

LEYENDA

de 0 a 2 %
de 3 a 7 %
de 7 a 15 %
de 15 a 30 %
de 30 a 45 %
> 45 %

TITULO:
 DETERMINACION DE LOS LIMITES DEL DOMINIO PUBLICO HIDRAULICO
 Y LAS ZONAS INUNDABLES EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL GUADALHORCE
 DESDE EL CAMPANILLAS AL LIMITE DEL T.M. EN EL ARROYO CAÑUELO,
 EN LOS DESARROLLOS PREVISTOS POR EL PGOU EN REVISION

FECHA:
 JUNIO 2010

ESCALA:
 1:30.000
 0 150 300 600 900 1.200 1.500

PLANO:
 3.- ESTUDIO HIDROLOGICO.
 3.- CARACTERIZACION HIDROLOGICA.
 3.- PENDIENTES MEDIAS

NUMERO DE PLANO:
 3
HOJA:
 1 DE 1

3.3.4.- Determinación del umbral de escorrentía

Como ya se ha indicado anteriormente, los elementos esenciales que permiten cuantificar la intercepción, la retención, la infiltración y finalmente la escorrentía, son la permeabilidad del suelo, dependiente sobre todo de sus características litológicas y edafológicas, las características de la cubierta vegetal, esencialmente la vegetación y la forma de uso del terreno, y finalmente la pendiente media del terreno.

Una vez establecidos sobre la cartografía los límites de las áreas homogéneas en lo que se refiere a la combinación suelo/cubierta, se ha procedido a realizar una triple intersección de los planos de usos del suelo, permeabilidad y pendiente. En dicha intersección se han generado varios polígonos, a cada uno de los cuales le corresponde un umbral de escorrentía. Dicho número está especificado en las tablas publicadas por la Instrucción de Drenaje y quedan recogidas en la publicación del CEDEX “Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas”.

En las tablas adjuntas se muestra la forma de asignar el parámetro correspondiente según el tipo de complejo suelo-vegetación, el estado de la cubierta vegetal, las labores agrícolas y la humedad del suelo. En cuanto a la cubierta vegetal, se establecen distintas clases en sus condiciones hidrológicas, con graduaciones de pobres a buenas para la infiltración.

Cuanto más denso es el cultivo, mejor es su condición hidrológica para la infiltración, y en consecuencia, menor es el valor del número representativo de la escorrentía. Y en cuanto a la forma de tratar la tierra, si la pendiente es superior al 3 % y las faenas agrícolas se ejecutan sin tener en cuenta la misma, la escorrentía será más elevada, mientras que si se labra por curvas de nivel o la pendientes es inferior al 3 %, la escorrentía será moderada, y si además, los cultivos se disponen en terrazas abiertas con buen drenaje y buena conservación del suelo, se favorecerá la infiltración.

El valor representativo de la escorrentía para cada subcuenca ha de ser único, por lo que se ha realizado una media ponderada de dicha característica en función del área de cada polígono individual que se generó anteriormente y que pertenecen a la misma subcuenca.

A continuación se exponen las tablas que permiten seleccionar el valor representativo de la escorrentía. En cualquier caso, se han seguido las recomendaciones de la Agencia Andaluza del Agua, no considerándose valores superiores a 20-25 mm para el umbral de escorrentía.

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	≥ 3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	< 3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	≥ 3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	< 3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	≥ 3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	< 3	R/N	34	21	14	12

Nota: N: denota cultivo según las curvas de nivel.
R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente.

Obtención del umbral de escorrentía según la instrucción de drenaje.

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo				
			A	B	C	D	
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6	
		N	28	17	11	8	
	< 3	R/N	30	19	13	10	
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	12	9	
		N	42	23	14	11	
	< 3	R/N	47	25	16	13	
Praderas	≥ 3	Pobre	24	14	8	6	
		Media	53	23	14	9	
		Buena	*	33	18	13	
		Muy buena	*	41	22	15	
	< 3	Pobre	58	25	12	7	
		Media	*	35	17	10	
		Buena	*	*	22	14	
		Muy buena	*	*	25	16	
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Pobre	62	26	15	10	
		Media	*	34	19	14	
		Buena	*	42	22	15	
		Pobre	*	34	19	14	
	< 3	Media	*	42	22	15	
		Buena	*	50	25	16	
		Masas forestales (bosques, Monte bajo, etc.)	Muy clara	40	17	8	5
			Clara	60	24	14	10
Media	*		34	22	16		
Espesa	*		47	31	23		
Muy espesa	*		65	43	33		
Notas: 1. N: denota cultivo según las curvas de nivel. R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente. 2. *: denota que esa parte de cuenca debe considerarse inexistente a efectos de cálculo de caudales de avenida. 3. Las zonas abancaladas se incluirán entre las de pendiente menor del 3 por 100.							
Tipo de terreno	Pendiente (%)	Umbral de escorrentía (mm)					
Rocas permeables	≥ 3	3					
	< 3	5					
Rocas impermeables	≥ 3	2					
	< 3	4					
Firmes granulares sin pavimento		2					
Adoquinados		1,5					
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1					

Obtención del umbral de escorrentía según la instrucción de drenaje (continuación).

Los coeficientes empleados en nuestro caso, extraídos de las tablas anteriores, han sido los siguientes:

