



ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Autora: Laia Llin Esteller

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	3	6	APLICACIÓN DEL MODELO HEC-HMS.....	27
1.1	Objetivo del análisis hidrológico.....	3	6.1	Componentes a introducir en el modelo de simulación.....	27
1.2	Antecedentes y documentación consultada	3	6.2	Tormentas de diseño	27
1.3	Justificación del análisis hidrológico.....	3	6.3	Características de los puntos de simulación	29
1.4	Metodología desarrollada	4	6.4	Calibración del modelo	31
2	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA.....	4	6.5	Resultados obtenidos al analizar la situación actual	32
2.1	Puntos de simulación.....	4	6.6	Incertidumbre de resultados	33
2.2	Delimitación de la cuenca hidrográfica	5	6.7	Resultados obtenidos al analizar la situación futura	35
2.3	Características del cauce principal	7	6.8	Comparación de la situación actual y futura	37
2.4	Geología	8			
2.5	Geomorfología	8			
2.6	Litología	8			
2.7	Cubierta del suelo	8			
2.8	Caracterización de la producción de escorrentía	9			
2.8.1	Modelo de producción del SCS.	9			
2.8.2	Cálculo del parámetro Umbral de Escorrentía.....	11			
3	IMPACTO FUTURO DE LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN EL UMBRAL DE ESCORRENTÍA.....	13			
3.1	Antecedentes.....	14			
3.2	PGOU tomados como referencia.....	15			
3.3	Conclusiones obtenidas	18			
4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA ANUAL.....	18			
4.1	Elección de la función de distribución adecuada	19			
4.2	Actualización de los datos de precipitación media	19			
4.3	Obtención de los cuantiles de Precipitación Diaria Máxima	22			
4.4	Corrección de los cuantiles de precipitación.....	23			
5	APLICACIÓN DEL MÉTODO DE TÉMEZ MODIFICADO (1991)	24			
5.1	Introducción.....	24			
5.2	Factor de torrencialidad	25			
5.3	Coeficiente corrector del umbral de escorrentía.	25			
5.4	Resultados obtenidos	26			

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo del análisis hidrológico

El presente documento “Anejo nº1. Análisis hidrológico” forma parte del documento “Estudio de soluciones para el encauzamiento del barranco de La Cala (Finestrat, Alicante)”.

Este anejo se ha redactado con el fin de conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca que vierte sus aguas al barranco de La Cala. En definitiva, se pretende obtener la respuesta de ésta ante episodios de precipitación extremos para proporcionar el régimen de caudales correspondiente. Estos datos serán el punto de partida para un futuro diseño hidráulico.

Por otro lado, el análisis hidrológico que se ha desarrollado pretende ir más allá y tiene como segundo objetivo analizar la creciente urbanización en la zona de estudio sobre el parámetro Umbral de Escorrentía (P_0). De esta manera, se desea estudiar qué efectos se pueden producir en un futuro como consecuencia del sellado del suelo.

1.2 Antecedentes y documentación consultada

El barranco de La Cala se encuentra en la comarca de la Marina Baixa. En esta zona se han llevado a cabo diversos estudios que tratan, de manera directa o indirecta, la problemática suscitada por el riesgo de inundación que amenaza la zona en episodios de crecidas. La existencia de estos análisis previos a la redacción de este anejo pone de manifiesto el carácter relevante de las avenidas en esta zona de España.

Algunos de estos estudios, que se han tomado como referencia y a la vez han sido documentos de partida para la redacción de este anejo, son los siguientes:

- Análisis Estadístico Regional de la Precipitación Diaria Máxima Anual en la Comarca de la Marina Baja (Alicante). Este informe fue elaborado por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (IIAMA) y se enmarca dentro de los estudios de inundabilidad de la comarca de la Marina Baixa llevados a cabo por la Confederación Hidrográfica del Júcar. Se trata un documento que proporciona los cuantiles de precipitación diaria máxima anual, para determinados periodos de retorno.

- REVISIÓN, ANÁLISIS Y ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE TÉMEZ EN EL ÁMBITO DE LAS COMARCAS DE LA MARINA ALTA Y LA MARINA BAJA (ALICANTE). Este documento se corresponde con el Trabajo de Final de Máster de la alumna Belén Sánchez Baeza.
- Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre el Riesgo de Inundación de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA). Este documento, promovido por la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente (CITMA) cataloga los riesgos de inundación existentes al mismo tiempo que proporciona los aspectos a tener en cuenta a la hora de construir infraestructuras que transforman el territorio.
- Plan General de Ordenación Urbana de los términos municipales de Finestrat, La Vila Joiosa y Benidorm.

Adicionalmente se ha consultado: Instituto Geográfico Nacional (IGN), la infraestructura de datos espaciales de la Comunidad Valenciana (Terrasit), Instituto Geológico y Minero de España (IGME) e la Infraestructura de datos Espaciales de España (IDEE).

1.3 Justificación del análisis hidrológico

En la actualidad, el barranco de La Cala presenta serios problemas en su salida al mar. En este último tramo, el barranco discurre por una calle dentro del municipio de Finestrat, catalogada por éste como Paseo barranco de La Cala.

Cada vez que se producen fuertes precipitaciones, el agua circula con gran velocidad por la calle, anegando incluso zonas colindantes y provocando desperfectos en la población.

Un hecho relevante que hace resaltar la gravedad de la situación actual es el ocurrido el 21 de octubre de 2011. Aquel día, mientras tenía lugar en el Paseo Barranco de La Cala el mercado municipal al aire libre, bajó una fuerte corriente de agua y barro procedente de las zonas altas de la cuenca. Los calados que generó la crecida no fueron muy elevados pero sí suficientes para provocar la muerte de dos personas que se encontraban allí en aquellos momentos.

Desde entonces el mercadillo ha quedado prohibido, y existe una barrera que prohíbe el paso a los vehículos desde el cruce con la Calle Pajares hacia aguas arriba del barranco. Pero el recorrido del barranco sigue teniendo carácter de calle y no se ha solucionado el problema de la evacuación de caudales.

Este análisis hidrológico debe ser entendido como un primer paso para poder llevar a cabo una remodelación del entorno con el fin de mitigar los problemas planteados anteriormente.

1.4 Metodología desarrollada

Los trabajos desarrollados en el presente documento siguen una secuencia temporal que ha permitido llegar al objetivo último de manera adecuada.

En primer lugar se ha llevado a cabo la recopilación de la información de partida necesaria. De esta manera, se han podido conocer las características de la zona objeto de estudio, obteniendo parámetros físicos, climáticos y geológicos.

A continuación se ha procedido a conocer los cuantiles de precipitación diaria máxima correspondientes al barranco de La Cala. El método seguido ha sido el propuesto en el documento “*Máximas lluvias diarias en la España peninsular*”. Sin embargo, la comparación de dichos datos con los obtenidos en el *Análisis Estadístico Regional de la Precipitación Diaria Máxima Anual en la Comarca de la Marina Baja (Alicante)* puso de manifiesto que los valores obtenidos eran significativamente altos. Dado que el estudio llevado a cabo por el IIAMA es un estudio regional, de mayor precisión, se optó por tomar como referencia los cuantiles de precipitación diaria máxima obtenidos en él.

Finalmente se ha aplicado un modelo hidrometeorológico. Partiendo de datos pluviométricos se ha simulado el proceso de transformación lluvia-escorrentía. El método adoptado para obtener una primera aproximación ha sido el Método de Témez modificado. Posteriormente se ha simulado la respuesta hidrológica de la cuenca mediante el software informático HEC-HMS y se han obtenido los hidrogramas, tanto de la situación actual como futura. Para obtener los caudales máximos en la situación futura se ha tenido en cuenta el cambio producido en el Umbral de Escorrentía como consecuencia del desarrollo de los planes urbanísticos previstos.

2 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

2.1 Puntos de simulación

Uno de los condicionantes esenciales que ha marcado el desarrollo de este análisis hidrológico ha sido el punto de desagüe de la cuenca. En un primer momento éste se colocó al final del barranco de La Cala coincidiendo con la salida al mar (punto de desagüe A). Esta decisión se tomó cuando todavía no se tenía conocimiento sobre el dimensionamiento hidráulico futuro que se iba a llevar a cabo. De esta manera, considerar el punto de desagüe en A respondía a la situación de contar con un barranco cuyas aguas discurrían a cielo abierto, como es el caso actual.

Posteriormente, se planteó la necesidad de crear 3 puntos de desagüe adicionales. Éstos se localizan aproximadamente 200 metros hacia arriba del barranco, en el cruce del Paseo barranco de La Cala con la Avenida de la Marina Baixa.

Cada uno de los puntos de simulación tiene una ubicación concreta. La justificación de su emplazamiento es la siguiente:

- Punto B: es necesario para dimensionar la obra hidráulica que se propone a lo largo del Paseo de La Cala. Se ha considerado oportuno situar el punto de simulación al final del barranco, y no al inicio, para tener en cuenta la cantidad de agua que puede recoger el barranco por los laterales. Es más desfavorable colocar el punto de desagüe aquí que al inicio, donde confluyen el barranco de La Cala con el Garjola, puesto que, entre otros factores, la longitud del cauce y la superficie drenada son mayores.
- Punto C: se ubica en este lugar para tener en cuenta las aguas que bajan por la Av. de la Marina Baixa. La superficie drenada será mucho menor que la del barranco de La Cala.
- Punto D: es el último punto donde se prevé la recogida de agua, antes de mediante tuberías en presión hasta el mar.
- Punto A: se trata del último punto de desagüe de la cuenca, el que caracteriza el conjunto de la cuenca del barranco de La Cala.

A continuación se puede observar donde se encuentran cada uno de los cuatro puntos de desagüe considerados.



Fig. 1. Localización de los puntos de desagüe requeridos por el diseño hidráulico futuro. Fuente: elaboración propia.

2.2 Delimitación de la cuenca hidrográfica

En un primer momento, y para tener una primera aproximación, se delimitó la cuenca a mano tomando como base un plano cartográfico descargado del visor IBERPIX. Posteriormente se procedió a hacer una delimitación manual de la cuenca mediante el software informático ArcGIS.

- Características principales de la cuenca

La mayor parte de la cuenca hidrográfica del barranco de La Cala está ubicada dentro del término municipal de Finestrat, pero también se extiende hacia Benidorm por el Norte y a La Vila Joiosa por el Sur, donde limita con la cuenca del Río Torres.

A continuación se recogen las magnitudes más significativas de la cuenca asociada al punto de desagüe A:

Área de la cuenca → **9.6 km²**

Longitud del cauce principal → **5.2 km**

Desnivel total del cauce → **450 metros**

Coordenadas UTM del punto de desagüe: 30 S **X: 747010.20 E; Y: 4267823.53 N**

Coordenadas UTM del centro de la cuenca: 30 S **X: 745824 E; Y: 4269585 N**

Por otro lado, también existen otros barrancos como son el barranco Garjola y el barranco de les Bastides. El primero de ellos se incorpora al de La Cala en el cruce con la Avenida Finestrat, antigua N-332, y el segundo lo hace más abajo por el margen izquierdo. Sin embargo, hoy en día es muy difícil trazar el recorrido del barranco de les Bastides dado que discurre en su mayoría por zona urbana.

La delimitación que se ha obtenido es la siguiente.

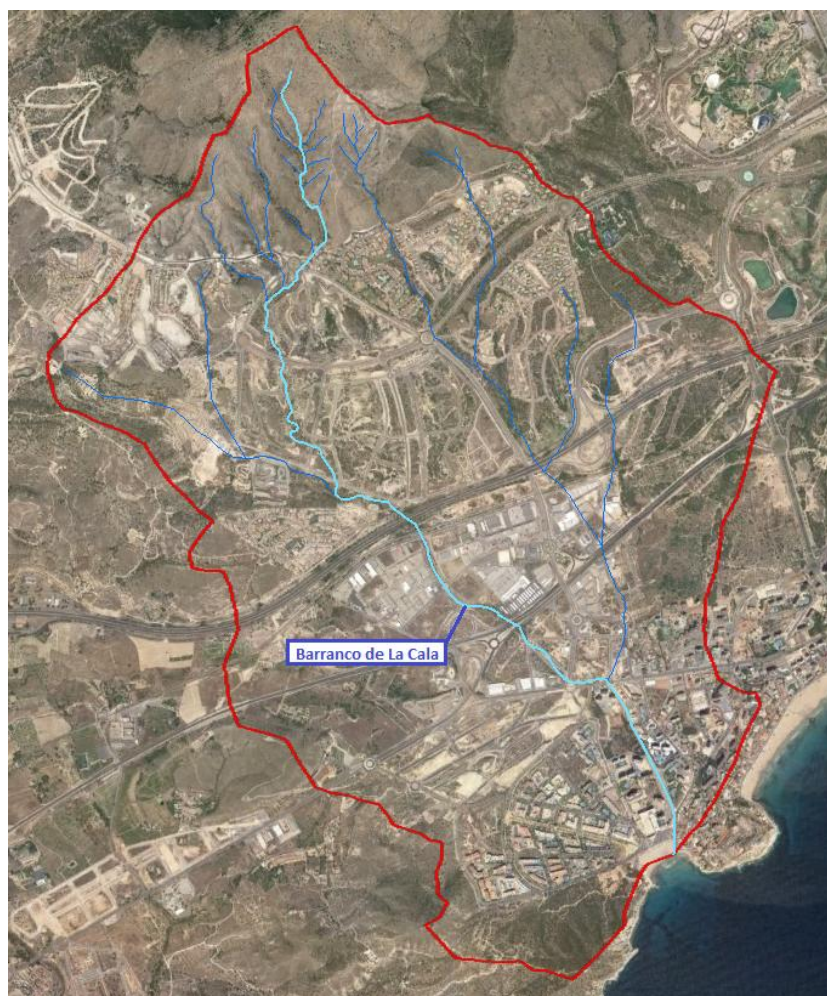


Fig. 2. Vista aérea de la cuenca hidrográfica del barranco de La Cala. Fuente: elaboración propia.

- Consideraciones tenidas en cuenta en la delimitación

Se ha considerado oportuno incluir la zona urbanizada que queda en el margen derecho de la calle Paseo Barranco de La Cala. Dicha matización se ha llevado a cabo puesto que de esta manera se tiene en cuenta la posible cantidad de agua que se pueda generar, aún sabiendo que se trata de zona urbana dotada de red de alcantarillado, por lo que es probable que el agua se recoja y sea vertida al mar por otro punto.

Al mismo tiempo sí se ha podido constatar que se produce acopio de agua en la parte más alta del tramo urbano de barranco, pues existe un número considerable de tuberías que vierten directamente al barranco.

- Subcuencas

La cuenca objeto de estudio se divide a su vez en 3 subcuencas. La configuración que adopta la cuenca después de hacer esta subdivisión es de una disposición ordenada en línea. Las cuencas reciben el nombre de SC1, SC2 y SC3 desde la zona más alta hasta la cota cero.

Existe un único cauce fluvial principal, si bien es cierto que aparecen afluentes dispersos sobre las zonas altas de la cuenca, sobre Serra Cortina.



Fig. 3. División en subcuencas

2.3 Características del cauce principal

El barranco de La Cala es un río efímero dado que no transporta un caudal constante a lo largo del año. Sin embargo, tiene una alta torrencialidad.

En él se distinguen tres tramos bien diferenciados, que a su vez son los que provoca la subdivisión en subcuencas.

1º tramo: Se localiza entre el punto más alto de Serra Cortina y el cruce con la autopista AP-7. Aquí el barranco discurre de manera natural. Únicamente fluye enterrado cuando cruza la urbanización Golf Bahía. El ancho del cauce medio del cauce es de aproximadamente 6 metros y la vegetación que en él aparece se corresponde con arbustos de baja altura. A pesar de tratarse de la zona menos alterada del barranco de La Cala, antes de llegar a la AP-7 existen hasta 4 viales que cruzan de manera perpendicular el barranco. De esta manera, el excesivo número de obras de drenaje transversal condiciona el transcurso natural del cauce.

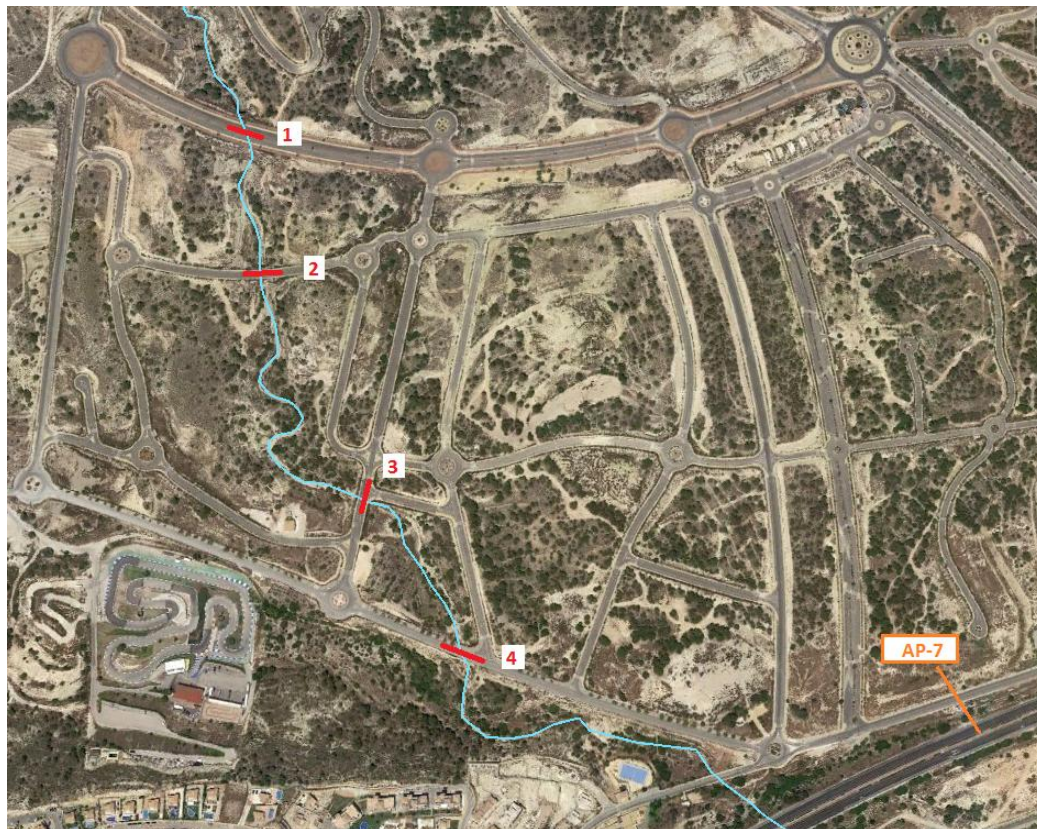


Fig. 4. Vista aérea del tramo 1 del barranco de La Cala a su paso por las zonas en proceso de desarrollo y urbanización.

2º tramo: Entre la AP-7 y el cruce con la Avenida de Finestrat, antigua carretera nacional. Este tramo ya cuenta con cierta artificialidad, al discurrir entre un polígono industrial y una zona destinada a uso residencial que ya está urbanizada. Aquí se ha llevado a cabo la rehabilitación del barranco mediante una configuración que combina el lecho del cauce de hormigón con la vegetación característica de un tramo natural.



Fig. 5. Sección del barranco en el 2º tramos del barranco. FUENTE: elaboración propia.



Fig. 6. Lecho del cauce con hormigón y rocas distribuidas de manera no uniforme. FUENTE: elaboración propia.

3º tramo: Es el tramo final del barranco que llega hasta el mar. Todo él discurre por zona urbana. Concretamente por el Paseo barranco de La Cala. La morfología del cauce responde a la de una calle. El pavimento es de asfalto por lo que la capacidad de infiltración de agua en el suelo es baja.

2.4 Geología

Según se ha podido consultar en el *Mapa Geológico de Alicante a escala 1/200000 (IGME)*, la zona objeto de estudio pertenece a la Era del Cenozoico, concretamente al sistema Neogeno, pero también existe una extensión menor del Mesozoico y sistema cretácico.

Por otro lado, también se ha podido comprobar que en la zona de mayor altitud, desde la base de Serra Cortina y en sus laderas, existe la presencia de karstificación. La superficie que ocupa se corresponde con la que es de la era del Mesozoico. Ésta se puede ver en la siguiente figura.

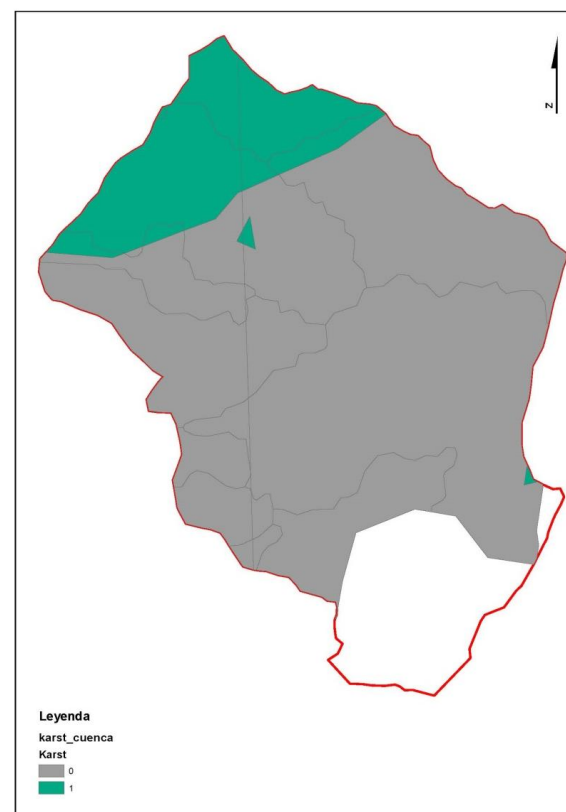


Fig. 7. Mapa de zonas kársticas en la cuenca del barranco de La Cala. FUENTE: elaboración propia a partir del mapa de zona kársticas del GIMHA.

2.5 Geomorfología

La geomorfología de la cuenca objeto de estudio es diversa. Se trata de una cuenca pequeña, cuyo cauce principal tiene un recorrido corto. El punto más alto se encuentra a una altura de 445 metros. En una longitud de 3 km medidos desde el inicio del cauce se descienden 380 metros. A partir de aquí se produce un descenso suave hasta llegar la cota cero.

