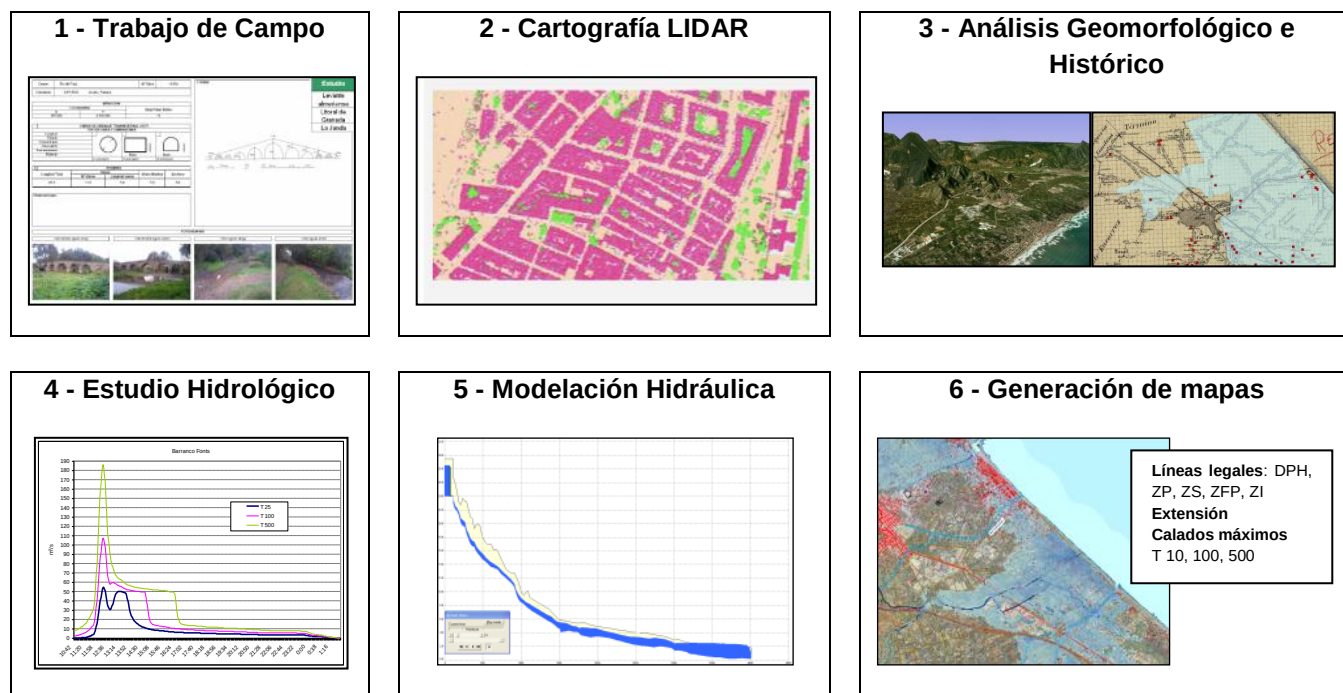


Figura 1. Fases para la generación de cartografía de zonas inundables.

El trabajo de campo y el tratamiento de la cartografía LIDAR se ha realizado al mismo tiempo que el estudio hidrológico, de esta forma se puede optimizar el tiempo de trabajo solapando las distintas actividades. La presente memoria recoge la metodología desarrollada para la realización de las distintas actividades realizadas.

4 Modelo digital del terreno

4.1 Alcance

El desarrollo de los diferentes trabajos topográficos y cartográficos se ha realizado sobre los siguientes cauces:

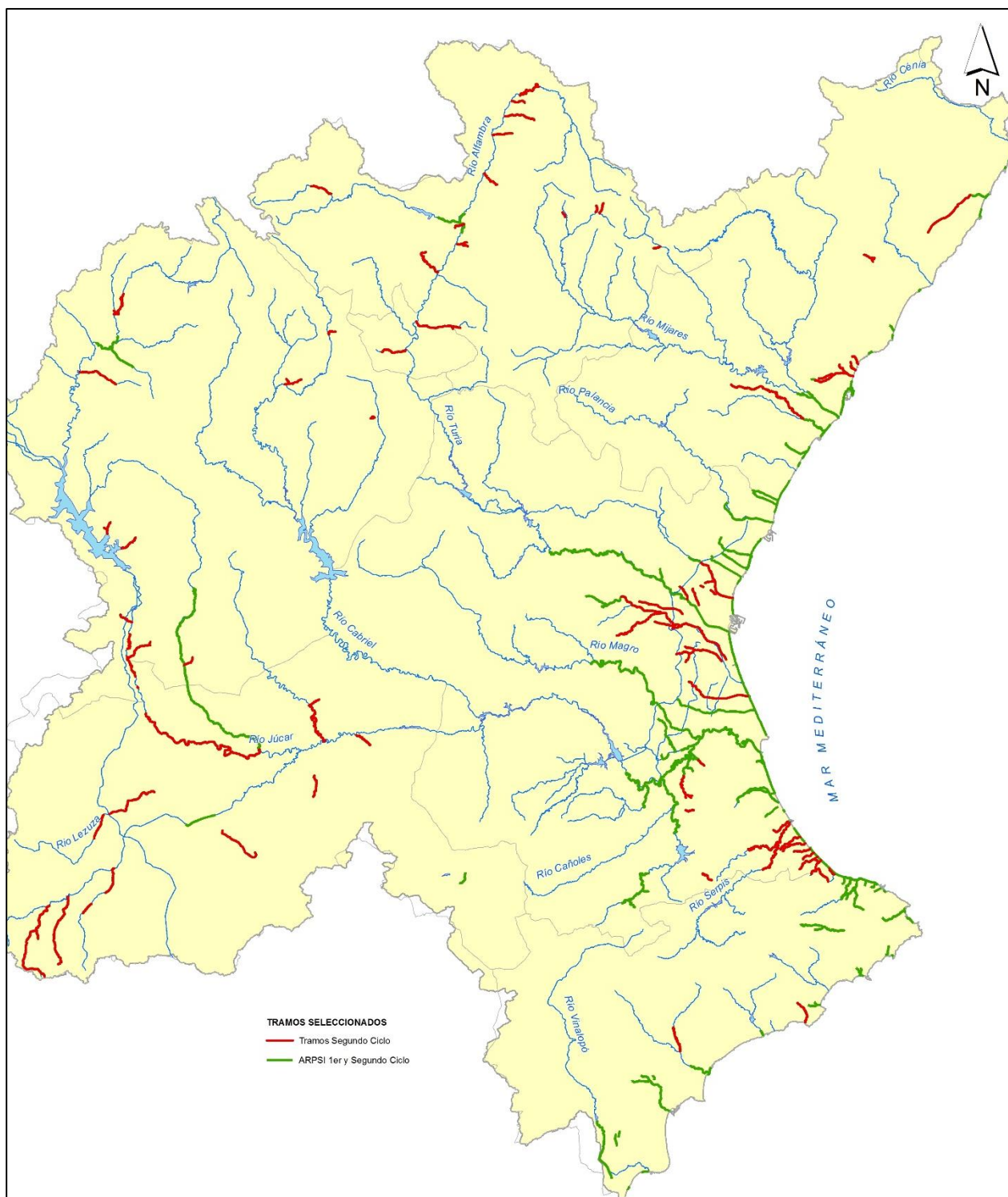


Figura 2. Tramos modelo digital del terreno DHJ.

Modelo	Código	Nombre	Longitud (km)
Ayo Cañada	ES080-0811_12	Ayo Cañada	8.54
Ayo Hoz	ES080-0811_09	Ayo Hoz	5.15
Ayo las Salinas	ES080-0811_04	Ayo las Salinas	2.46
Ayo Serval	ES080-0811_07	Ayo Serval	1.76
Ayo Valhondo	ES080-0811_05	Ayo Valhondo	4.71
Ayo Vega	ES080-0811_08	Ayo Vega	4.32
Barranquet	ES080-0008_02	Barranquet	6.94
Barranco Abdon y Senent (Jorgito)	ES080-0813_07	Barranco Abdon y Senent	3.05
Barranco Barcelo	ES080-0008_05	Barranco Barcelo	6.52
Barranco Barcheta	ES080-0014_05	Barranco Barcheta	2.88
	ES080-0811_26	Barranco Barcheta	0.85
	ES080-0811_27	Barranco Barcheta	0.43
	ES080-0811_28	Barranco Barcheta	0.85
	ES080-0811_29	Barranco Barcheta	1.60
	ES080-0811_30	Barranco Barcheta	3.85
Barranco Castellar-Rafol	ES080-0811_25	Barranco Castellar-Rafol	3.81
Barranco CoRamblalan	ES080-0813_05	Barranco CoRamblalan	4.90
Barranco de Endolsa	ES080-0813_13	Barranco de Endolsa	4.54
Barranco de La Fuente	ES080-0022_01	Barranco de La Fuente	4.06
Barranco del Castellar	ES080-0818_01	Barranco del Castellar	1.40
Barranco del Estret	ES080-0014_06	Barranco del Estret	2.20
Barranco Escorihuel	ES080-0813_04	Barranco Escorihuel	5.14
Barranco Estornes	ES080-0820_01	Barranco Estornes	2.17
	ES080-0820_02	Barranco Estornes	2.18
Barranco Gallego	ES080-0022_04	Barranco Gallego	14.90
Barranco La Cañada	ES080-0818_03	Barranco La Cañada	2.87
Barranco La Loma	ES080-0818_02	Barranco La Loma	1.87
Barranco las Suertes	ES080-0813_03	Barranco las Suertes	8.35
Barranco las Torres	ES080-0818_04	Barranco las Torres	1.80
Barranco Noguera	ES080-0811_21	Barranco Noguera	5.30
Barranco Rátils	ES080-0817	Barranco Rátils	25.93
Barranco Tramusser	ES080-0014_04	Barranco Tramusser	17.46
Barranco Villalba Alta	ES080-0813_02	Barranco Villalba Alta	3.78
Cañada de los Villares	ES080-0811_18	Cañada de los Villares	6.17
Carraixet-Palmaret	ES080-0021	Barranco Carraixet	13.80
	ES080-0814_01	Palmaret Alto	2.58
	ES080-0814_03	Palmaret Bajo	2.25
Chinchilla	ES080-0811_21	Chinchilla	12.82
Jucar	ES080-0811_13	Jucar	6.44
Poyo-Picassent	ES080-0014_01	Barranco Beniparrell	2.75
	ES080-0014_02	Barranco Beniparrell	3.78
	ES080-0014_03	Barranco Beniparrell	12.08

Modelo	Código	Nombre	Longitud (km)
	ES080-0022_02	Barranco Saleta	12.04
	ES080-0022_03	Barranco Poyo	35.48
	ES080-0022_05	Barranco Poyo	7.67
	ES080-0022_06	Barranco Poyo	0.60
Quadro de Santiago	ES080-0008_01	Barranco del Sigalero	2.77
	ES080-0025_01	Barranco la Parreta	2.79
	ES080-0025_02	Riu Sec	10.66
	ES080-0819_01	Barranco del Sol	4.04
	ES080-0819_02	Barranco de la Magdalena	3.51
Rambla Abenjibre	ES080-0811_23	Rambla Abenjibre	16.61
Rambla Alcalá	ES080-0821	Rambla Alcalá	14.71
Rambla Chartera	ES080-0813_10	Rambla Chartera	9.81
Rambla de Aldehuela	ES080-0813_09	Rambla de Aldehuela	1.74
Rambla del Rincón	ES080-0811_06	Rambla del Rincón	1.34
Rambla Fuentealbilla	ES080-0811_22	Rambla Fuentealbilla	3.12
Rambla Honda	ES080-0811_14	Rambla Honda	3.37
Rambla Tébar	ES080-0811_10	Rambla Tébar	3.81
Rambla de Villaespesa	ES080-0813_08	Rambla de Villaespesa	2.53
Río Alfambra	ES080-0813_01	Río Alfambra	9.50
Rio Arquillo	ES080-0811_17	Rio Arquillo	29.38
Rio Bohigues	ES080-0813_12	Rio Bohigues	7.25
Rio de Barcheta	ES080-0811_25	Rio de Barcheta	2.45
Rio de Riodeva	ES080-0813_11	Rio de Riodeva	13.90
Rio Guadalaviar	ES080-0813_06	Rio Guadalaviar	5.91
Rio Jijona	ES080-0803	Rio Jijona	8.38
Rio Jucar	ES080-0811_11	Rio Jucar	5.85
	ES080-0811_16	Rio Jucar	46.69
Rio Júcar	ES080-0811_15	Rio Júcar	0.44
Rio Jucar-Cabecera	ES080-0811_01	Rio Jucar-Cabecera	8.02
Río Lezuza	ES080-0811_20	Río Lezuza	22.20
Rio Mariana	ES080-0811_02	Rio Mariana	1.15
Rio Masegoso	ES080-0811_18	Rio Masegoso	20.63
Rio Mirón	ES080-0811_19	Rio Mirón	10.87
Rio Molinell	ES080-0008_04	Rio Molinell	2.26
Río San Martín	ES080-0811_03	Río San Martín	10.43
Safor Norte	ES080-0012_01	Barranco Beniopa	5.33
	ES080-0012_02	Rio Vernissa	12.29
	ES080-0012_03	Rio Serpis	19.22
	ES080-0012_04	Rio Piles	7.42
Safor Sur	ES080-0008_03	Manegueta de la Rabosa	1.70
	ES080-0011_01	Barranco La Font	4.80
	ES080-0011_02	Rio Alfadali	3.64

Modelo	Código	Nombre	Longitud (km)
	ES080-0011_03	Rambla Gallinera	6.35
	ES080-0011_04	Rio Bullent	5.72
	ES080-0011_05	Riu Revolta	5.77
	ES080-0814_02	Barranco dels Frares	0.79

Tabla 2. Tramos tratados en la DHJ.

4.2 Trabajos a desarrollar

4.2.1 Trabajos topográficos de campo

En cada uno de los diferentes cauces se han realizado los siguientes trabajos topográficos:

- Levantamiento topográfico de todas las estructuras que atraviesan el cauce transversalmente. Este levantamiento incluye:
 - Georeferenciación de la estructura.
 - Toma de datos para el levantamiento de secciones.
 - Perfil transversal del terreno.
 - Levantamiento topográfico de secciones transversales al cauce en casos necesarios.

4.2.2 Trabajos topográficos de Oficina Técnica.

En cada uno de los diferentes cauces se han realizado los siguientes trabajos:

- Clasificación de la información procedente de los datos LIDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) hasta llegar al nivel suelo.
- Caracterización del entorno del cauce a partir de ortofoto (PNOA) y análisis del .LAS con técnicas GIS.
- Vinculación de los perfiles transversales al cauce con la información LIDAR.
- Generación del Modelo Digital del Terreno.

4.3 Documentación inicial.

4.3.1 Datos LIDAR.

Características Técnicas.

La cuenca del Río Júcar se encuentra situada entre las Comunidades Autónomas de Castilla La Mancha, Aragón y Comunidad Valenciana, por lo tanto la información inicial que se ha empleado en cada una de estas dos comunidades procede de diferentes épocas y distintos tratamientos.

Las características generales de la información LIDAR contenida en el PNOA son las siguientes (Información PNOA-IGN):

- Sistema Geodésico de Referencia ETRS89.
- Toma de datos GPS y sistema inercial IMU/INS en vuelo, para el procesamiento de la trayectoria del avión.
- Registro de hasta 4 retornos para cada pulso.
- Precisión general altimétrica: error medio cuadrático RMS ≤ 0.20 metros.
- Las nubes de puntos están sometidas a un proceso de clasificación automática en el que se asigna un identificador de la clase que representa y se transforma el Datum altimétrico, pasando de alturas elipsoidales a ortométricas. Para facilitar la visualización de la nube también se asigna color verdadero RGB a partir de las ortofotos del PNOA o de imágenes tomadas en vuelos simultáneos.
- Generación de Metadatos cumpliendo con la norma internacional ISO 19115:2003, con lo que se asegura la interoperabilidad de los datos generados.

Primera cobertura

	Densidad	Precisión altimétrica de la nube de puntos	Precisión planimétrica de la nube de puntos	Precisión altimétrica del Modelo Digital del Terreno	Precisión planimétrica del Modelo Digital del Terreno
PNOA-LiDAR	0,5 p/m ²	RMSEz $\leq (0,2-0,4)$ m	RMSEz $\leq 0,3$ m	RMSEz $\leq (0,25-0,50)$ m	RMSEz $\leq 0,5$ m

Segunda cobertura

	Densidad	Precisión altimétrica de la nube de puntos	Precisión planimétrica de la nube de puntos	Precisión altimétrica del Modelo Digital del Terreno	Precisión planimétrica del Modelo Digital del Terreno
PNOA-LiDAR	1 p/m ²	RMSEz $\leq (0,15-0,2)$ m	RMSEz $\leq 0,3$ m	RMSEz $\leq 0,25$ m	RMSEz $\leq 0,5$ m

Figura 3. PNOA LIDAR

Cobertura de la información LIDAR.

La información disponible, publicada por el IGN en el momento de la ejecución del proyecto se refleja en el cuadro siguiente:

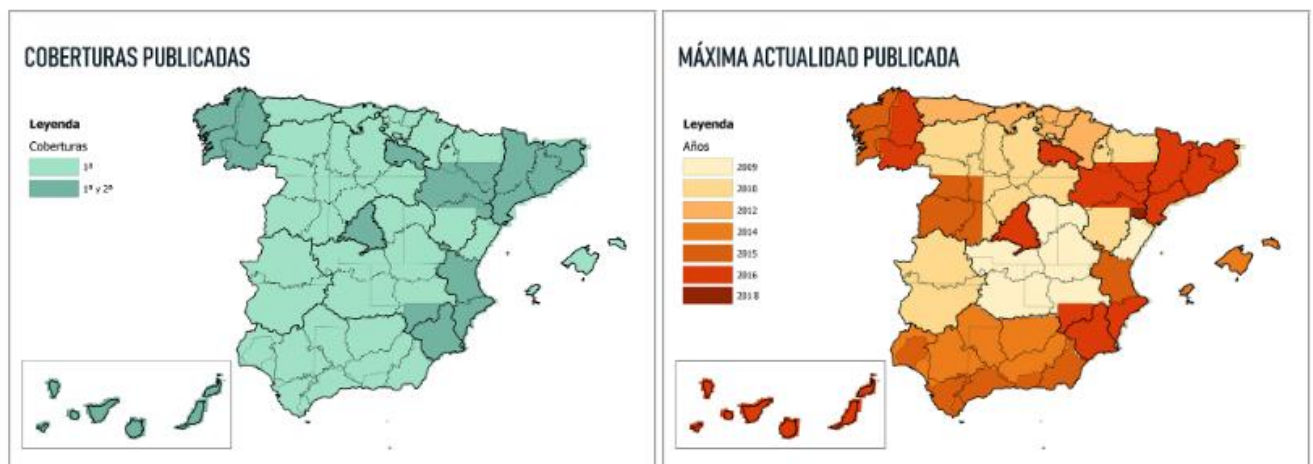


Figura 4. Cobertura Publicada (PNOA)

MÁXIMA DENSIDAD PUBLICADA

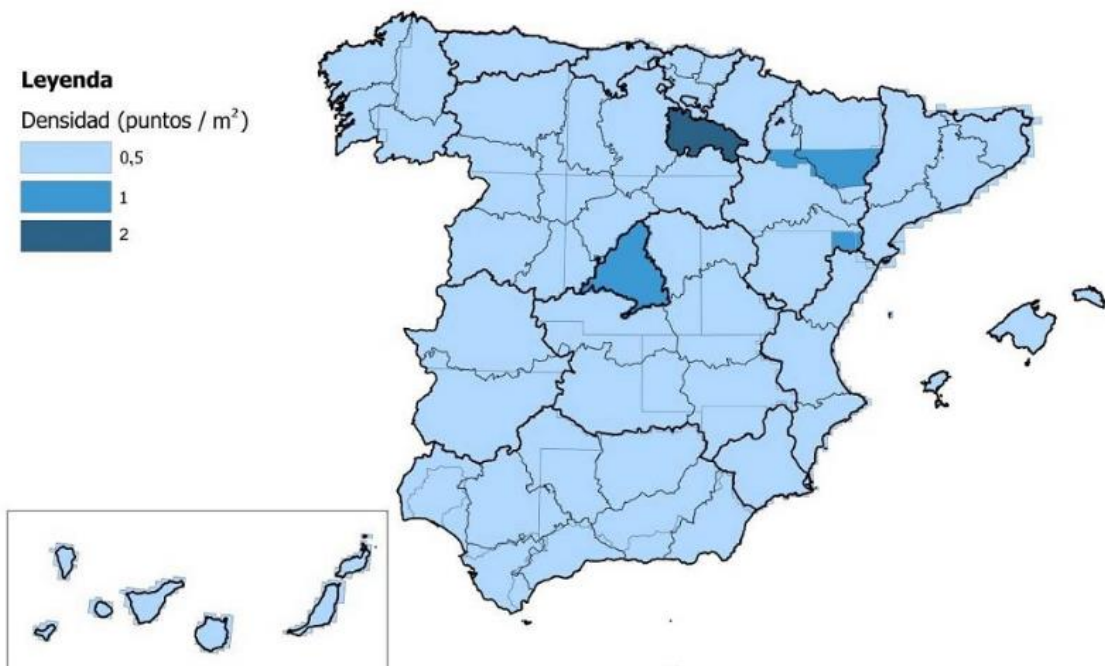


Figura 5. Máxima densidad publicada (PNOA)

Como se aprecia en los gráficos anteriores, parte de la zona de actuación se encuentra dentro de la primera cobertura (Castellón, Aragón, Cuenca y Albacete) mientras que Valencia y Alicante se encuentran dentro de la segunda cobertura.