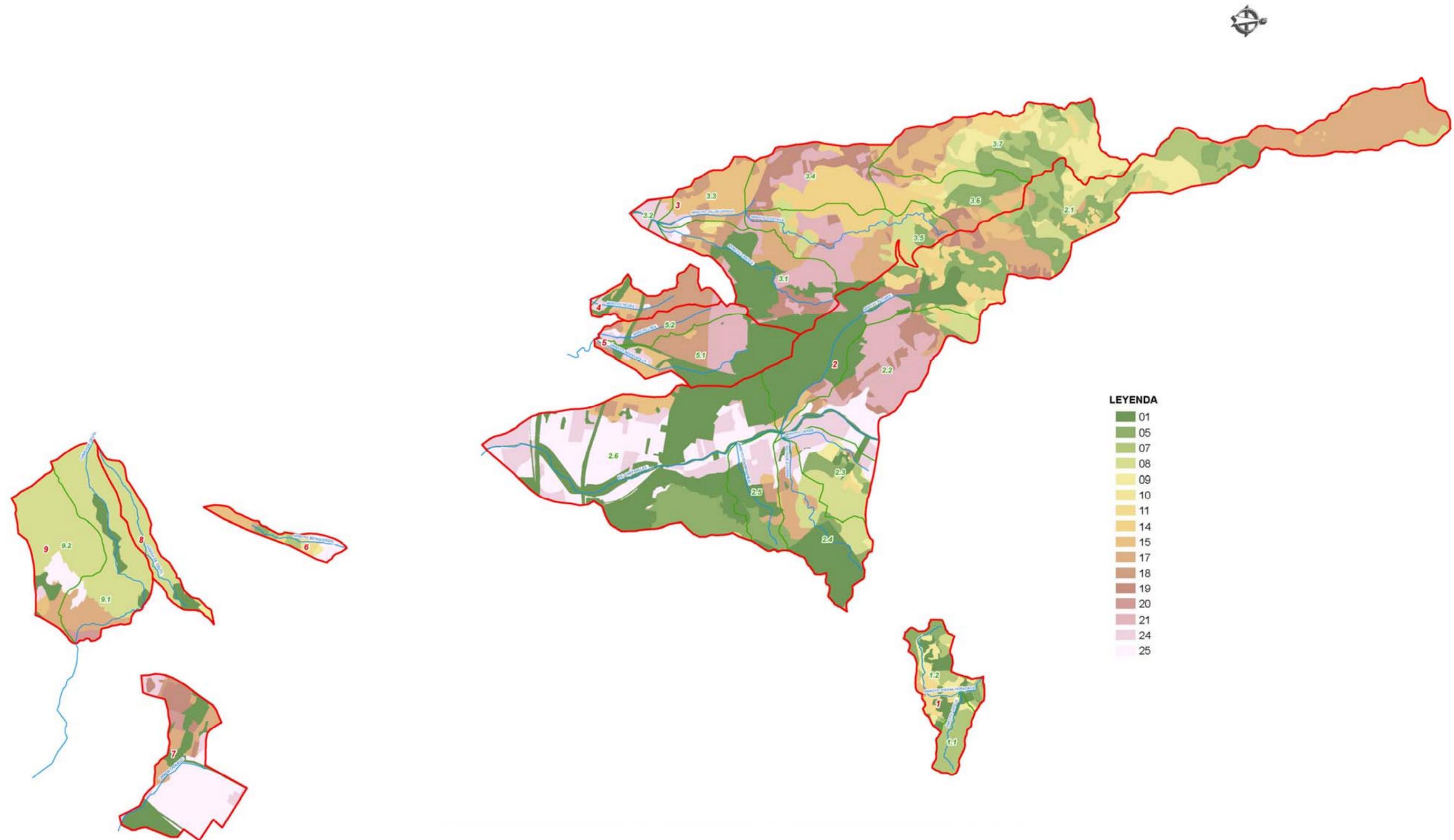
USOS DEL SUELO					
A	B	C	D	PTE	USO
1	1	1	1	>3%	Aeropuertos
1	1	1	1	<3%	
1	1	1	1	>3%	Autovías, autopistas y enlaces
1	1	1	1	<3%	
1	1	1	1	>3%	Áreas de expansión
1	1	1	1	<3%	
1	1	1	1	>3%	Balsas de riego y ganaderas y embalses
1	1	1	1	<3%	
24	15	9	7	>3%	Cítricos
25	19	14	11	<3%	
1	1	1	1	>3%	Cultivos forzados bajo plástico
1	1	1	1	<3%	
25	18	11	9	>3%	Cultivos herbáceos regados
25	21	14	12	<3%	
25	18	11	9	>3%	Cultivos herbáceos no regados
25	21	14	12	<3%	
25	17	8	5	>3%	Cultivos herbáceos y leñosos en secano
25	17	8	5	<3%	
25	17	8	5	>3%	Cultivos leñosos y vegetación natural leñosa
25	17	8	5	<3%	
25	24	14	10	>3%	Formación arbolada densa: coníferas
25	24	14	10	<3%	
25	24	14	10	>3%	Formación arbolada densa: eucaliptos
25	24	14	10	<3%	
25	24	14	10	>3%	Formación arbolada densa: otras frondosas
25	24	14	10	<3%	
24	15	9	7	>3%	Frutales tropicales
25	19	14	11	<3%	
1	1	1	1	>3%	Equipamiento deportivo y recreativo
1	1	1	1	<3%	
25	17	8	5	>3%	Matorral denso
25	17	8	5	<3%	
25	17	8	5	>3%	Matorral denso y arbolado: coníferas dispersas
25	17	8	5	<3%	
25	24	14	10	>3%	Matorral disperso con arbolado: coníferas denso
25	24	14	10	<3%	
25	17	8	5	>3%	Matorral disperso con arbolado: coníferas dispersas
25	17	8	5	<3%	
25	17	8	5	>3%	Matorral disperso con arbolado: quercíneas dispersas
25	17	8	5	<3%	

USOS DEL SUELO					
A	B	C	D	PTE	USO
25	24	14	10	>3%	Matorral disperso con arbolado: quercíneas denso
25	24	14	10	<3%	
25	17	8	5	>3%	Matorral disperso con arbolado: otras frondosas
25	17	8	5	<3%	
25	17	8	5	>3%	Matorral disperso con pastizal
25	17	8	5	<3%	
25	17	8	5	>3%	Matorral disperso con pasto y roca
25	17	8	5	<3%	
25	17	8	5	>3%	Mosaicos de cultivos leñosos en secano
25	17	8	5	<3%	
25	18	11	9	>3%	Mosaico de cultivos herbáceos
25	21	14	12	<3%	
25	17	8	5	>3%	Mosaicos de cultivos herbáceos y leñosos
25	17	8	5	<3%	
24	15	9	7	>3%	Olivar-Regadío
25	19	14	11	<3%	
24	15	9	7	>3%	Olivar abandonado
25	19	14	11	<3%	
24	15	9	7	>3%	Olivar-Secano
25	19	14	11	<3%	
1	1	1	1	>3%	Otras infraestructuras técnicas
1	1	1	1	<3%	
25	17	8	5	>3%	Otros cultivos leñosos abandonados
25	17	8	5	<3%	
25	17	8	5	>3%	Otros cultivos leñosos en secano
25	17	8	5	<3%	
25	17	8	5	>3%	Otros cultivos leñosos en regadío
25	17	8	5	<3%	
25	18	11	9	>3%	Otros cultivos herbáceos regadío
25	21	14	12	<3%	
25	15	19	6	>3%	Otros mosaicos de cultivos y vegetación natural
25	17	11	8	<3%	
24	14	8	6	>3%	Pastizal arbolado: eucaliptos
25	20	12	7	<3%	
24	14	8	6	>3%	Pastizal no arbolado con claros
25	20	12	7	<3%	
24	14	8	6	>3%	Pastizal no arbolado continuo
25	20	12	7	<3%	
1	1	1	1	>3%	Ríos y cauces. Láminas de agua
1	1	1	1	<3%	
1	1	1	1	>3%	Ríos y cauces. Otras formaciones riparias
1	1	1	1	<3%	
1.0	1.0	1.0	1.0	>3%	Urbanizaciones agrícolas y residenciales
1.0	1.0	1.0	1.0	<3%	
1.0	1.0	1.0	1.0	>3%	Urbano
1.0	1.0	1.0	1.0	<3%	

USOS DEL SUELO					
A	B	C	D	PTE	USO
25	15	9	7	>3%	Viñedos
25	19	14	11	<3%	
1	1	1	1	>3%	Zonas en construcción
1	1	1	1	<3%	
1	1	1	1	>3%	Zonas industriales y comerciales
1	1	1	1	<3%	
3	3	3	3	>3%	Zonas mineras
5	5	5	5	<3%	
25	14	9	6	>3%	Zonas verdes urbanas
25	19	13	10	<3%	
3	3	3	3	>3%	Zonas sin vegetación por roturación
3	3	3	3	<3%	