Pero esta caracterización física del terreno se está viendo alterada debido al creciente antropización en la zona. Con la aparición de nuevas urbanizaciones se está modificando la pendiente del terreno así como la del barranco de La Cala. Éste tiene un nivel de artificialidad y sellado cada vez mayor.

2.6 Litología

Respecto a la litología, según el *Mapa Litoestratigráfico de España a escala 1/200000*, en la cuenca del barranco de La Cala se alternan dos unidades cuya presencia es similar en cuanto a extensión:

- Conglomerados y calizas travertínicas. En su mayoría se localizan en la parte media de la cuenca, desde la carretera nacional N-332 hasta la base de Serra cortina.
- Gravas, arenas y limos. Éstas se encuentran en la zona de menor cota, desde la N-332 hasta la costa.

pero también aparece una tercera cuya superficie es más reducida

- Calizas, dolomías y margas de permeabilidad media. Éstas se ubican en Serra Cortina, desde su base hasta la zona de mayor altitud.

2.7 Cubierta del suelo

Por lo respecta a los usos del suelo, se ha consultado la cartografía temática del SIOSE del 2011. Cabe mencionar que se trata de una capa que no está actualizada. Concretamente, aquella zona donde existe una diferencia más significativa respecto a la situación actual real es la que se encuentra entre la AP-7 y Serra Cortina.

A la vista de la figura 5.1 existen zonas *Coníferas* y *Pastizal*. Sin embargo, como se puede observar al consultar el visor Google Earth, en la actualidad esta es una zona en proceso de desarrollo y urbanización. Ya se ha construido el viario, e incluso se han delimitado las parcelas para la futura construcción de viviendas.

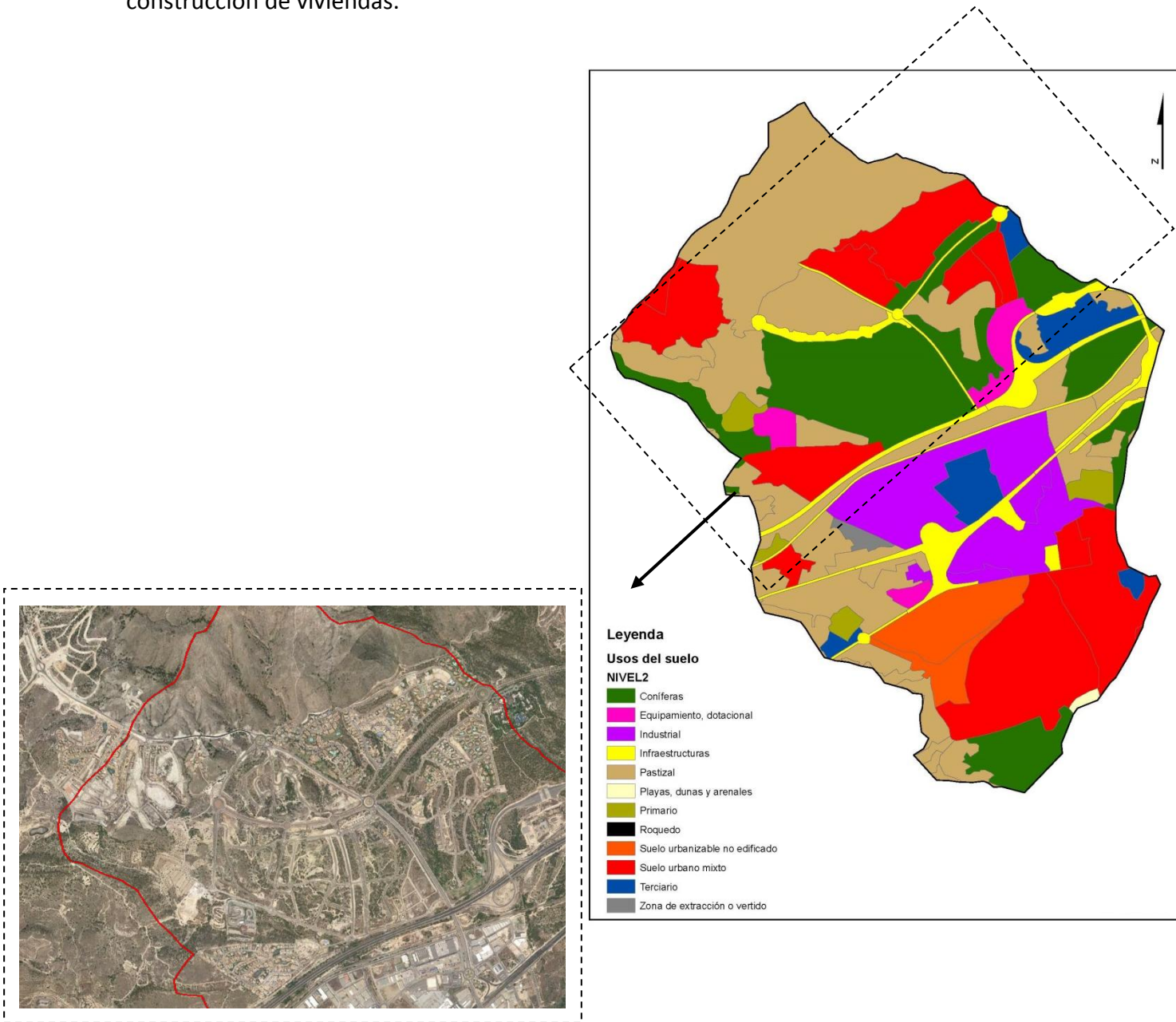


Fig. 8. Mapa de usos del suelo asociado a la cuenca del barranco de La Cala. FUENTE: elaboración propia.

2.8 Caracterización de la producción de escorrentía

La producción de escorrentía depende de múltiples factores que influyen en la capacidad de infiltración del suelo. Algunos de ellos son los siguientes:

- Características hidráulicas del suelo.
- Condiciones de drenaje profundas.
- Estado de la superficie del suelo, donde influyen aspectos como son el grado de compacidad y la pendiente del terreno.
- Grado de desarrollo y tipo de cobertura vegetal.
- Contenido de humedad del suelo.

Existen varios modelos que cuantifican la capacidad de infiltración que tiene un suelo. Entre ellos se encuentran:

- Modelo de Horton: su formulación (1940) es una de las más empleadas en Hidrología y propone lo siguiente: “la capacidad de infiltración comienza con un valor máximo f_0 , al comenzar el aguacero, valor que decrece exponencialmente a lo largo del tiempo hasta alcanzar un valor más o menos constante, f_c , que coincide con la conductividad hidráulica en saturación”. Este modelo presenta buenos resultados, aunque no incluye la humedad antecedente.
- Modelo de Green y Ampt: se trata de un modelo físico simplificado, propuesto en 1911, que considera un perfil de suelo simplificado con frente mojante indeformable y una zona de transmisión saturada. Además propone que en el frente mojante se produce un fenómeno de succión capilar. Al contrario que el modelo de Horton, éste sí tiene en cuenta el estado de humedad inicial del suelo.
- Modelo del Soil Conservation Service: fue desarrollado por este organismo en 1972 y es ampliamente utilizado en la actualidad. La Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial toma este modelo como referencia para la determinación del coeficiente de escorrentía.

2.8.1 Modelo de producción del SCS.

Este modelo considera que existe un Umbral de Escorrentía (P_0), a partir del cual el terreno no es capaz de infiltrar más agua y ésta discurre por la superficie como un flujo difuso.

Las tres variables más importantes a la hora de obtener el Umbral de Escorrentía son las siguientes:

- Tipo de suelo.
- Tipo de cubierta vegetal.
- Pendiente del terreno.

Pero existen otras como son la humedad inicial del suelo o su erosionabilidad.

El método para obtener el Umbral de Escorrentía característico en una determinada zona pasa por analizar la presencia de cada una de las variables. La obtención de los valores característicos de cada una de ellas se puede obtener a partir de tablas. De esta manera, el Umbral de Escorrentía queda tabulado y su obtención se simplifica.

Para el cálculo del Umbral de Escorrentía, la Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial propone:

- 1) Clasificación del suelo. Para ello se tiene en cuenta la textura del suelo según propone el SCS.

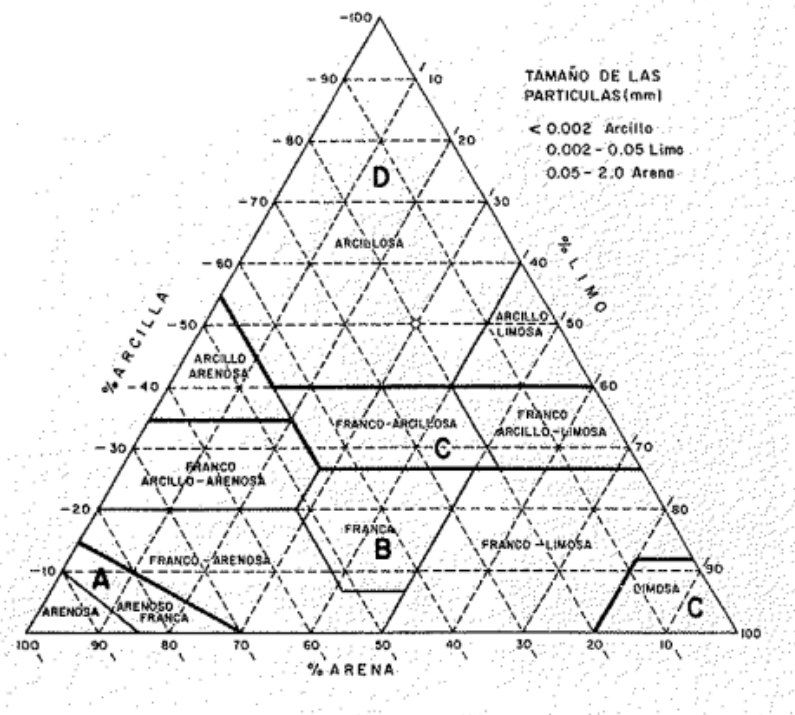


Fig. 9. Diagrama triangular para la determinación de la textura del suelo. FUENTE: Instrucción 5.2-IC de Drenaje Transversal.

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el Grupo D.

Fig. 10. Clasificación de los suelos a efectos del Umbral de Escorrentía. FUENTE: Instrucción 5.2-IC de Drenaje Transversal.

- 2) Influencia de los usos del suelo y de la pendiente. Se lleva a cabo cuando se conoce el tipo de suelo en función de su capacidad de drenaje, Fig. XXX

Teniendo en cuenta condiciones medias de humedad inicial, se obtiene los siguientes valores de P0.

Cubierta del suelo	Pendiente (%)	Caract. hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	≥ 3	R	15	8	6	4
	< 3	R/N	17	11	8	6
Cultivos en hilera	≥ 3	R	23	13	8	6
	< 3	R/N	25	16	11	8
Cereales de invierno	≥ 3	R	29	17	10	8
	< 3	R/N	32	19	12	10
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6
	< 3	R/N	28	17	11	8
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	12	9
	< 3	R/N	42	23	14	11
Praderas	≥ 3	Pobre	24	14	8	6
	< 3	Media Buena Muy buena	53 70 80	23 33 41	14 18 22	9 13 15
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Pobre Media Buena	58 80 120	25 35 55	12 17 22	7 10 14
	< 3	Muy buena	250	100	25	16
Masas forestales	≥ 3	Pobre Media Buena	62 80 100	28 34 42	15 19 22	10 14 15
	< 3	Muy clara Clara Media Espesa Muy espesa	40 60 75 90 120	17 24 34 47 65	8 14 22 31 43	5 10 16 23 33
Rocas permeables	≥ 3				3	
	< 3				5	
Rocas impermeables	≥ 3				2	
	< 3				4	

Fig. 11. Valores medios del parámetro P0. FUENTE: Cálculo hidrometeorológico de avenidas. CEH-CEDEX.

- 3) Modificación del P0 en función del contenido de humedad inicial. Permite obtener unos valores corregidos del Umbral de Escorrentía.

Condición	P total (mm) de los 5 días anteriores	
	Estación de latencia	Estación de crecimiento
I seco	$PT \leq 13$	$PT \leq 36$
II medio	$13 \leq PT \leq 28$	$36 \leq PT \leq 53$
III húmedo	$PT \geq 28$	$PT \geq 53$

Fig. 12. Condiciones de humedad del SCS. FUENTE: Instrucción 5.2-IC de Drenaje Transversal.

Po (mm)	Po (mm) correspondiente	
Condición II	Condición I	Condición III
3	7	0,5
6	14	1
9	21	2
13	29	3
17	38	5
21	48	7
27	61	10
33	75	13
41	93	17
50	112	21
61	135	27
75	167	33
93	213	41
117	283	50

Fig. 13. Equivalencia de P0 entre las condiciones de humedad del SCS. FUENTE: Instrucción 5.2-IC de Drenaje Transversal.

Donde las condiciones I y II se calculan como sigue:

$$P_{0I} = 2.381 * P_{0II}$$

$$P_{0III} = 0.435 * P_{0II}$$

2.8.2 Cálculo del parámetro Umbral de Escorrentía.

Para conocer el umbral de escorrentía promedio de la cuenca objeto de estudio se ha partido de los datos obtenidos por la alumna Belén Sánchez en el TFM *“Revisión, Actualización y Análisis del modelo de Témez en el ámbito de las comarcas de la Marina Alta y Baixa (Alicante)”*. El modelo de capacidad de infiltración del suelo considerado es el del SCS. Además se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para el análisis de los distintos usos del suelo se ha considerado la cubierta del suelo especificada por CORINNE 2006.
- Para la elaboración del mapa de pendientes se ha considerado el Modelo de Elevación Digital del terreno elaborado por el GIMHA en el *“Informe de Modelación Hidrológica de las cuencas vertientes a las comarcas de las Marinas (Alicante)”*.

La información que se ha tomado como referencia es el mapa de Umbral de Escorrentía generado para las comarcas de la Marina Alta y Baixa. Éste se ha adaptado para la cuenca hidrográfica objeto de estudio. Los valores de P0 proporcionados se han contrastado, corregido y se han añadido en aquellas zonas que no habían sido analizadas.

En el ya citado estudio se elaboraron 3 mapas de Umbral de Escorrentía en función del nivel de karstificación. Dichos mapas se conocen como Mapa B1, Mapa B2 y Mapa B3. Su número se corresponde con la presencia, de menor a mayor grado, de karstificación.

A pesar de que la presencia de karst no es muy extensa en la cuenca del barranco de La Cala, el hecho de que exista karstificación en la zona más alta hace necesario considerar el caso más desfavorable y adoptar como válido para este análisis el Mapa B3.

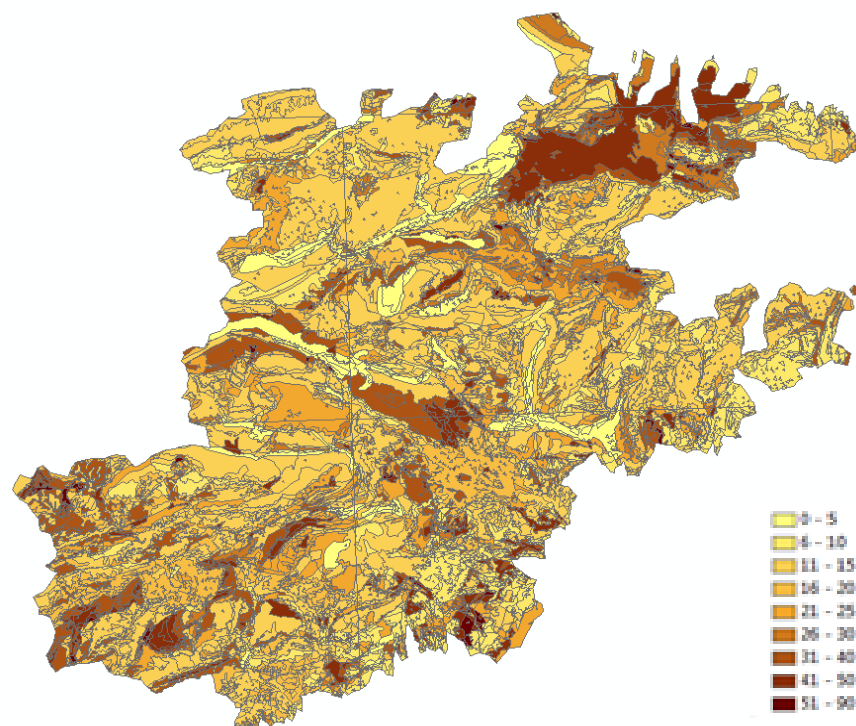


Fig. 14. Mapa B3 del Umbral de Escorrentía en las comarcas de la Marina Alta y Marina Baixa.
FUENTE: TFM Revisión, Análisis y Actualización del modelo de Témez en el ámbito de las comarcas de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante).

Concretamente, el mapa de escorrentía que se ha proporcionado como referencia se presenta en formato SHAPE. Éste ha sido introducido en el software informático ArcGIS para hacer las permitentes modificaciones.

En primer lugar se ha corroborado que los Umbrales de Escorrentía propuestos para el área delimitada se correspondían con la situación actual.

Sobre el mapa tomado como referencias se han realizado cambios, sobre todo en la parte alta de la cuenca (entre la AP-7 y Serra Cortina). En esta zona existían polígonos que hacían referencia a zonas de bosque, pero que en realidad ocupan terrenos que están en proceso de desarrollo y urbanización, por lo que el Umbral de Escorrentía es menor.

Éste ha sido un cambio significativo y ha provocado que el Umbral de Escorrentía que predomine de la mitad de la cuenca hacia arriba sea 8 (tejido urbano discontinuo) y 9 (zonas en proceso de urbanización).

A efectos de nomenclatura, se considera oportuno cambiar el nombre de la Zonas en construcción por Zonas en desarrollo y urbanización.

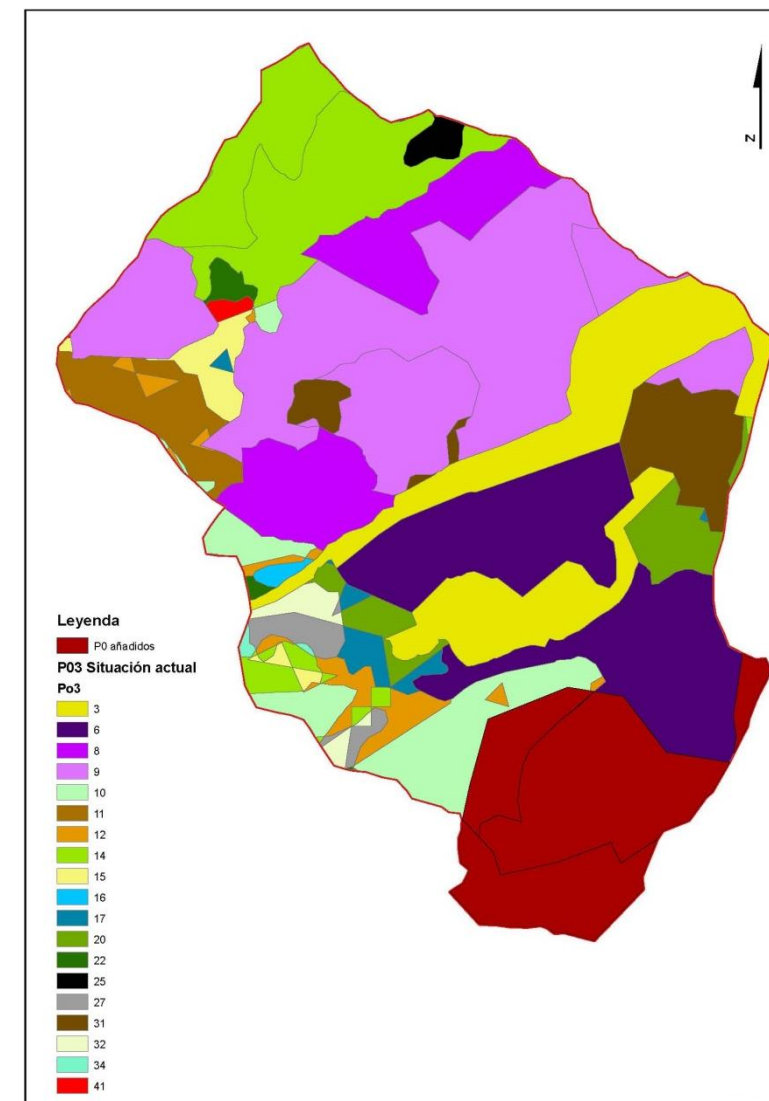


Fig. 15. Mapa del Umbral de Escorrentía actual asociado a la cuenca del barranco de La Cala FUENTE: TFM Revisión, Análisis y Actualización del modelo de Témez en el ámbito de las comarcas de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante).

Por otro lado, también se han construido nuevos polígonos para incorporar el valor de P0 de aquellas zonas donde no se tenía información. El criterio de asignación de P0 ha sido el que ya se había establecido en la calibración de las comarcas Marina Alta y Baixa. La zona donde se ha tenido que llevar a cabo esta modificación se sitúa en la parte baja de la cuenca, donde casi la totalidad de la misma se encuentra en zona urbana. Pero, se ha analizado con más precisión y se han obtenido 3

valores de P0 distintos. Existía una *zona en construcción* (P0=9), otros dos polígonos de *tejido urbano continuo* (P0=6) un tercero de *Matorral* (P0=14), que abarca la zona comprendida entre La Cala y el Tossal de la Torre d'Aguiló.