Las especificaciones técnicas de ambas coberturas se han citado anteriormente.

4.4 Procedimientos.

4.4.1 Trabajos Topográficos.

Los trabajos topográficos, sobre el terreno, que se han efectuado, son los siguientes:

- Levantamiento topográfico de las estructuras que cruzan transversalmente el cauce.
- Toma de datos del perfil longitudinal del terreno en la ubicación de cada una de las estructuras.
- Levantamiento topográfico de azudes, estaciones de aforo...

Toma de datos sobre el terreno.

Todos los levantamientos topográficos se han efectuado empleando técnicas de posicionamiento GPS.

Para ello se han empleado receptores GPS RTK con precisión centimétrica para posterior levantamiento topográfico mediante Estación Total equipada con medición sin prisma, completando la toma de datos con distanciómetros laser.

Secciones de estructuras y obras de fábrica

A cada una de las estructuras, de cualquier tipología, que atraviesan transversalmente el cauce, se le ha efectuado una toma de datos geométricos que permitan definir su volumen constructivo.

Para ello, a partir de los puntos tomados topográficamente para su georeferenciación, se han efectuado bien acotaciones directas o bien toma de puntos topográficos sobre su paramento para construir el alzado.

Se ha realizado un reportaje fotográfico de las obras transversales levantadas.

En las fichas efectuadas para cada estructura se encuentran indicadas las características más relevantes de la estructura, su posición georeferenciada, croquis de planta y alzado y fotografías. Este trabajo se ha realizado en AutoCad.

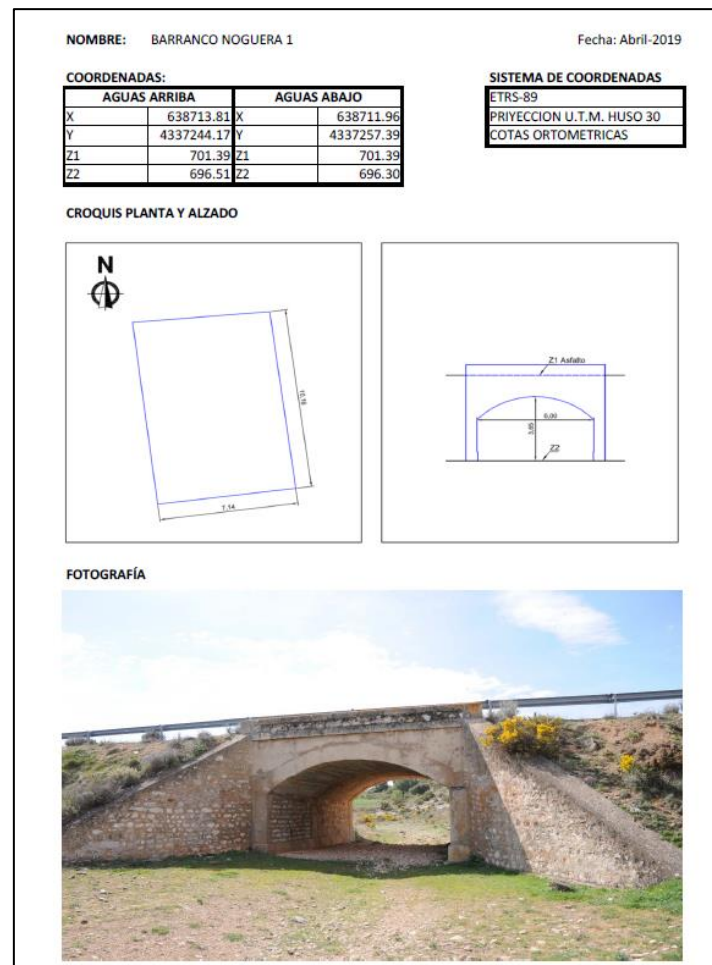


Figura 6. Ejemplo. Elaboración propia.

Perfiles transversales.

En aquellas ubicaciones en las que se ha considerado, en el caso general, necesario y en todas las estructuras, se han realizado levantamientos topográficos para obtener los perfiles transversales del terreno en cada uno de los cauces.

Los procedimientos de toma de datos han sido similares, en el caso general, exceptuando aquellos perfiles que han levantado en zonas con un flujo de agua elevado.

Los procedimientos del levantamiento han sido:

- Toma de datos del perfil transversal del río.
- En las estructuras se han efectuado los levantamientos con los mismos procedimientos. En estructuras pequeñas, accesibles, una vez definidos los tableros, se ha medido la altura desde el citado tablero al lecho del cauce en los puntos que se ha considerado definen el mismo.

Levantamientos de detalle

En algunos cauces se encuentran elementos construidos que se han considerado necesarios de georeferenciar e incluir en los modelos digitales del terreno que se generen.

En este sentido se han efectuado levantamientos taquimétricos en azudes, estaciones de aforo cualquier otro elemento representativo que se haya considerado necesario.

Cada uno de los levantamientos se ha desarrollado posteriormente en formato cad y se ha generado una ficha explicativa del elemento.

Relación de estructuras y secciones levantadas.

Número orden	Tramo modelado	Denominación	Puentes	Obras de drenaje
1	ES080_ARPS_0014-0022	Barrancos del Poyo y Picassent	88	146
2	ES080_ARPS_0014_10	Barranco de Barcheta	10	-
3	ES080_ARPS_0014_13	Tramusser	15	5
4	ES080_ARPS_0014_20	Barranco del Estrecho	1	-
5	ES080_ARPS_0011	La Safor-Sur	26	18
6	ES080_ARPS_0012	La Safor-Norte	19	12
7	ES080_ARPS_0021	Carraixet-Palmaret	-	16
8	ES080_ARPS_0025	Quadro de Santiago	6	32

Tabla 3. Obras de drenaje y puentes inventariados.

4.4.2 Trabajos de Oficina Técnica.

Los trabajos cartográficos que se han efectuado en la Oficina Técnica han sido los siguientes:

- Clasificación de los datos procedentes del LIDAR PNOA.
- Caracterización del cauce a partir análisis de ortófono (PNOA) y archivos .LAS generados.
- Implementación y fusión de la información LIDAR clasificada y los elementos topografiados para caracterizar el cauce.
- Generación del modelo digital del terreno.

Clasificación de los datos procedentes del LIDAR PNOA.

Los datos generados por un sensor LIDAR consisten en una nube de puntos definida por sus coordenadas de posicionamiento 3D.

La información que se ha empleado ha consistido en el empleo de los ficheros *.las generados en la primera y segunda coberturas efectuadas por el IGN en su proyecto PNOA.

Se ha empleado la última información disponible proporcionada por el IGN.

El formato *.las es un formato de intercambio, prácticamente universal, legible en numerosas aplicaciones técnicas para su empleo.

El resultado de una medición LIDAR será, pues, un conjunto de puntos con coordenadas en el mismo sistema de referencia que el utilizado en el GNSS que disponía el avión.

Originalmente la nube de puntos está sin tratar por lo que será necesario realizar un trabajo semiautomático de depuración. Este proceso tendrá como objetivo eliminar los puntos procedentes de objetos no deseados y seleccionarlos en función de la utilidad que se pretenda dar dentro del proyecto.

Las fases de procesamiento de la información son las siguientes:

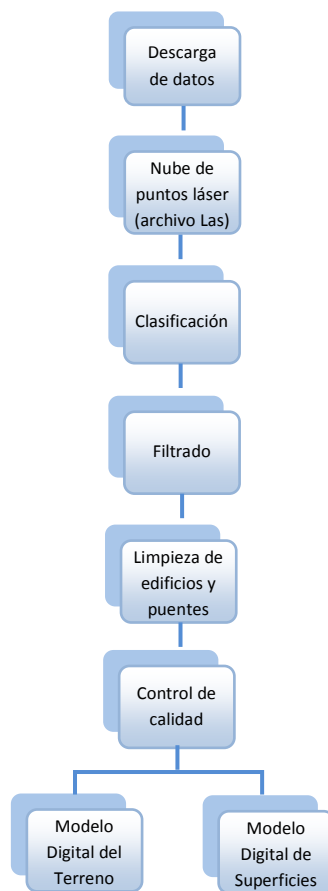


Figura 7. Fases para la obtención de MDT de detalle.

a) Descarga de datos

Se han descargado los archivos .LAZ a través del IGN, obteniendo por lo tanto la última información disponible del proyecto PNOA.

b) Clasificación

La clasificación del suelo es necesaria ya que será este nivel el que nos defina la información que afectará al análisis de la superficie de inundación teórica.

Los archivos .LAZ se exportan a formato vectorial 3D y se clasifican, extrayendo los puntos de clase 2 Ground.

En esta clasificación se han definido aquellas entidades que no se ciñen estrictamente al terreno, como por ejemplo:

- Vegetación.
- Edificación.
- Terreno original.
- Líneas eléctricas.
- Otros elementos varios.

c) Filtrado

El proceso de filtrado persigue eliminar los puntos anómalos que no han sido clasificados como suelo. Se trata de un proceso semi-automático para el que se ha utilizado la herramienta 3D Analyst tools/ Triangulated Surface/ Locate Outliers de ArcMap. Los parámetros a utilizar pueden variar según la zona, habiéndose tomado de base los siguientes:

Z tolerance: 0.7 – 1 (como mínimo), diferencia de cota a detectar.

Slope tolerance: 30 aprox

Exceed tolerance: 0.5

Outlier Cap: 100000

A continuación se han analizado los puntos que localizados como outliers para ver los que realmente se quieren eliminar, ya que a veces la herramienta localiza puntos en los taludes de las carreteras o en barrancos, que si se eliminan pueden modificar sustancialmente el MDT. Por tanto, en la capa de outliers se deben quedar los puntos que sean anómalos y deban eliminarse del modelo.

Una vez se han verificado los puntos localizados como outliers, se eliminan los puntos localizados mediante selección por localización.

Caracterización del cauce.

La información procedente de la nube de puntos LIDAR tiene un proceso de clasificación que será menos preciso en aquellas zonas en que haya una abundante vegetación.

En las riberas de los diferentes cauces la vegetación, bien en forma de arboleda de monte alto o vegetación de cañizo, se acumula de modo muy frondoso. Por lo tanto, estas zonas serán las más complejas de clasificar de un modo preciso.

Para definir con mayor criterio el entorno del río en zonas complejas con abundante vegetación se ha apoyado el análisis cartográfico con el análisis de ortofoto área, procediendo a la definición de secciones de cauce de apoyo y posterior modelado mediante Civil 3D de Autodesk.

d) Limpieza de edificios y puentes

El MDT en estado natural no debe incluir los edificios ni los puentes, por lo que se ha procedido a eliminarlos del MDT. De este modo se tendrá un MDT sin edificios ni puentes y un MDT que incluye solamente los edificios.

Para la limpieza de edificios se ha utilizado el siguiente procedimiento:

- Se ha utilizado la capa de edificios del BCN25 del IGN y los datos del catastro para localizar los edificios.
- Se han seleccionado los puntos dentro de la capa vectorial de polígonos que definen los edificios, guardándolos en otra capa vectorial independiente para no perder la información.
- Se han eliminado estos puntos seleccionados para eliminar los edificios del MDT.

Se han localizado los puentes con apoyo de cartografía existente, eliminando los puntos correspondientes para corregir el MDT.

e) Control de calidad

Se ha realizado un control de calidad que permite detectar errores y anomalías con ayuda de las herramientas LAS DATASET incluidas en ArcMap. Adicionalmente, en los casos necesarios se han realizado correcciones sobre los MDT generados durante la fase de modelación hidráulica.

f) Generación del Modelo Digital del Terreno (MDT)

Como se ha indicado en los apartados anteriores, disponemos de una información, en forma de nube de puntos, que es una información discreta, que será necesario transformar a una información de tipo continuo para poder obtener información de cualquier punto en el espacio.

Con el archivo vectorial de puntos limpio se genera un TIN usando como líneas de contorno el contorno del estudio y las capas de los edificios del BCN25.

5 Estudio hidrológico

La estimación de los caudales en cada ARPSI es el paso previo al estudio las inundaciones derivadas del desbordamiento de ríos y otros cauces o corrientes debidos a episodios de lluvias intensas que pueden derivar en inundaciones fluviales.

La metodología seguida para la revisión y actualización de los estudios hidrológicos correspondientes a las ARPSI en estudio sigue la línea de los métodos y criterios recogidos en la *Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables* (MARN, 2011). Dicha metodología se adaptó a las características de la DHJ y a la disponibilidad de datos. Se ha empleado el modelo de simulación precipitación-escorrentía HEC-HMS¹ que constituye una evolución del clásico modelo HEC-1, y que ha sido profusamente empleado en estudios hidrológicos en todo el mundo. Para los casos del Barranco del Poyo, Picassent y Carraixet, dada su singularidad y complejidad se ha empleado el modelo hidrológico distribuido Tetis (Francés et al., 2007) desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia que permite reproducir la variabilidad espacial del Ciclo Hidrológico y establecer modelos a diferentes escalas temporales.

5.1 Modelo HEC-HMS

5.1.1 Caracterización fisiográfica e hidrológica

Uno de los trabajos principales a acometer dentro del estudio topológico previo a cualquier simulación hidrológica del sistema de drenaje, consiste en el desarrollo de un modelo digital de elevaciones (DEM) capaz de identificar y caracterizar coherentemente la red de escorrentía existente.

A continuación se desarrollan los trabajos llevados a cabo para la caracterización topológica de la cuenca drenante y la posterior obtención de los parámetros requeridos en la implementación del modelo hidrológico.

5.1.1.1 Análisis topológico mediante GIS

El estudio topológico se basa principalmente en el análisis e interpretación de la topografía a partir de un Modelo Digital del Terreno -en adelante MDT-, así como de la información temática disponible. El análisis y la obtención de resultados de todo este proceso se efectúa a partir de asistentes GIS (*Geographical Information System*).

Las necesidades de información de partida para poder realizar el estudio topológico se limitan por un lado a conocer la cota en todos los puntos del territorio que se van a analizar, lo que supone disponer del MDT. En esencia, un MDT consiste en una discretización del territorio en celdas de una determinada superficie, a cada una de las cuales se le asigna un valor representativo de la cota del terreno comprendido dentro de ella.

¹ HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System), elaborado por el U.S.A.C.E. (US Army Corps of Engineers).

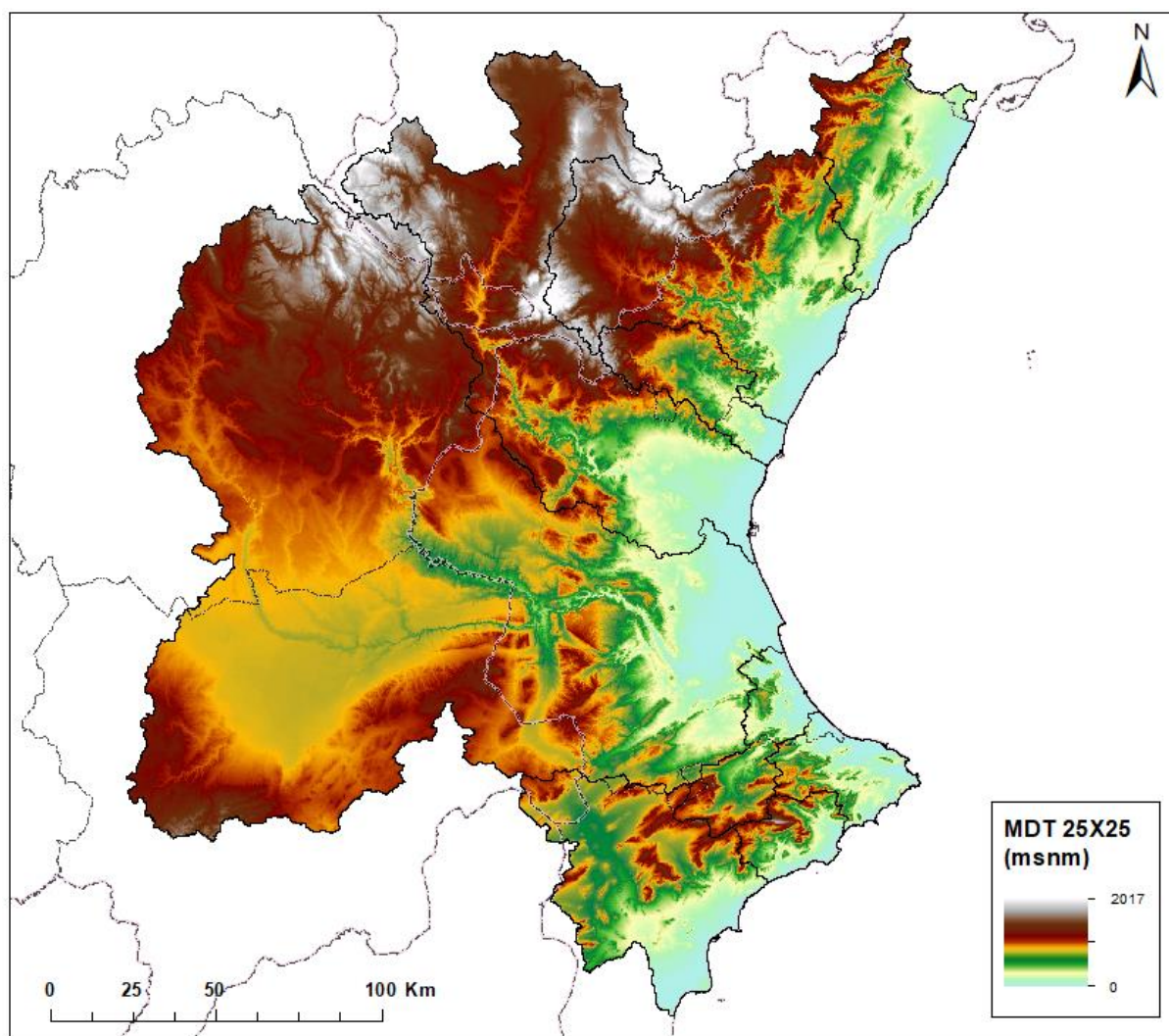


Figura 8. MDT de la DH del Júcar.

En el momento de realizarse estos trabajos, se disponía de un MDT² de resolución 25x25 m y que abarcaba todo el ámbito de la DHJ. La fiabilidad del modelo en la reproducción del relieve está condicionada por el tamaño de celda elegido puesto que, cuanto menor sea la celda (es decir, cuanto mayor sea la resolución), más fielmente se reproducirá la realidad. La precisión correspondiente a la escala de los datos empleados indica un considerable nivel de detalle, por lo que se entiende que el modelo es adecuado a los fines para los que se ha empleado.

A partir del MDT, la delimitación de la cuenca vertiente al punto de concentración elegido se efectúa a través de un procedimiento de cálculo automático que incorpora el GIS empleado, y que se fundamenta en la determinación de las direcciones de flujo que se establecen entre celdas contiguas del modelo. De esta manera se agrupan las celdas cuyos flujos se van acumulando, deduciéndose tanto la red de drenaje como la correspondiente división del territorio en subcuencas.