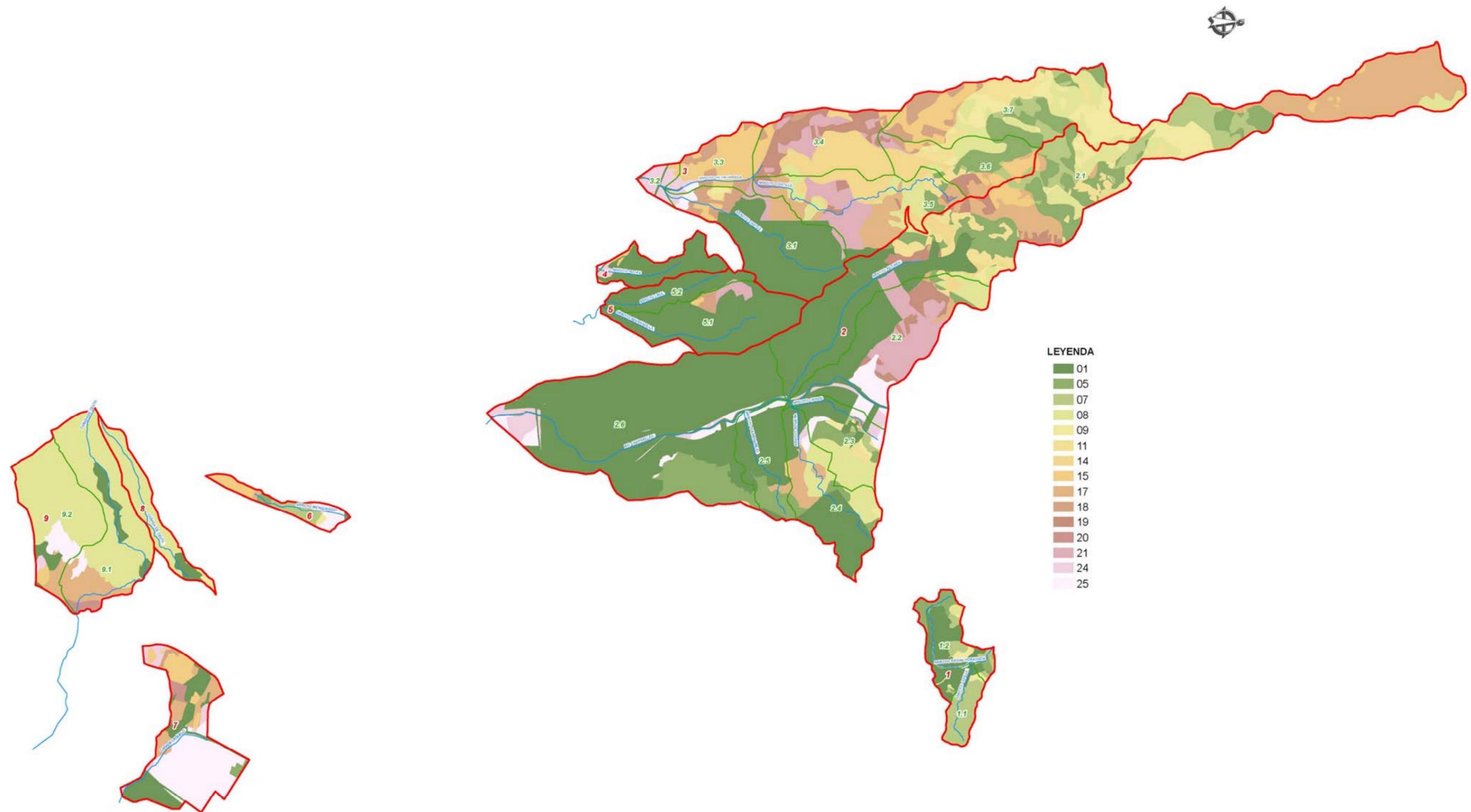
Las siguientes figuras muestran la intersección entre los mapas temáticos considerados: uso del suelo, pendiente y permeabilidad superficial, es decir, el valor del umbral de escorrentía sin corregir.

Intersección entre el uso del suelo, pendiente y permeabilidad. Umbral de escorrentía. Situación actual (PGOU vigente)