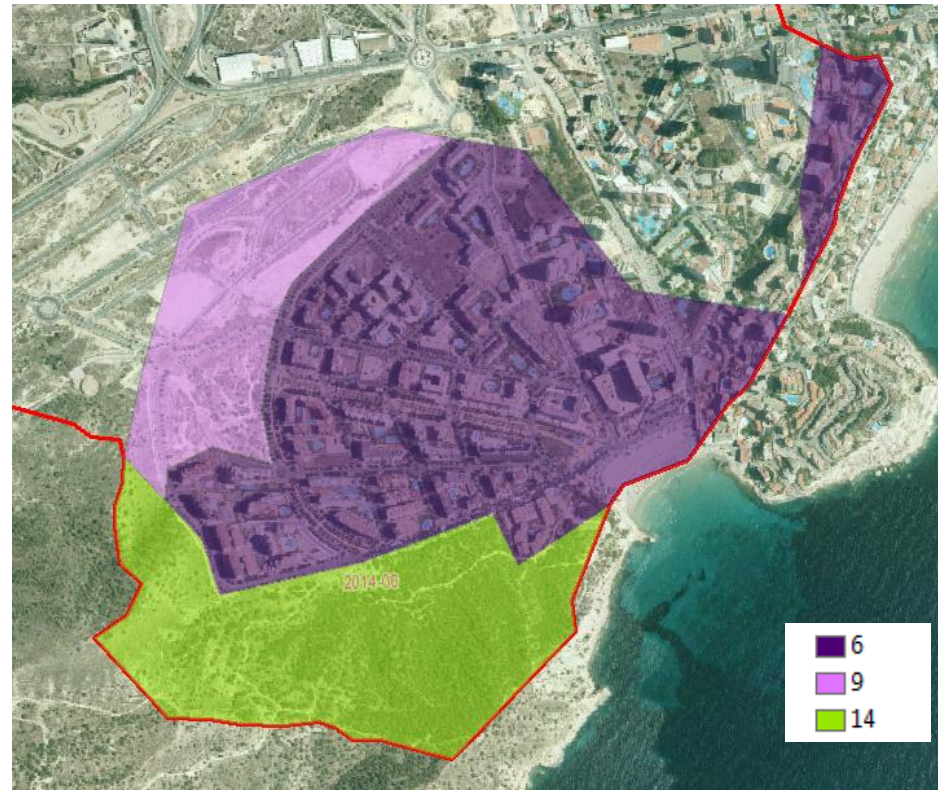


Fig. 16. Polígonos añadidos al Mapa de P0 actual del barranco de La Cala. FUENTE: elaboración propia.

Tras realizar los pertinentes cambios y ajustar el mapa de P0 tomado como base a la situación actual de la zona se llevó a cabo el cálculo del Umbral de Escorrentía promedio. Se trata de una media ponderada en función del área de cada uno de los polígonos, para una extensión total de 9.62 km².

Los valores de P0 obtenidos son los siguientes:

- P0 promedio total → 11.2
- P0 promedio SC1 → 13.26
- P0 promedio SC2 → 10.15
- P0 promedio SC3 → 11.25

3 IMPACTO FUTURO DE LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN EL UMBRAL DE ESCORRENTÍA

Algunos conceptos de planificación urbana/ordenación urbanística que se mencionan en el apartado 3 son los siguientes:

- Plan General de Ordenación Urbana: instrumento básico de ordenación integral del territorio de uno o varios municipios, a través del cual se clasifica el suelo, se determina el régimen aplicable a cada clase de suelo, y se definen los elementos fundamentales del sistema de planeamiento o planificación urbana del municipio en cuestión.
- Normas subsidiarias: normativa de ordenación urbana, que puede existir en ausencia de Plan General, y cuya finalidad es establecer la ordenación de aplicación directa en municipios sin Plan General. Mientras se elabora este último, sirve para fijar las directrices a tener en cuenta en su redacción.
- Suelo Urbanizable No Programado: aquel que el Plan General destina a ser base del futuro crecimiento urbano, aunque no se fija una programación temporal concreta. El posible desarrollo de estos suelos se realiza en función de las condiciones que el Ayuntamiento establezca en las convocatorias de los oportunos Programas de Actuación Urbanística.
- Ordenación Estructural: determinaciones urbanísticas que sirven para dotar de coherencia global a la ordenación urbanística, integrando en un conjunto armónico las diversas determinaciones correspondientes a cada parte del territorio.
- Ordenación Pormenorizada: aquellas que contienen una regulación suficiente y precisa del destino urbanístico de cada terreno y construcción.

3.1 Antecedentes

La zona donde se ubica la cuenca hidrográfica objeto de estudio ha sufrido un proceso de urbanización creciente a lo largo de los últimos 30 años. El suelo por donde discurren las aguas que vierten al barranco de La Cala se ha ido sellando debido a la construcción de viviendas, casi todas ellas de segunda residencia, que han ido artificializando el territorio creando un espacio urbano continuo o discontinuo, en función del tipo de edificación.

Esta modificación del suelo influye en gran medida sobre el parámetro que caracteriza la capacidad de crear escorrentía en un determinado lugar, el umbral de escorrentía P0.

Este apartado pretende aportar la justificación necesaria para poder dar a conocer qué podría suceder en un futuro si se desarrollan los objetivos urbanísticos de los términos municipales a los que les afecta la cuenca hidrográfica que se pretende analizar.

En un primer momento se obtuvo información del geoportal de información geográfica de la Comunidad Valenciana *Terrasit*. Se introdujo en ArcGIS la capa de planeamiento urbanístico de la Comunidad Valenciana y se pudo obtener una visión general sobre cómo podría evolucionar la zona objeto de estudio.

Como se observa en la Fig. 16 casi toda la cuenca del barranco de La Cala está o es susceptible de ser edificada.

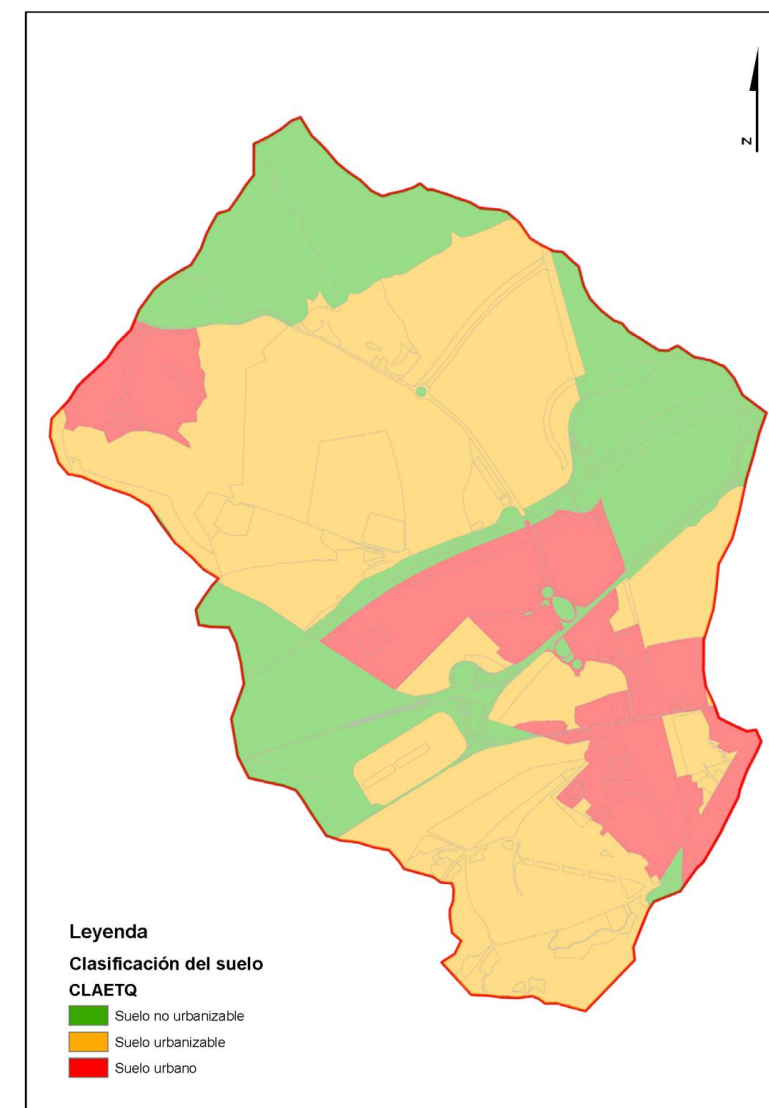


Fig. 17. Planeamiento vigente en el barranco de La Cala. Fuente: elaboración propia.

3.2 PGOU tomados como referencia

Para poder conocer cuál será, en un futuro, el desarrollo urbanístico específico de la cuenca que vierte sus aguas al barranco de La Cala es necesario obtener información de los tres municipios que se ven afectados. Se ha consultado el Plan General de Ordenación Urbana de cada uno con el objetivo de contrastar la información pero también ver la clasificación de suelo propuesta para poder prever un valor de P0 futuro que sea lo más preciso posible.

Gracias a la información obtenida en la sección de Evaluación Ambiental y Territorial del portal informático de la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente (CITMA), se ha podido conocer en qué fase se encuentran cada uno de los PGOU consultados.

Hasta la fecha, Finestrat es el único municipio cuyo PGOU no ha sido aprobado. Con la redacción del Documento de Alcance del Estudio Ambiental y Estratégico (DAEATE) se ha dado por finalizada la fase 1 del *Procedimiento de elaboración y aprobación de planes*, descrito en el Título III, Capítulo II de la Ley 5/2014 de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje (LOTUP). La Vila Joiosa y Benidorm sí que han obtenido la Declaración Ambiental Estratégica (DATE) favorable, y posteriormente han recibido la Aprobación Definitiva.

Es necesario recalcar que en el presente análisis se ha tenido en cuenta el escenario más desfavorable, considerando que en un futuro se llevará a cabo el conjunto de las transformaciones urbanísticas propuestas. A continuación se resume la información obtenida.

➤ FINESTRAT

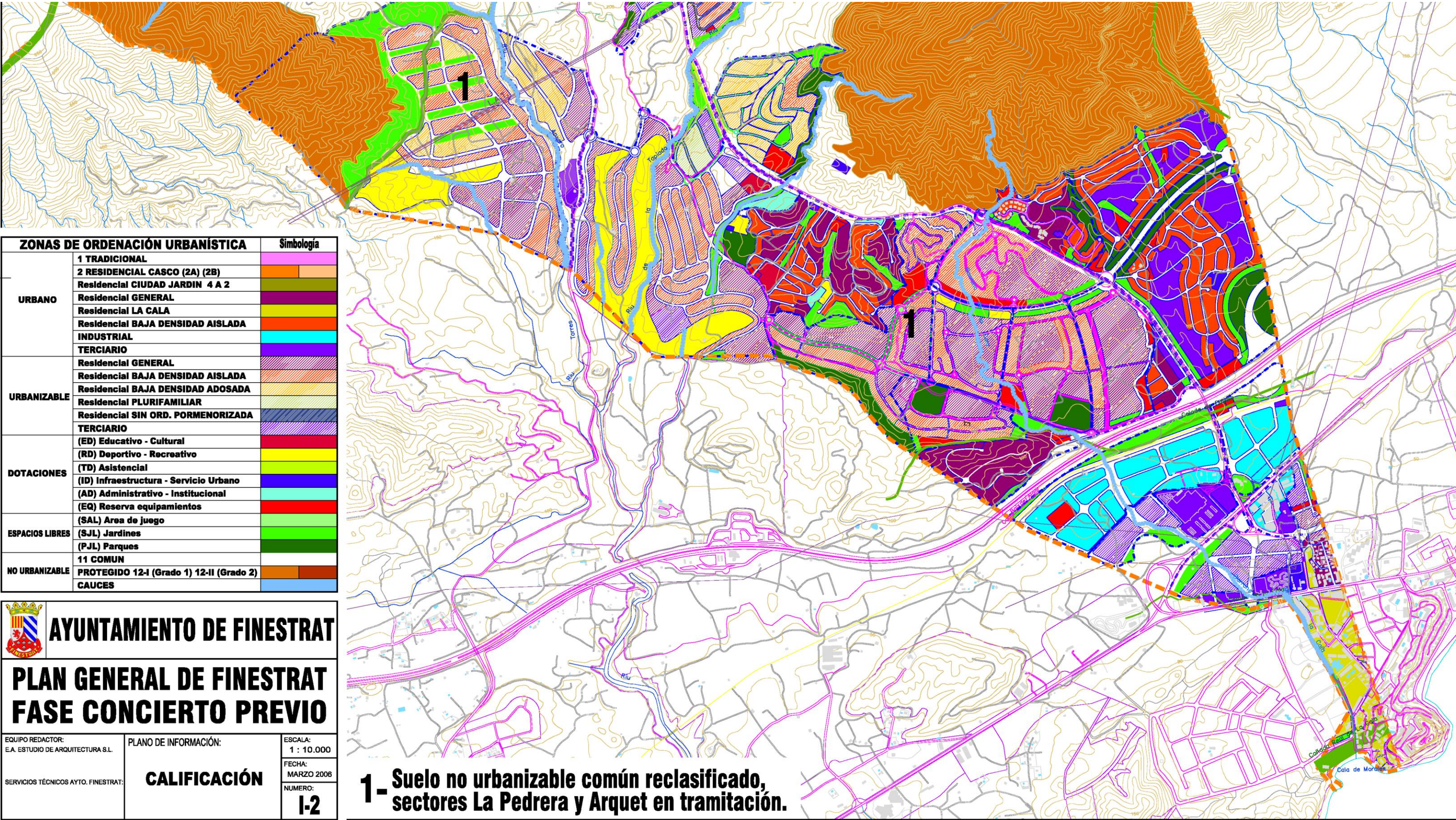
El término municipal de Finestrat ocupa la mayor parte la cuenca del barranco de La Cala. El Casco Urbano Finestrat se encuentra en el interior, pero el desarrollo urbanístico en el Casco Urbano de la zona de La Cala tiene un impacto significativo sobre la parte baja de la cuenca, dificultando así el desagüe natural de la misma. El reducido espacio entre Serra Cortina y La Cala, así como la forma de “embudo” que caracteriza la delimitación administrativa del municipio, provoca que la extensión de los terrenos a urbanizar, aún siendo poca si se compara con otros lugares de la costa, sea considerada muy importante a efectos de este análisis hidrológico.

A la vista de la clasificación de suelo como Suelo Urbanizable se ha podido establecer un criterio para escoger el valor de P0 que tendrán los terrenos en un futuro. El suelo que en la actualidad está en desarrollo y urbanización entre la autopista AP-7 y Serra Cortina se caracterizará con un P0=8

correspondiente a “Tejido urbano de baja densidad”. El resto de suelo que todavía esté por urbanizar y en la actualidad tenga un P0 mayor, también pasará a tener las mismas características.

El desarrollo urbanístico que se ha producido en Finestrat, responde a las Normas Subsidiarias aprobadas en el año 1989 y a las diferentes Modificaciones Homologativas que se han aprobado desde entonces hasta la fecha actual. Se ha permitido la reclasificación de importantes superficies de suelo sin la necesidad de desarrollar un PGOU, que es la figura de planeamiento urbanístico municipal que permite analizar y estudiar el modelo urbanístico en el conjunto del término municipal, y hubiera permitido estudiar los efectos de dicho planeamiento sobre el territorio, y en concreto los riesgos de inundabilidad en la zona baja del barranco de la Cala. Como consecuencia de ello, se producirá una modificación en el Umbral de Escorrentía promedio de la cuenca del barranco de La Cala, que provocará que el efecto de las crecidas sea más devastador en el último tramo al haber disminuido la capacidad de infiltración del suelo en la parte alta.

Por este motivo, es importante que la planificación urbana se realice de manera integrada, teniendo en cuenta el conjunto de efectos que puede producir en el territorio la modificación de los usos del suelo. Este es un aspecto que considera la revisión del *Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana PATRICOVA*, sometida a información pública pero no aprobada todavía. En este documento, según el apartado 3 del Artículo 9, se recoge lo siguiente: “*Aquellas actuaciones que justificadamente planteen un crecimiento de suelo sellado por encima de lo previsto en la Estrategia Territorial de la Comunidad Valenciana habrán de efectuar un estudio que garantice que se cumple el criterio de internacionalización del incremento de peligrosidad de inundación en la cuenca*”.



➤ LA VILA JOIOSA

La Vila Joiosa cuenta con una extensión de suelo dentro de la cuenca del barranco de la Cala mucho menor que Finestrat. El mayor desarrollo que afecta a la cuenca se ha producido en el margen derecho del barranco, cuando éste discurre por dentro de la zona de La Cala. Se trata de edificios de viviendas de segundo residencia. En la actualidad existe suelo que ha sido construido pero también hay terrenos que están en desarrollo y urbanización. En este caso el P0 bajará hasta un valor de 6 por considerarse que el tejido urbano que se formará aquí es continuo.

También existe una reserva de suelo clasificado como Suelo Urbanizable Pormenorizado que abarca la zona del Tossal de la Torre d'Aguiló. Si esta zona se urbanizara se produciría un cambio significativo, no solo a nivel de escorrentía si no también a nivel paisajístico y ambiental.

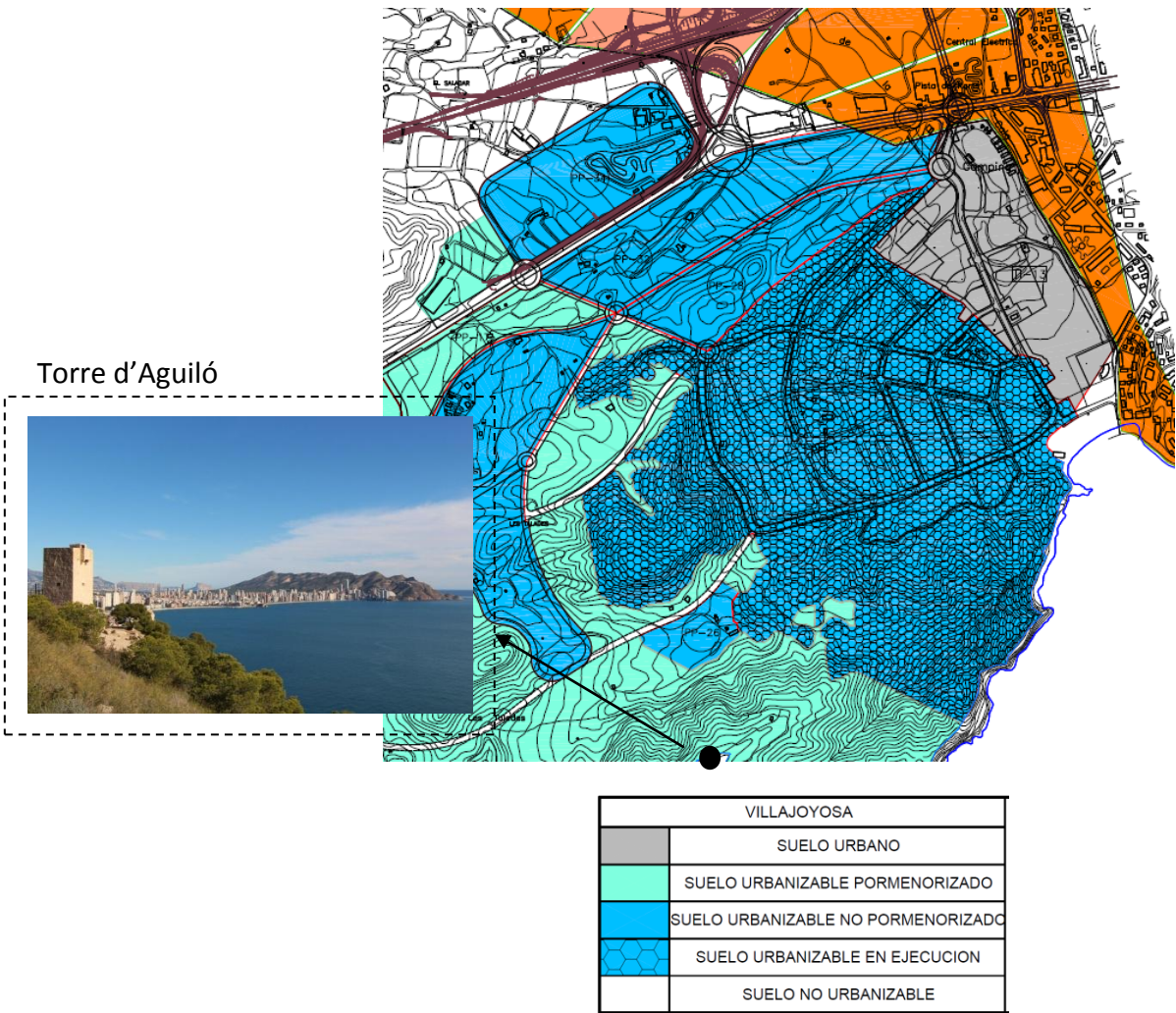


Fig. 18. Clasificación de suelo del término municipal de La Vila-Joiosa. Fuente: PGOU de La Vila Joiosa.

Sin embargo, al consultar los Planos de detalle de Ordenación Pormenorizada se ha podido observar que el uso que se prevé dar a tal zona se encuentra dentro de la Red Primaria de Parques, por lo que no se producirá un cambio respecto al Umbral de Escorrentía, que seguirá siendo *Matorral* (P0=14).