² MDT25 2015 CC-BY 4.0 ign.es. Modelo Digital del Terreno - MDT25. Centro Nacional de Información Geográfica, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

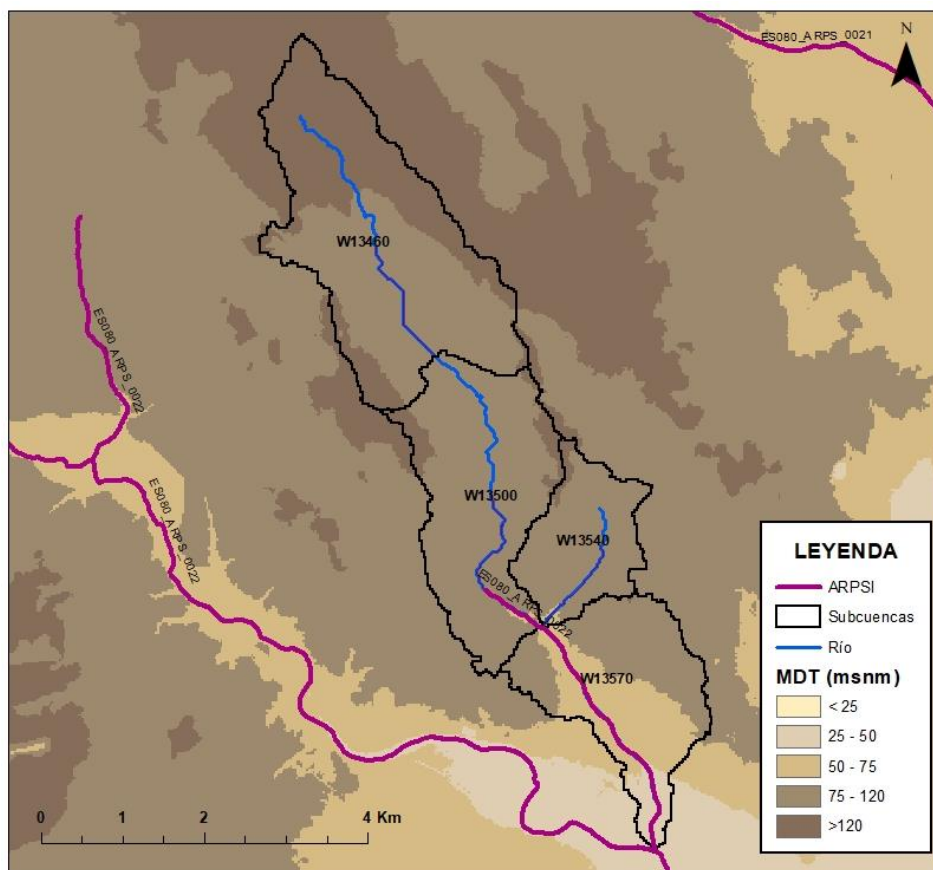


Figura 9. Ejemplo de análisis topológico.

Como resultado de este análisis, el territorio queda dividido en una serie de subcuencas, definidas de tal forma que la cuenca objeto del estudio sea la envolvente de todas ellas, coincidiendo con la cuenca definida por el punto de concentración correspondiente a cada una de las ARPSI en estudio. El modelo de cada cuenca se compone por agregación de estas subcuencas en otras que sean representativas del funcionamiento del sistema de drenaje.

Obtención de los parámetros físicos

Como se mencionó anteriormente, para la obtención de los parámetros físicos característicos de cada cuenca se ha empleado un GIS, el cual permite exportar los resultados del análisis fisiográfico de las cuencas al modelo hidrológico.

El uso de una herramienta como el GIS para el análisis fisiográfico de cuencas hidrológicas facilita la obtención de cada uno de los parámetros físicos de las mismas (longitudes de cauce, cotas máxima y mínima, pendiente media por subcuenca, etc.) de forma semiautomática, así como su distribución espacial.

5.1.1.2 Obtención de los parámetros hidrológicos

Para la estimación de la magnitud de un evento hidrometeorológico extremo, es necesario conocer, cuáles son los principales factores causantes de tal evento. Éste es uno de los objetivos fundamentales de la modelación hidrológica, en la cual se analizan los procesos de transformación de la precipitación en escorrentía, de acuerdo con las condiciones climáticas

y las características físicas de la cuenca. En tal sentido, el modelo hidrológico que se establece, como representativo de la realidad, es una hipótesis a ser testeada y la herramienta que refleja este modelo debe ser completamente flexible, transparente y hecha a medida (Savenije, 2009).

Una vez obtenidos los datos físicos de cuenca se obtienen los parámetros hidrológicos que es necesario suministrar al modelo para el cálculo de los hidrogramas de avenida. Para ello, es necesario determinar previamente las metodologías de cálculo a emplear que, en este caso han sido:

- Modelo de producción:
 - Número de Curva del SCS³
 - Parámetro: NC
- Modelo de transformación:
 - Hidrograma Unitario del SCS
 - Parámetro: lag
- Modelo de tránsito por la red de drenaje:
 - Método de Muskingum-Cunge / Muskingum
 - Parámetros: secciones transversales, n

Así pues, los métodos de obtención de estos parámetros necesarios para la caracterización hidrológica han sido los siguientes:

Número de Curva (NC)

Una vez definidas las cuencas y subcuencas deducidas del estudio topológico para la zona de estudio, se ha procedido a la obtención del parámetro hidrológico Número de Curva (NC) de cada subcuenca de la zona de estudio. Dicho parámetro se encuentra tabulado por el SCS en función de los usos del suelo y del grupo hidrológico del suelo.

No obstante, en la franja costera de la DHJ se dispone de una capa SIG del umbral de escorrentía (P_0 , mm) elaborada por TYPESA obtenida tal y como se desarrolla a continuación. Esta capa no cubre la totalidad de la cuenca, por lo que en aquellos casos en los que no se ha dispuesto de estos valores se han utilizado los recogidos en la aplicación CauMax (CEDEX, 2011).

Determinación de los umbrales de escorrentía (P_0)

Uno de los métodos más extendidos y experimentados de los modelos de infiltración es el del Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos (McQueen, 1982).

³ Soil Conservation Service, dependiente del United States Department of Agriculture. Actualmente se denomina Natural Resources Conservation Service.

El umbral de escorrentía (P_0) es el único parámetro necesario para evaluar la infiltración según la expresión propuesta por el SCS. Depende de cuatro variables que engloban buena parte de las características físicas de la zona de estudio:

1. Tipo de suelo, atendiendo con especial interés a la capacidad drenante del terreno.
2. Cubierta del suelo
3. Pendiente del terreno
4. Condiciones previas de humedad del complejo suelo-vegetación

La relación entre el umbral de escorrentía y las tres primeras variables es de tipo tabular; los valores de umbral de escorrentía así calculados deben corregirse en función de la cuarta variable; a tal efecto, el SCS define tres estados previos de humedad del suelo, en función de la precipitación total de los cinco días anteriores, que determinan el factor corrector del P_0 obtenido anteriormente.

Para la determinación del parámetro P_0 en la zona costera de la DHJ se emplearon las tablas adaptadas de las del *Soil Conservation Service* para condiciones previas de humedad de suelo de tipo medio (Ferrer, 1993), de forma que mediante la superposición de los mapas correspondientes de cada una de las variables de las que depende; en la actualidad mediante la utilización de sistemas de información geográfica, este tipo de operaciones espaciales se puede realizar de forma automática y con mayor precisión.

Información de partida:

La información considerada para la obtención de los umbrales de escorrentía P_0 es la siguiente:

- i. Cubierta de suelo: Mapa en formato ARCInfo de usos del suelo del Proyecto Corine Land Cover 2000.
- ii. Litología – Permeabilidad: Mapa de litologías en formato shape de la Comunidad Valenciana a escala 1:50.000.
- iii. Pendientes del terreno: Obtenidas a partir de un modelo digital de elevación de terreno de 20x20 m, calculado a partir de curvas de nivel y puntos de cota de la cartografía a escala 1:10.000 de la Conselleria d'Infraestructures i Transport.

El proceso seguido para la obtención de los umbrales de escorrentía (P_0) fue el siguiente:

Generación de las capas de información de cada uno de los atributos.

En el caso del mapa relativo a la litología, se ha generado la topología de permeabilidades, clasificando los distintos polígonos de la región analizada de acuerdo a los criterios propuestos por el SCS para determinar el umbral de escorrentía, según la adaptación de la Figura 11.

Para el caso de los usos del suelo se genera la topología de cobertura clasificando los distintos polígonos analizados según la clasificación de la Instrucción 5.2 IC y Ferrer Polo.

En el caso de las pendientes del terreno, se hizo uso de un mapa de pendientes clasificado a efectos de la capacidad de infiltración del terreno (en celdas con valor de pendiente inferior o superior al 3%), construido a partir de un modelo digital de elevación del terreno de resolución 20x20 m.

En un campo de la base de datos asociada a cada uno de los ficheros de polígonos mencionados, creado a tal efecto, se asigna a cada tipo de suelo, uso y pendiente topográfica, un número primo distinto. De modo que, dada la peculiaridad de los números primos, es decir que el producto de los mismos siempre resulta un número diferente, son identificables todos los polígonos que comparten igual uso, tipo y pendiente del terreno, al que va unido el valor del umbral de escorrentía.

Por intersección de las coberturas de usos del suelo, litología y pendientes con las de delimitación de cuencas, se obtienen estos productos y las superficies de la cuenca ocupadas por ellos, que a su vez lleva asignado un valor de umbral de escorrentía.

Como paso final, el valor de umbral de escorrentía asignado a cada cuenca hidrológica se obtiene por promediación areal de los valores del umbral correspondientes a cada polígono de territorio contenido en dicha cuenca tal y como se refleja las figuras adjuntas.

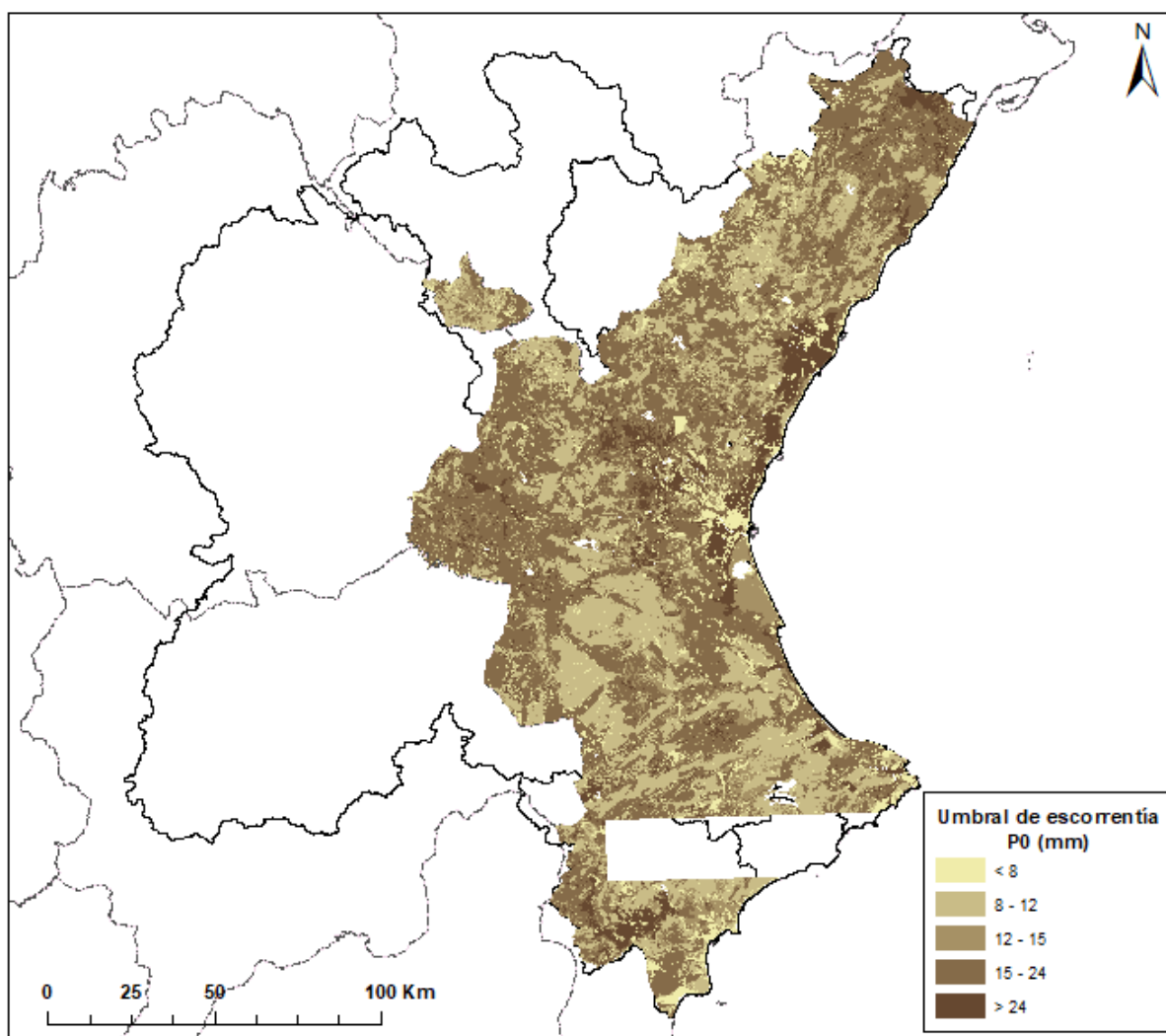


Figura 10. Umbral de escorrentía P_0 (mm).

Estos valores pueden ser transformados en Número de Curva mediante la relación:

$$NC = \frac{5080}{P_0 + 50,8} \quad (\text{Ferrer, 2003})$$

Donde NC representa el número de curva y P_0 el umbral de escorrentía.

Para generalizar los resultados obtenidos, se calculan los valores medios ponderados por área de ambos parámetros para cada una de las subcuencas consideradas, según la expresión:

$$X = \frac{\sum_i X_i \cdot A_i}{\sum_i A_i}$$

Donde X_i representa el valor de la variable, en este caso P_0 y NC, en la superficie A_i .

El umbral de escorrentía P_0 caracteriza la precipitación mínima (en mm) que debe caer sobre la cuenca para que se inicie la generación de escorrentía. Depende, por tanto, del tipo de suelo existente (véase la Figura 4), modificado por los usos que se desarrollan sobre el mismo. Así, las zonas con bajos valores pueden ser debidos a usos urbanos, zonas con escasa vegetación, superficies de agua (estas tienen valor 0), etc. Las zonas con altos valores se pueden dar en bosques, cultivos de regadío (frutales, cultivos anuales...), playa y dunas (estas tienen valor 152), etc.

Según la Memoria Técnica de CauMax, el umbral de escorrentía P_0 se ha “elaborado siguiendo la metodología utilizada en la Tesis doctoral “Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva del modelo hidrológico del SCS: Datos de perfiles de suelos y teledetección” (Ferrer, 2003), a partir del mapa de usos de suelo Corine Land Cover 2000 y datos de infiltración actualizados”.

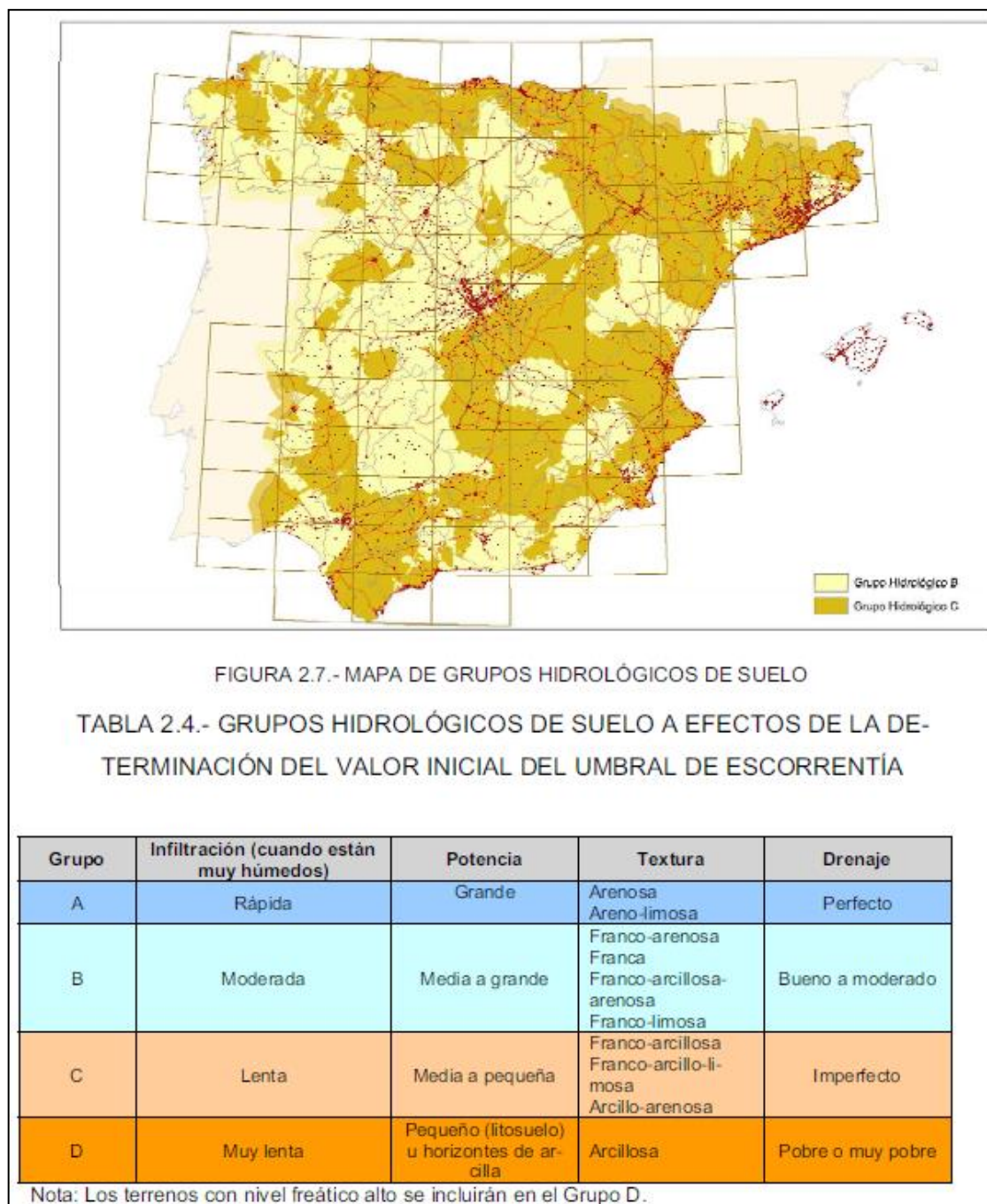


Figura 11. Grupos y distribución de los grupos hidrológicos de suelo que determinar el umbral de escorrentía. Fuente: Norma 5.2-IC de drenaje superficial

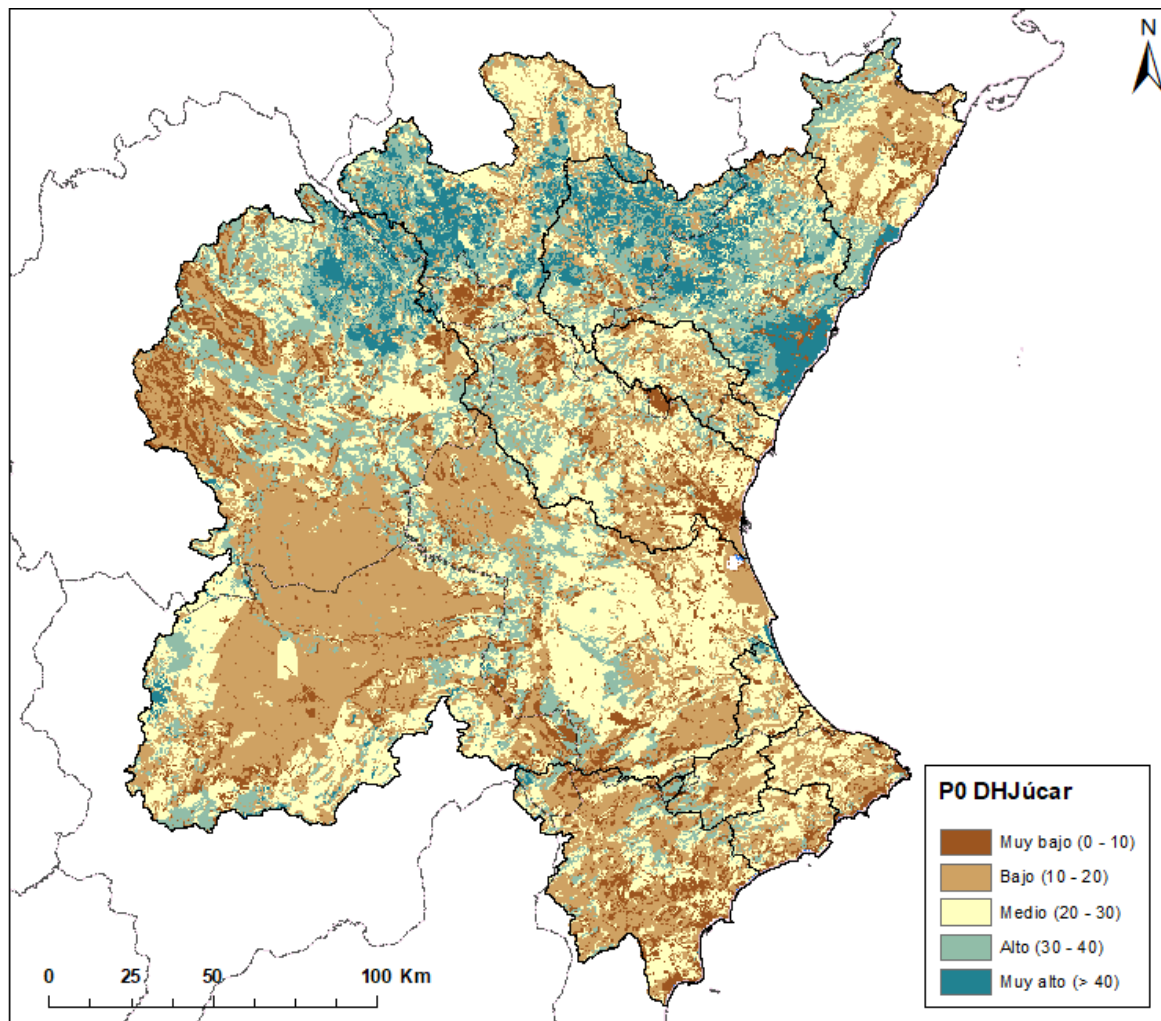


Figura 12. Umbral de escorrentía (P_0) en la DH Júcar.