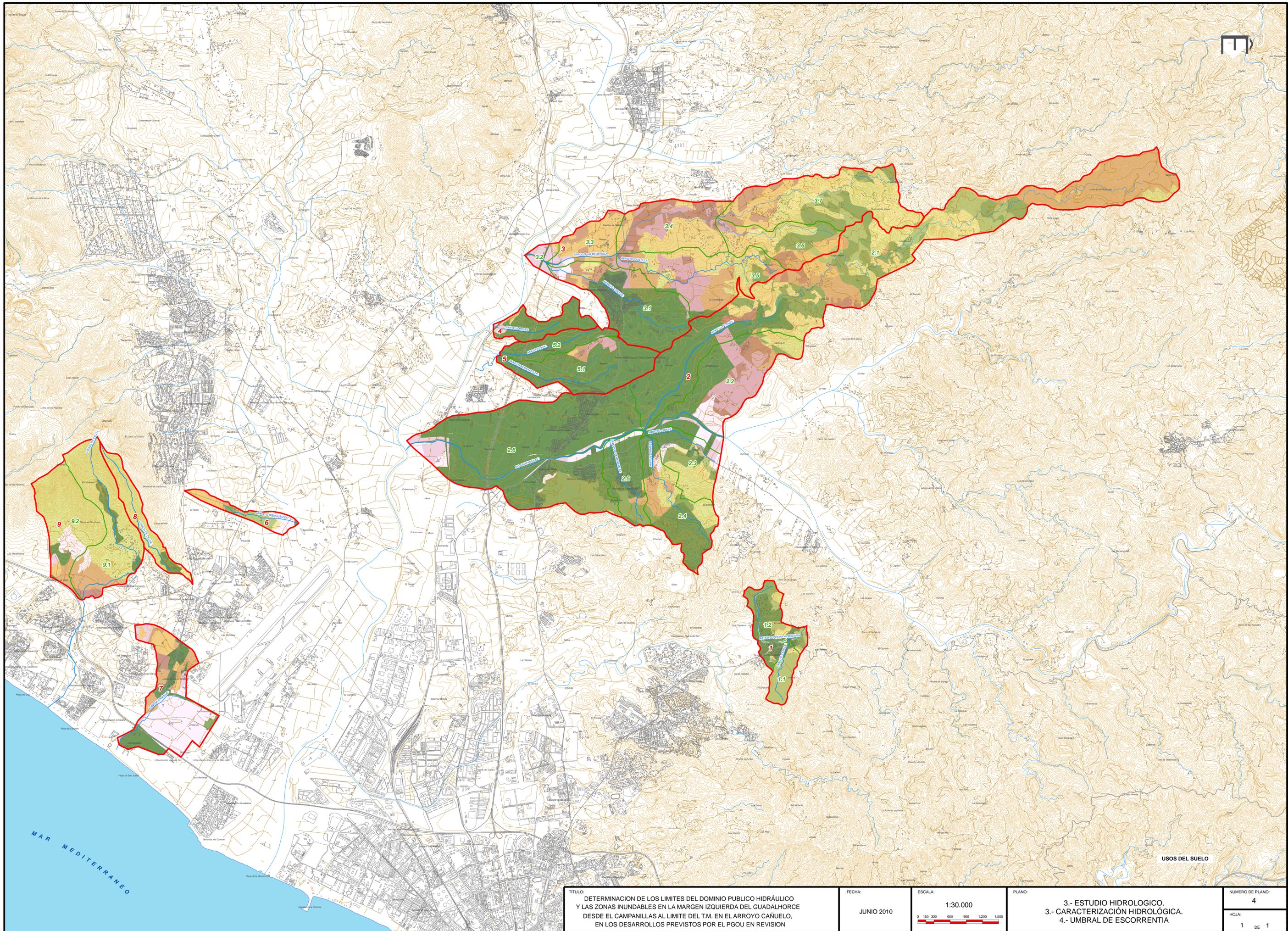


DETERMINACION DE LOS LIMITES DEL DOMINIO PUBLICO HIDRAULICO Y LAS ZONAS INUNDABLES EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL GUADALHORCE DESDE EL CAMPANILLAS AL LIMITE DEL T.M. EN EL ARROYO CAÑUELO, EN LOS DESARROLLOS PREVISTOS POR EL PGOU EN REVISION

Intersección entre el uso del suelo, pendiente y permeabilidad. Umbral de escorrentía. Situación futura (PGOU en revisión)



DETERMINACION DE LOS LIMITES DEL DOMINIO PUBLICO HIDRAULICO Y LAS ZONAS INUNDABLES EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL GUADALHORCE DESDE EL CAMPANILLAS AL LIMITE DEL T.M. EN EL ARROYO CAÑUELO, EN LOS DESARROLLOS PREVISTOS POR EL PGOU EN REVISION



USOS DEL SUELO

TITULO:
 DETERMINACION DE LOS LIMITES DEL DOMINIO PUBLICO HIDRAULICO
 Y LAS ZONAS INUNDABLES EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL GUADALHORCE
 DESDE EL CAMPANILLAS AL LIMITE DEL T.M. EN EL ARROYO CAÑUELO,
 EN LOS DESARROLLOS PREVISTOS POR EL PGOU EN REVISION

FECHA:
 JUNIO 2010

ESCALA:
 1:30.000
 0 150 300 600 900 1.200 1.500

PLANO:
 3.- ESTUDIO HIDROLOGICO.
 3.- CARACTERIZACION HIDROLOGICA.
 4.- UMBRAL DE ESCORRENTIA

NUMERO DE PLANO:
 4
 HOJA:
 1 DE 1

El último paso es obtener el umbral de escorrentía ponderado para cada subcuenca, que se empleará finalmente para el cálculo del caudal en cada caso.

Los resultados finales obtenidos tras la ponderación areal de cada polígono individual identificado para cada subcuenca se resume a continuación. Como se ha explicado anteriormente, se han realizado dos análisis:

- 1.- Situación actual. Con el PGOU vigente. Se aplicará para el cálculo de los caudales correspondientes al periodo de retorno de 10 años, así como para obtener los caudales correspondientes a T=2, T=5 y T=25 años.

CÓDIGO	NOMBRE	Umb Esc(mm)
1 1	Capilla	7.38
	TOTAL DE LA CUENCA	7.38
1 2	Arroyo Piedra Horadada	4.47
	TOTAL DE LA CUENCA	5.33
2 1	Arroyo Pilonos	7.24
	TOTAL DE LA CUENCA	7.24
2 3	Arroyo Ciprés	8.49
	TOTAL DE LA CUENCA	8.49
2 4	Arroyo Somera	5.21
	TOTAL DE LA CUENCA	5.21
2 5	Colmenarejo	6.27
	TOTAL DE LA CUENCA	6.27
3 7	Valdeurraca	9.61
3 6	Valdeurraca	8.57
3 4	Valdeurraca	15.55
3 5	Costilla	13.17
3 3	Valdeurraca	14.61
3 1	Cantos	9.63
3 2	Valdeurraca	13.27

CÓDIGO	NOMBRE	Umb Esc(mm)
	TOTAL DE LA CUENCA	11.52
7	Arroyo Cañuelo	1.27
	TOTAL DE LA CUENCA	1.27
4	Rojas	11.16
	TOTAL DE LA CUENCA	11.16
5 2	Liria	8.7
5 1	Rebanadilla	5.66
5 3	Tramo común	14
	TOTAL DE LA CUENCA	6.54
8	Cañada de la Calera	7.57
	TOTAL DE LA CUENCA	7.57
9	Cañada de Ceuta	5.91
9	Cañada de Ceuta	7.63
	TOTAL DE LA CUENCA	6.66
6	Bienquerido	12.58
	TOTAL DE LA CUENCA	12.58

- 2.- Situación futurible, en la que se considera que se ha completado el desarrollo urbano previsto por la Revisión del Plan General de Ordenación Urbana. Se aplicará para el cálculo de los caudales correspondientes al periodo de retorno de 500 años, así como para obtener los caudales correspondientes a T=50, T=100 y T=1000 años.

CÓDIGO	NOMBRE	Umb Esc(mm)
1 1	Capilla	4.08
	TOTAL DE LA CUENCA	4.08
1 2	Arroyo Piedra Horadada	7.34
	TOTAL DE LA CUENCA	5.04
2 1	Arroyo Pilonos	7.24
	TOTAL DE LA CUENCA	7.24

CÓDIGO		NOMBRE	Umb Esc(mm)
2	3	Arroyo Ciprés	8.49
		TOTAL DE LA CUENCA	8.49
2	4	Arroyo Somera	5.21
		TOTAL DE LA CUENCA	5.21
2	5	Colmenarejo	4.08
		TOTAL DE LA CUENCA	4.08
3	7	Valdeurraca	9.61
3	6	Valdeurraca	8.57
3	4	Valdeurraca	15.45
3	5	Costilla	12.59
3	3	Valdeurraca	11.93
3	1	Cantos	1.45
3	2	Valdeurraca	11.65
		TOTAL DE LA CUENCA	10.26
7		Arroyo Cañuelo	1
		TOTAL DE LA CUENCA	1
4		Rojas	2.26
		TOTAL DE LA CUENCA	2.26
5	2	Liria	1
5	1	Rebanadilla	1
5	3	Tramo común	1
		TOTAL DE LA CUENCA	1
8		Cañada de la Calera	5.27
		TOTAL DE LA CUENCA	5.27
9		Cañada de Ceuta	5.91
9		Cañada de Ceuta	7.63
		TOTAL DE LA CUENCA	6.66
6		Bienquerido	5.05
		TOTAL DE LA CUENCA	5.05