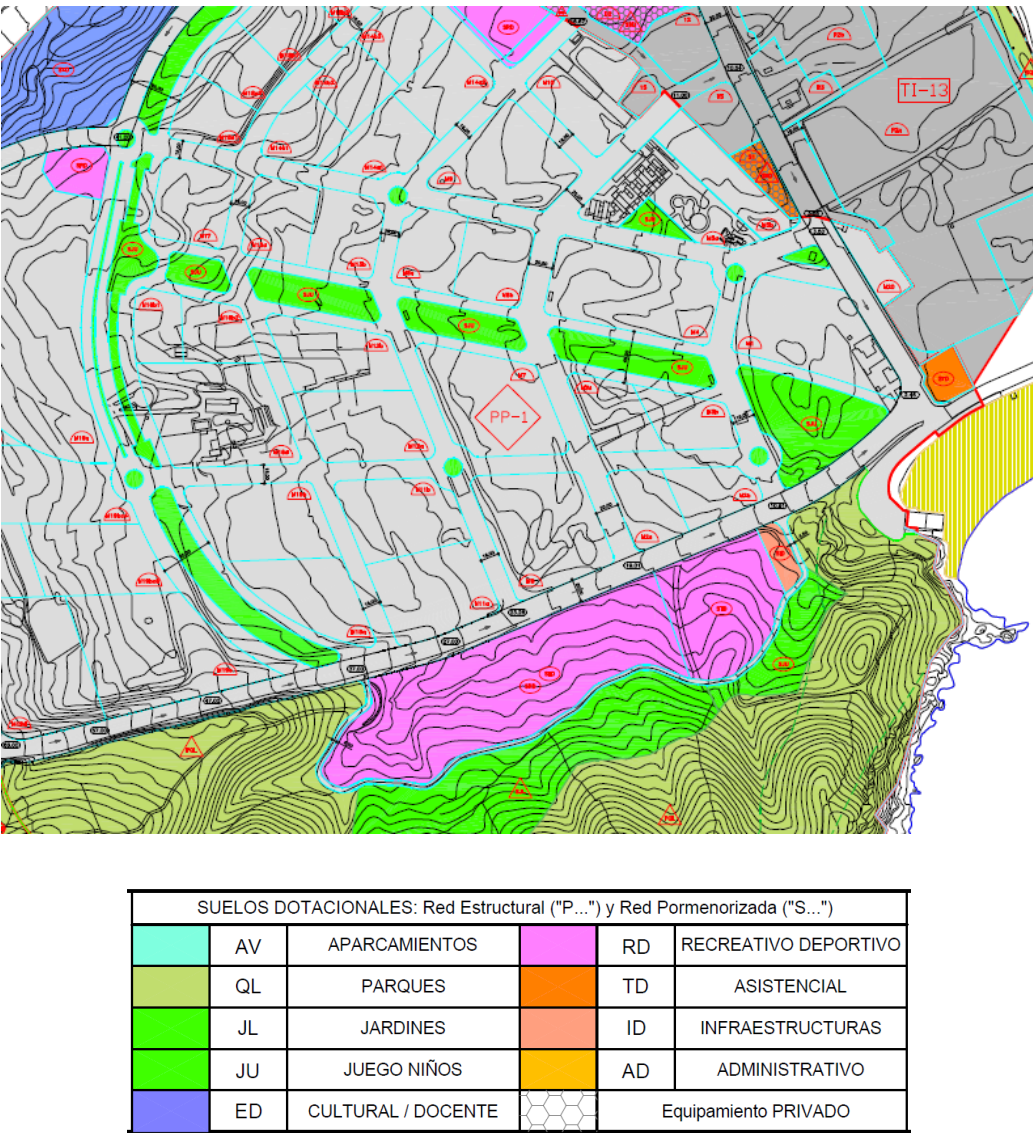


Fig. 19. Detalle del "Plano de Ordenación Pormenorizada. Suelos urbanos y urbanizables". FUENTE: PGOU Vila-Joiosa.

➤ BENIDORM

Benidorm es el municipio que menos desarrollo urbanístico tiene previsto en el entorno de La Cala. El suelo urbano o susceptible de serlo se concentra entre la AP-7 y La Cala.

3.3 Conclusiones obtenidas

Después de recopilar toda la información referente al desarrollo urbanístico futuro se ha llevado a cabo una corrección del Umbral de Escorrentía para poder obtener de nuevo un valor promedio ponderado. El proceso es análogo al que ha permitido la obtención del Umbral de Escorrentía actual (Fig. 14).

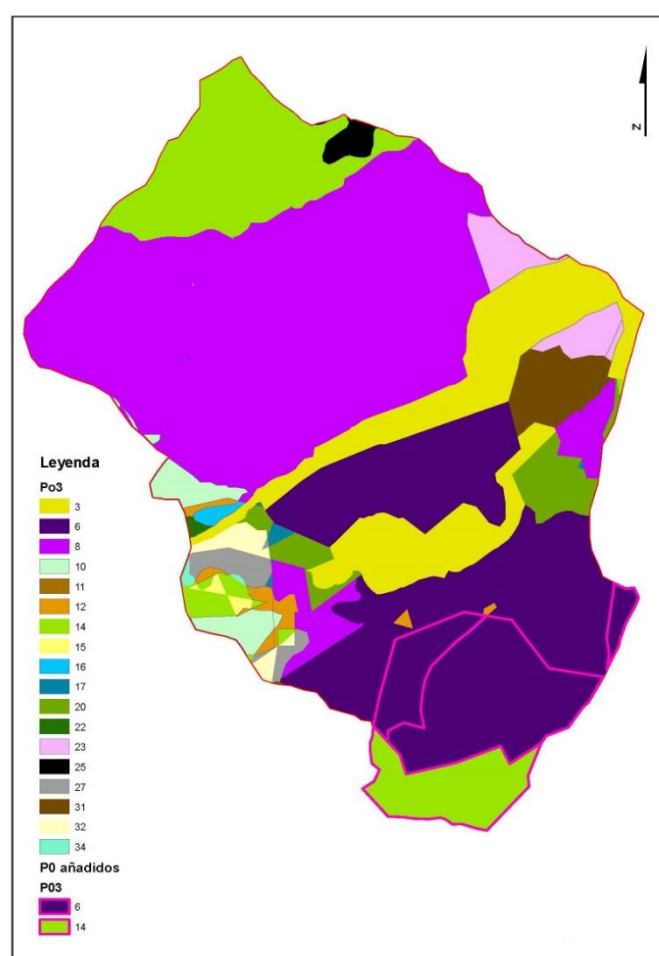


Fig. 20. Mapa de Umbral de Escorrentía futuro asociado a la cuenca del barranco de La Cala. FUENTE: elaboración propia.

El cambio más significativo ha sido la transformación de suelo, entre la AP-7 y Serra Cortina, de *Zonas en desarrollo y urbanización* a *Tejido urbano discontinuo*. Como se puede ver en el plano Calificación del Plan General de Ordenación Urbana de Finestrat, casi la totalidad de los terrenos pertenecen al municipio en cuestión.

La modificación del Umbral de Escorrentía prevista es la siguiente:

- Umbral de Escorrentía actual: 11,2.
- Umbral de Escorrentía futuro: **9,6**.

Se constata que se producirá una disminución de este parámetro, por lo que la capacidad de infiltración del suelo será también menor.

Aunque a priori puede parecer un descenso pequeño, no se pueden extraer conclusiones sin ver la repercusión que tiene en el cálculo de caudales máximos para episodios de crecidas. En caso de que se produzca un aumento claro se podrá afirmar que la creciente urbanización sí tiene un impacto significativo a la hora de generar escorrentía.

La información que se desprende de este apartado es clave para poder modelar la cuenca del barranco de La Cala en situaciones futuras. Esto es lo que se propone más adelante, en los apartados 5 y 6.

4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA ANUAL

Con el objetivo de estimar los cuantiles de Precipitación Diaria Máxima (**Pd**) ha sido necesario seleccionar una función de distribución estadística de la precipitación. Para ello se ha tomado como referencia el documento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular. MAXPLU”, publicado por el Ministerio de Fomento en el año 1999, y cuya finalidad es presentar un método breve y fiable que sirva de base de partida para calcular los caudales desaguados en pequeños cauces.

El hecho de tratarse de un documento consultivo aplicado a pequeños cauces hace pensar, a priori, que la aplicación de la metodología propuesta en el presente análisis hidrológico es adecuada.

4.1 Elección de la función de distribución adecuada

Las funciones de distribución más habituales en los “Análisis de la Frecuencia de la Crecidas” son 4. Se pueden consultar tanto en el ya citado documento MAXPLU como en otros documentos relacionados con la materia. A continuación se recopilan estas cuatro funciones de distribución.

- General Extrem Value (GEV)
- LogPearson tipo III
- Two Component Extreme Value (TCEV)
- SQRT-ET max

El documento consultado selecciona como función de distribución más adecuada la última de las que se han mencionado, SQRT-ET max. Los motivos que se exponen para la consideración de este modelo de distribución como el que presenta una validez mayor, son los siguientes:

- 1) *Es el único de los modelos analizados de la ley de distribución, que ha sido propuesto específicamente para la modelación estadística de máximas lluvias diarias.*
- 2) *Está formulada con sólo dos parámetros lo que conlleva una completa definición de los cuantiles en función exclusivamente del coeficiente de variación con lo que se consigue una mayor facilidad de presentación de resultados.*
- 3) *Por la propia definición de la ley, proporciona resultados más conservadores que la tradicional ley de Gumbel.*
- 4) *Conduce a valores más conservadores que los otros modelos de ley analizados para las 17 regiones con cuantiles menores, mostrando unos resultados similares en el resto de las regiones.*
- 5) *Demuestra una buena capacidad para reproducir las propiedades estadísticas observadas en los datos, lo que se comprobó mediante técnicas de simulación de Montecarlo.*

Por tanto, se considera oportuno tomar como válido la función de distribución SQRT-EX max. Esta elección se ha hecho sin descartar futuros cambios cuando se obtuvieran los cuantiles de Precipitación Diaria Máxima, en caso de obtener valores irregulares.

La función de distribución SQRT-ET max tiene la siguiente expresión:

$$F(x) = \exp [-k (1 + \sqrt{\alpha x}) \exp(-\sqrt{\alpha x})]$$

Donde k y α son parámetros de distribución que dependen de la precipitación media y de la desviación típica.

Para obtener los cuantiles de Precipitación Diaria Máxima es necesario conocer datos de precipitación media de la zona en concreto. En el siguiente apartado 4.3. se explica cómo se han obtenido estos datos.

4.2 Actualización de los datos de precipitación media

Existen varias fuentes de información donde poder encontrar datos relevantes respecto a precipitaciones medias.

En el presente análisis hidrológico se ha considerado oportuno recabar la información para su posterior comparación y así poder escoger aquellos datos que mejor representen el régimen pluviométrico de la cuenca hidrográfica objeto de estudio.

Para obtener los valores de precipitación media de la zona con los que poder llevar a cabo la estimación de Pd se han considerado dos fuentes de información. Por un lado se trata de escoger las series pluviométricas, de más de 20 años, más cercanas a la cuenca del barranco de La Cala. Por otro lado, se han descargado los datos de SPAIN 02 de los grids más próximos a la cuenca. En ambos casos se ha utilizado el método de interpolación del *inverso de la distancia al cuadrado* para obtener la precipitación en el centro de la cuenca.

- Método de inverso de la distancia al cuadrado.

A través de este método de interpolación se lleva a cabo una ponderación de los valores de cada punto seleccionado que depende de la distancia al cuadrado respecto al lugar donde queremos obtener el valor promedio. A continuación se muestra la formulación que sigue:

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{D^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D^2}}$$

Donde P_i es la precipitación media de cada estación meteorológica y D la distancia desde ella al centro de la cuenca.

- **Precipitación obtenida a partir de las estaciones de AEMET más próximas al barranco de La Cala.**

En total se han considerado 5 estaciones meteorológicas. A continuación se muestran tanto las características como su ubicación.

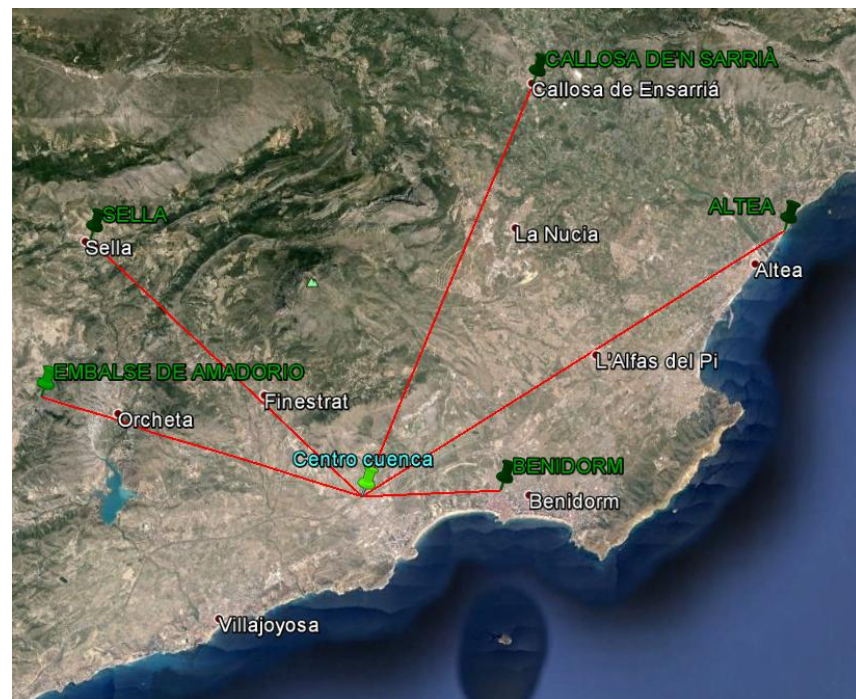


Fig. 21. Ubicación de las 5 estaciones meteorológicas seleccionadas. FUENTE: elaboración propia a partir de Google Earth.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS					
EMPLAZAMIENTO	CÓDIGO	X UTM (m)	Y UTM (m)	Z s.n.m.m. (m)	Nº AÑOS DE LA SERIE
Altea	8038	758157	4277864	17	43
Benidorm	8036	749931	4269887	67	24
Callos de'n Sarrià	8041A	750522	4281942	247	60
Embalse de Amadorio	8033E	736288	4272250	260	33
Sella	8034	737603	4276918	419	57

Tabla 1. Datos de las estaciones meteorológicas seleccionadas.

Como se puede observar, la duración de la serie de la estación meteorológica de Benidorm es de 24 años. Es un valor que está próximo al mínimo para poder ser considerada pero se ha optado por escogerla dada su proximidad al centro de la cuenca. La precipitación recogida en esta cuenca tiene una gran influencia.

Las series de datos de las estaciones seleccionadas presentan datos que pueden inducir a error a la hora de estimar la precipitación media puesto que en algunas de ellas están. Por este motivo, se ha considerado oportuno analizar qué ocurre en ambos casos, considerando el conjunto de la serie y eliminando aquellos años en los cuales aparecen datos que pueden incurrir en error. En la segunda estimación se ha descartados la precipitaciones máximas anuales de aquellos años en los que se desconoce la precipitación correspondiente a los meses de septiembre y octubre.

Después de recopilar todos los valores y eliminar aquellos considerados erróneos se aplicó el método de interpolación descrito anteriormente. A continuación se muestra la precipitación media obtenida en ambos casos.

	Valores de precipitación medios (mm)		Distancia al centro de la cuenca (km)
	de las series completas	descartando valores irregulares	
Altea	73.16	71.92	14.85
Benidorm	44.33	49.38	4.12
Callosa de'n Sarrià	90.98	92.63	13.22
Embalse de Amadorio	48.72	51.66	9.9
Sella	66.21	67.81	11
Media	51.43	55.36	

Tabla 2. Recopilación de los valores medios de precipitación en las 5 estaciones meteorológicas consideradas.

Como se observa, al eliminar los valores anómalos se produce un incremento de la media.

- Datos de precipitación obtenidos del estudio SPAIN 02.

SPAIN 02 constituye una base de datos de alta definición de precipitación diaria así como temperaturas, máximas y mínimas, desarrollado por la Universidad de Cantabria, concretamente por el grupo de meteorología de Santander, para la España peninsular y las Islas Baleares. Se trata de una fuente de información muy valiosa puesto que proporciona datos para un el conjunto del territorio estudiado dividiéndolo en rejillas dispuestas cada 20 km. Los datos de partida se han seleccionado de 2500 estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología AEMET. El resultado se presenta a través de rejillas “grids”, de las cuales se proporcionan datos correspondientes a su centro.

En este análisis hidrológico se han tomado como referencia los valores que proporciona la versión 3. El motivo principal por el cual se descartaron las otras versiones, 2 y 4, fue la longitud de las series de precipitación. Los datos correspondientes a la versión 3 abarcan un espacio de tiempo mayor, desde 1950 a 2008 (58 años). Por el contrario, la versión 2 sólo recoge 43 años y la 4 aún menos todavía, 36 años, recogidos entre 1971 y 2007.

Igual que se ha hecho en el anterior apartado, antes de presentar la precipitación media, se muestran tanto la ubicación como las características de cada uno de los “grids” seleccionados.

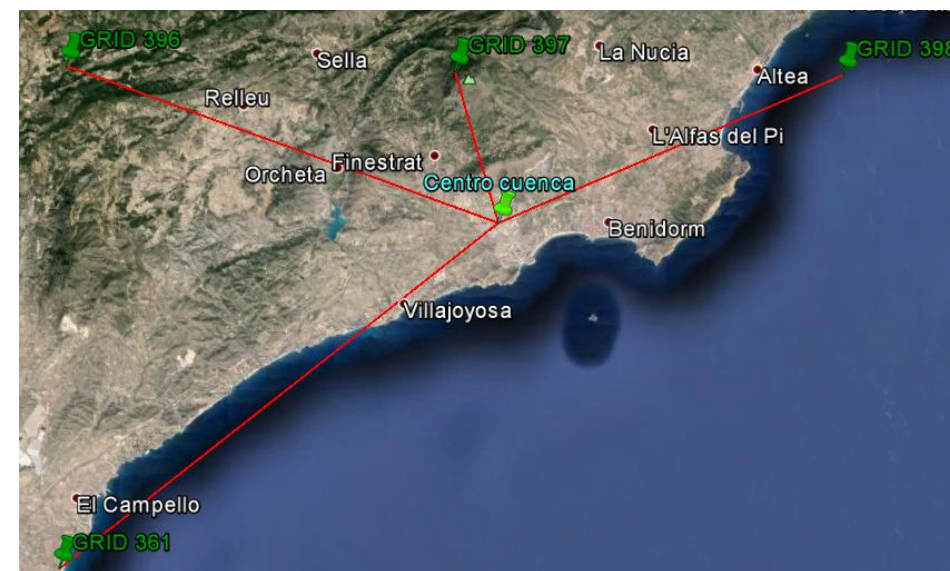


Fig. 22. Ubicación de los 4 grids seleccionados. FUENTE: elaboración propia a partir de Google Earth.

CÓDIGO	X UTM (m)	Y UTM (m)	Precipitación media (mm)	Distancia al centro de la cuenca
grid 361	726447	4253412	39.47	25.23
grid 396	726328	4275893	55.62	20.85
grid 397	743683	4276103	59.46	6.86
grid 398	761234	4276743	66.21	16.99
Media			58.87	

Tabla 3. Características y valores medios de precipitación de los puntos seleccionados.

- Comparación con los datos de precipitación media proporcionados en el documento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular”.

El documento MaxPlu presenta un mapa de isolas donde se recogen la máxima precipitación diaria anual en la Península. A partir de éste se ha podido hallar un valor de referencia con el cual poder comparar los valores anteriormente obtenidos.

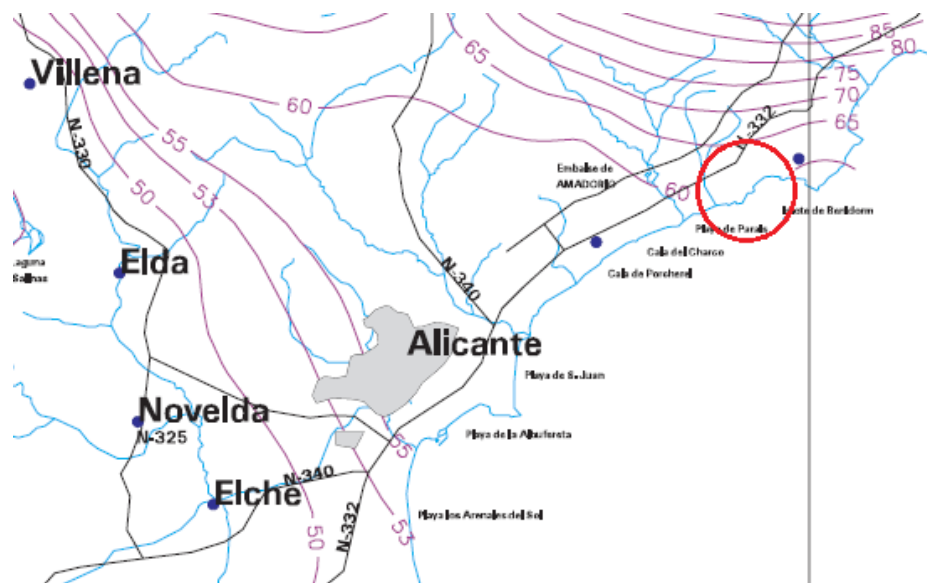


Fig. 23. Detalle del plano 4-5 MURCIA obtenido del documento “MaxPlu”.

En rojo se ha señalada la zona que concierne a este análisis hidrológico. Del plano se desprende que la precipitación media debería estar comprendida entre 55 y 60 mm, más próxima a éste último. Consecuentemente, se ha considerado oportuno considerar que el valor que caracteriza mejor la situación en la zona de estudio es el que se obtiene a partir de SPAIN 02.

Por tanto se concluye que el valor medio \bar{P} de la **máxima precipitación diaria anual** característica de la zona es:

$$\bar{P} = 58.87 \text{ mm}$$

4.3 Obtención de los cuantiles de Precipitación Diaria Máxima

Los cuantiles de precipitación se han obtenido recopilando toda la información presentada en los apartados 3.1 y 3.2.

A continuación se recuerda la fórmula correspondiente al modelo de distribución seleccionado SQRT-ET max.

$$F(x) = \exp [-k (1 + \sqrt{\alpha x}) \exp(-\sqrt{\alpha x})]$$

Siendo α y k valores que dependen de la media \bar{P} y del coeficiente de variación C_v . Éste último se ha obtenido a partir del mapa de isolas propuesto en el documento “MaxPlu”.

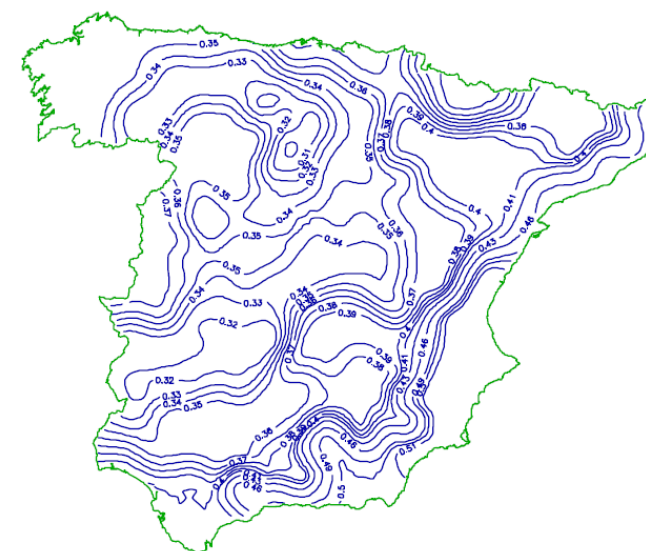


Fig. 24. Isolas del valor regional del coeficiente de variación C_v . FUENTE: documento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular”.