Tiempo de concentración (T_c)

Se define el tiempo de concentración como “el tiempo necesario para que, con una lluvia neta uniforme, la totalidad de la cuenca contribuya al hidrograma de escorrentía superficial” (Ferrer Polo, 2000). Es decir, es el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida de la cuenca la última gota que cae en el punto hidrológicamente más alejado.

La formulación original propuesta por Témez se ha destacado por ser la que mejor se ajusta al comportamiento de los ríos españoles, quedando definida como se muestra a continuación:

$$T_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{j^{1/4}} \right)^{0,76} \quad (\text{Témez, 1987})$$

donde:

- L = Longitud del cauce principal, en km
- j = Pendiente del cauce principal, en m/m

En la determinación de los tiempos de concentración se han aplicado nuevamente las

herramientas GIS, empleándose para ello el MDT ya mencionado.

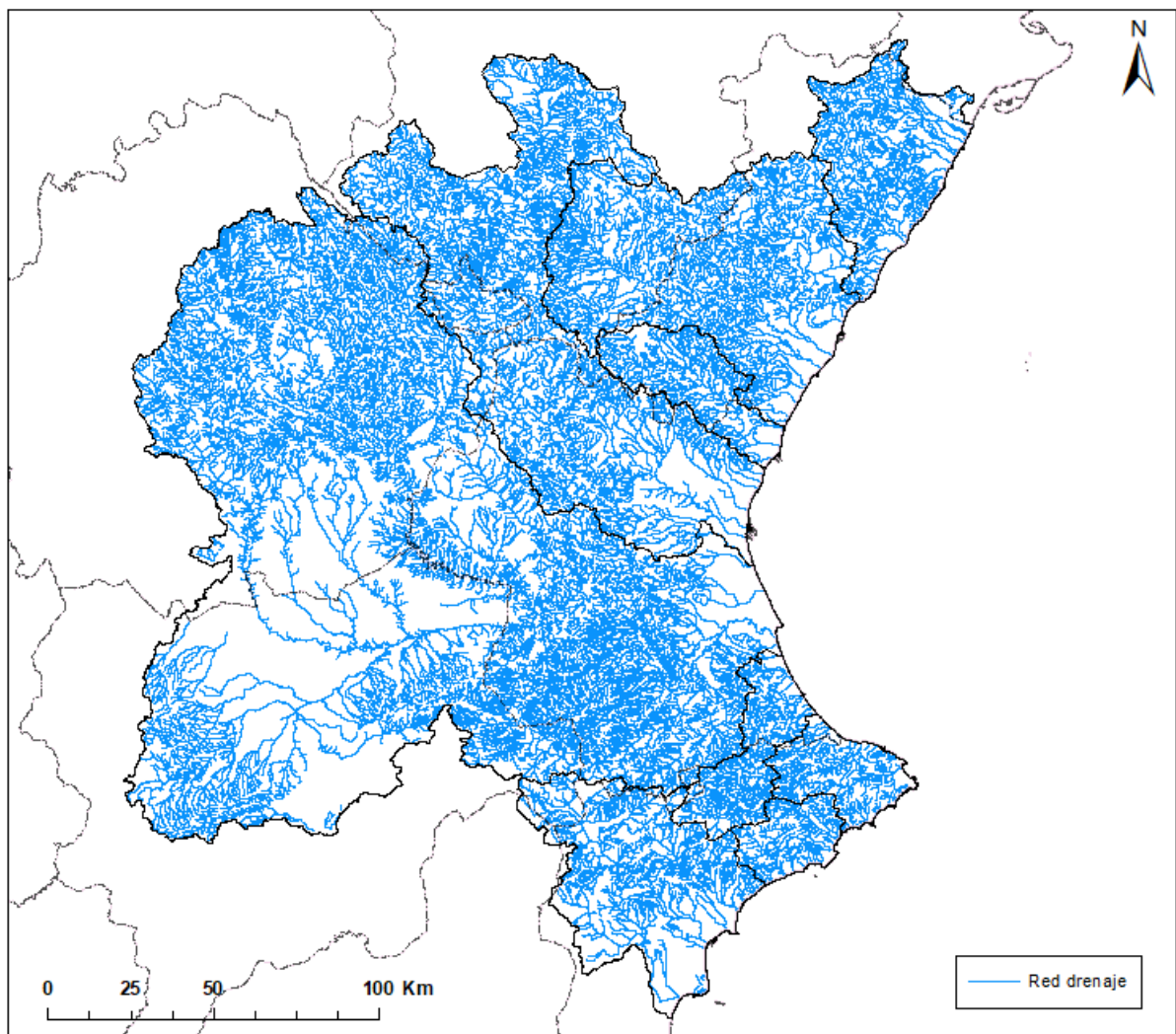


Figura 13. Red de drenaje de la DH Júcar.

Para ello se procede a la identificación en cada subcuenca del cauce principal, extrayéndose su longitud y las cotas superior e inferior, hallándose primero la pendiente del tramo y luego el tiempo de concentración correspondiente.

Tiempo de desfase de la punta (Tgp)

El tiempo de desfase de la punta (Tgp o “Lag” del Hidrograma Unitario) puede definirse como el intervalo de tiempo “existente entre el centro de gravedad del hietograma neto y el tiempo en que se produce el máximo valor del caudal” (Ferrer Polo, 2000).

La relación existente entre los tiempos de concentración y de desfase suele presentarse de forma proporcional. En concreto, Ferrer Polo propone la siguiente relación:

$$T_{gp} = 0,35 \cdot T_c$$

Siendo Tc el tiempo de concentración calculado mediante la fórmula de Témez.

Propagación de los hidrogramas

En cuanto al método de propagación de la onda de avenida en los cauces, los métodos elegidos han sido el de Muskingum y Muskingum-Cunge de 8 puntos, de forma que se realiza un análisis con ambos métodos comparando resultados y seleccionado aquel que más se ajusta al funcionamiento hidrológico de la cuenca de estudio.

Para el método más complejo correspondiente a Muskingum – Cunge se han obtenido una serie de perfiles transversales del terreno, simplificados a una geometría irregular definida por 8 puntos de la siguiente manera:

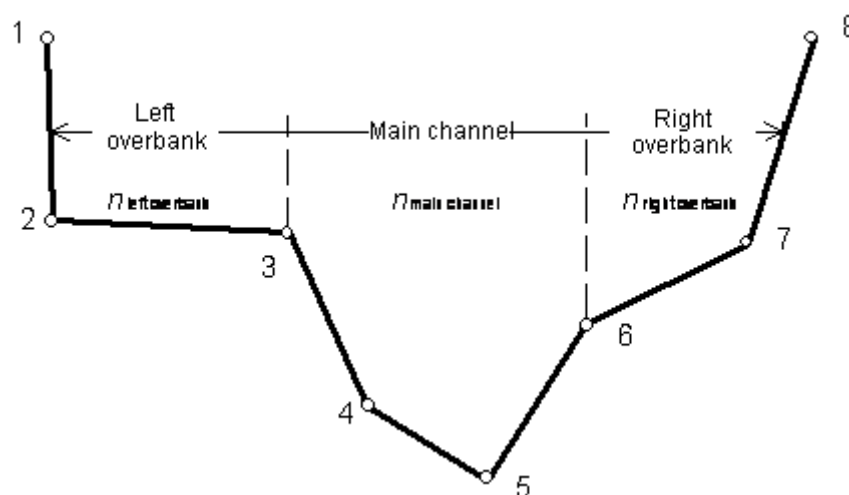


Figura 1. Definición de la sección transversal mediante 8 puntos (pares x,y).

Fuente: HEC-HMS, manual técnico de referencia.

Estas secciones se toman sobre el MDT definido anteriormente, así como la pendiente correspondiente a cada tramo. Como coeficiente de rugosidad en los cauces se ha considerado un valor para el número “n” de Manning uniforme e igual a 0,04, correspondiente a cauces naturales curvados con bancos y en línea con lo recomendado en la Guía Metodológica (MARM, 2011).

5.1.1.3 Caracterización pluviométrica

Otro de los pasos fundamentales a la hora de modelizar la respuesta hidrológica consiste en la caracterización de la precipitación existente en la zona. En este caso, al tratarse de un estudio de avenidas, se requiere conocer los valores extremos de las lluvias, con el fin de estimar los máximos caudales previsibles.

Cantidad de lluvia

Como parámetro fundamental se tomaron las precipitaciones máximas en 24 horas, para los periodos de retorno de cálculo. Los valores correspondientes a cada cuenca se hallaron a partir de la distribución de dicha variable en las capas facilitadas por CauMax, mediante la media ponderada por área. De acuerdo con la Memoria Técnica de CauMax, *“los valores de las precipitaciones máximas diarias se obtuvieron mediante los mapas de precipitación*

elaborados a partir del trabajo de *Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular realizado por el CEDEX para la Dirección General de Carreteras (DGC, 1999)*”.

En la Figura 14 se presenta la distribución de las máximas lluvias diarias para un periodo de retorno de 10 años. Para la DH Júcar, los valores de precipitación máxima diaria para 10 años de periodo de retorno muestran un máximo de 203 mm y un mínimo de 53 mm. En general, son valores medios (por encima de 70 mm en la mayor parte de la Demarcación), dándose los máximos en toda la franja costera.

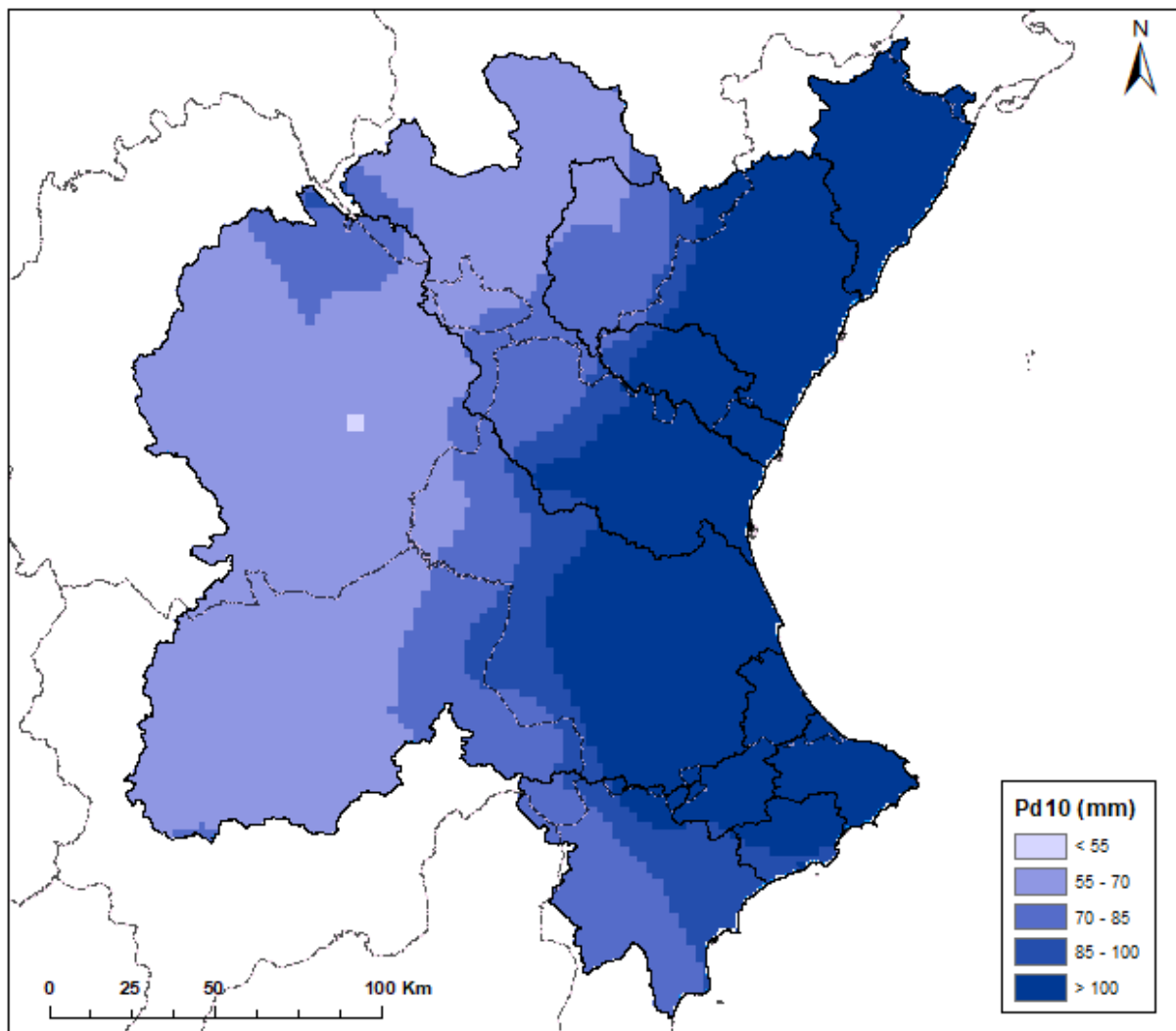


Figura 14. Figura 2. Precipitación máxima diaria para un periodo de retorno de 10 años en la DHJ.

El siguiente paso corresponde a la transformación de estas precipitaciones máximas distribuidas en precipitaciones areales, con el fin de tener en cuenta el efecto de no simultaneidad de las precipitaciones en toda la cuenca. Para ello se aplicó el factor reductor por área de Témez K_A :

$$K_A = 1 - \frac{\log S}{15} \text{ si } S > 1 \text{ km}^2, \text{ y}$$

$$K_A = 1 \text{ en caso contrario}$$

La altura final de lluvia en un día a considerar en los modelos será, para cada cuenca, la calculada según la expresión:

$$P'd = K_A \cdot Pd$$

Distribución temporal de la lluvia

Una vez caracterizada la cantidad de lluvia a considerar en el modelo de cada cuenca (P'd) se procedió a hallar el patrón de distribución de ésta en el tiempo. Se puede relacionar el valor de la intensidad máxima diaria con la de cualquier periodo de tiempo, a partir de la expresión IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) de Témez:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1} - t^{0,1}}{28^{0,1} - 1}} \quad (\text{Ferrer Polo, 2000})$$

Donde:

- t es la duración de cálculo elegida, expresada en horas, y
- la relación I_1/I_d es el factor de torrencialidad de la zona en estudio.

El índice o factor de torrencialidad I_1/I_d representa la relación entre la intensidad de precipitación correspondiente a 1 hora de duración (I_1) y la intensidad de precipitación diaria (I_d). Es un valor adimensional y constante, que no depende del periodo de retorno considerado. CauMax facilita una capa de distribución obtenida a partir del mapa de isóneas propuesto por Témez (1987).

Sus valores varían entre 8 y 11, dándose el valor más elevado (11), es decir, el que tiene una mayor torrencialidad (y, por tanto, más riesgo), en la zona este peninsular. En el ámbito de la DH Júcar, el factor de torrencialidad es variable entre 10 y 11. Son valores altos respecto al resto de España.

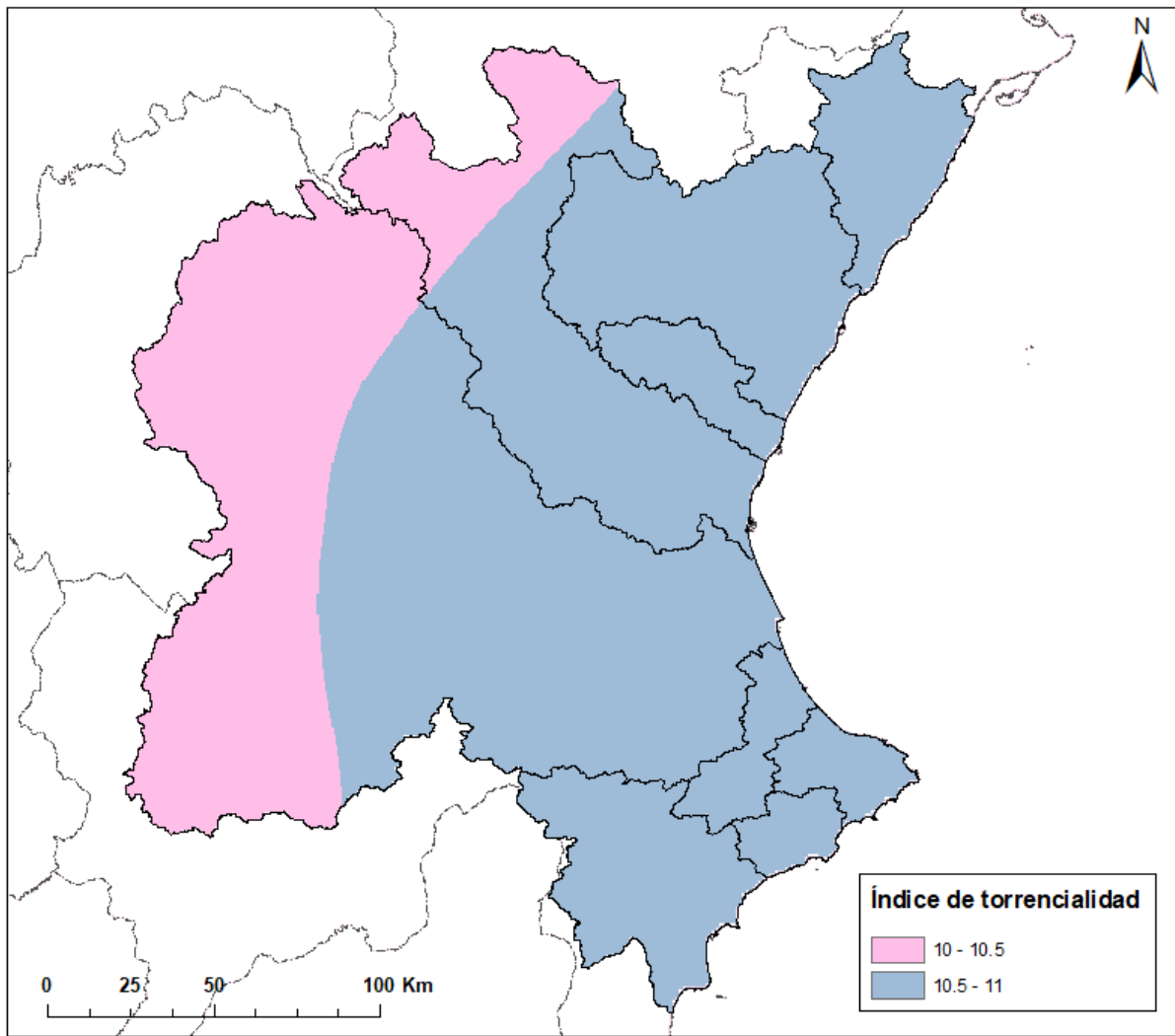


Figura 15. Figura 3. Índice de torrencialidad ($I1/I_d$) en la DH Júcar.