3.4.- PRECIPITACION DE DISEÑO

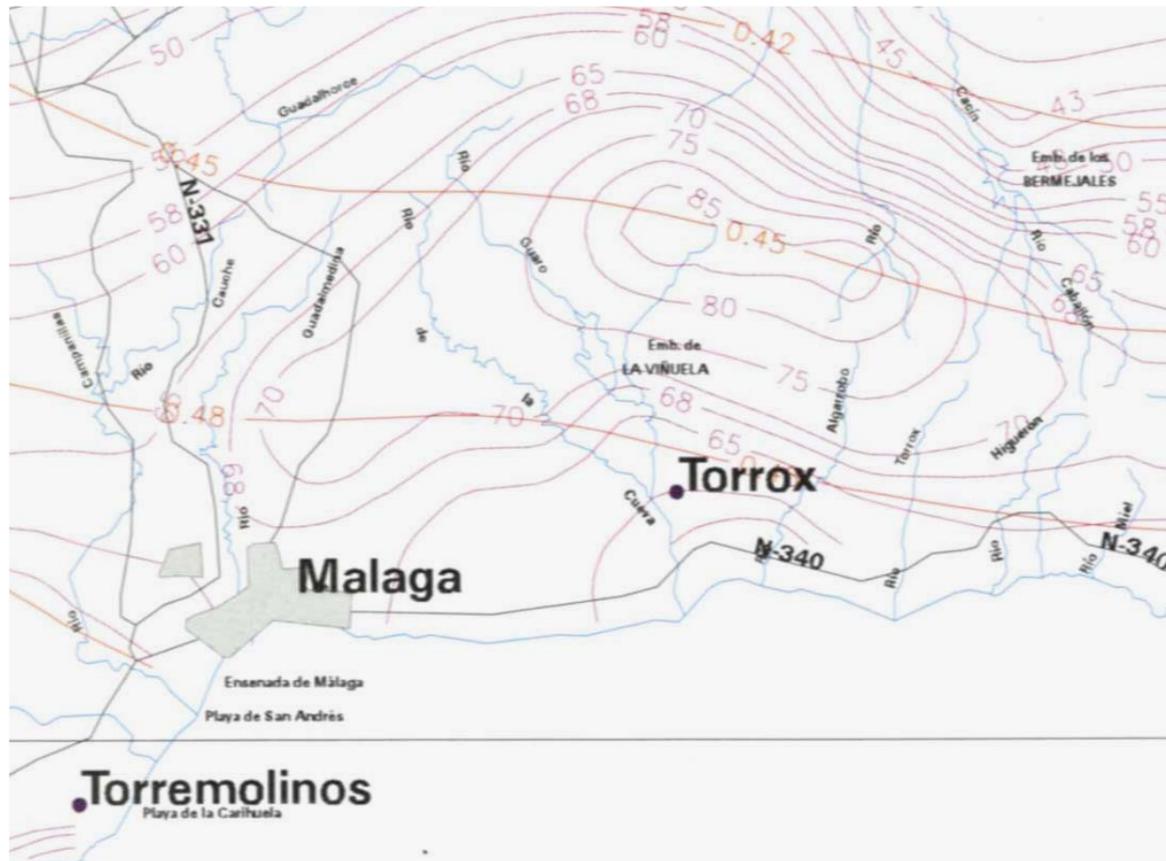
El estudio de las precipitaciones máximas diarias se llevó a cabo inicialmente a partir de los registros existentes en las estaciones meteorológicas ubicadas en el interior o en las proximidades de las cuencas estudiadas. Los registros de precipitaciones máximas fueron obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología.

Además, para cotejar los datos de las estaciones pluviométricas, se consideraron los datos de precipitación de la publicación "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" elaborada por el CEDEX para el Ministerio de Fomento.

No obstante, en el presente estudio, y a petición expresa de la Gerencia Municipal de Urbanismo, sólo se han considerado los datos de precipitación de la publicación "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" elaborada por el CEDEX para el Ministerio de Fomento.

Dicha publicación contiene una serie de mapas de de isolíneas de precipitación que cubren todo el territorio español. Según dichos mapas, las isolíneas representan el coeficiente de variación C_v y el valor promedio P de la precipitación máxima diaria anual. Para un período de retorno dado T y el valor regional de C_v , se obtiene el factor de amplificación K_T según la tabla que se incluye en la publicación. Por último se obtiene la precipitación máxima diaria para el período de retorno deseado, sin más que multiplicar el valor medio de la precipitación P por el factor de amplificación K_T .

La siguiente figura reproduce la hoja con los valores de C_v y P correspondiente a la zona de proyecto.



Mapa de isolíneas de P y Cv

Se incluye a continuación el resumen con los valores obtenidos para los diferentes períodos de retorno analizados. Se ha realizado el análisis considerando las coordenadas UTM del centroide de cada cuenca.

Precipitación media para cada cuenca y período de retorno (mm)