Se ha estimado que el valor correspondiente a la zona de estudio es de 0,52.

Precipitación media diaria máxima (P)	58.87 mm
Coeficiente de variación (C_v)	0.52
α	0.67667
k	37.17711

Tabla 4. Recopilación de los valores característicos introducidos en la función SQRT-ET max.

Los cuantiles que se han obtenido son los siguientes:

Periodo de retorno (años)	Precipitación diaria máxima (mm)
25	123.18
50	145.05
100	168.35
200	193.13
500	228.2

Tabla 5. Cuantiles de Precipitación Diaria Máxima para cada uno de los periodos de retorno considerados.

4.4 Corrección de los cuantiles de precipitación

Una vez se obtuvieron los cuantiles de precipitación, y a modo de comparación, se decidió consultar los cuantiles obtenidos anteriormente para el *Análisis Estadístico Regional de la Precipitación Diaria Máxima Anual en la Comarca de la Marina Baja (Alicante)*. Dichos valores eran considerablemente inferiores a los obtenidos al llevar a cabo la metodología descrita en apartados anteriores. De media, se encontraban por debajo en un 36%.

A continuación se muestran los cuantiles de precipitación obtenidos del estudio de la Marina Baja.

PERIODO DE RETORNO (años)	Precipitación diaria máxima (mm)
25	79.3
50	90.5
100	103.7
200	118
500	140.3

Tabla 6. Cuantiles de precipitación para cada uno de los periodos de retorno considerados.

El documento *Análisis Estadístico Regional de la Precipitación Diaria Máxima Anual en la Comarca de la Marina Baja (Alicante)*, elaborado por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la UPV, lleva a cabo un análisis regional en las comarcas de la Mariana Baja a partir de series de precipitación registradas en las estaciones meteorológicas proporcionadas tanto por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) como por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ).

En este estudio se seleccionó como mejor modelo estadístico la función de distribución TCEV obtenida por el método de regionalización Gumbel.

Mientras que el documento MAXPLU desarrolla la metodología para toda la península, el estudio del IIAMA analiza específicamente la zona donde se ubica la cuenca objeto de estudio. Por este motivo se consideró oportuno tomar como válidos los cuantiles que de él se obtienen.

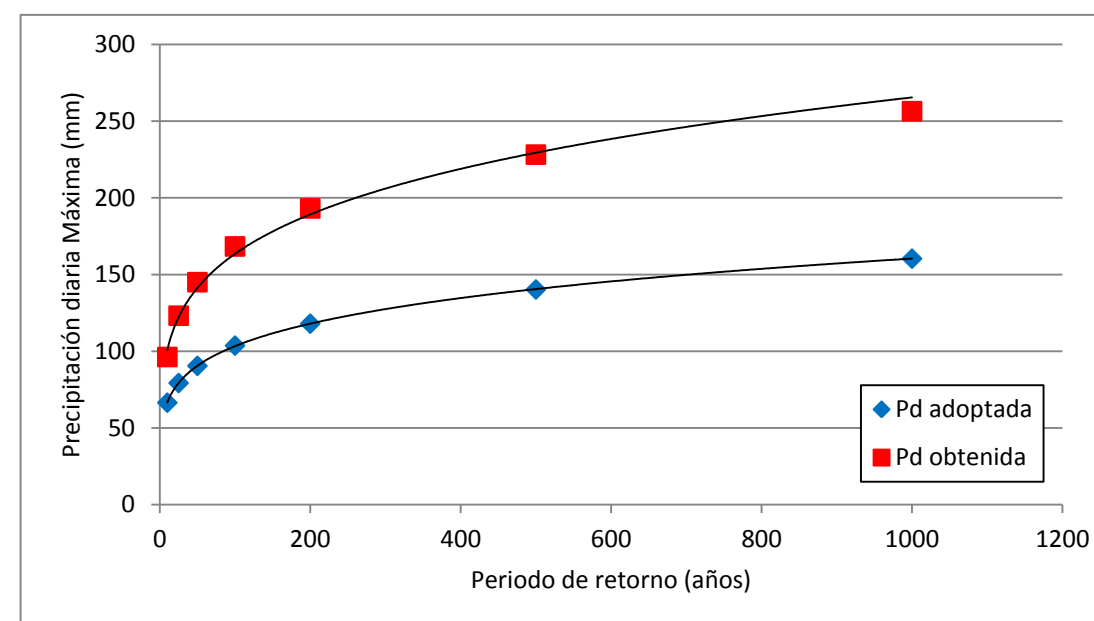


Gráfico 1. Gráfico comparativo de la Precipitación diaria Máxima.

A partir de este punto son los valores de la tabla 6 los que se han tomado como referencia.

5 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE TÉMEZ MODIFICADO (1991)

5.1 Introducción

El método de Témez, desarrollado por el centro de estudios hidrográficos del CEDEX, se basa en el método racional. La aportación respecto a éste último se encuentra en la forma de obtener el coeficiente de escorrentía, dado que sí se tiene en cuenta la magnitud de la tormenta que genera la crecida.

La aplicación del Método de Témez se plantea como una primera aproximación para obtener el máximo caudal en el punto de desagüe de la cuenca. Dicho valor se calcula mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C * i * A * K_a * K}{3.6}$$

Siendo

- **C:** coeficiente de escorrentía (adimensional). Depende, entre otras cosas, del umbral de escorrentía P_0 y de la precipitación diaria. A continuación se muestra qué expresión se ha utilizado para su cálculo.

$$C = \frac{(P_d * K_A - \beta * P_0) * (P_d * K_A + 23 * \beta * P_0)}{(P_d * K_A + 11 * \beta * P_0)^2}$$

Donde β es el coeficiente corrector del umbral de escorrentía, K_A es el coeficiente de reducción areal,

P_d es la Precipitación Diaria Máxima anual (mm) correspondiente a un determinado periodo de retorno y P_0 es el umbral de escorrentía (mm).

- **I:** intensidad de la tormenta de diseño (mm/h). Se refiere al valor medio de la intensidad de lluvia a lo largo del intervalo más desfavorable de duración, el tiempo de concentración de la

cuenca, asociada a un determinado periodo de retorno. En este análisis hidrológico se considera la curva IDF de Témez, cuya expresión es la siguiente:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Donde I_t es la intensidad media de la tormenta de diseño (mm/h), I_d es la intensidad diaria (mm/h) correspondiente al periodo de retorno considerado y cuyo valor es $P_d/24$, I_1 es la intensidad de la tormenta de 1 hora de duración (mm/h) y t es la duración de la tormenta de diseño (h) igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Como expresión del tiempo de concentración t_c (h) se ha utilizado la expresión propuesta por el *US Army Corps of Engineers*, que es la siguiente:

$$t_c = 0.3 * \left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.76}$$

Donde L es la longitud del cauce principal (km) y J es la pendiente, también del cauce principal.

- **K_A :** coeficiente de reducción areal (adimensional). Se aplica en aquellas cuencas cuya superficie es mayor de 1km^2 para tener en cuenta la no uniformidad espacial de la lluvia. Este coeficiente afecta al valor de P_d , y su expresión es la siguiente:

$$K_A = 1 - \frac{\log A}{15}$$

Donde A es la superficie completa de la cuenca, en km^2 .

- **K :** coeficiente de uniformidad temporal. Permite corregir globalmente el error introducido en la hipótesis de uniformidad temporal de la precipitación a medida que crece el tamaño de la cuenca. La fórmula propuesta por Témez es la siguiente:

$$K = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

5.2 Factor de torrencialidad

El factor de torrencialidad α es la relación entre la intensidad horaria I_1 y la intensidad diaria I_d . Se puede obtener a partir de los mapas de isolíneas de la Norma de Drenaje Superficial y también por estimación a partir de datos tomados con pluviómetro. En este caso se ha optado por considerar la primera de las dos opciones.



Fig. 25. Mapa del coeficiente corrector del Umbral de Escorrentía corregido por el CEDEX. FUENTE: CEDEX

Para la zona donde se ubica la cuenca objeto de estudio es adecuado tomar como válido un factor de torrencialidad de 11,5.

5.3 Coeficiente corrector del umbral de escorrentía.

Para la elección de este parámetro se ha tenido en cuenta la información que se desprende del TFM “Revisión, Actualización y Análisis del modelo de Témez en el ámbito de las comarcas de la Marina Alta y Baixa (Alicante)”. En dicho estudio se lleva a cabo un análisis minucioso de β con el fin de obtener una aproximación corregida, y más precisa, respecto a la que proporciona el CEDEX.



Fig. 26. (Izquierda). Mapa del coeficiente corrector del Umbral de Escorrentía corregido por el CEDEX. FUENTE: CEDEX.

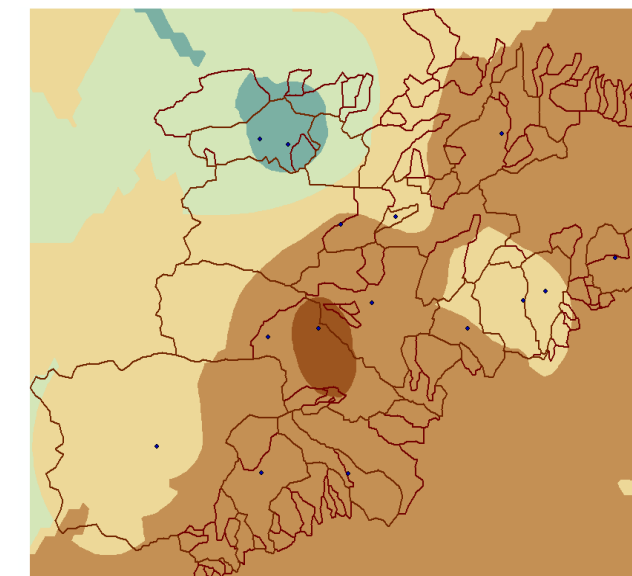


Fig. 27. (Derecha). Mapa del coeficiente corrector del Umbral de Escorrentía tomado como referencia. FUENTE: TFM “Revisión, Actualización y Análisis del modelo de Témez en el ámbito de las comarcas de la Marina Alta y Baixa (Alicante)”.

A la vista de este mapa existe incertidumbre respecto al valor exacto a escoger. Tomando como referencia el TFM mencionado anteriormente se adopta **2.74** como coeficiente corrector del umbral de escorrentía. Dicho valor se obtuvo mediante un proceso de calibración considerando la precipitación para un periodo de retorno de 100 años.

5.4 Resultados obtenidos

Mediante la aplicación del método de Témez se pretende conocer 4 caudales distintos, para los puntos de desagüe A, B, C y D.

A continuación se resumen los datos que se han considerado a la hora de aplicar la fórmula de Témez.

	A	B	C	D
Area (km²)	9.62	8.423	0.26	8.683
Longitud (km)	5.329	5.135	0.56	5.159
Desnivel (m)	445	442.8	9	443.28
alpha	11.5	11.5	11.5	11.5
beta	2.74	2.74	2.74	2.74
P0	11.17	11.5	6	11.5

Tabla 7. Datos de partida en cada punto de simulación para la aplicación del método de Témez

Estos valores, aplicados a las fórmulas descritas en el apartado 5, han permitido obtener los siguientes datos intermedios:

	A	B	C	D
pendiente	0.084	0.086	0.016	0.086
tc(h)	1.715	1.657	0.423	1.664
Ka	0.934	0.938	1	0.937
K	1.123	1.118	1.024	1.119
$\beta \cdot P0$	30.606	31.510	16.440	31.510

Tabla 8. Datos intermedios en cada punto de simulación para la aplicación del método de Témez.

Conocidos los valores necesarios, se han obtenido los caudales máximos para cada uno de los periodos de retorno y cada uno de puntos de simulación considerados.

T (años)	P(d) (mm)	i(tc) (mm/h)	C	Q (m ³ /s)	Vd (m ³)
10	66.5	22.630	0.152	9.639	51835.26
25	79.3	26.986	0.201	15.177	92611.40
50	90.5	30.797	0.240	20.708	135333.39
100	103.7	35.289	0.282	27.948	192785.67
500	140.3	47.744	0.384	51.346	383236.91

Tabla 9. Caudales obtenidos mediante el método de Témez. Punto de simulación A.

T (años)	P(d) (mm)	i(tc) (mm/h)	C	Q (m ³ /s)	Vd (m ³)
10	66.5	23.140	0.145	8.257	42643.67
25	79.3	27.594	0.193	13.103	77326.38
50	90.5	31.492	0.232	17.954	113883.29
100	103.7	36.085	0.274	24.316	163245.75
500	140.3	48.821	0.375	44.940	327748.78

Tabla 10. Caudales obtenidos mediante el método de Témez. Punto de simulación B.

T (años)	P(d) (mm)	i(tc) (mm/h)	C	Q (m ³ /s)	Vd (m ³)
10	66.5	52.999	0.377	1.526	5315.24
25	79.3	63.200	0.438	2.116	7590.57
50	90.5	72.126	0.485	2.671	9740.21
100	103.7	82.646	0.533	3.363	12421.55
500	140.3	111.815	0.635	5.425	20442.10

Tabla 11. Caudales obtenidos mediante el método de Témez. Punto de simulación C.

T (años)	P(d) (mm)	i(tc) (mm/h)	C	Q (m3/s)	Vd (m3)
10	66.5	23.077	0.145	8.471	43807.14
25	79.3	27.519	0.193	13.446	79481.76
50	90.5	31.405	0.232	18.427	117092.89
100	103.7	35.986	0.274	24.960	167886.80
500	140.3	48.687	0.375	46.140	337194.43

Tabla 12. Caudales obtenidos mediante el método de Témez. Punto de simulación D.

6 APLICACIÓN DEL MODELO HEC-HMS

Una vez se conoce una primera aproximación de los resultados, se puede pasar a calcular los caudales de una manera más precisa. Para ello, mediante el programa HEC-HMS, se pretende modelar la cuenca objeto de estudio y así poder obtener los hidrogramas de crecida. Éstos son el punto de partida del diseño hidráulico en el último tramo del barranco de La Cala, actualmente conocido como Paseo Barranco de La Cala.

El programa informático HEC-HMS, desarrollado por *US Army Corps of Engineers (USACE)*, es un software gratuito que permite llevar a cabo una simulación hidrológica de una determinada cuenca. Permite ver la respuesta ante una tormenta de diseño, para representar así el hidrograma de crecida en condiciones de lluvia extremas.

6.1 Componentes a introducir en el modelo de simulación

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, el programa HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelos de cuenca, modelos meteorológicos y especificaciones de control. A continuación se recogen cuáles son las características de cada uno de los componentes que se han tenido en cuenta en este análisis hidrológico.

- Modelos de cuenca

Los condicionantes exigidos por el diseño hidráulico futuro han obligado a componer 4 modelos de cuenca, caracterizando tanto las subcuencas como los tramos de propagación.

La diferencia más significativa entre los puntos A, B y D se encuentra en la subcuenca 3 (SC3). Esta es la que provoca un cambio de área así como una reducción de la longitud y pendiente asociada del tramo.

A la hora de introducir los distintos parámetros se han hecho las siguientes consideraciones:

Modelo de producción de escorrentía	SCS Curve nº
Modelo de Transformación mediante Hidrograma Unitario	SCS Lag
Modelo de flujo de base	No existe flujo de base

- Modelo meteorológico y especificaciones de control

Para cada uno de los puntos de simulación considerados se han generado las tormentas de diseño correspondientes a los periodos de retorno 25, 50, 100, 200 y 500 años.

La duración de la tormenta de diseño debe ser, como mínimo, el tiempo de concentración de la cuenca. En este caso se ha optado por considerar una duración de 6 horas.

La discretización temporal de la tormenta Δt es de 5 minutos.

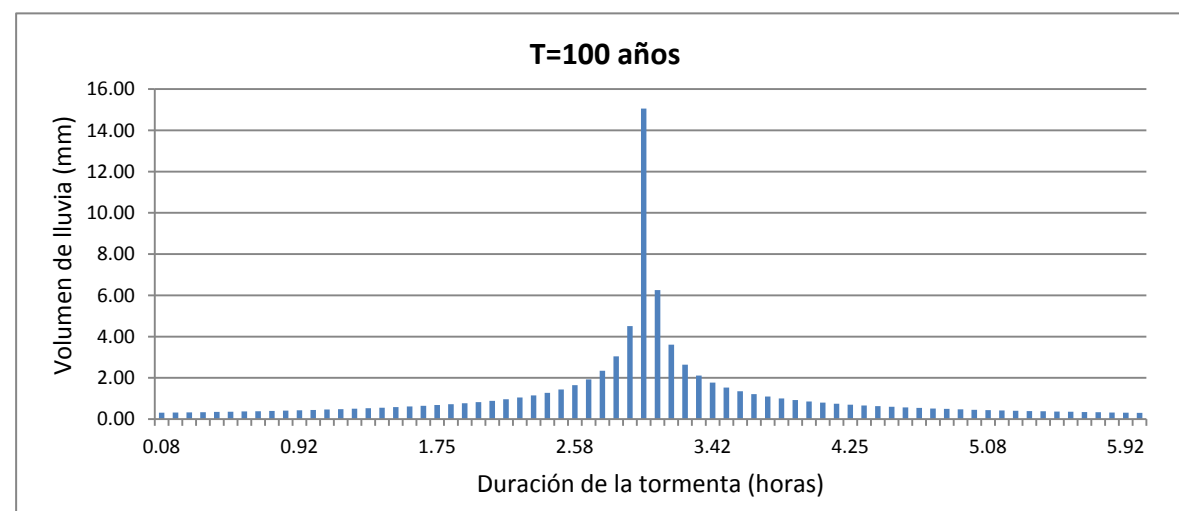
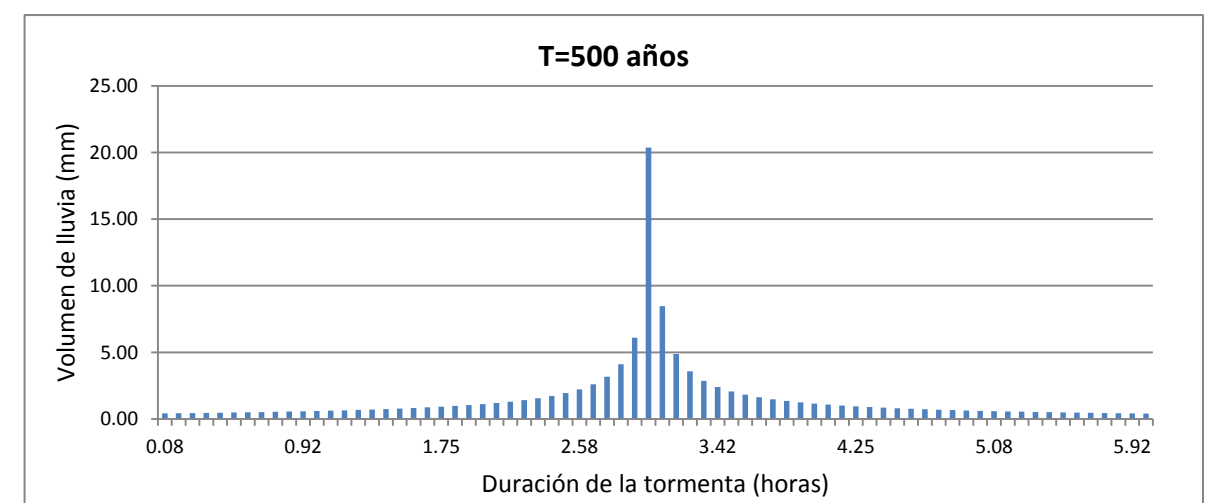
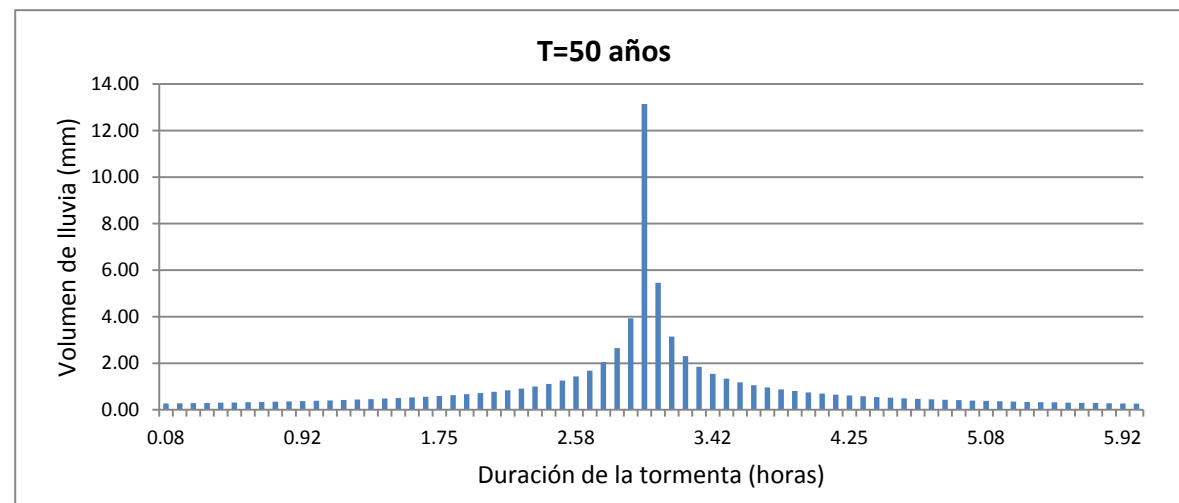
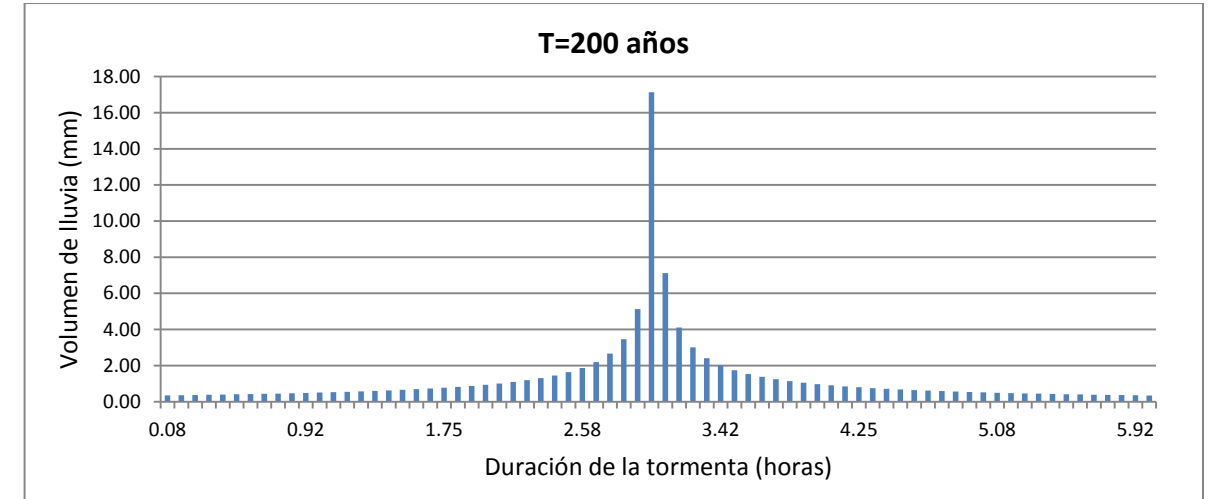
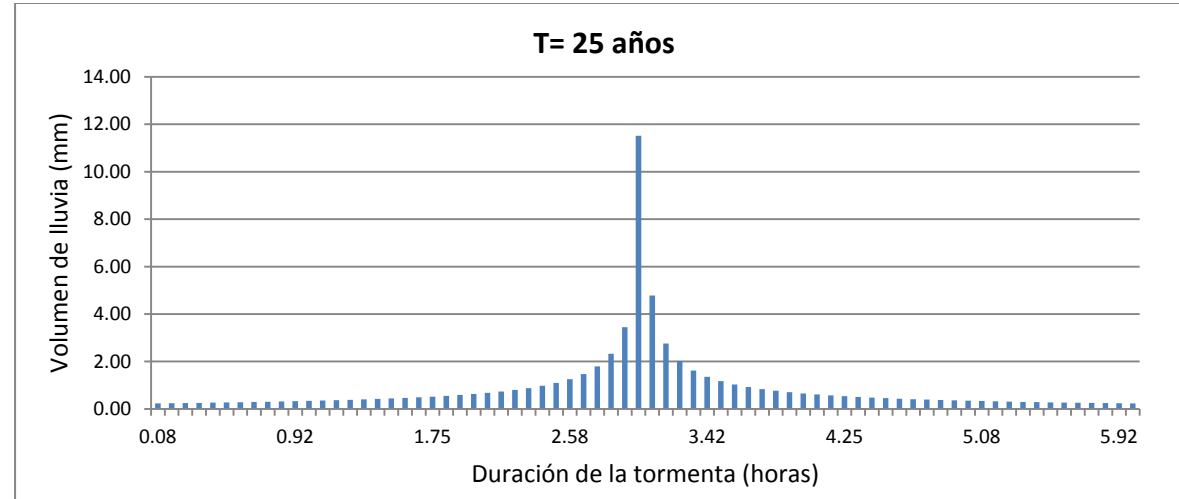
Los hidrogramas de crecida se han obtenido para una duración de 1 día (24 horas).