Una vez determinado el índice de torrencialidad y la duración de la lluvia, se procede a hallar los hietogramas sintéticos por el método de bloques alternos. Así, aplicando la fórmula de la IDF para distintos intervalos, se construyen los hietogramas sintéticos, situando la precipitación máxima en el centro y alternando el resto de intervalos, en orden decreciente, a izquierda y derecha del mismo. Estos hietogramas sintéticos se calcularon para una altura de lluvia genérica de 100 mm, ya que únicamente se emplearon como patrón de distribución, y no como hietograma.

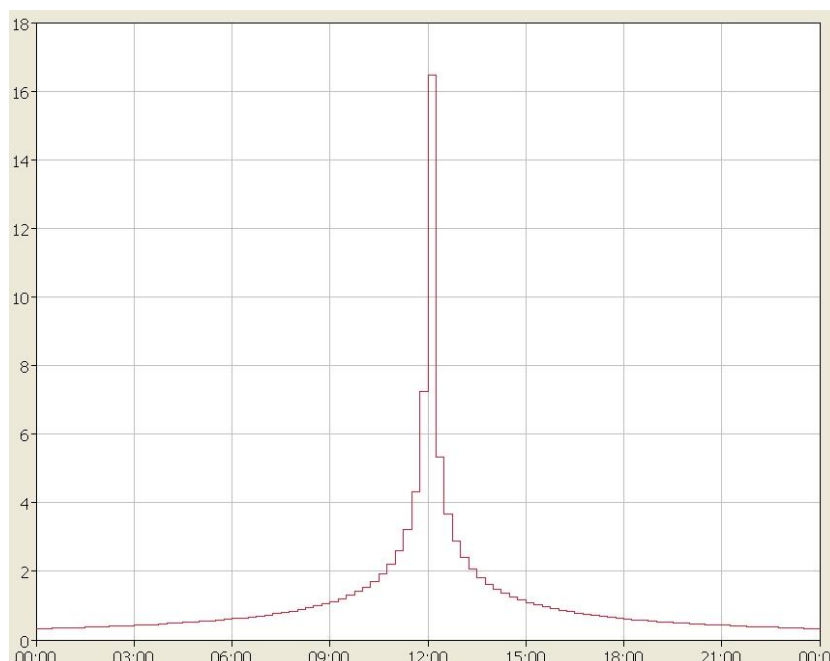


Figura 16. Figura 4. Hietograma sintético para una lluvia de 24 h de duración y $P_d=100\text{mm}$.

5.1.2 Cálculo de caudales

Para la determinación de los hidrogramas de avenida se ha empleado el modelo HEC-HMS⁴. El modelo HEC-HMS, del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S.A.C.E.), es un desarrollo del clásico modelo hidrológico HEC-1. Se trata de un modelo hidrometeorológico semidistribuido que simula el proceso precipitación-escorrentía en cuencas compuestas.

Los distintos modelos incluidos en este trabajo se desarrollaron según la metodología definida en los siguientes apartados a partir de los parámetros hallados en el capítulo 4.

5.1.2.1 Modelo de cuenca

Modelo fisiográfico

El modelo fisiográfico de la cuenca o *Basin Model* se crea a partir de los resultados obtenidos en el análisis topológico. Consiste en la construcción de un modelo de la estructura funcional de la red de drenaje, a partir de elementos conectados entre sí y que representan los distintos procesos hidrológicos, como son:

- *Subbasin* o subcuenca, superficie de captación de la lluvia y generación de escorrentía a partir de la lluvia neta.
- *Reach* o tramo de cauce, que conduce el agua y tiene un efecto laminador en el hidrograma debido a la propagación por el propio cauce.

⁴ HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System), elaborado por el U.S.A.C.E. (US Army Corps of Engineers).

- *Junction* o confluencia, nodo de conexión de otros elementos.
- *Sink* o sumidero, situado generalmente al final del modelo para identificar el punto de salida.

En este punto, los parámetros que pueblan el modelo son de tipo físico: área en las subcuencas y longitud y pendiente de los tramos de cauce.

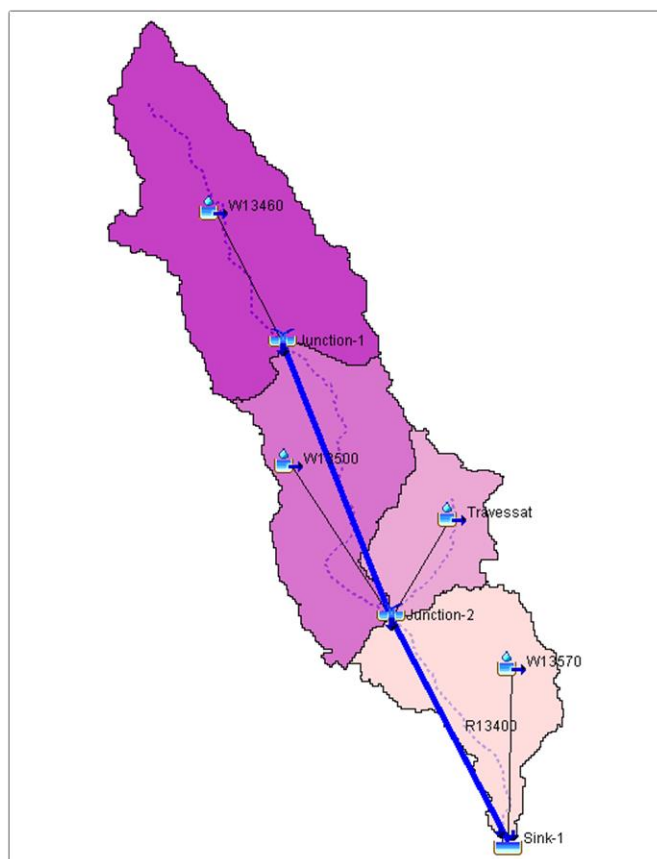


Figura 17. Ejemplo de Basin Model.

Modelo de producción

El modelo de producción simula el proceso físico por el cual parte de las precipitaciones no llegan a generar escorrentía superficial, ya sea por quedar retenidas o por infiltrarse en el terreno. Desde el punto de vista de la escorrentía esta agua se pierde, denominándose, por tanto, pérdidas.

En este caso se procedió a la caracterización de las pérdidas mediante el método del número de curva del SCS, que permite reflejar la variación de la velocidad a la que se producen las pérdidas a lo largo del aguacero. Así, al comienzo de la lluvia no se genera escorrentía, ya que las precipitaciones se invierten en mojar el complejo suelo-vegetación. A medida que progresa la lluvia, se llega a superar la capacidad de interceptación de la lluvia, el almacenamiento en las depresiones del terreno y la tasa de infiltración en el suelo, generándose escorrentía superficial. No obstante, la tasa de infiltración es variable a lo largo del aguacero en función de la intensidad de la lluvia, aumentando hasta alcanzarse su capacidad máxima, momento a partir del cual se mantiene constante.

El parámetro de número de curva (NC) representativo de cada cuenca se obtiene según lo expuesto en el apartado 5.1.1.2. No se han contemplado otro tipo de pérdidas, como la evapotranspiración, ya que se consideran despreciables en simulaciones de eventos extremos como las que aquí se desarrollaron.

Como resultado de este módulo se obtienen los hietogramas netos por subcuenca y periodo de retorno considerado.

Modelo de transformación

En el estudio se ha aplicado el modelo de transformación correspondiente al Hidrograma Unitario del SCS.

Este modelo emplea el denominado hidrograma unitario, en el que la función de transferencia se basa en el establecimiento de una escorrentía unitaria, generalmente correspondiente a 1 mm de precipitación neta (de intensidad constante y distribución uniforme), para el intervalo de tiempo en que se divide el aguacero. Este método presupone la proporcionalidad de la respuesta de la cuenca, la superposición de los hidrogramas y la invariabilidad en el tiempo.

El modelo aplicado se describe a continuación:

A. Método del Hidrograma Unitario del SCS:

Se trata de un hidrograma unitario sintético triangular cuya forma viene expresada en función de un parámetro que puede ser determinado a partir de expresiones empíricas. En este caso, el parámetro es el tiempo de desfase de punta (Tgp) o “Lag”, hallado a partir del tiempo de concentración (Tc) de cada subcuenca según la expresión indicada en la caracterización del modelo (véase el apartado 5.1.1.2).

Modelo de propagación

El modelo de propagación simula la atenuación que experimenta la onda de avenida a lo largo de la red de drenaje. Es decir, este modelo estima el movimiento de una onda de avenida a través de un tramo de río, de tal forma que se pueda determinar el hidrograma de salida en el extremo de aguas abajo conociendo el hidrograma de entrada en el extremo de aguas arriba.

Se han empleado los métodos hidrológicos de Muskingum y Muskingum-Cunge, aplicándose ambas metodologías y eligiendo aquella con la que se obtienen los resultados más acordes al funcionamiento hidrológico de la cuenca. Para ello se contrastan los resultados obtenidos por dichos métodos con los resultantes de aplicar el método racional clásico.

5.1.2.2 Modelo de precipitación

El modelo de precipitación establece la caracterización de las precipitaciones correspondientes a cada escenario de simulación.

La definición del hietograma de precipitación total se ha realizado en dos partes:

1. Determinación de la altura total de lluvia, característico del conjunto de la cuenca modelizada y fijo para cada periodo de retorno. Es la precipitación areal hallada en el apartado 5.1.1.3.
2. Distribución en el tiempo según un patrón de lluvia sintético (hietograma de bloques alternos) desarrollado anteriormente (cf. 5.1.1.3) a partir de las curvas IDF de Témez.

Estos datos se han introducido en el modelo dentro del módulo *Meteorologic Model*, de forma tal que el programa distribuyera la precipitación areal total de la cuenca en los intervalos de cálculo según el patrón sintético.

Se han establecido tantos *Meteorologic models* como escenarios de simulación, todos ellos en la misma ventana temporal arbitraria asignada al hietograma de bloques alternos.

5.1.2.3 Resultados

Se ejecutaron todas las simulaciones en cada modelo, a razón de una por cada periodo de retorno considerado. Los resultados se han utilizado como input para la modelación hidráulica. En el Anexo 1 se recoge en formato de ficha un resumen de los resultados principales para cada ARPSI.

5.2 Modelo TETIS

Tal y como se indicó en apartados anteriores, debido a la singularidad y problemática de la zona de estudio, para el establecimiento de los modelos hidrológicos de la Rambla del Poyo – Rambla Picassent y del Barranco del Carraixet, se ha utilizado una herramienta que se ha venido desarrollando y mejorando por el Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental de la UPV: el **modelo hidrológico distribuido** de tipo conceptual TETIS (cf. Francés et al., 2002), de forma que a partir de los múltiples estudios y modelos desarrollados por la Universidad en estas zonas, se han actualizado, extendido y complementado para adaptarse a las nuevas necesidades de este estudio.

El modelo TETIS representa la variabilidad espacial de las características físicas de la cuenca, a través de celdas y de unos parámetros ligados a éstas, lo cual intenta ser representativo de la realidad.

El modelo se distribuye en el espacio usando una malla rectangular y en cada celda se modela el proceso de lluvia-escorrentía usando seis tanques verticales según la Figura 18, donde cada tanque representa el almacenamiento del agua en una columna extendida del suelo: la nieve, interceptación, almacenamiento estático, almacenamientos superficiales, gravitacionales y acuífero. La relación entre los distintos tanques se basa en las características del suelo tales como capacidad del campo y las conductividades hidráulicas saturadas del suelo y el subsuelo.

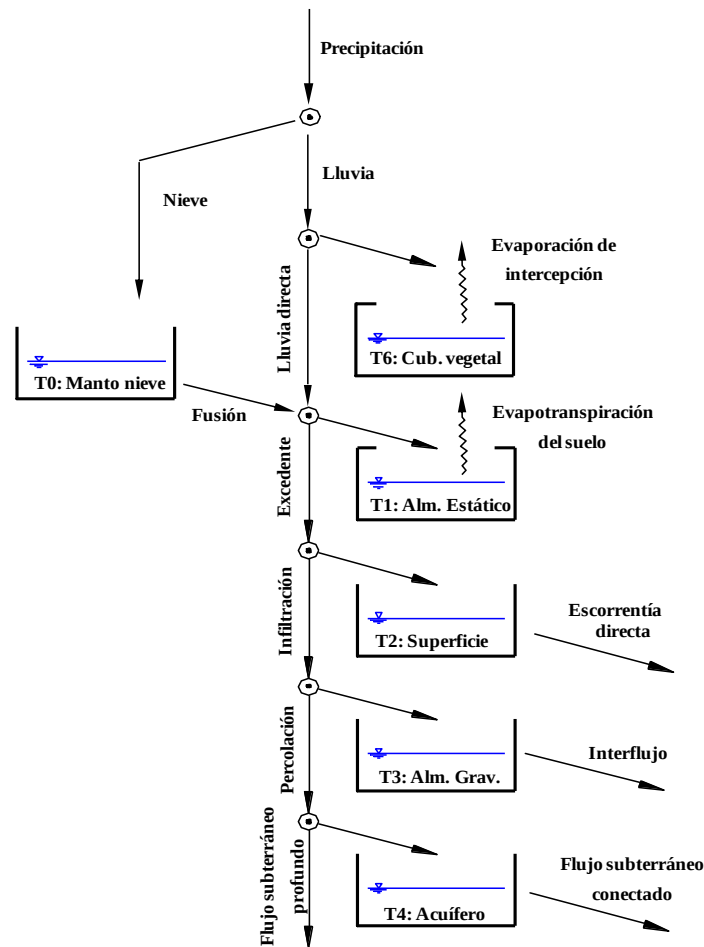


Figura 18. Esquema conceptual a escala de celda del modelo distribuido TETIS. Fuente: Descripción del modelo conceptual distribuido TETIS, DIHMA, UPV

Las conexiones verticales entre los tanques describen los procesos de: precipitación, fusión de la nieve, evapotranspiración, infiltración, percolación y pérdidas subterráneas. Por su parte, las conexiones horizontales describen el flujo superficial o escorrentía directa, el interflujo y el flujo base. En cualquier caso, todos los procesos involucrados se simulan a través de ecuaciones simples y con pocos parámetros a estimar (Vélez, 2001).

La conceptualización horizontal del modelo TETIS se trata de una malla interconectada en las tres direcciones. Los tres últimos almacenamientos drenan hacia los correspondientes tanques aguas abajo siguiendo las direcciones de flujo obtenidas a partir de modelo de elevación digital (MDT) hasta alcanzar la red de drenaje formada por cárcavas y cauces (Figura 19).

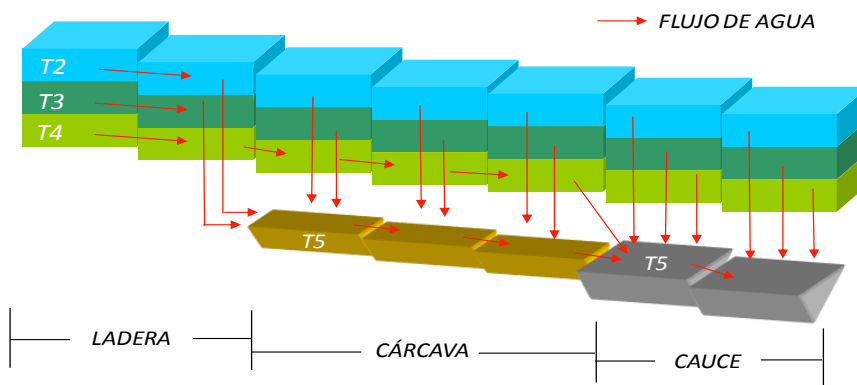


Figura 19. Flujos horizontales y verticales entre celdas de TETIS. Fuente: Descripción del modelo conceptual distribuido TETIS, DIHMA, UPV

Así pues, se puede diferenciar entre tres elementos con comportamientos diferentes: la ladera, las cárcavas y el cauce. La ladera está definida por el área máxima para que el flujo superficial se concentre en una cárcava o un cauce. La escorrentía directa en ladera termina cuando se encuentra un canal, ya sea una cárcava o un cauce.

El inicio de las cárcavas coincide con el área necesaria para que el interflujo retorne a la superficie. El interflujo normalmente sale a la superficie cuando se encuentra con una hendidura permanente del terreno, la cual no lleva agua de forma permanente. Estas hendiduras, conocidas como cárcavas, marcan el comienzo del interflujo. La escorrentía superficial en las celdas con área de captación mayor que el área umbral para el interflujo y menor que el área umbral para el flujo base se da en cárcavas.

Esta escorrentía superficial es la suma entre la escorrentía directa y el interflujo. Las celdas cauces están definidas por el área necesaria para que el flujo subterráneo en el acuífero alcance la superficie del terreno. El flujo base coincide con la presencia de cauces que permanentemente llevan agua. En las celdas con área de captación mayor que área umbral para el flujo base, el flujo total se presenta en cauces y es la suma de la escorrentía directa, el interflujo y el flujo base.

La traslación del flujo a lo largo de la red hasta la salida de la cuenca se realiza empleando una combinación de las características geomorfológicas de la cuenca en combinación con el método de la onda cinemática conocida como onda cinemática geomorfológica OCG.

La modelación hidrológica distribuida tiene diferentes niveles de incertidumbre (datos de entrada, conceptualización de procesos físicos, escalas de trabajo, etc) los cuales pueden verse disminuidos a través de la **calibración**, con la cual se ajustan los parámetros del modelo. En el modelo TETIS, la organización de cada parámetro efectivo se realiza siguiendo una estructura separada (Francés et al., 2007) consistente en:

- ⊗ Mapas de parámetros estimados, sobre la base de información espacial distribuida en unidades básicas (celdas), los cuales reflejan las características físicas de la cuenca.
- ⊗ Un factor corrector común a cada parámetro, el cual es agregado en la superficie de la cuenca. La obtención del juego de factores correctores en el modelo se realiza mediante el algoritmo de optimización automática conocido como SCE-UA, "Shuffled

Complex Evolution — University of Arizona”, (Duan et al., 1994).

- ⊗ Posteriormente, para comprobar la robustez y fiabilidad del modelo, se realiza la validación del mismo. El enfoque estándar para esta tarea conocida como evaluación del modelo, puede ser el sugerido por Klemeš (1986), donde una serie de registros es lo suficientemente larga para ser separada en dos períodos bastantes diferenciados del comportamiento de la serie.

Uno de éstos es utilizado para la fase de calibración, en ambos casos (barrancos de Poyo y Picassent y sistema Carraixet-Palmaré) el de los máximos eventos observados correspondiente al año 2000, mientras el restante sirve de contraste para la fase de validación. Como menciona Klemeš (1986), es importante tener en cuenta que este procedimiento se debe realizar para las condiciones para las que se creó el modelo y para un criterio de precisión establecido.

El proceso de evaluación del modelo hidrológico se realiza para demostrar que los procesos físicos dominantes, de la cuenca de estudio, están siendo simulados apropiadamente y el modelo está habilitado para realizar proyecciones sobre la base, de las características prevalentes en la cuenca, en el período de referencia utilizado.

La posibilidad de realizar con la herramienta TETIS, tanto el análisis de series temporales de registros a escala diaria (tiempo continuo) como de eventos (tiempo discreto), permite analizar conjuntamente dos elementos característicos de la respuesta hidrológica, los cuales son necesarios en el análisis de frecuencia de los caudales máximos de la avenida. Éstos son: el estado de humedad del suelo antecedente a la tormenta y la respuesta de la cuenca a dicha tormenta.

En el siguiente esquema se recogen los pasos para el análisis de estos dos componentes, teniendo en cuenta los aspectos que son comunes (estimación de parámetros), y los procedimientos que se tienen que realizar (calibración-validación).