CÓDIGO	NOMBRE	COORDENADAS UTM CENTRO APROX. CUENCA	Pd (mm)									
			T2	T5	T10	T25	T50	T100	T500	T1000		
1	1	Capilla	366,946	4,069,584	60.00	88.00	108.00	137.00	161.00	185.00	249.00	278.00
TOTAL CAPILLA			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	60.00	88.00	108.00	137.00	161.00	185.00	249.00	278.00
1	2	Arroyo Piedra Horadada	365,969	4,069,352	60.00	88.00	108.00	137.00	161.00	185.00	249.00	278.00
TOTAL PIEDRA HORADADA			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	60.00	88.00	108.00	137.00	161.00	185.00	249.00	278.00
2	1	Arroyo Pilonos	359,740	4,070,335	61.00	89.00	110.00	139.00	163.00	187.00	251.00	280.00
TOTAL PILONES			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	61.00	89.00	110.00	139.00	163.00	187.00	251.00	280.00
2	3	Arroyo Ciprés	362,992	4,067,977	61.00	89.00	110.00	139.00	163.00	187.00	251.00	280.00
TOTAL CIPRÉS			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	61.00	89.00	110.00	139.00	163.00	187.00	251.00	280.00
2	4	Arroyo Somera	363,893	4,067,551	61.00	89.00	110.00	139.00	163.00	187.00	251.00	280.00
TOTAL SOMERA			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	61.00	89.00	110.00	139.00	163.00	187.00	251.00	280.00
2	5	Colmenarejo	363,292	4,066,723	61.00	89.00	110.00	139.00	163.00	187.00	251.00	280.00
TOTAL COLMENAREJO			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	61.00	89.00	110.00	139.00	163.00	187.00	251.00	280.00
3	7	Valdeurraca	358,155	4,070,123	61.00	89.00	110.00	139.00	163.00	187.00	251.00	280.00
3	6	Valdeurraca	358,940	4,069,634	61.00	89.00	110.00	139.00	163.00	187.00	251.00	280.00
3	4	Valdeurraca	358,607	4,067,547	63.00	92.00	113.00	142.00	167.00	192.00	257.00	288.00
3	5	Costilla	359,566	4,068,295	62.00	90.00	111.00	140.00	165.00	190.00	255.00	284.00
3	3	Valdeurraca	359,004	4,066,066	63.00	92.00	113.00	142.00	167.00	192.00	257.00	288.00
3	1	Cantos	360,009	4,066,753	62.00	90.00	111.00	140.00	165.00	190.00	255.00	284.00
3	2	Valdeurraca	359,237	4,065,080	63.00	92.00	113.00	142.00	167.00	192.00	257.00	288.00
TOTAL VALDEURRACA			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	62.00	90.00	111.00	140.00	165.00	190.00	255.00	284.00
7	C3	Arroyo Cañuelo	367,373	4,058,247	64.00	93.00	114.00	143.00	167.00	193.00	259.00	288.00
TOTAL CAÑUELO			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	64.00	93.00	114.00	143.00	167.00	193.00	259.00	288.00
4		Rojas	360,540	4,065,213	63.00	92.00	113.00	142.00	167.00	192.00	257.00	288.00
TOTAL ROJAS			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	63.00	92.00	113.00	142.00	167.00	192.00	257.00	288.00
5	2	Liria	360,853	4,065,383	63.00	92.00	113.00	142.00	167.00	192.00	257.00	288.00
5	1	Rebanadilla	361,322	4,065,718	62.00	90.00	111.00	140.00	165.00	189.00	253.00	284.00
5	3	Tramo común	361,005	4,064,262	63.00	92.00	113.00	142.00	167.00	192.00	257.00	288.00
TOTAL LIRIA-REBANADILLA			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	63.00	92.00	111.00	140.00	165.00	189.00	253.00	284.00
8		Cañada de la Calera	363,986	4,057,597	64.00	93.00	114.00	143.00	167.00	193.00	259.00	288.00
TOTAL CALERA			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	64.00	93.00	114.00	143.00	167.00	193.00	259.00	288.00
9		Cañada de Ceuta	364,022	4,057,168	64.00	93.00	114.00	143.00	167.00	193.00	259.00	288.00
9		Cañada de Ceuta	364,278	4,056,371	64.00	93.00	114.00	143.00	167.00	193.00	259.00	288.00
TOTAL CAÑADA CEUTA			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	64.00	93.00	114.00	143.00	167.00	193.00	259.00	288.00
6		Bienquerido	364,047	4,059,715	64.00	93.00	114.00	143.00	167.00	193.00	259.00	288.00
TOTAL BIENQUERIDO			TOTAL DE LA CUENCA	TOTAL DE LA CUENCA	64.00	93.00	114.00	143.00	167.00	193.00	259.00	288.00

3.5.- CÁLCULO DE CAUDALES

3.5.1.- Planteamiento general

La instrucción de carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial", propone un método hidrometeorológico para estimar los caudales asociados a diferentes períodos de retorno basado en la aplicación de una intensidad media de precipitación a la superficie de la cuenca, a través de la estimación de la escorrentía. Este método es válido para cuencas cuyo tiempo de concentración no supere las seis horas.

Para cuencas muy grandes el método propuesto por la Instrucción pierde precisión, empleando en estos casos el Método Racional que se estudia en la monografía publicada por el CEDEX "Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas" a partir del cual se desarrolla el método de la instrucción 5.2-IC, y que difiere de éste en ciertos parámetros.

3.5.2.- Fórmula de cálculo

El cálculo de caudales de referencia se realiza según la metodología expuesta en la instrucción 5.2-IC y la publicación del CEDEX "Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas". Según la instrucción 5.2-IC, el caudal de referencia Q en el punto en el que desagua una cuenca o superficie, se obtiene según la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{K}$$

siendo:

- C: el coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada.
- A: su área, salvo que tenga aportaciones o pérdidas importantes, tales como resurgencias o sumideros, en cuyo caso el cálculo del caudal Q deberá justificarse debidamente.

- I: la intensidad media de precipitación correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración.
- K: un coeficiente que depende de las unidades en que se expresen Q y A, y que incluye un aumento del 20 por 100 en Q para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación.

Para el caso del método propuesto en la publicación "Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas", la expresión de cálculo queda de la siguiente forma:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3,6} \times K$$

siendo:

- Q (m³/s): caudal punta.
- I (mm/h): máxima intensidad media en el intervalo de duración Tc. En este caso se admite un coeficiente reductor para el cálculo de la precipitación (factor reductor por área), para tener en cuenta la diferente distribución areal de la lluvia. El valor del mencionado coeficiente corrector es, para el valor de A en km²:

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

- A (km²): superficie de la cuenca.
- C: coeficiente de escorrentía de la cuenca del intervalo donde se produce I.
- K: coeficiente de uniformidad, función del tiempo de concentración.

A continuación se detallan los cálculos que se han realizado con el ánimo de determinar los parámetros básicos a introducir en ambas expresiones.

3.5.3.- Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía define la proporción de la componente superficial de la precipitación de intensidad I, y depende de la razón entre la precipitación diaria Pd correspondiente al período de retorno y el umbral de escorrentía P₀, a partir del cual se inicia ésta.

Por tanto, el coeficiente de escorrentía, depende del período de retorno, a través del valor de Pd. El cálculo se realiza partiendo de la distribución del umbral de escorrentía que presenta cada cuenca y del valor de Pd. La fórmula de cálculo es la siguiente:

Se ha calculado el coeficiente de escorrentía mediante la expresión:

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

siendo:

C = coeficiente de escorrentía.

P_d = precipitación máxima diaria.

P₀ = umbral de escorrentía.

La estimación del umbral de escorrentía, en función de los diferentes usos del suelo, la pendiente media y la permeabilidad superficial, ya fue realizada en el apartado 3.3.4. En este caso, nos falta únicamente determinar el coeficiente de escorrentía para cada cuenca en función del período de retorno considerado. El cálculo realizado se resume en la siguiente tabla:

CÓDIGO	NOMBRE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA								
		T2	T5	T10	T25	T50	T100	T500	T1000	
1	1	Capilla	0.22	0.35	0.42	0.50	0.74	0.78	0.85	0.87
TOTAL CAPILLA		TOTAL DE LA CUENCA	0.22	0.35	0.42	0.50	0.74	0.78	0.85	0.87
1	2	Arroyo Piedra Horadada	0.39	0.52	0.59	0.67	0.56	0.61	0.70	0.73
TOTAL PIEDRA HORADADA		TOTAL DE LA CUENCA	0.33	0.46	0.53	0.61	0.68	0.72	0.80	0.83
2	1	Arroyo Pilonos	0.23	0.36	0.43	0.51	0.57	0.61	0.71	0.74
TOTAL PILONES		TOTAL DE LA CUENCA	0.23	0.36	0.43	0.51	0.57	0.61	0.71	0.74
2	3	Arroyo Ciprés	0.20	0.32	0.39	0.47	0.53	0.58	0.67	0.71
TOTAL CIPRÉS		TOTAL DE LA CUENCA	0.20	0.32	0.39	0.47	0.53	0.58	0.67	0.71
2	4	Arroyo Somera	0.34	0.47	0.55	0.63	0.68	0.72	0.80	0.82
TOTAL SOMERA		TOTAL DE LA CUENCA	0.34	0.47	0.55	0.63	0.68	0.72	0.80	0.82
2	5	Colmenarejo	0.28	0.41	0.48	0.56	0.75	0.78	0.85	0.87
TOTAL COLMENAREJO		TOTAL DE LA CUENCA	0.28	0.41	0.48	0.56	0.75	0.78	0.85	0.87
3	7	Valdeurraca	0.20	0.32	0.39	0.47	0.53	0.58	0.67	0.71
3	6	Valdeurraca	0.20	0.32	0.39	0.47	0.53	0.58	0.67	0.71
3	4	Valdeurraca	0.21	0.33	0.40	0.48	0.54	0.59	0.68	0.72
3	5	Costilla	0.21	0.32	0.40	0.48	0.54	0.58	0.68	0.71
3	3	Valdeurraca	0.21	0.33	0.40	0.48	0.54	0.59	0.68	0.72
3	1	Cantos	0.21	0.32	0.40	0.48	0.94	0.95	0.97	0.97
3	2	Valdeurraca	0.21	0.33	0.40	0.48	0.54	0.59	0.68	0.72
TOTAL VALDEURRACA		TOTAL DE LA CUENCA	0.21	0.32	0.40	0.48	0.54	0.58	0.68	0.71
7	C3	Arroyo Cañuelo	0.81	0.88	0.91	0.94	0.97	0.97	0.98	0.99
TOTAL CAÑUELO		TOTAL DE LA CUENCA	0.81	0.88	0.91	0.94	0.97	0.97	0.98	0.99
4		Rojas	0.21	0.33	0.40	0.48	0.88	0.90	0.94	0.95
TOTAL ROJAS		TOTAL DE LA CUENCA	0.21	0.33	0.40	0.48	0.88	0.90	0.94	0.95
5	2	Liria	0.21	0.33	0.40	0.48	0.97	0.97	0.98	0.99
5	1	Rebanadilla	0.32	0.45	0.52	0.60	0.97	0.97	0.98	0.99
5	3	Tramo común	0.21	0.33	0.40	0.48	0.97	0.97	0.98	0.99
TOTAL LIRIA-REBANADILLA		TOTAL DE LA CUENCA	0.28	0.40	0.47	0.55	0.97	0.97	0.98	0.99
8		Cañada de la Calera	0.24	0.36	0.43	0.51	0.68	0.72	0.80	0.82
TOTAL CALERA		TOTAL DE LA CUENCA	0.24	0.36	0.43	0.51	0.68	0.72	0.80	0.82
9		Cañada de Ceuta	0.31	0.44	0.51	0.59	0.64	0.69	0.77	0.80
9		Cañada de Ceuta	0.23	0.35	0.42	0.50	0.56	0.61	0.70	0.73
TOTAL CAÑADA CEUTA		TOTAL DE LA CUENCA	0.28	0.40	0.47	0.55	0.60	0.65	0.74	0.77
6		Bienquerido	0.22	0.34	0.41	0.48	0.69	0.74	0.81	0.83
TOTAL BIENQUERIDO		TOTAL DE LA CUENCA	0.22	0.34	0.41	0.48	0.69	0.74	0.81	0.83

3.5.4.- Intensidad media de precipitación

La intensidad media de precipitación a emplear en la estimación de caudales de referencia por el método hidrometeorológico, se obtiene de la siguiente expresión:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1-T_c^{0,1}}}{28^{0,1}-1}}$$

siendo:

- T_c = duración de la lluvia, igual al tiempo de concentración de la cuenca en horas.
- I_t = intensidad de lluvia media en un intervalo de duración t, para un período de retorno dado.
- I_d = intensidad media diaria, para ese mismo período de retorno (igual a P_d/24).
- I₁/I_d = relación entre la intensidad de lluvia horaria y diaria, independiente del período de retorno considerado.

En nuestro caso, la relación I₁/I_d adopta el valor 9.2, para la zona de estudio, según el siguiente gráfico:



Según la anterior expresión y para los tiempos de concentración ya determinados, quedan los siguientes valores de la intensidad media en función del período de retorno considerado:

CÓDIGO	NOMBRE	lt								
		T2	T5	T10	T25	T50	T100	T500	T1000	
1	1	Capilla	30.14	44.21	54.26	68.83	80.89	92.94	125.10	139.67
TOTAL CAPILLA		TOTAL DE LA CUENCA	30.14	44.21	54.26	68.83	80.89	92.94	125.10	139.67
1	2	Arroyo Piedra Horadada	23.52	34.50	42.34	53.71	63.12	72.53	97.62	108.99
TOTAL PIEDRA HORADADA		TOTAL DE LA CUENCA	23.52	34.50	42.34	53.71	63.12	72.53	97.62	108.99
2	1	Arroyo Pilonos	9.68	14.12	17.45	22.05	25.86	29.67	39.82	44.42
TOTAL PILONES		TOTAL DE LA CUENCA	9.68	14.12	17.45	22.05	25.86	29.67	39.82	44.42
2	3	Arroyo Ciprés	24.42	35.63	44.03	55.64	65.25	74.86	100.48	112.09
TOTAL CIPRÉS		TOTAL DE LA CUENCA	24.42	35.63	44.03	55.64	65.25	74.86	100.48	112.09
2	4	Arroyo Somera	20.26	29.57	36.54	46.18	54.15	62.12	83.38	93.02
TOTAL SOMERA		TOTAL DE LA CUENCA	20.26	29.57	36.54	46.18	54.15	62.12	83.38	93.02
2	5	Colmenarejo	26.26	38.32	47.36	59.84	70.18	80.51	108.06	120.55
TOTAL COLMENAREJO		TOTAL DE LA CUENCA	26.26	38.32	47.36	59.84	70.18	80.51	108.06	120.55
3	7	Valdeurraca	15.96	23.28	28.78	36.36	42.64	48.92	65.67	73.25
3	6	Valdeurraca	20.62	30.08	37.18	46.98	55.10	63.21	84.84	94.64
3	4	Valdeurraca	19.82	28.95	35.55	44.68	52.54	60.41	80.86	90.62
3	5	Costilla	18.97	27.53	33.96	42.83	50.48	58.12	78.01	86.88
3	3	Valdeurraca	22.27	32.53	39.95	50.21	59.05	67.88	90.87	101.83
3	1	Cantos	17.40	25.26	31.15	39.29	46.31	53.32	71.56	79.70
3	2	Valdeurraca	41.63	60.79	74.66	93.83	110.34	126.86	169.81	190.29
TOTAL VALDEURRACA		TOTAL DE LA CUENCA	11.69	16.97	20.93	26.40	31.11	35.83	48.08	53.55
7	C3	Arroyo Cañuelo	18.69	27.16	33.29	41.75	48.76	56.35	75.63	84.09
TOTAL CAÑUELO		TOTAL DE LA CUENCA	18.69	27.16	33.29	41.75	48.76	56.35	75.63	84.09
4		Rojas	21.67	31.64	38.86	48.83	57.43	66.03	88.38	99.04
TOTAL ROJAS		TOTAL DE LA CUENCA	21.67	31.64	38.86	48.83	57.43	66.03	88.38	99.04
5	2	Liria	20.70	30.23	37.13	46.66	54.87	63.09	84.45	94.63
5	1	Rebanadilla	16.70	24.24	29.90	37.71	44.44	50.91	68.15	76.50
5	3	Tramo común	50.79	74.17	91.10	114.48	134.63	154.79	207.19	232.18
TOTAL LIRIA-REBANADILLA		TOTAL DE LA CUENCA	16.93	24.72	29.82	37.61	44.33	50.78	67.97	76.30
8		Cañada de la Calera	22.96	33.37	40.90	51.31	59.92	69.25	92.93	103.33
TOTAL CALERA		TOTAL DE LA CUENCA	22.96	33.37	40.90	51.31	59.92	69.25	92.93	103.33
9		Cañada de Ceuta	20.76	30.17	36.98	46.39	54.18	62.61	84.02	93.43
9		Cañada de Ceuta	24.93	36.22	44.40	55.70	65.04	75.17	100.88	112.17
TOTAL CAÑADA CEUTA		TOTAL DE LA CUENCA	20.76	30.17	36.98	46.39	54.18	62.61	84.02	93.43
6		Bienquerido	24.08	34.99	42.89	53.80	62.83	72.61	97.45	108.36
TOTAL BIENQUERIDO		TOTAL DE LA CUENCA	24.08	34.99	42.89	53.80	62.83	72.61	97.45	108.36