6.2 Tormentas de diseño

Las tormentas de diseño se han construido partiendo de los cuantiles de Precipitación Diaria Máxima (Pd). Éstos se han multiplicado por el coeficiente de reducción arial K_a (Tabla 8), según el área considerada.

A continuación se muestran las tormentas de diseño para el punto de desagüe de la cuenca completa, punto A. El coeficiente K_a es de 0.934.

HIETOGRAMAS DE DISEÑO



Para el resto de punto B, C y D se ha procedido de la misma manera. El valor de Pd se ha corregido con el correspondiente coeficiente de reducción arial. Los valores de k_a se recogen en el apartado en la Tabla 8.

6.3 Características de los puntos de simulación

Como se ha distinguido al principio de este anejo, son 4 los puntos de simulación que se deben tener en cuenta. A continuación se muestran las características de cada uno de ellos. Se detalla cómo se ha obtenido el modelo de cuenca del punto A. Los restantes se han obtenido de manera análoga, haciendo las modificaciones pertinentes.

- Características del punto de simulación A

Subcuencas	Área (km ²)	Tc (h)	Tlag (min)	Po (mm)	NC (adim)
SC1	2.36	1.02	21.42	13.26	79.301
SC2	4.83	0.77	16.17	10.15	83.347
SC3	2.43	0.61	12.81	11.25	81.869

Los valores de P0 son los que se obtienen para la situación actual.

Tc se ha calculado mediante la fórmula del *US Army Corps of Engineers*, Tlag es 0,35*Tc y el NC es el correspondiente al SCS. Éste último se calcula como sigue:

$$NC = \frac{5080}{50.8 + P0}$$

Tramo de propagación	L (m)	Desn. (m)	Pendiente	B (m)	Peniente lateral	nº Manning
Tramo natural (TN)	1412	51.29	0.036	7.6	0.6:1	0.031
Calle Finestrat (CF)	937.47	13.71	0.015	15.0	0:1	0.017

Los valores de los tramos de propagación son valores medios, obtenidos al analizar el conjunto del cauce desde el punto de mayor altitud hasta su salida al mar. Ambos tramos se han dividido, a su vez, en tantos como fuera necesario para conocer de manera más precisa las características del barranco. Para su obtención han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS TRAMOS DE PROPAGACIÓN (Punto de simulación A)

	L (m)	Desn. (m)	Pendiente	Ancho (m)	Pendiente lateral	nº Manning	descripción de "n"
TN 1	915	37	0.040	7	1:1	0.035	high grass
TN 2	257	10	0.039	10	0:1	0.03	dry rubble on riprap
TN 3	240	4.29	0.018	7.5	0:1	0.015	float finish concrete
CF 1	502.4	8.63	0.017	11	0:1	0.017	Random stone in mortar
CF 2	182.78	2.48	0.014	17	0:1	0.017	Random stone in mortar
CF 3	120.21	1.35	0.011	12	0:1	0.017	Random stone in mortar
CF 4	132.1	1.25	0.009	30	0:1	0.017	Random stone in mortar

Los valores del nº de Manning se han obtenido de HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.

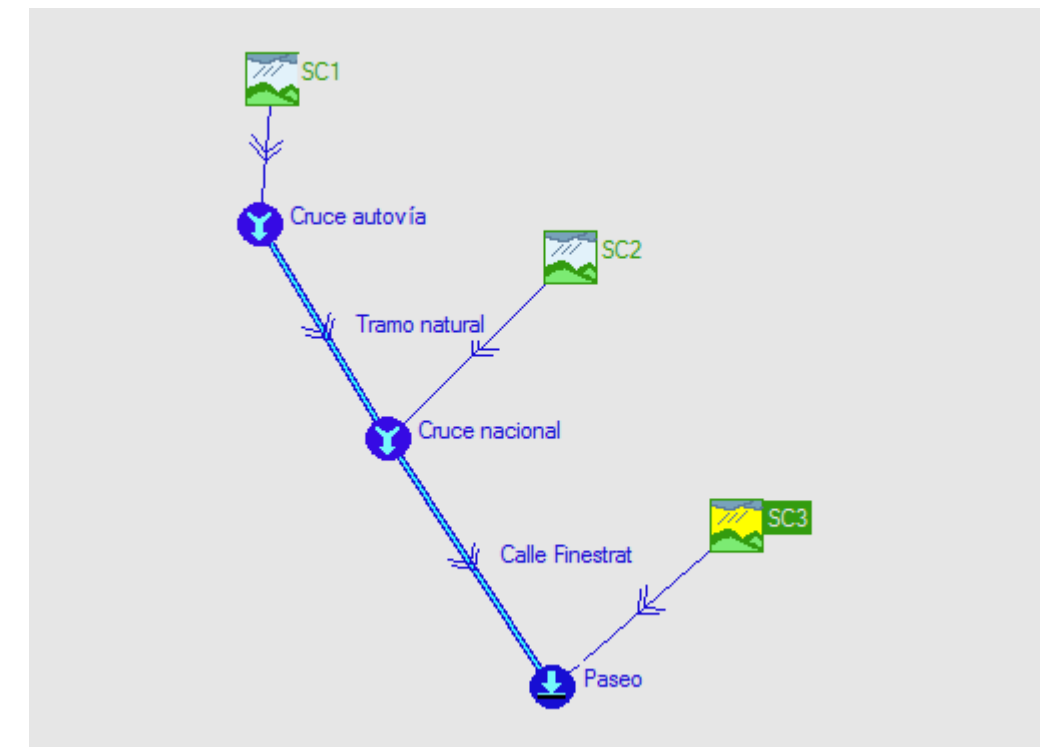


Fig. 28. Esquema del modelo de cuenca para el punto de simulación A.

- Características del punto de simulación B

Subcuencas	Área (km2)	Tc (h)	Tlag (min)	Po (mm)	NC (adim)
SC1	2.36	1.02	21.42	13.26	79.301
SC2	4.83	0.77	16.17	10.15	83.347
SC3	1.233	0.5284	11.0964	13.24	79.325

- Características del punto de simulación D

Subcuencas	Área (km2)	Tc (h)	Tlag (min)	Po (mm)	NC (adim)
SC1	2.36	1.02	21.42	13.26	79.301
SC2	4.83	0.77	16.17	10.15	83.347
SC3	1.493	0.5404	11.3484	13.24	79.325

Tramo de propagación	L (m)	Desn. (m)	Pendiente	B (m)	Peniente lateral	nº Manning
Tramo natural (TN)	1412	51.29	0.036	7.6	0.6:1	0.031
Calle Finestrat (CF)	743.6	11.51	0.015	13	0:1	0.017

Tramo de propagación	L (m)	Desn. (m)	Pendiente	B (m)	Peniente lateral	nº Manning
Tramo natural (TN)	1412	51.29	0.036	7.6	0.6:1	0.031
Calle Finestrat (CF)	767.2	11.99	0.016	13	0:1	0.017

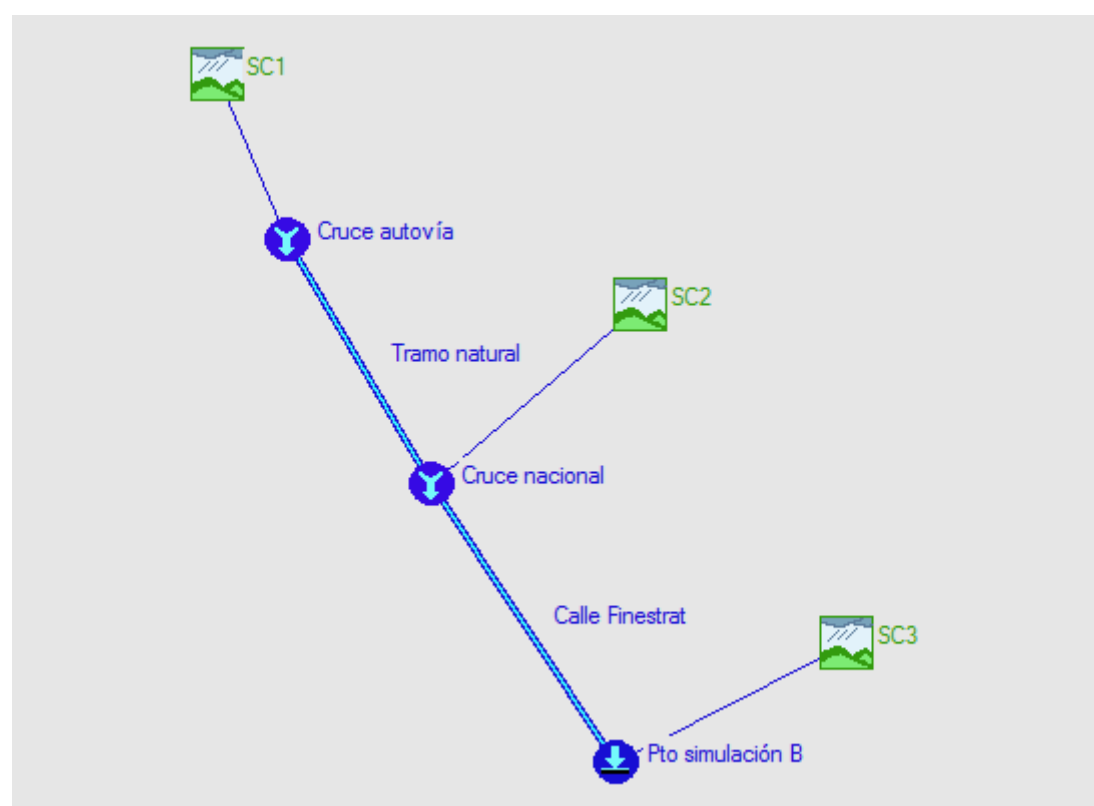


Fig. 29. Esquema del modelo de cuenca para el punto de simulación B.

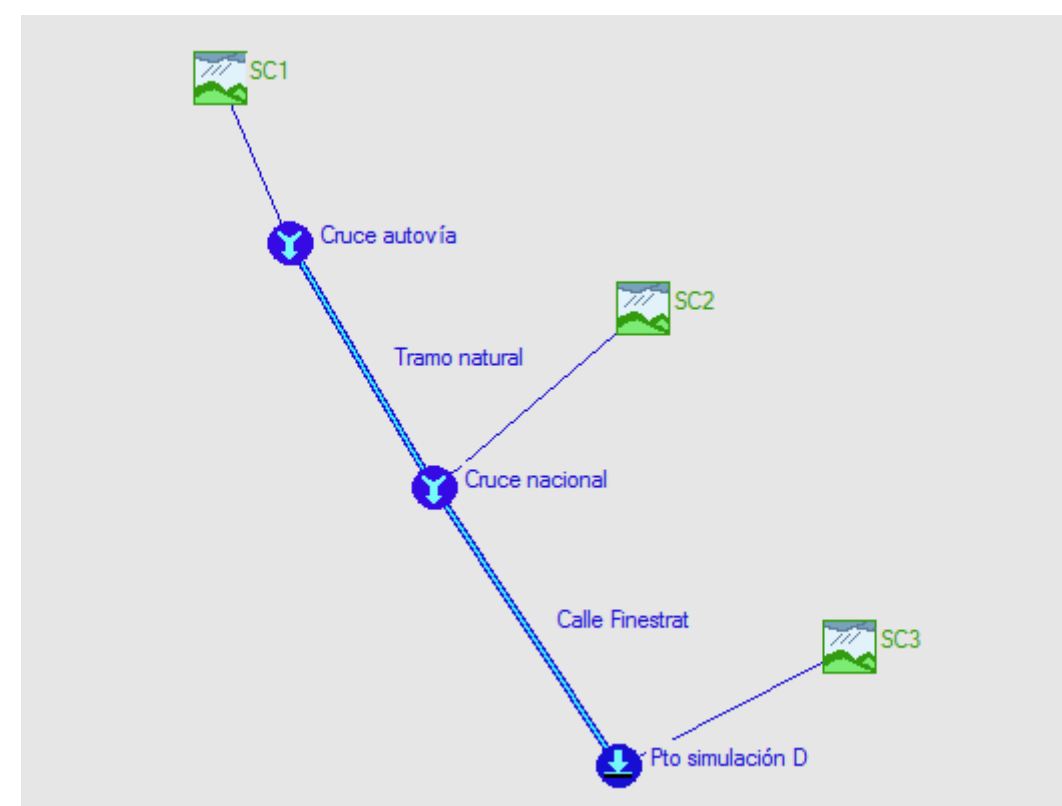


Fig. 30. Esquema del modelo de cuenca para el punto de simulación C.

- Características del punto de simulación C

La cuenca que representa este punto de simulación es una cuenca sencilla, sin ninguna subcuenca asociada a ella.

Sus características son las siguientes:

Área (km ²)	Tc (h)	Tlag (min)	Po (mm)	NC (adim)
0.26	0.423	8.883	6	89.437

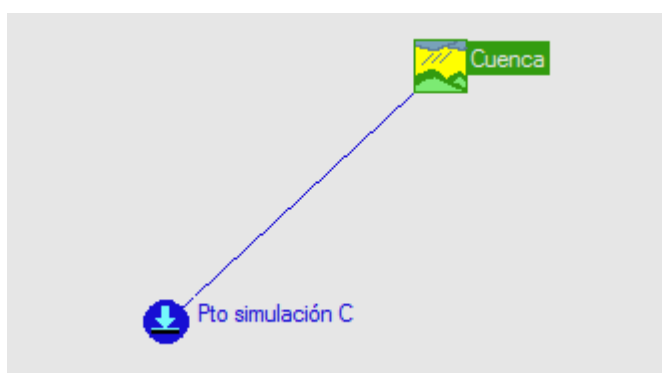


Fig. 31. Esquema del modelo de cuenca para el punto de simulación C.

6.4 Calibración del modelo

Los resultados que ha proporcionado el programa HEC-HMS difieren significativamente de los obtenidos mediante la aplicación del Método de Témez modificado. Los caudales son considerablemente más altos, para cada una de las tormentas de diseño.

Por este motivo ha sido necesario llevar a cabo un proceso de calibración del modelo. La calibración es única y se ha realizado para el punto de desagüe de la cuenca completa, el punto A.

El objetivo ha sido ajustar ambos caudales, para un periodo de retorno determinado, de manera que coincidieran. El ajuste se ha realizado modificando el parámetro Umbral de Escorrentía P0, según el Modelo empírico del Soil Conservation Service. Para ello se ha tenido en cuenta la siguiente expresión:

$$P0 \cong 0.2 * S$$

Siendo S la máxima infiltración acumulada posible.

El valor 0.2 es el que se propone fruto de resultados empíricos. Éste es el coeficiente que se ha ido modificando hasta ajustar los caudales.

El caudal que se ha tomado como referencia para la calibración es el correspondiente al periodo de retorno de 100 años, puesto que el valor del coeficiente corrector del Umbral de Escorrentía $\beta=2.74$ fue calibrado para ese tiempo.

El caudal obtenido por Témez es de 27,9 m³/s y el que se ha obtenido finalmente con el HEC-HMS es de 27,6 m³/s.

El coeficiente que ha permitido esta calibración ha sido 0,75.

Una vez calibrado, el único parámetro que se ha tenido que rectificar es P0. Dichos valores modificados son los siguientes:

	A	B	D
SC1	49.725	49.725	49.725
SC2	38.0625	38.0625	38.0625
SC3	42.1875	49.65	49.65

Tabla 13. Valores rectificados del parámetros Umbral de escorrentía

El nuevo valor de P0 para el punto de simulación C es único y es de 22.5mm.

6.5 Resultados obtenidos al analizar la situación actual

Hechas las modificaciones pertinentes, sin modificar el número de curva NC (apartado 6.3) obtenido al principio, se ha procedido a obtener los hidrogramas correspondientes a los puntos de simulación considerados.

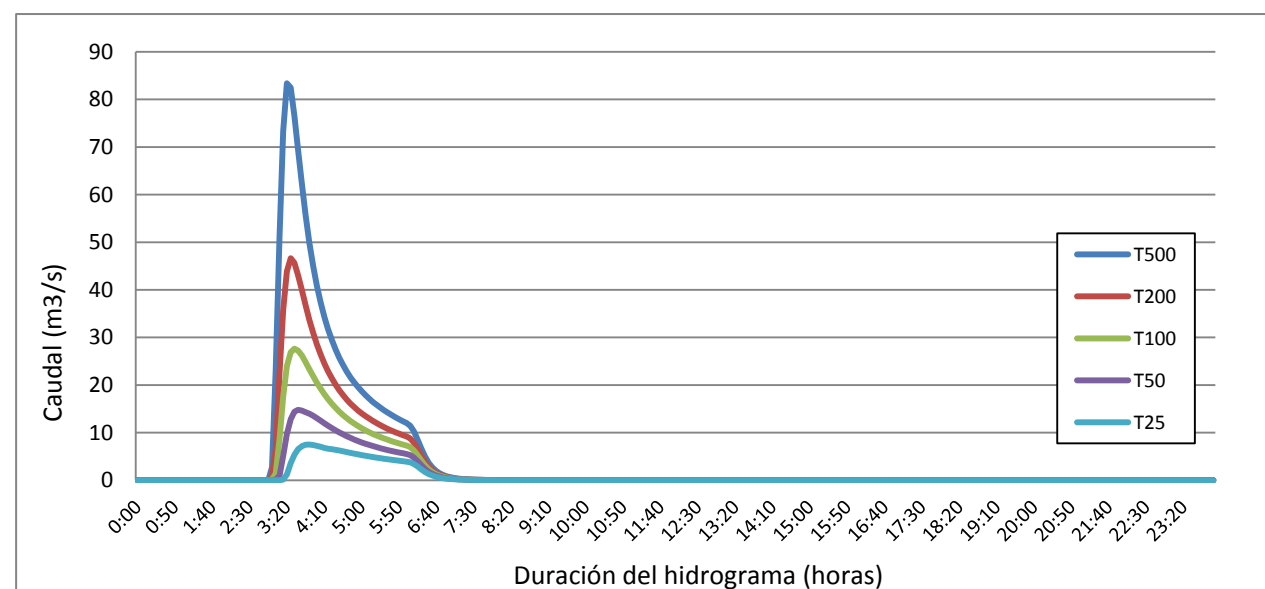


Fig. 32. Hidrograma obtenido en el punto de simulación A, para la situación actual.