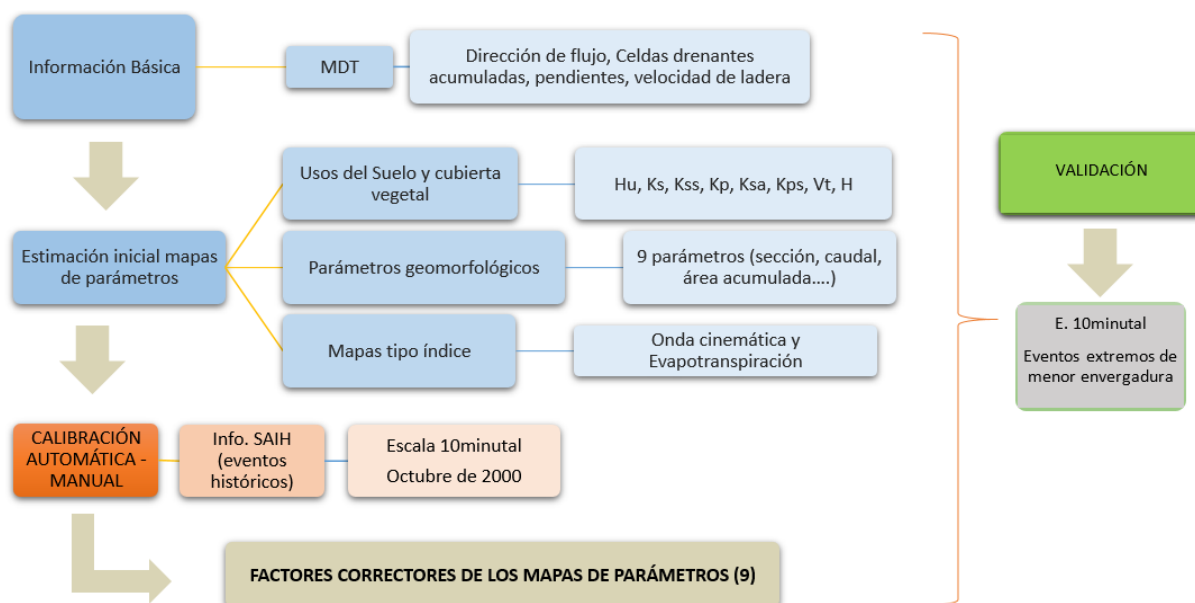


Figura 20. Procedimiento de trabajo estimación de parámetros – calibración -validación del modelo hidrológico

5.2.1 Estimación de parámetros

A partir de los estudios previos realizados por el grupo de investigación de la Universidad (DIHMA, 2004), se han procesado los mapas temáticos necesarios para el modelo TETIS, utilizando herramientas de sistemas de información geográfica.

La información de partida en dichos estudios ha sido la siguiente que ha sido actualizada y completada con el modelo digital del terreno a escala de celda de 25x25 m facilitado por la CHJ.

Mapas	Formato original y escala	Tipo de Información analizada
Mapa Geológico de España	Papel, 1:50,000	Valores modales de Kp. Litología, estratigrafía, tectónica, grado de consolidación, ambiente de formación.
Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana	Digital, 1:100,000	Valores modales de Hu y Ks. Costras impermeables, desarrollo de suelos.
Usos del suelo del año 1998	Digital, 1:25,000	Usos actuales del suelo.

Tabla 1. Información disponible para la estimación de parámetros (DIHMA, 2004).

Mapas	Formato original y escala	Tipo de Información analizada
Modelo de Elevación Digital 25x25 m	Digital, curvas de nivel cada 10 metros y red de drenaje de la CHJ	Topografía, pendientes, orientación de ladera, curvatura del terreno, índice topográfico.

Tabla 2. Información disponible para la estimación de parámetros (CHJ 2018).

Las características físicas expresan el valor medido o estimado del parámetro para cada celda de la cuenca, describen la variabilidad espacial del mismo y poseen significado físico.

Los factores correctores tratan de corregir los errores siguientes:

- ⊗ De estimación inicial de los parámetros
- ⊗ En la información hidrometeorológica de entrada la modelo.
- ⊗ En el propio modelo.
- ⊗ Efectos de escala espacio – temporal.

De este modo, el modelo hidrológico TETIS puede ser calibrado a través del ajuste de nueve factores correctores que se recogen en la Tabla 4.

Factor corrector	Parámetro	Símbolo
FC1	Capacidad de almacenamiento hídrico	Hu
FC2	Índice de cobertura de vegetación	λ
FC3	Capacidad de infiltración	Ks
FC4	Velocidad del flujo superficial	u
FC5	Capacidad de percolación	Kp
FC6	Velocidad del interflujo	Kss
FC7	Capacidad de percolación profunda	Kps
FC8	Velocidad del flujo base	Ksa
FC9	Velocidad del flujo en canal	v

Tabla 4. Factores correctores y parámetros ajustados. Fuente: Descripción del modelo TETIS, DIHMA, UPV.

5.2.2 Información hidrometeorológica disponible

La información disponible de precipitación y caudal es la correspondiente a los datos registrados hasta la actualidad por la red del SAIH-CHJ (en las estaciones de aforo de caudal y precipitación), así como por la red de estaciones de la AEMET (registros pluviométricos diarios) ubicadas dentro de las cuencas analizadas que también ha sido actualizada y analizada con nuevos registros hasta la actualidad.

Tal y como se ha indicado anteriormente, se ha identificado el evento de Octubre de 2000 como evento extraordinario máximo, siendo el adoptado para la calibración de estos modelos. La validación de los modelos se realiza para condiciones bastante diferenciadas del evento de calibración, con eventos de menor envergadura y condiciones de duración y humedad diferentes.

Una vez definidos algunos factores correctores y variables de estado a calibrar, así como sus rangos de búsqueda, se ha realizado el proceso de calibración automática para la discretización temporales a escala de evento ($\Delta t = 10$ minutos).

5.2.3 Calibración y validación del modelo a escala de evento

Debido a que la discretización temporal de los registros hidrometeorológicos es distinta a la de las tormentas sintéticas, éstos se han transformado, agregando los datos a la misma resolución de las tormentas sintéticas ($dt = 10$ min.).

⊗ Calibración

De acuerdo con la estructura separada de parámetros del modelo TETIS (Francés et al., 2007), es posible realizar el proceso de calibración para un número reducido de factores correctores de manera automática (recogidos en la Tabla 4). Igualmente, esta herramienta permite calibrar las variables de estado, así como un coeficiente para introducir la

variabilidad espacial de la precipitación respecto a la altitud denominado β , en caso necesario. En total se tienen: nueve factores correctores que afectan los parámetros del modelo; cuatro valores que reflejan los estados iniciales de almacenamiento de los tanques; un factor que introduce la variabilidad altitudinal de la lluvia. De entre las diversas funciones objetivos que provee el modelo, se ha utilizado el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe (1970), ya que es uno de los métodos estándar recomendado en la literatura para la evaluación de modelos de cuencas (cf. Moriasi et al., 2007), obteniéndose los diferentes valores de los factores correctores, así como el hidrograma resultante en un punto situado en la estación de aforo de caudal donde se contrasta con la serie de caudal registrada en el evento seleccionado para la calibración (evento de Octubre de 2000).

En la figura adjunta se puede observar los resultados de la calibración en el caso de la Rambla del Poyo.

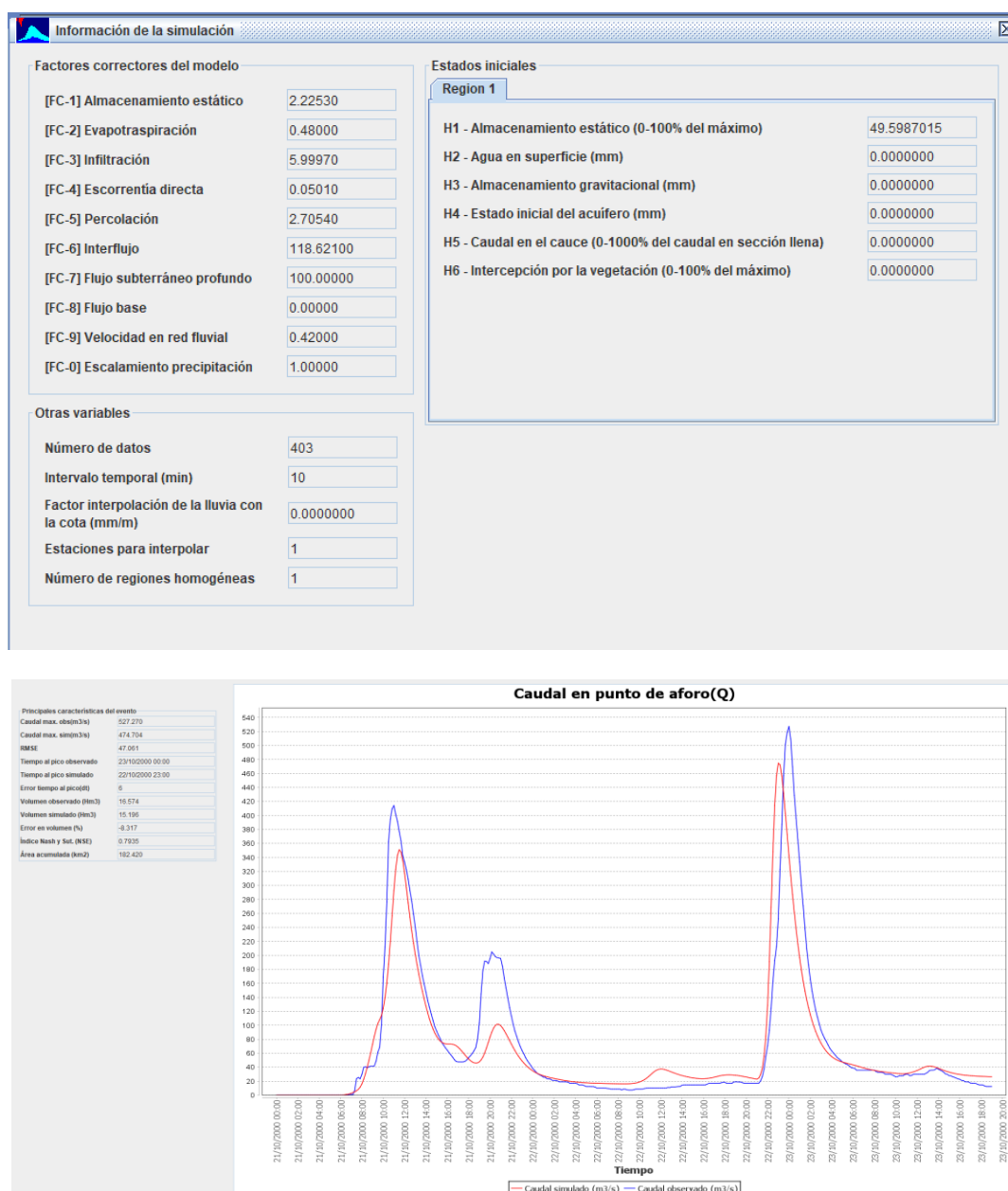


Figura 21. Resultados de la calibración en la Rambla del Poyo para $\Delta t = 10$ minutos. NASH=0,7935

⊗ Validación

Debido a la ausencia de otras estaciones de aforo en las cuencas, sólo ha sido posible la realización de una validación de tipo temporal, es decir, la evaluación de los modelos se ha realizado en la misma estación de aforos para eventos diferenciados al de calibración. Al igual que en la calibración, las condiciones de humedad se han estimado a través de una calibración automática.

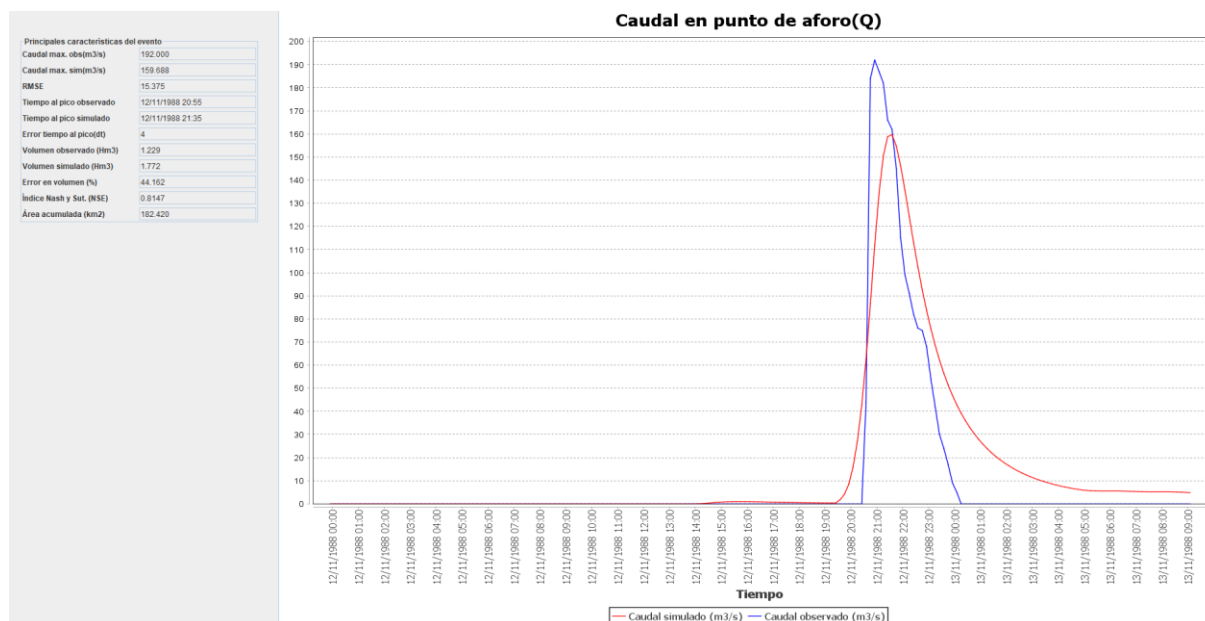


Figura 22. Validación temporal con el evento de 1988, $\Delta t = 10$ minutos. $NASH=0,8147$

5.3 Generación de avenidas sintéticas

El modelo hidrológico distribuido TETIS ofrece la posibilidad de simular, de manera automática, múltiples eventos con sus respectivas condiciones de humedad. Sobre esta base, es posible generar un juego amplio de avenidas sintéticas teniendo en cuenta, tanto la variabilidad espacial de las características físicas de la cuenca, como también, la variabilidad espacio-temporal de los eventos a partir de la descripción de la estructura interna de las tormentas sintéticas. En resumen, se tienen los siguientes factores que afectan las avenidas, los cuales son las entradas al modelo hidrológico:

- ⊗ un juego de 100 tormentas sintéticas para un variado rango de magnitudes, intensidades y duraciones. Cada tormenta se ha distribuido en 1250 pluviómetros distribuidos en el ámbito de la cuenca de estudio, asignando el peso correspondiente en cada uno de ellos. La figura siguiente muestra la ubicación de los mismos para el caso del Bco. del Carraixet.
- ⊗ dos condiciones de humedad (seco-húmedo) representativas para toda la cuenca. De los múltiples estudios anteriores realizados en las cuencas de la Rambla del Poyo y Barranco del Carraixet, se definen los valores de 10% y 70% como condiciones de humedad inicial seca y húmeda, respectivamente.

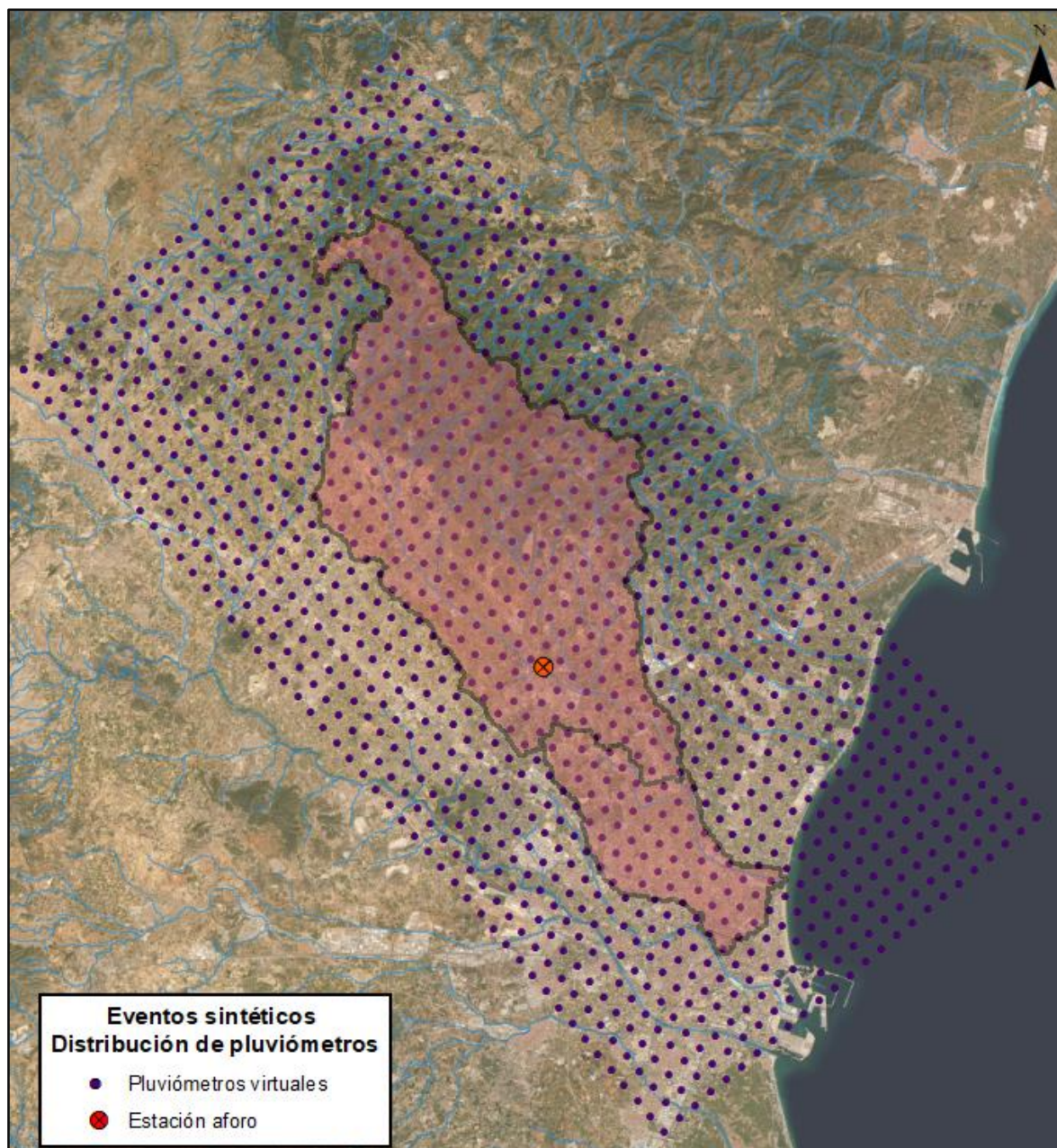


Figura 23. Pluviómetros virtuales y estación de aforo. Barranco del Carraixet.

La combinación de estos factores totaliza un juego de doscientas tormentas que han servido para el análisis multivariado de frecuencia.

5.3.1 Estimación de la probabilidad de las avenidas

La metodología de análisis de frecuencia, para los caudales máximos obtenidos en la fase anterior, consiste en la estimación del período de retorno de la avenida teniendo en cuenta las distribuciones de probabilidad de las tormentas sintéticas (Madriñán y Francés, 2004) y que constituye el análisis trivariado.

El resultado de la estimación de la función de distribución construida con este método trivariado es comparada con las distribuciones “empírica” obtenida con los datos observados en las estaciones de aforo, tal y como se recoge en la figura adjunta para el caso del

Barranco del Carraixet, y que permite validar la metodología empleada así como los resultados obtenidos.

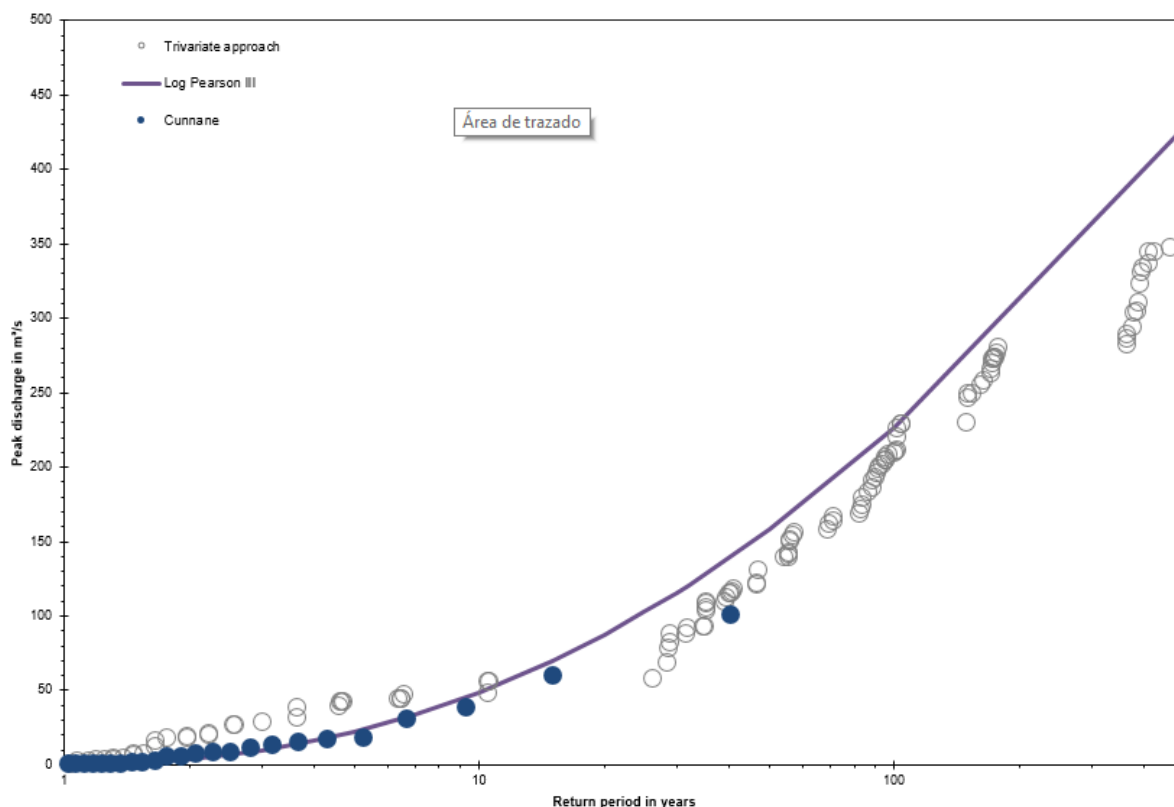


Figura 24. Período de retorno del caudal máximo anual en la estación de aforos del Barranco del Carraixet

5.3.2 Obtención de hidrogramas - hietogramas

Una vez calibrados y validados los modelos hidrológicos se eligen aquellos eventos sintéticos significativos (de entre los 200 analizados) asociados a los diferentes periodos de retorno, de forma que a partir de ellos es posible determinar los hidrogramas en diferentes puntos de la cuenca de estudio discretizando ésta de forma pormenorizada en zonas de interés hidráulico, y que servirán de input o contraste de resultados al modelo hidráulico posterior.

Cabe señalar que para el caso de la cuenca del Barranco del Carraixet y concretamente para poder analizar la inundabilidad en el ámbito de los barrancos Frares y Palmaret Alto y Bajo que constituyen su cuenca baja, se han obtenido los hietogramas correspondientes a las cuencas urbana y rural.

La cuenca baja del Carraixet se caracteriza por ser una plana de inundación provocada por la precipitación propia de la zona, de forma que, los hietogramas obtenidos con el modelo hidrológico serán introducidos en el modelo hidráulico como lluvia propia junto con los hidrogramas de los cauces principales.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de los puntos seleccionados en la Rambla del Poyo-Picassent para la obtención de hidrogramas, así como los hietogramas para un evento asociado al periodo de retorno de 100 años en las cuencas urbana y rural del Carraixet.

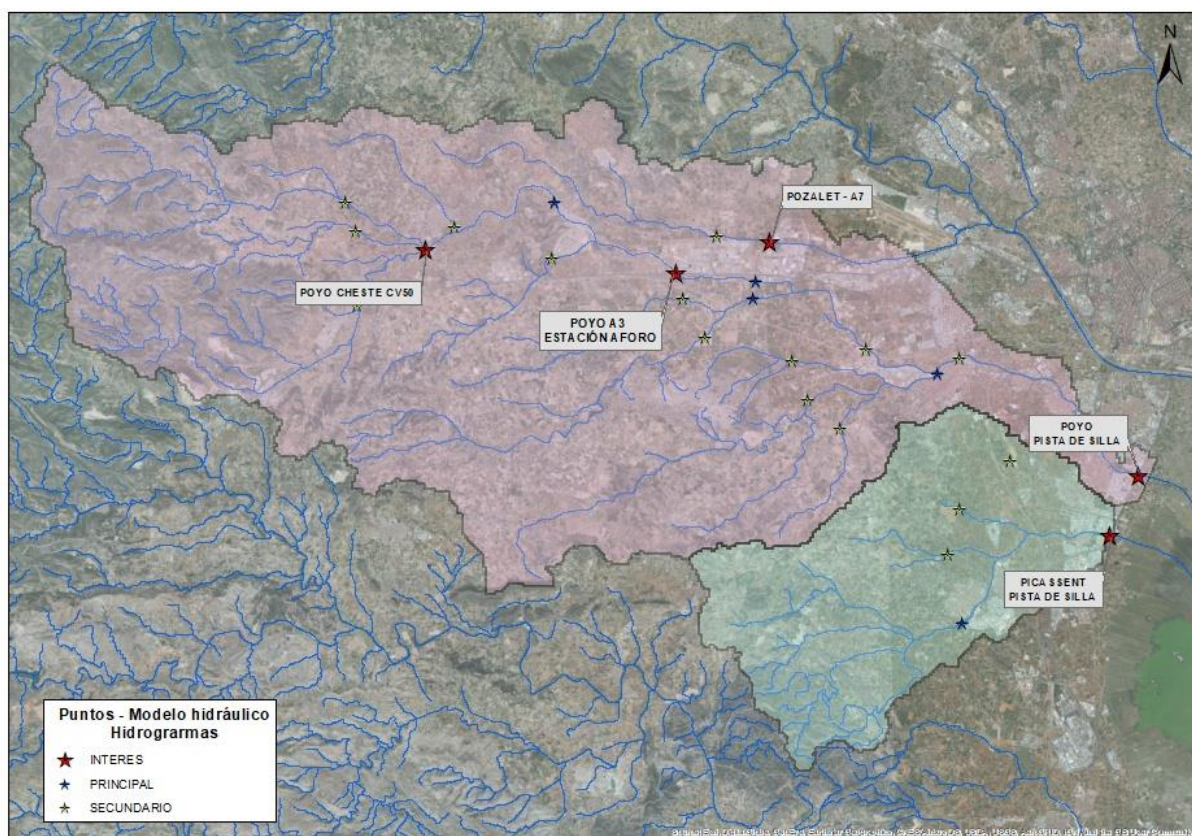


Figura 25. Puntos de interés de obtención de hidrogramas Rambla Poyo-Picassent

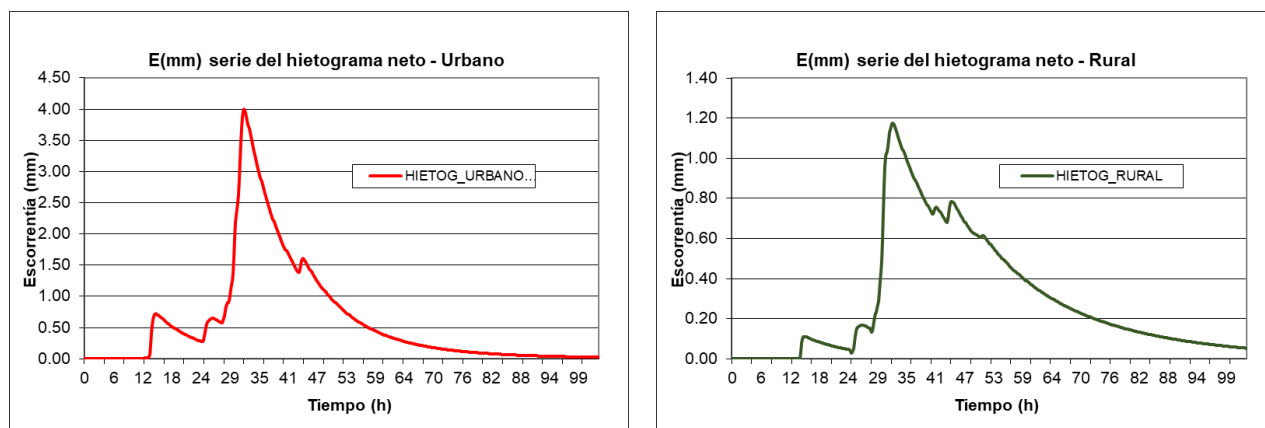


Figura 26. Hietogramas cuenca urbana y rural del Barranco del Carraixet (Bco. Frares – Palmaret Alto y Bajo)

6 Modelo hidráulico

El objetivo principal de la modelación hidráulica es delimitar la magnitud de la inundación para diferentes periodos de retorno (10, 100 y 500 años) en los tramos de ARPSI. Esto permitirá además conocer los calados y velocidades alcanzados, y las zonas de flujo preferente. Se han considerado para ello las recomendaciones de la *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables* (MARM, 2011).

En la mayoría de las ARPSIs definidas en la Demarcación Hidrográfica del Júcar existen llanos de inundación por donde discurrirán los flujos desbordados. En todos los casos, la antropización del entorno añade elementos laminadores o de retención del flujo en la mayoría de los casos. Por lo tanto, de cara a abordar la inundación de origen fluvial se ha considerado necesario realizar modelos hidrodinámicos bidimensionales, realizando los cálculos en régimen transitorio a partir de hidrogramas de caudal variable en función del tiempo, calculados de acuerdo a la metodología descrita en el apartado 4.

Se ha utilizado para la modelación hidráulica dos software comerciales de amplio reconocimiento: Infoworks ICM de Wallinford Institute y HEC-RAS 5.0.6; desarrollado por U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC). El uso de uno u otro software se ha elegido de acuerdo a la complejidad de los tramos de ARPSI en cuanto a la extensión de las zonas inundables y el número de estructuras existentes, que pueden ralentizar el tiempo de computación. Infoworks ICM, al trabajar sobre la GPU del computador permite tiempos de computación menores para un mayor número de celdas de cálculo.

En ambos casos el modelo hidráulico bidimensional está definido por dos componentes:

- **Componente geométrica**, definida por la morfología del terreno y sus características de usos de suelo, imponiendo unas condiciones físicas únicas que determinan la respuesta hidráulica del modelo. El modelo se alimenta de un Modelo Digital de Terreno (MDT) y de mapas de coberturas, que definirán los números de Manning empleados. Los modelos incorporan, además, información no recogida en el MDT como son líneas de rotura, obras de paso y puentes, muros etc.
- **Componente hidráulica**, la cual introduce las condiciones de cálculo hidráulico y por tanto la condición inicial del modelo. Estas condiciones pueden introducirse de diversas maneras sea como hidrogramas, niveles de lámina de agua, precipitación, etc.

6.1 Componente geométrica

Para la realización de los estudios hidráulicos se ha utilizado como **modelo digital del terreno** el vuelo LIDAR realizado por el Instituto Geográfico Nacional dentro del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), tratado de acuerdo a la metodología descrita en el apartado 4. Se ha utilizado el Sistema de Referencia Planimétrico ETRS89 UTM, Huso 30 para la elaboración de los modelos hidráulicos.

Además del modelo digital del terreno, la componente geométrica de los modelos incluye:

- Las **obras de fábrica y puentes** inventariados en el tramo. Para ello, se elimina del MDT el obstáculo al flujo que suponen los puentes y se incluyen estos en el modelo hidráulico como una conexión 1D-2D. Las obras de drenaje se han modelado como *culverts* (alcantarillas), lo que supone también una conexión 1D-2D en las opciones permitidas por el software utilizado. En el caso de estructuras que no entran en carga, se han modelado las pilas en el MDT como obstáculos al flujo.
- Líneas de rotura** (*breaklines*) necesarias para forzar que la malla de cálculo bidimensional represente correctamente los elementos que condicionan la inundación, como diques, motas, carreteras elevadas etc., evitando que una zona anexa al cauce reciba caudal si existe una barrera física entre el cauce y la misma. La versión empleada de Hec-Ras dispone de un módulo llamado Ras Mapper, con funciones GIS que, junto con el módulo de geometría, a partir del MDT en formato raster (geo.tif) genera una malla en la que se basa el cálculo del modelo 2D. Cabe mencionar que el tamaño de la malla en HecRas no corresponde al mismo concepto de tamaño de celda que habitualmente empleamos en la definición geométrica de un MDT, puesto que en el HecRas las celdas tienen definición geométrica en cada una de sus caras, y por tanto, cada una de estas celdas tiene una respuesta hidráulica relativa a la morfología del terreno que la caracteriza, y por ello el tamaño de celda corresponde a la optimización del cálculo hidráulico y no a su definición geométrica, la cual está intrínsecamente definida en el propio MDT.

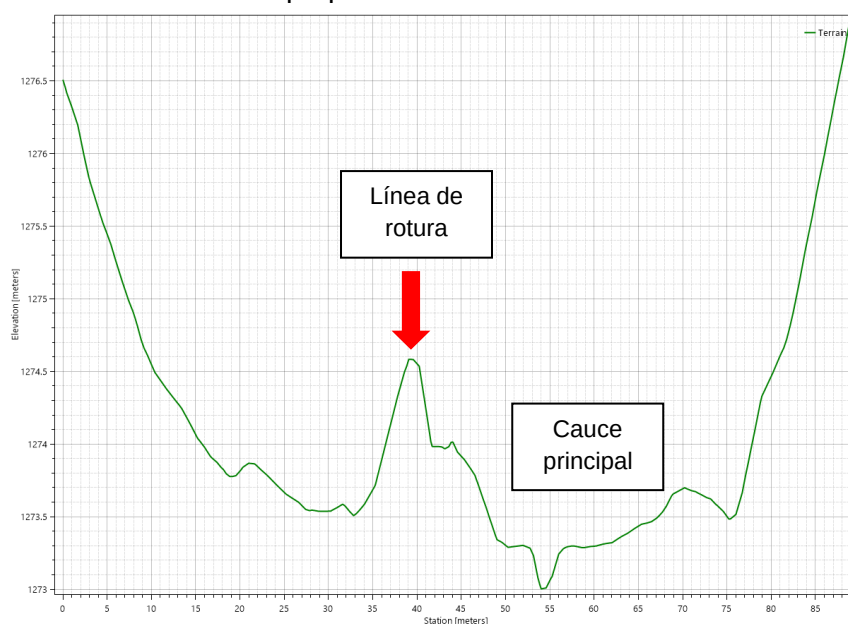


Figura 27. Definición de líneas de rotura.

- De forma general, los modelos se han definido con una **malla de cálculo** de 5x5 m en el cauce y la zona inundable próxima a éste, ampliando a tamaños mayores en el total de la extensión del modelo.
- El software permite definir **regiones de refinamiento** de pequeñas zonas que requieren más precisión o tienen características diferentes, tales como las zonas próximas a las estructuras.

6.2 Componente hidráulica

La componente hidráulica en los modelos está definida por los siguientes elementos:

- **Hidrogramas** correspondientes a los caudales estudiados. Los datos son series de caudales a lo largo del tiempo (hidrogramas).
- **Rugosidades:** el software necesita la superficie de rugosidad para modelar el régimen hidráulico. Las rugosidades se definen con polígonos de rugosidad de Manning representando las diferentes coberturas del terreno. Para la definición de las rugosidades se han tenido en cuenta las recomendaciones de la *Guía Metodológica (MARM, 2011)*, utilizando de forma general el SIOSE para la definición de los polígonos de rugosidad.

Las rugosidades que se han definido en el modelo son las siguientes:

Uso	n
Edificación	0.1
Casco urbano contínuo	0.1
Casco urbano discontinuo	0.09
Polígono Industrial	0.1
Infraestructuras de transporte	0.1
Suelo no edificado en construcción	0.04
Canal de hormigón	0.015
Zonas verdes urbanas	0.09
Instalaciones deportivas	0.035
Cultivos	0.04-0.06
Praderas/pastos	0.035
Arbolado/matorral	0.055-0.07
Humedales	0.04
Terreno sin vegetación	0.025-0.04
Genérico	0.025-0.04
Pavimento	0.015
Hormigón	0.017
Cauce con vegetación	0.05
Cauce sin vegetación	0.033

Tabla 5. Valores de rugosidades de Manning empleados.

- **Condiciones de contorno** externas al área a modelizar: los modelos bidimensionales utilizan las ecuaciones de Saint Venant y aplican el método de los momentos en función de qué elementos se modelizan; el modelo matemático empleado en este caso utiliza como método numérico la formulación de onda difusa considerando términos de fuerza hidrostática y de fricción, y despreciando los términos de aceleración y turbulencia. Esta simplificación es adecuada dado que el flujo simulado varía de manera moderada con las pendientes existentes.

El modelo comienza con las condiciones iniciales y a continuación lleva a cabo todas las condiciones de contorno constantes definidas en función de su valor al comienzo de la simulación. A partir de este punto ejecuta una serie de cálculos con incrementos temporales establecidos partiendo del caudal constante inicial. Esto permite al modelo equilibrarse matemáticamente mediante la aplicación de ecuaciones de flujo no estacionario, minimizando resultados. El modelo se ejecuta iterativamente hasta alcanzar el resultado que equilibra el modelo hidráulico. Al tratarse de un modelo 2D puro se permite el inicio en seco. De forma general no se han definido condiciones

iniciales, aunque en determinados modelos esto sí ha sido necesario de forma particular. De forma general, las condiciones de contorno definidas en los modelos son:

- Inputs : Hidrogramas de caudal variable a lo largo del tiempo.
- Output : Calado normal definido por la pendiente del cauce aguas abajo de la zona de estudio. En algunos tramos se ha considerado la condición de contorno impuesta por el tramo aguas abajo. Se ha considerado como condición de contorno en el mar el nivel del mar para cada periodo de retorno a partir del *Atlas de inundación del Litoral Peninsular Español (MIMA-Dirección General de Costas-Universidad de Cantabria)* para el área VII subzona a.

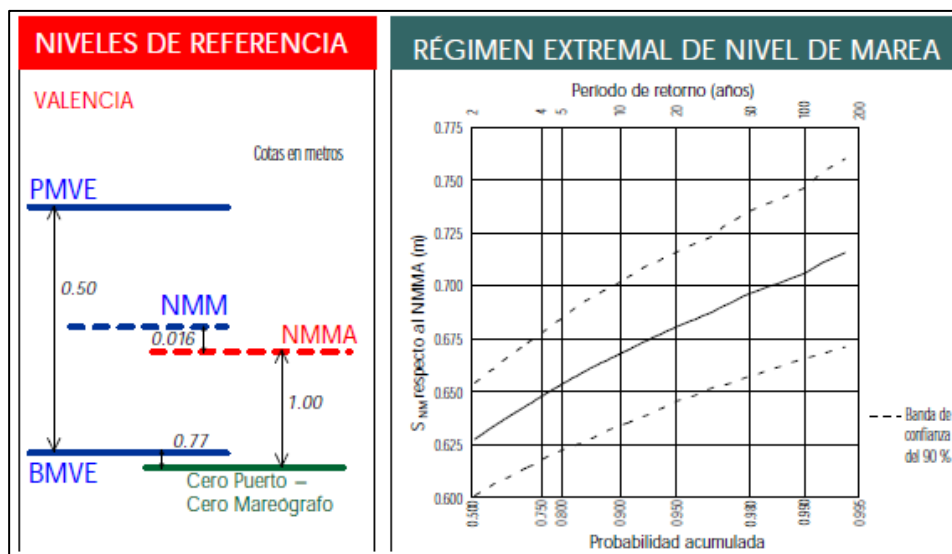


Figura 28. Niveles de marea.

6.3 Escenarios modelados

Se han modelado en todos los casos los siguientes escenarios:

- Escenario naturalizado para la simulación de la máxima crecida ordinaria, a partir del MDT sin obras de fábrica ni edificios.
- Escenarios actuales bajo las hipótesis de avenida:
 - 10 años de periodo de retorno (inundación frecuente)
 - 100 años de periodo de retorno. Este escenario se ha utilizado además para la delimitación de la zona de flujo preferente.
 - 500 años de periodo de retorno (inundación ocasional), para la delimitación de la zona inundable.

6.4 Resultados

Los modelos permiten obtener los siguientes resultados para cada una de las ARPSI y periodos de retorno modelados:

- Superficie de calados máximos en formato ráster.
- Superficie de velocidades máximas en formato ráster.

Además, los modelos permiten analizar la evolución de calados y caudal en cualquier sección de cálculo definida por el usuario, lo que permite analizar las condiciones de capacidad hidráulica de las estructuras, entre otros.

A partir de las envolventes mencionadas en formato ráster se han calculado las envolventes en formato vectorial (shp), lo que permite aproximar la extensión de la zona inundable para cada periodo de retorno. En todos los modelos se han suprimido de los resultados los calados inferiores a 10 cm, por considerarse este valor por debajo de la precisión de los datos LIDAR a partir de los cuales se ha obtenido el MDT.

A partir de la simulación para 100 años de periodo de retorno se ha delimitado la zona de flujo preferente.