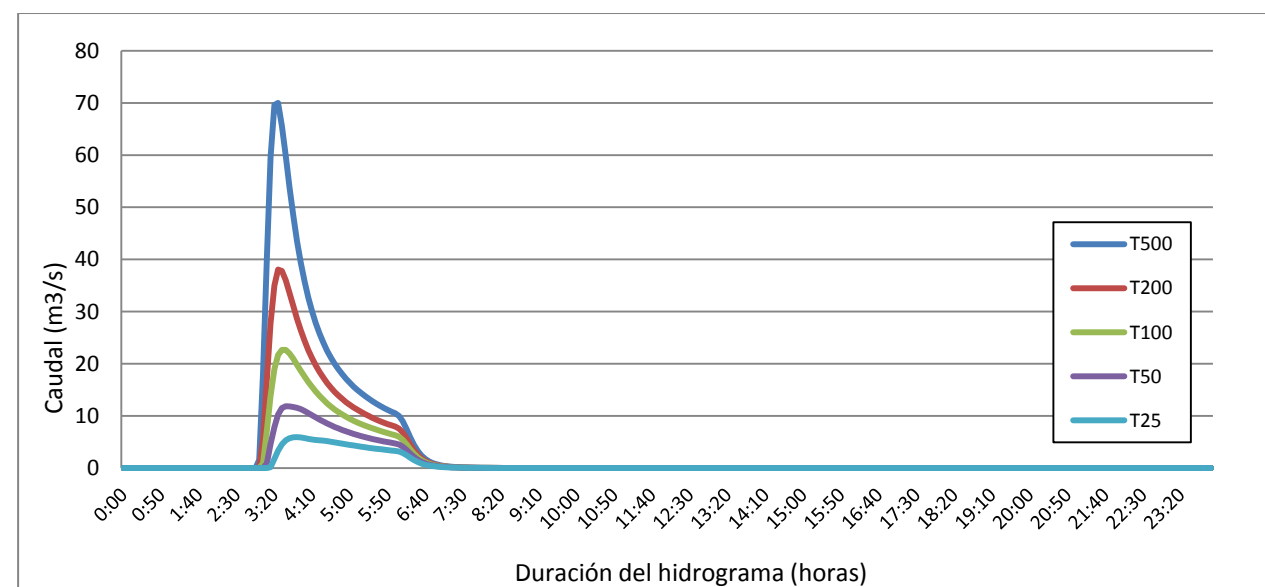


Fig. 33. Hidrograma obtenido en el punto de simulación B, para la situación actual.

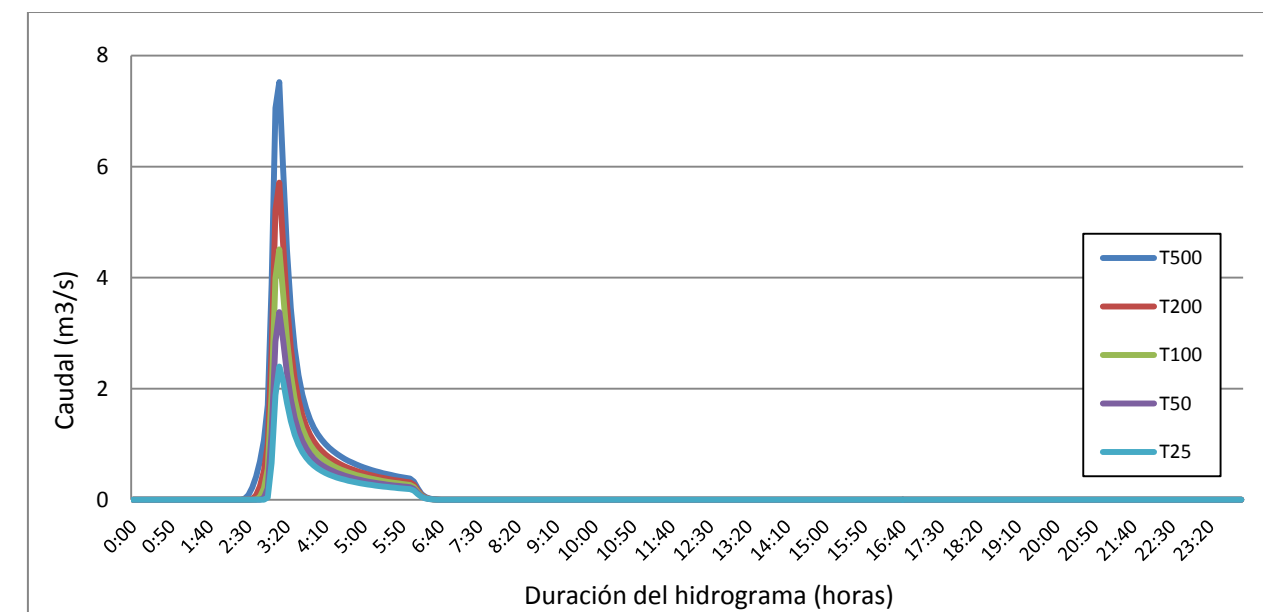


Fig. 34. Hidrograma obtenido en el punto de simulación C, para la situación actual.

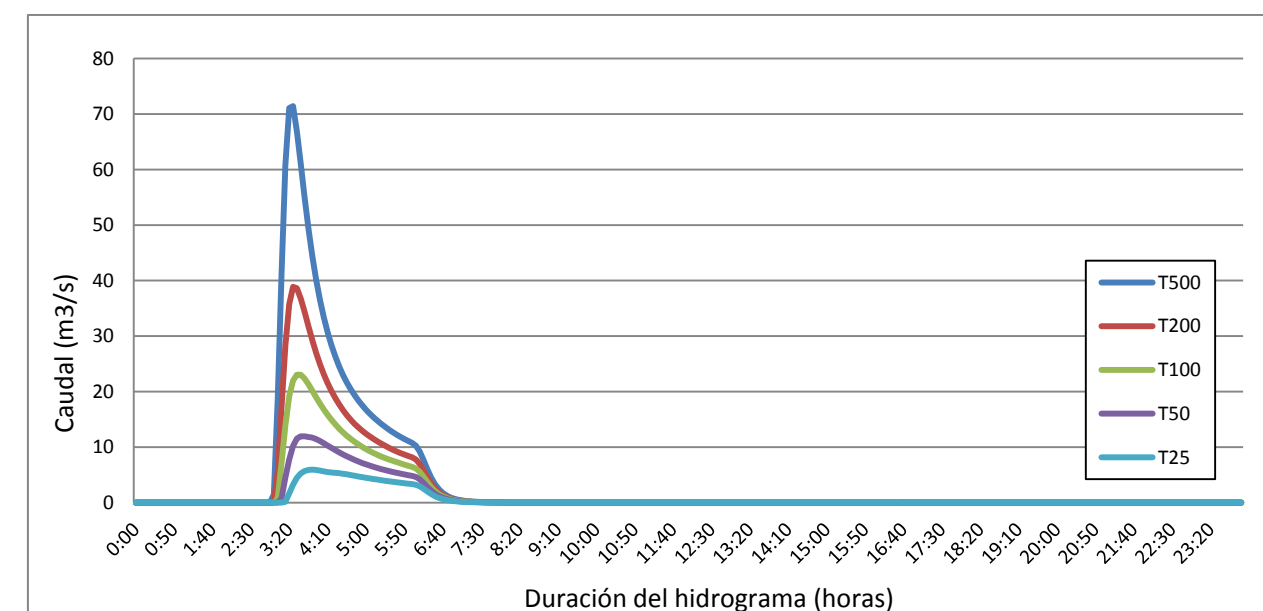


Fig. 35. Hidrograma obtenido en el punto de simulación D, para la situación actual.

6.6 Incertidumbre de resultados

El desarrollo del estudio de soluciones del que forma parte este anejo se ha llevado a cabo de manera paralela entre el análisis hidráulico y el diseño hidráulico. Por este motivo, y ante la necesidad de poder contar con un caudal de diseño con el que plantear la solución hidráulica, se proporcionaron como datos de partida unos valores determinados. A medida que avanzaban los trabajos, los valores se calcularon con mayor precisión. Para los puntos de simulación B, C y D los caudales cambiaron.

La rectificación en los caudales supondría una modificación del conjunto de las soluciones hidráulicas ya planteadas, dado que el diseño que se proponía garantizaba un nivel de seguridad correspondiente a un periodo de retorno de 500 años. Para hacer frente a esta situación, se adoptó la siguiente medida:

se llevaría a cabo un cálculo del rango de incertidumbre para poder evaluar si los caudales ya tomados de referencia seguían cumpliendo los niveles de seguridad establecidos. En caso de no suceder así se modificarían los caudales, y consiguientemente, se plantearía una nueva solución hidráulica.

El cálculo del rango de incertidumbre que se ha llevado a cabo se basa en la formulación propuesta en el documento del IIAMA *Informe de Modelación Hidrológica de las cuencas vertientes a la Comarca de la Marina Baja (Alicante)*.

La justificación que de él se desprende para llevar a cabo el cálculo de un rango de incertidumbre se explica como sigue: “Debido a distintos factores como los errores en los datos de partida, la incertidumbre en las ecuaciones del modelo y los errores cometidos en fase de estimación de los parámetros, los resultados de la modelación hidrológica no se pueden interpretar como valores exactos.” Por este motivo se propone la formulación oportuna para obtener una serie de caudales máximos y mínimos, en función del periodo de retorno.

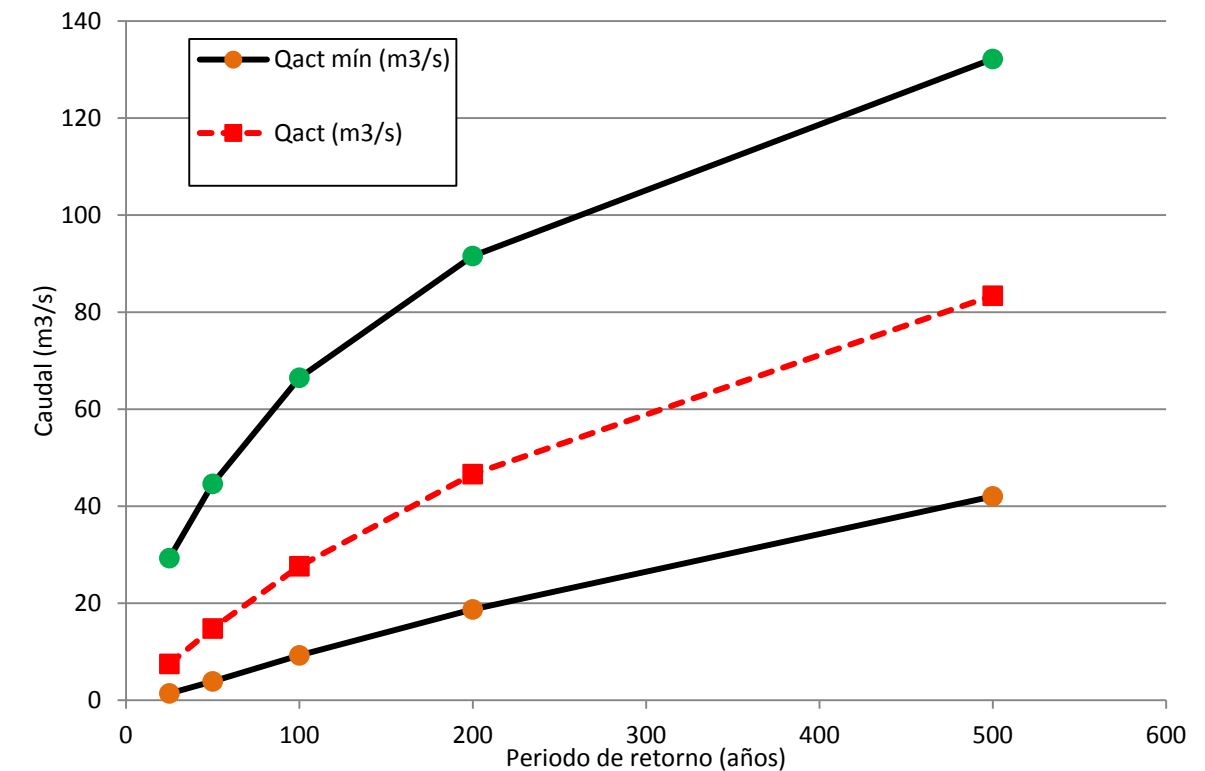
Ésta es la siguiente:

$$X (\%) = \beta + \frac{\beta * (\log \alpha - \log A)}{\log \alpha}$$

Siendo $\beta = 25\%$ el coeficiente de variación para cuencas de alrededor de $\alpha = 250 \text{ km}^2$, y A el área de la cuenca para la cual se quiere obtener el rango de incertidumbre. Cuando se trata de cuencas de menos de 1 km^2 el porcentaje de variación es de 50%.

Los valores obtenidos para los puntos de simulación considerados son:

- Punto de simulación A, con $A=9.6 \text{ km}^2 \rightarrow \pm 39.75 \%$.



INCERTIDUMBRE			
T(años)	Q mín (m3/s)	Qp (m3/s)	Q máx (m3/s)
25	1.43	7.50	29.31
50	3.90	14.80	44.62
100	9.27	27.64	66.49
200	18.73	46.63	91.58
500	42.04	83.39	132.20

Fig. 36. Rango de caudales en el punto de simulación A.

- Punto de simulación B, con $A=8.423 \text{ km}^2 \rightarrow \pm 40.35 \%$.

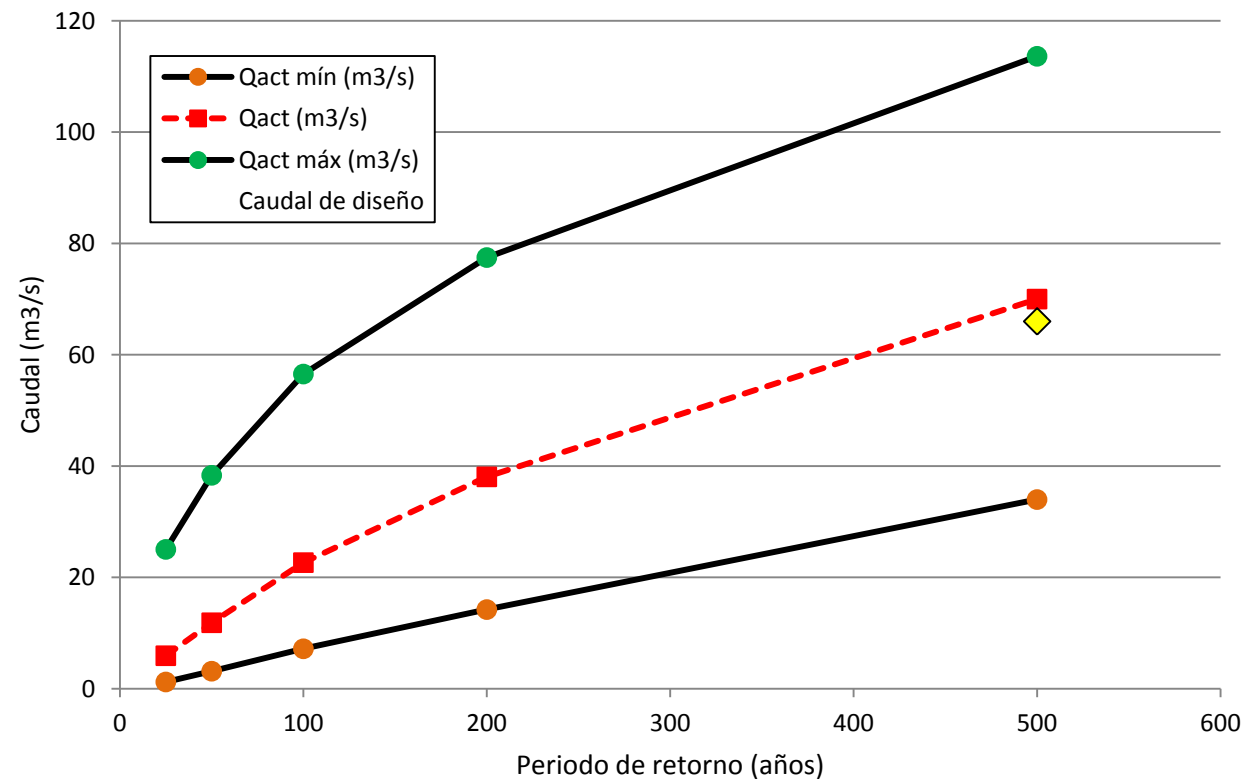


Fig. 37. Rango de caudales en el punto de simulación B.

- Punto de simulación C, con $A=0.26 \text{ km}^2 \rightarrow \pm 50 \%$.

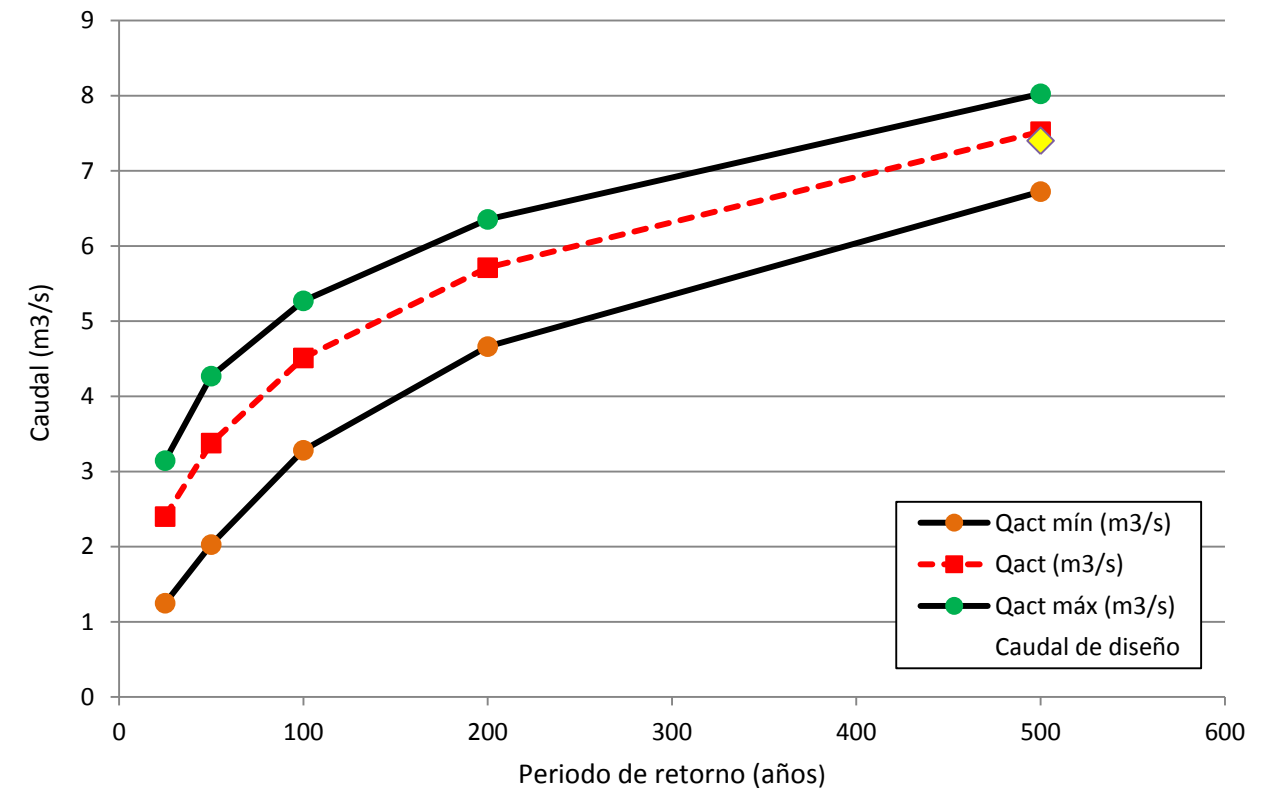
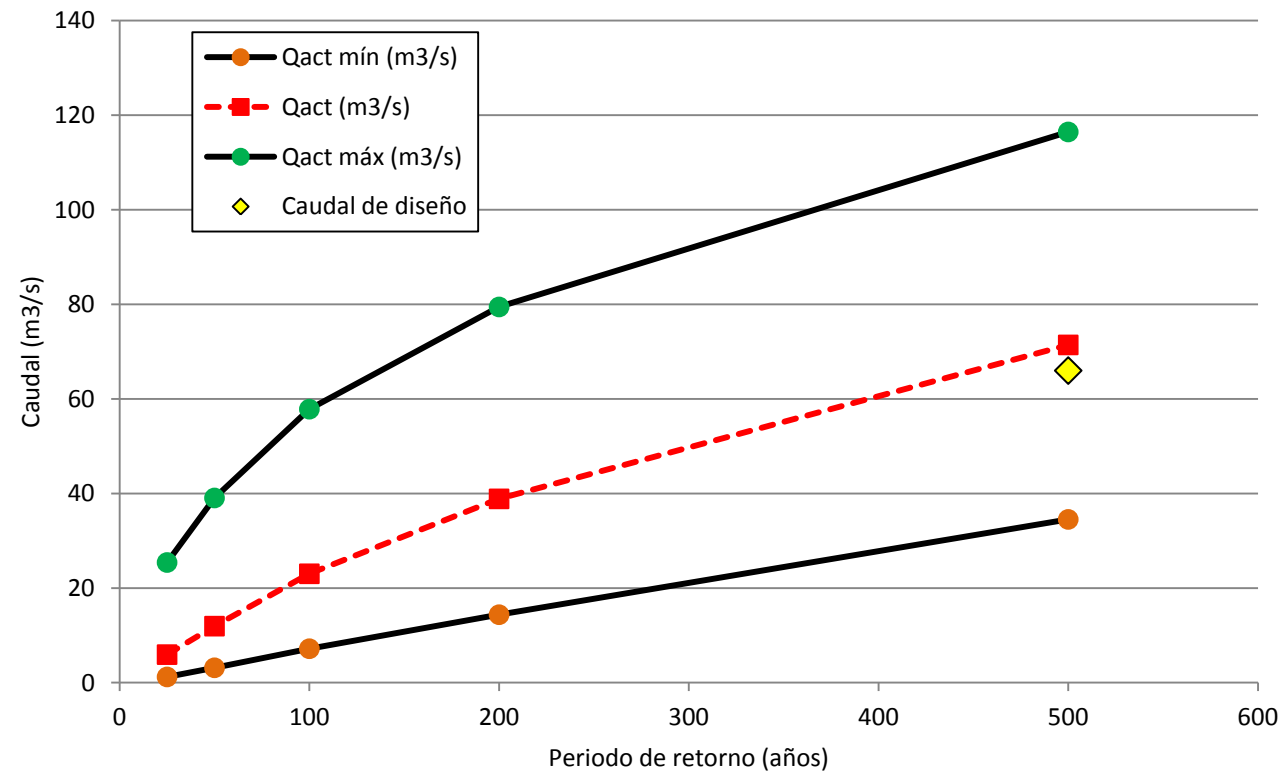


Fig. 38. Rango de caudales en el punto de simulación C.

El caudal de diseño considerado para el punto de simulación B es $66 \text{ m}^3/\text{s}$. Tal y como se observa en el gráfico, dicho valor se encuentra dentro del rango de incertidumbre para un periodo de retorno de 500 años.

El caudal de diseño considerado para el punto de simulación C es $7.4 \text{ m}^3/\text{s}$. Tal y como se observa en el gráfico, dicho valor se encuentra dentro del rango de incertidumbre para un periodo de retorno de 500 años.

- Punto de simulación D, con $A=8.683 \text{ km}^2 \rightarrow \pm 40.21 \%$.



T(años)	INCERTIDUMBRE		
	Q mín (m3/s)	Qp (m3/s)	Q máx (m3/s)
25	1.22	5.94	25.42
50	3.16	11.96	39.07
100	7.19	23.04	57.84
200	14.38	38.87	79.46
500	34.53	71.43	116.46

Fig. 39. Rango de caudales en el punto de simulación D.

El caudal de diseño considerado para el punto de simulación D es $67 \text{ m}^3/\text{s}$. Tal y como se observa en el gráfico, dicho valor se encuentra dentro del rango de incertidumbre para un periodo de retorno de 500 años.

Dado que los tres caudales considerados son válidos no ha sido necesario volver a proponer un diseño hidráulico diferente.

6.7 Resultados obtenidos al analizar la situación futura

Como se ha comentado en el apartado 3, debido al desarrollo urbanístico futuro se producirá una modificación del Umbral de Escorrentía P0.

Ahora se pretende ver la respuesta de la cuenca ante una modificación de este parámetro, sin considerar escenarios futuros de cambio climático. Para ello se han tenido en cuenta los valores de P0 futuro obtenidos para cada una de las subcuencas

	Pto simulación A	Pto simulación B	Pto simulación D
SC1	9.5	9.5	9.5
SC2	9.34	9.34	9.34
SC3	9.24	10.61	10.61

Tabla 14. Valores de P0 para la situación futura, antes de la calibración.

y se han modificado según el coeficiente de calibración 0.75

	Pto simulación A	Pto simulación B	Pto simulación D
SC1	35.625	35.625	35.625
SC2	35.025	35.025	35.025
SC3	34.650	34.650	34.650

Tabla 15. Valores de P0 para la situación futura, antes de la calibración.

El valor de P0 para el punto de simulación C no se ha visto modificado puesto que la cuenca se ubica en una zona urbana (tejido urbano continuo $P0=6$), donde no se prevén edificaciones futuras.

Los hidrogramas que se obtiene son los siguientes:

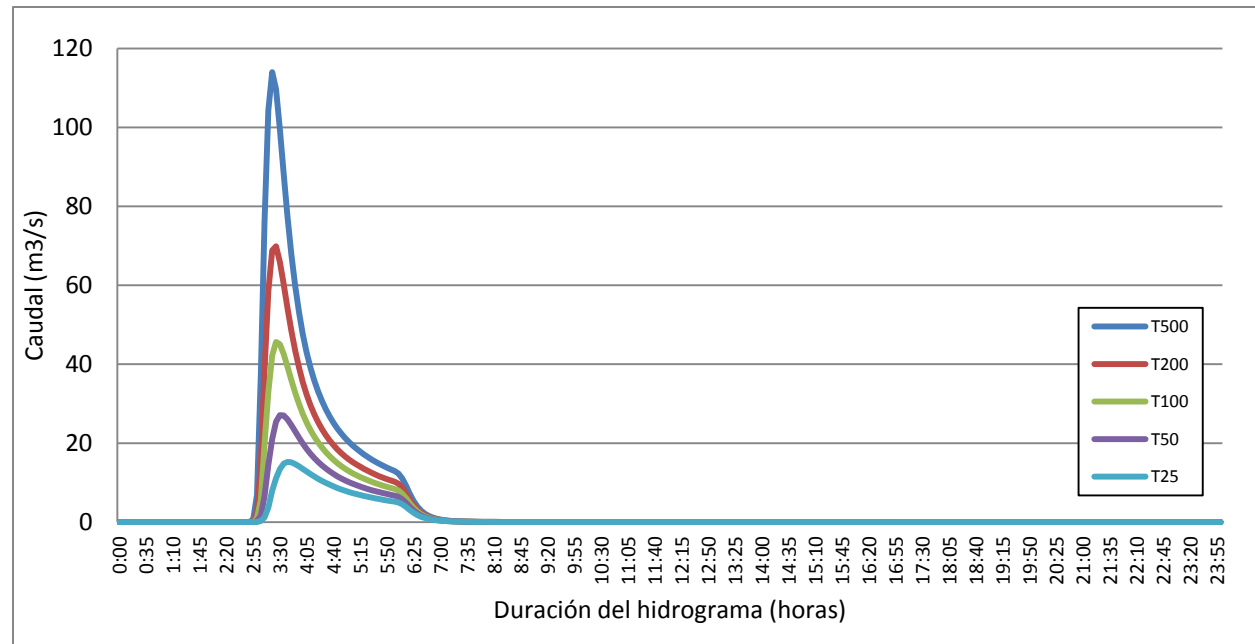


Fig. 40. Hidrograma obtenido en el punto de simulación A, para la situación futura.

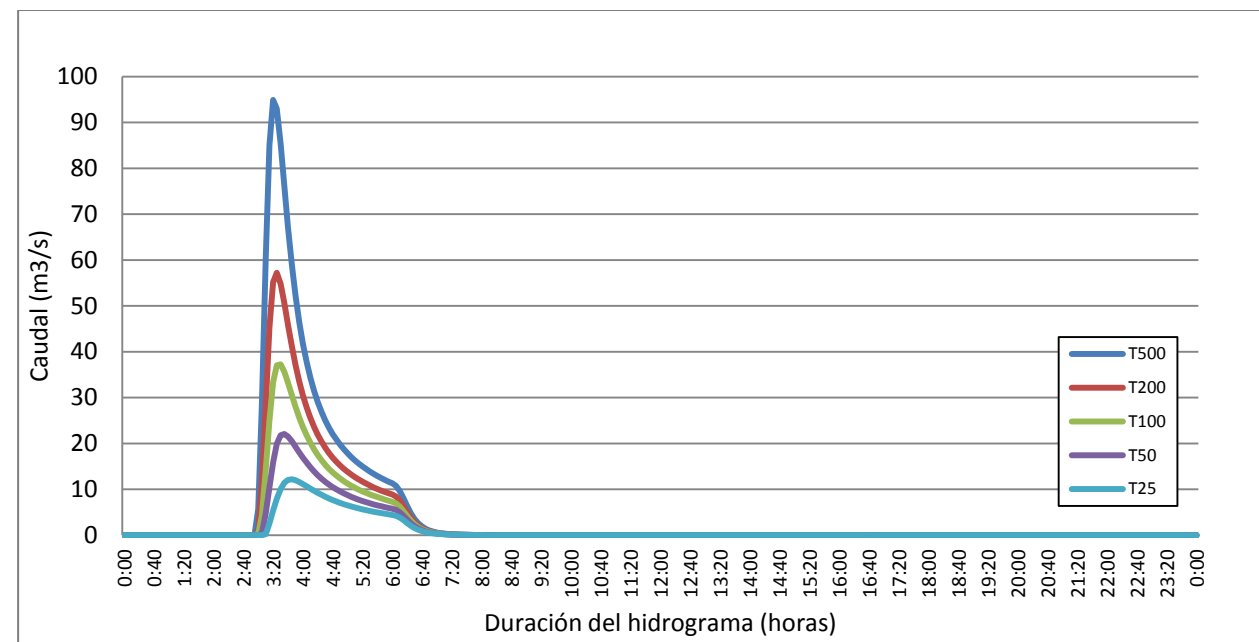


Fig. 41. Hidrograma obtenido en el punto de simulación B, para la situación futura.

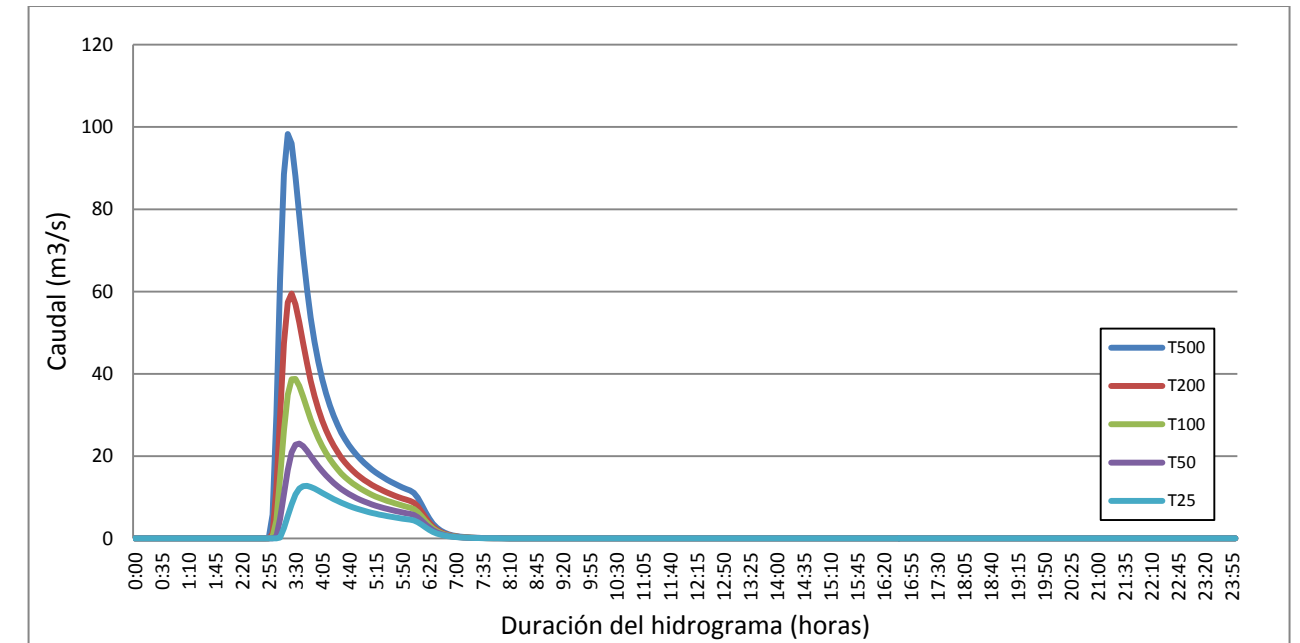


Fig. 42. Hidrograma obtenido en el punto de simulación D, para la situación futura.

En el caso del punto de simulación C el hidrograma para la situación futura es el mismo que el que se muestra en la Fig. 33

T (años)	A	B	C	D
25	15.24	12.17	2.40	12.77
50	27.11	22.08	3.38	23.05
100	45.65	37.24	4.51	38.77
200	69.87	57.23	5.71	59.50
500	114.01	94.92	7.52	98.28

Tabla 16. Caudales máximos, en m^3/s , para la situación futura y cada uno de los puntos de simulación.

6.8 Comparación de la situación actual y futura

Como se ha comentado al inicio de este análisis hidrológico, el segundo objetivo es ver cómo influye un posible cambio del Umbral de Escorrentía en la producción de escorrentía.

Después de realizar los pertinentes cálculos ha sido posible extraer gráficos comparativos donde se puede ver la evolución de los caudales máximos, para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años.

De media, en los puntos de simulación A, B y D, los caudales aumentan un 40 % respecto de la situación actual.

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que sí existe un cambio claro.

Este hecho pone de manifiesto la necesidad de prever la evolución de los parámetros de diseño a la hora de llevar a cabo la concepción de infraestructuras que modifiquen el territorio. De lo contrario puede darse la situación de encontrarse con obras obsoletas, que no cumplen la función para la que habían sido diseñadas.

En la Gráfico 2 se observa cómo cambian los caudales para la cuenca hidrográfica del barranco de La Cala, considerando el punto de desagüe en el paseo (Punto A). Cuanto mayor es el periodo de retorno, mayor es la diferencia entre el caudal actual y futuro.

El caudal para el periodo de retorno de 500 años asciende a 114 m³/s, hecho que supone una diferencia de más de 40³/s respecto a la situación actual. Se trata de un cambio muy significativo, que constata la influencia del Umbral de Escorrentía.

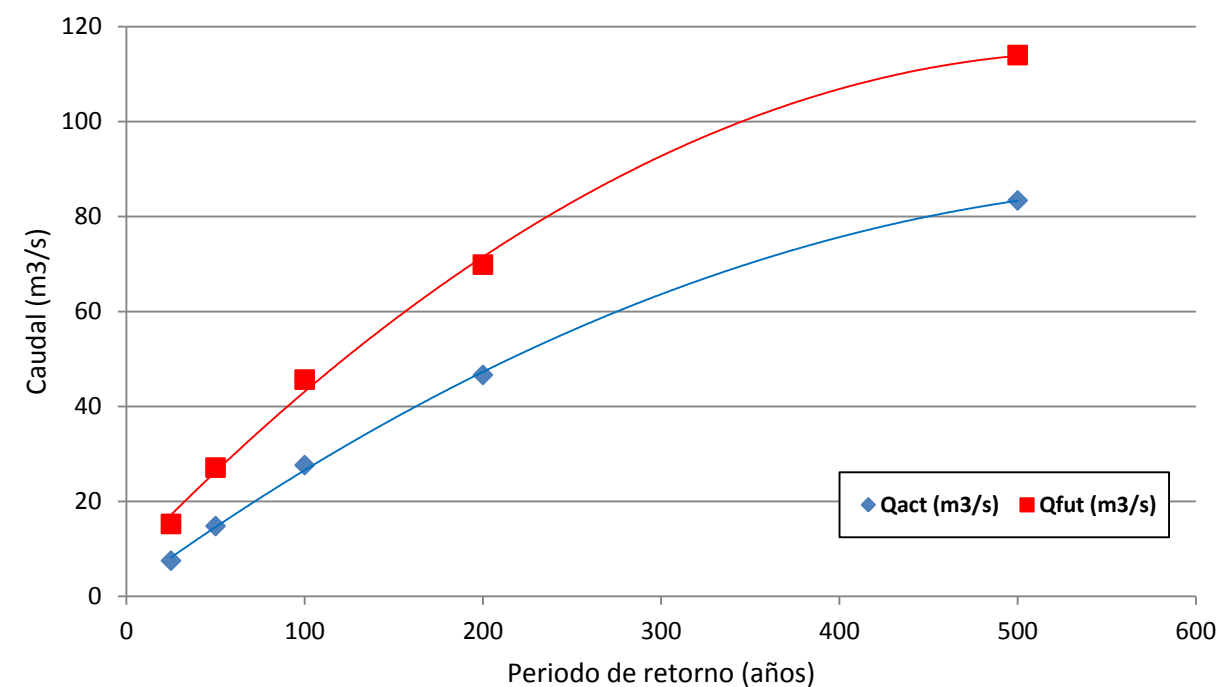


Gráfico 2. Gráfico comparativo de la situación actual y futura, para el punto de simulación A.

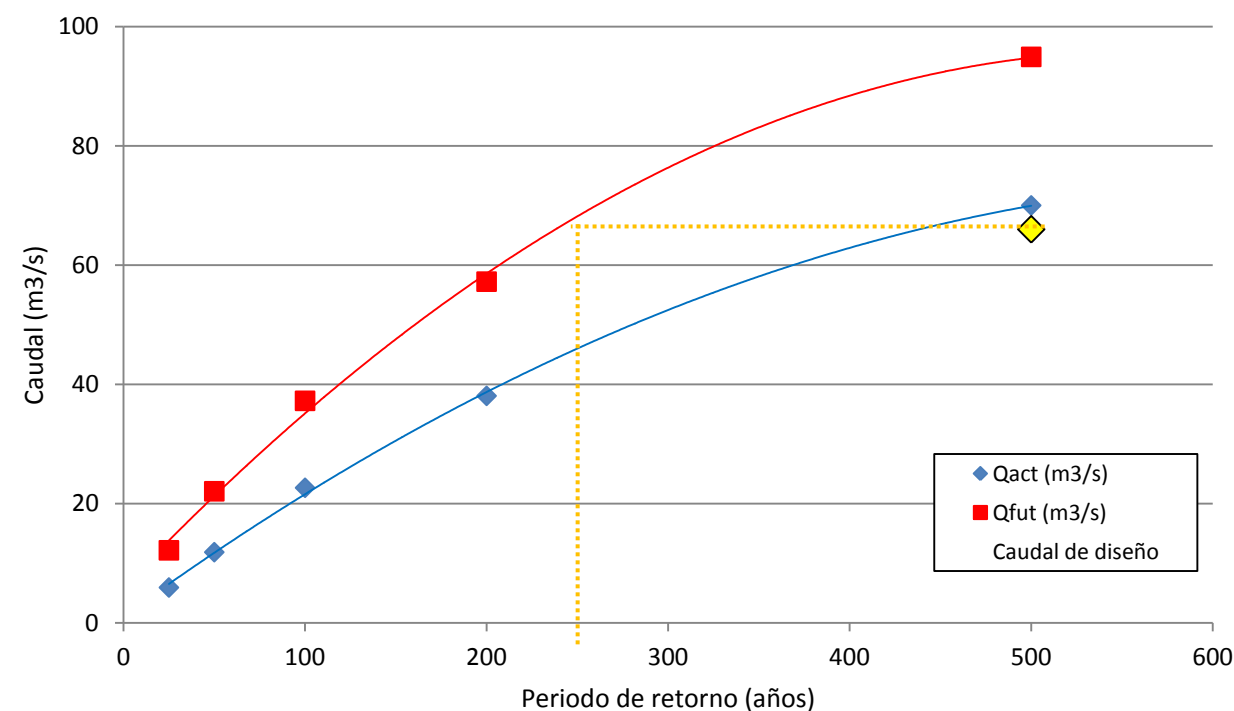


Gráfico 3. Gráfico comparativo de la situación actual y futura, para el punto de simulación B.

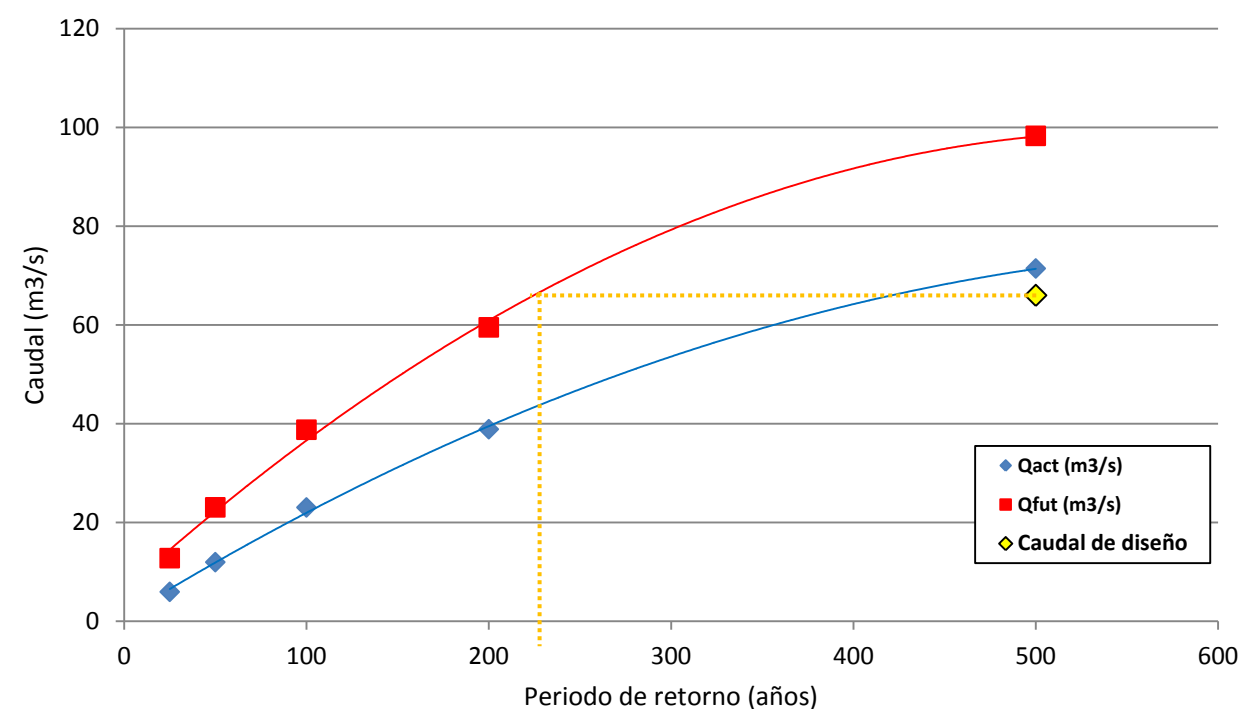


Gráfico 4. Gráfico comparativo de la situación actual y futura, para el punto de simulación D.

En las figuras 10 y 11 se muestra la evolución de los caudales y también se representa el caudal considerado en el diseño hidráulico. Se puede afirmar que ambas infraestructuras ven disminuido su nivel de seguridad. Concretamente, éste desciende hasta encontrarse en un rango comprendido entre 220 y 250 años de periodo de retorno.

El nivel de seguridad que se garantizaría en la situación futura sigue siendo elevado. En este caso ha sido posible proyectar la obra hidráulica para un periodo de retorno de 500 años. Sin embargo, si el nivel de seguridad actual fuese menor, en un futuro se podría esperar no cumplir con niveles de seguridad adecuados.