7 Delimitación del Dominio Público Hidráulico Probable

7.1 Introducción

La delimitación de los cauces debe realizarse atendiendo a criterios hidrológicos y también a otras características como las geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las referencias históricas disponibles, incluyendo fotografías y cartografías existentes. Teniendo en cuenta este planteamiento, la perspectiva del cauce podría mostrar la estructura de la siguiente figura:

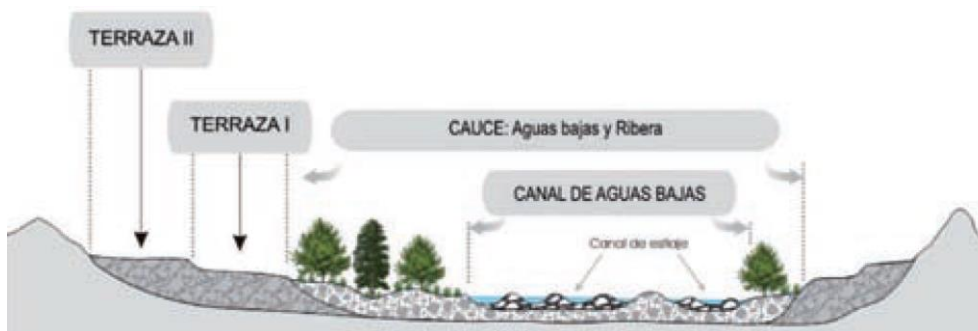


Figura 29. Figura con delimitación de formas fluviales en la sección de un cauce y su valle.

Los límites del cauce engloban el canal de estiaje, el canal de aguas bajas y, cuando existe, la franja de ribera dinámicamente conectada a las anteriores.

El análisis geomorfológico se aborda basándolo especialmente en el estudio de las evidencias generadas por la circulación de las aguas sobre los terrenos inundables. En función de su durabilidad, pueden agruparse de la siguiente forma.

- Evidencias efímeras: Aquellas que ponen de manifiesto su origen reciente y desaparecen con rapidez.
- Evidencias topográficas: Aquellas que alteran la morfología y perduran.
- Evidencias que perduran en períodos geológicos en el archivo sedimentario del sistema fluvial.

Las evidencias efímeras y topográficas muestran una alta correlación con el carácter inundable de los terrenos, con el tránsito de avenidas de forma recurrente y de alta intensidad, eventos recientes con velocidades y calados capaces de transportar y depositar sedimento, así como dismantelar la cubierta superficial de los terrenos. La presente metodología se centra en el segundo grupo (evidencias topográficas), mediante el uso de LIDAR y fotografías aéreas históricas y recientes.

La delimitación del Dominio Público Hidráulico Probable (DPHP) geomorfológico se basa en la combinación del cauce histórico y del actual. En la Guía Metodológica (MARM, 2011) para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) se describe que los terrenos que formaron parte del cauce histórico tengan representación en el DPHP, independientemente de la tendencia evolutiva o de las causas de los posibles cambios. En muchos casos, el límite del cauce es fácilmente reconocible y no son necesarios criterios complejos para realizar su delimitación, ya que el tránsito entre orilla y llanura aluvial se

produce a través de un neto cambio de pendiente que los separa, y además es coincidente con el límite del cauce histórico. En otras ocasiones menos claras, el carácter trezado o meandriforme obliga a tomar de referente la envolvente más activa e inestable o bien se detectan marcadas diferencias entre el cauce histórico y el actual, que pueden complicar la delimitación del Dominio Público Hidráulico Probable (DPHP).

La delimitación del DPHP mediante un criterio hidrológico-hidráulico debe servir como herramienta de apoyo a la delimitación más precisa basada en el análisis histórico y geomorfológico.

El Artículo 4 del Texto Refundido de la Ley de Aguas define cauce como: “Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias”. En el artículo 4 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico se complementa la definición de cauce y se define la MCO

“1. Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias (artículo 4 del Texto Refundido de la Ley de Aguas). La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles.

2. Se considerará como caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente y que tengan en cuenta lo establecido en el apartado 1.”

7.2 Metodología para el análisis geomorfológico del cauce

7.2.1 Etapa 1: Análisis Histórico sobre fotografías aéreas

Dentro de esta fase se contempla el estudio evolutivo del medio fluvial mediante fotografías aéreas históricas disponibles de los años 1956/57 (vuelo americano), hasta la actualidad. Mediante su estudio se persigue identificar las zonas más activas e inundables del medio fluvial. El análisis inicial se plantea sobre las fotografías del vuelo americano, delimitando el cauce histórico y posteriormente, con fotografías aéreas intermedias, detectar los cambios producidos en estas unidades hasta la actualidad.

El objetivo de delimitar el cauce histórico es que sirva de referencia para conocer cuál era su territorio en su día (criterio evolutivo), para mantener su dinámica sin causar daños o perjuicios a los propietarios ribereños (sostenibilidad), tener libertad para su desplazamiento lateral y desbordamiento (criterio dinámico) y restablecer la conectividad entre los hábitat del cauce y los de las riberas y márgenes (criterio ambiental, al objeto de conseguir una morfología estable y en equilibrio con el régimen de caudales.

Cabe destacar los siguientes planteamientos:

- Los límites del cauce se ubicarán preferentemente sobre la coronación del talud de orilla que separa la zona más deprimida del medio fluvial de las márgenes adyacentes más elevadas. Puede ser nítido o gradual, y puede estar cubierto por vegetación.



Figura 30. Delimitación de cauce histórico sobre fotografía aérea del vuelo americano (1956-57).

- Se incluyen en el cauce las barras fluviales adyacentes con escasa o nula cubierta vegetal que están claramente ligadas a la dinámica fluvial más activa. Así como las barras dinámicamente conectadas a las anteriores que aparecen colonizadas total o parcialmente por vegetación potencial de ribera.
- En los tramos que discurren en contacto con las laderas del valle fluvial, se toma como referencia los límites ubicados en el cambio de pendiente entre el lecho del canal y el inicio de la ladera. También pueden tomarse los límites derivados de la modelización hidráulica.
- Si existe un amplio número de isletas, barras y canales, se valora la posibilidad de incluir estos ámbitos dentro del cauce histórico, como zonas susceptibles de verse afectadas por migraciones del cauce en un futuro cercano.
- Cuando en la imagen del vuelo americano se detecta con claridad la ocupación antrópica de una parte del cauce, puede estimarse la extensión esperable del mismo en condiciones más naturales.



Figura 31. Se observa que el cauce ha sido ocupado por una edificación, por lo que será una zona a valorar en la clasificación del DPHP.

- En casos de ríos con trazados meandriformes o trenzados caracterizados por una dinámica cambiante o activa, es posible reconocer brazos parcialmente abandonados que pueden reactivarse durante avenidas. Ante este tipo de configuraciones, la delimitación del cauce histórico se plantea mediante la envolvente del cinturón de meandros en ríos meandriformes, o de los diferentes canales implicados en los trazados trenzados.



Figura 32. *Delimitación de cauce histórico incluyendo una zona con importante actividad fluvial (depósito de sedimento) con presencia parcial de vegetación, y susceptible de ser inundado.*

- La alteración topográfica impuesta en algunos terrenos puede reconocerse en frecuentes casos a través de alineaciones morfológicas conectadas al cauce y reconocibles mediante sombras, alineaciones arbóreas e incluso alineaciones en el parcelario, en su mayoría asociadas a canales, acompañada del depósito sobre la llanura de dos lóbulos de derrame. También se reconocen otros depósitos menores secundarios generados durante avenidas. Los terrenos conectados a esta zona de desbordamiento presentan un relieve marcadamente irregular, con numerosas alineaciones morfológicas que dibujan canales y configuran una distribución en abanico.
- El límite del cauce histórico resulta de la suma de la envolvente de las orillas más externas que se hayan identificado en las diferentes fotografías aéreas estudiadas. Concretamente se han revisado las disponibles en las fuentes oficiales del Instituto Geográfico Nacional, según la zona:
 - Americano Serie B 1956-57
 - Interministerial 1973-86
 - Nacional 1981 – 1986
 - Sigpac 1997-2003
 - PNOA 2005 y siguientes



Figura 33. *Delimitación de cauce histórico en tramo trezado donde se observa una zona con brazos secundarios parcialmente desconectados. En etapas posteriores se valora su clasificación en el DPHP.*



Figura 34. En la imagen más moderna (Sigpac 1997-2003) se aprecia con mayor claridad que esta zona pertenece a los terrenos de ribera, cultivados (vuelo americano 1956-57).

7.2.2 Etapa 2: Análisis del Modelo Digital del Terreno actual

En una segunda fase se inicia el análisis del cauce actual sobre el modelo digital del terreno elaborado para el estudio hidráulico a partir del LIDAR. En este modelo se localizan los límites del cauce ligados a taludes nítidos, así como las orillas con identificación más problemática. En caso de presentarse zonas con escasa nitidez se recurre al uso de modelo de pendientes.

En caso de que se observe la presencia de canales secundarios susceptibles de formar parte del cauce, esta metodología se extiende a los mismos.

Debe tenerse en cuenta que, de forma genérica, se entiende que los límites del cauce serán aquellos que separan los terrenos más deprimidos e irregulares de aquellos ligados a la llanura aluvial, más elevada, plana y homogénea.

Esta segunda etapa ofrece como resultado estas evidencias topográficas, que son los límites del cauce en forma de variación brusca de pendiente del terreno. Dichas evidencias no son continuas en la mayoría de los casos, pero constituyen una de las bases para la siguiente etapa.

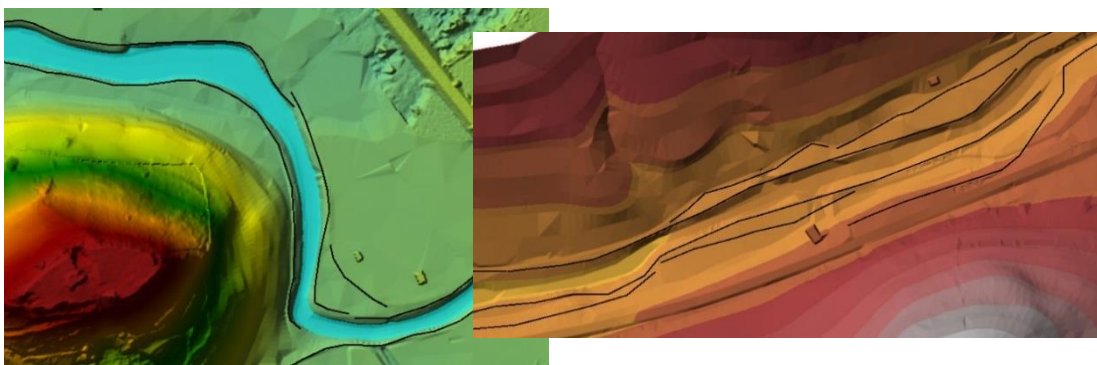


Figura 35. Ejemplo de imágenes de MDT con líneas de cambio de pendiente marcadas, que sirven de referencia para la delimitación del cauce actual con el análisis de la fotografía aérea y de la ocupación de la máxima crecida ordinaria.

7.2.3 Etapa 3: Análisis de fotografía aérea actual

Esta etapa reproduce los criterios adoptados en la primera fase, pero en este caso sobre una fotografía aérea reciente que permita analizar la ocupación del cauce en la actualidad.

Al igual que en la primera etapa, se engloban dentro del cauce aquellos terrenos con evidencias de alta actividad fluvial. En el caso de las evidencias topográficas, se considerarán aquellas ligadas a formas erosivas de alta nitidez y frecuentemente colonizadas por vegetación de ribera. El conjunto se caracteriza por presentar la mayor concentración de altas pendientes e irregularidades topográficas, en contraste con la zona inundable.

En ocasiones, las orillas del cauce muestran signos evidentes de erosión. Estas orillas erosivas representan generalmente taludes de elevada pendiente en contacto con la zona más activa del cauce, mostrando claras evidencias de inestabilidad como desprendimientos, escasez de cubierta vegetal, sedimentos expuestos, etc...

El estudio de la fotografía aérea se basa en los límites determinados en el análisis del modelo digital del terreno. Se parte de estos y se modifican en aquellas zonas en que se observa actividad fluvial que se extiende más allá de los mismos.

Finalizada esta modificación, se realiza una nueva revisión, comparando el cauce determinado con la delimitación obtenida en el estudio hidráulico a partir de la máxima crecida ordinaria. Se extienden los límites del cauce a aquellas zonas que son inundadas por este caudal, salvo en aquellos casos en que no se consideren representativos o la fotografía aérea no muestre actividad fluvial que lo sustente.



Figura 36. *Delimitación de cauce actual a partir del análisis de la fotografía aérea, las evidencias topográficas y el estudio hidráulico.*

7.2.4 Etapa 4: Comparación del cauce histórico y actual. Delimitación del DPHP y clasificación.

Se analiza el cauce actual, tomando como referencia el cauce histórico para detectar las diferencias:

- Si coinciden, o el actual engloba al histórico, dicha envolvente pasa a representar el DPHP.
- Si no coinciden, debe analizarse las discrepancias y establecer a qué tendencia evolutiva se deben los cambios. A partir de ahí se determina si la zona no coincidente es susceptible de ser incluida en el DPHP.

A partir de los análisis anteriores, e incluyendo el resultado obtenido en el cálculo hidráulico para la máxima crecida ordinaria, se establecen tres categorías de DPHP (A, B y C) en función de las características dinámicas y de vegetación de ribera que presenten actualmente los terrenos del cauce histórico.

Opción A (DPHPa):

Cuando se detecte que el cauce mínimo a tener en cuenta en la actualidad coincide o engloba al cauce histórico, estos terrenos se consideran parte del DPHP. Esta opción se denomina DPHPa. Incluye el canal de estiaje, los terrenos con evidencias efímeras de actividad reciente y los terrenos dinámicamente conectados a estos últimos. Se considera este criterio incluso en los casos en que las evidencias se encuentren en situaciones alejadas del canal de estiaje y su presencia sea local, con distribución discontinua y dispersa, ya que evidencian la circulación de las aguas durante las crecidas.

Los terrenos inmediatos a las zonas con estas evidencias, que hayan formado parte del cauce histórico y estén colonizados por vegetación de ribera, también pueden ser englobados dentro del DPHPa, sobre todo si se detecta inestabilidad en el cauce. Se incluyen también aquellos terrenos sin vegetación, pero favorables a su desarrollo, por causas artificiales (ej.: talas arbóreas).

Opción B (DPHPb):

Se plantea ante estas situaciones:

- No existe evidencia morfológica o talud reconocible entre el cauce histórico con el resto de la zona inundable.
- Los terrenos del cauce histórico presentan actualmente una altura más similar o incluso mayor a la de los terrenos de las márgenes o llanura aluvial.
- Se ha producido una reducción en la intensidad de las inundaciones que afectan a los terrenos, mostrando una cobertura más estable.

Generalmente son cambios derivados de tendencias naturales o de modificaciones artificiales en la cuenca hidrográfica. Su inclusión en el DPHP debe ser valorada.

Opción C (DPHPc):

Se define con DPHPc los terrenos que formaron parte del cauce histórico pero que actualmente presentan una alteración artificial que ha eliminado las evidencias (ej.: rellenos artificiales) o ha modificado de forma importante la morfología del cauce (ej.: canalizaciones), alterando significativamente su inundabilidad original. Son terrenos que, en general, han perdido la dinámica que caracteriza al DPHP final, lo que se confirma con la modelización hidráulica.

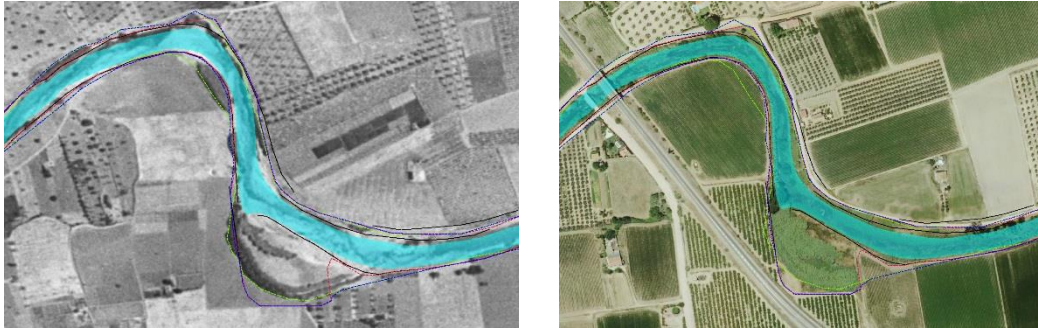


Figura 37. Comparación de cauce histórico (línea verde) con cauce actual (línea roja), basado en evidencias topográficas (líneas negras) y el estudio hidráulico. Se establece el DPHPa (línea azul), y el DPHPc en este caso (zonas en que el cauce histórico ha sido ocupado por rellenos artificiales).

7.3 Resumen

Etapas 1:

- Análisis vuelo americano (1956/57) y delimitación cauce histórico.
- Revisión fotografías aéreas posteriores para completar delimitación del cauce histórico.

Etapas 2:

- Estudio del Modelo Digital del Terreno (LIDAR) para delimitar los cambios de pendiente que delimitan el cauce.

Etapas 3:

- Análisis de la fotografía aérea actual para revisar la delimitación anterior y establecer el cauce actual.
- Revisión de la delimitación obtenida con los resultados de la ocupación de la máxima crecida ordinaria obtenida en el estudio hidráulico.

Etapas 4:

- Comparación de cauce histórico y actual.
- Delimitación del DPHP.

8 Generación de mapas

La elaboración de los mapas de peligrosidad de inundación (cálculo de la zona inundable) y de riesgo de inundación (incorporación a la zona inundable de los usos del suelo en esa zona y de los principales daños esperados) de acuerdo con los artículos 8, 9 y 10 del Real Decreto 903/2010 se ha realizado de acuerdo a la “*Propuesta de Mínimos para la realización de los mapas de riesgo de inundación*” elaborada por el MITECO para el segundo ciclo de la Directiva de Inundaciones (<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/mapa-peligrosidad-riesgo-inundacion/>).

Se pone a disposición del público un visor web (<http://revision-snczi-jucar.es:8080/webmap/>) que contiene la siguiente información:

- Mapas de peligrosidad de inundación para 10, 100 y 500 años de periodo de retorno (envolvente de calados máximos)
- Zonas legales:
 - Dominio Público Hidráulico, zonas de servidumbre y policía y zonas inundables para 10, 100 y 500 años de periodo de retorno
 - Zona de Flujo Preferente
- Mapas de riesgo de inundación para 10, 100 y 500 años de periodo de retorno:
 - Riesgo a la población
 - Riesgo a las actividades económicas
 - Riesgo en puntos de especial importancia
 - Riesgo en áreas de interés ambiental

Esta información se puede consultar sobre ortofoto o sobre mapa cartográfico.

9 Referencias

- CEDEX. (1999). *Máximas lluvias diarias en la España peninsular*. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento.
- CEDEX. (2011). *Mapa de Caudales Máximos. Memoria Técnica*.
- Ferrer Polo, F. J. (2000). *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. CEDEX.
- Ferrer, M. (2003). *Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva del modelo hidrológico del SCS: Datos de perfiles de suelos y teledetección*. Cuadernos de Investigación CEDEX.
- HEC. (2000). *HEC-HMS. Technical Reference Manual*. USACE.
- MARM. (2011). *Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Témez, J. R. (1987). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. MOPU. Dirección General de Carreteras.
- HEC-RAS 5.0 2D Modeling User's Manual. USACE.

10 Siglas y acrónimos

En este documento se han empleado las siguientes siglas y acrónimos:

ARPSI:	Área con Riesgo Potencial Significativo de Inundación
CauMax:	Mapa de caudales máximos en régimen natural
CEDEX:	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
DHJ:	Demarcación Hidrográfica del Júcar
EPRI:	Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación
GIS:	<i>Geographical Information System</i>
HEC:	<i>Hydrologic Engineering Center</i> , organismo dependiente del USACE
HMS:	<i>Hydrologic Modeling System</i>
MARM:	Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (actualmente MITECO)
MAXPLU:	Máximas lluvias diarias en la España peninsular
MDT:	Modelo Digital del Terreno
MITECO:	Ministerio para la Transición Ecológica
NC:	Número de Curva
NEx:	Normas de Explotación
NMN :	Nivel Máximo Normal
NRCS:	<i>Natural Resources Conservation Service</i> , organismo dependiente del USDA
PEP:	Plan de Emergencia de Presa
SAIH:	Sistema Automático de Información Hidrológica
SCS:	<i>Soil Conservation Service</i> , actualmente NRCS
SIG:	Sistema de Información Geográfica (equivalente a GIS)
USACE:	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
USDA:	<i>United States Department of Agriculture</i>
DPH	Dominio Público Hidráulico