3.5.5.- Superficie

El último parámetro que interviene en la fórmula propuesta para el cálculo de caudales es la superficie de la cuenca. Estos valores ya fueron indicados en el apartado 3.2.2., pero volvemos a recordarlos de nuevo:

CÓDIGO		NOMBRE	S (Ha)
1	1	Capilla	39.5
1	2	Arroyo Piedra Horadada	94.5
2	1	Arroyo Pilonos	846.3
2	3	Arroyo Ciprés	106.9
2	4	Arroyo Somera	166.9
2	5	Colmenarejo	102.6
3	7	Valdeurraca	288.5
3	6	Valdeurraca	131.3
3	4	Valdeurraca	173.5
3	5	Costilla	220.0
3	3	Valdeurraca	85.3
3	1	Cantos	221.2
3	2	Valdeurraca	20.4
7		Arroyo Cañuelo	215.1
4		Rojas	72.1
5	2	Liria	65.0
5	1	Rebanadilla	182.4
5	3	Tramo común	2.9
8		Cañada de la Calera	74.2
9		Cañada de Ceuta	216.4
9		Cañada de Ceuta	169.3
6		Bienquerido	42.5

3.5.6.- Factor reductor por área y coeficiente de uniformidad

En este caso nos ocupamos de los dos últimos parámetros que intervienen en la expresión de la publicación “Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas”.

En primer lugar, se considera el factor reductor de la precipitación para tener en cuenta la diferente distribución espacial de la lluvia sobre la superficie de la cuenca. La expresión que propone Temez para este parámetro es la siguiente:

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

siendo:

- A (km²): Superficie de la cuenca considerada.

Este factor reductor adopta valores inferiores a la unidad para aquellas cuencas de tamaño superior a 1 km².

En segundo lugar, el coeficiente de uniformidad se calcula según la expresión:

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14}$$

siendo:

- T_c (h): Tiempo de concentración de la cuenca.

Los valores que se obtienen son los de la siguiente tabla.

	CÓDIGO	NOMBRE	Ks	K
1	1	Capilla	1.03	1.04
	TOTAL CAPILLA	TOTAL DE LA CUENCA	1.03	1.04
1	2	Arroyo Piedra Horadada	1.00	1.06
	TOTAL PIEDRA HORADADA	TOTAL DE LA CUENCA	0.99	1.06
2	1	Arroyo Pilonos	0.94	1.31
	TOTAL PILONES	TOTAL DE LA CUENCA	0.94	1.31
2	3	Arroyo Ciprés	1.00	1.06
	TOTAL CIPRÉS	TOTAL DE LA CUENCA	1.00	1.06
2	4	Arroyo Somera	0.99	1.09
	TOTAL SOMERA	TOTAL DE LA CUENCA	0.99	1.09
2	5	Colmenarejo	1.00	1.05
	TOTAL COLMENAREJO	TOTAL DE LA CUENCA	1.00	1.05
3	7	Valdeurraca	0.97	1.14
3	6	Valdeurraca	0.99	1.09
3	4	Valdeurraca	0.98	1.10
3	5	Costilla	0.98	1.10
3	3	Valdeurraca	1.00	1.08
3	1	Cantos	0.98	1.12
3	2	Valdeurraca	1.05	1.02
	TOTAL VALDEURRACA	TOTAL DE LA CUENCA	0.93	1.24
7	C3	Arroyo Cañuelo	0.98	1.11
	TOTAL CAÑUELO	TOTAL DE LA CUENCA	0.98	1.11
4		Rojas	1.01	1.08
	TOTAL ROJAS	TOTAL DE LA CUENCA	1.01	1.08
5	2	Liria	1.01	1.09
5	1	Rebanadilla	0.98	1.13
5	3	Tramo común	1.10	1.01
	TOTAL LIRIA-REBANADILLA	TOTAL DE LA CUENCA	0.97	1.13
8		Cañada de la Calera	1.01	1.08
	TOTAL CALERA	TOTAL DE LA CUENCA	1.01	1.08
9		Cañada de Ceuta	0.98	1.09
9		Cañada de Ceuta	0.98	1.06
	TOTAL CAÑADA CEUTA	TOTAL DE LA CUENCA	0.96	1.09
6		Bienquerido	1.02	1.07
	TOTAL BIENQUERIDO	TOTAL DE LA CUENCA	1.02	1.07

3.5.7.- Caudales de referencia

Una vez determinados los valores del coeficiente de escorrentía, intensidad media de precipitación, área de las cuencas y demás parámetros, se calculan finalmente los siguientes caudales de referencia para cada una de las cuencas y subcuencas, en función del período de retorno considerado:

Caudales de referencia (m³/s) según la Instrucción 5.2.I.C

CÓDIGO	NOMBRE	SEGÚN INSTRUCCIÓN 5.2-IC								
		T2	T5	T10	T25	T50	T100	T500	T1000	
1	1	Capilla	0.89	2.02	2.98	4.54	7.93	9.56	13.96	15.97
TOTAL CAPILLA		TOTAL DE LA CUENCA	0.89	2.02	2.98	4.54	7.93	9.55	13.95	15.95
1	2	Arroyo Piedra Horadada	2.87	5.67	7.90	11.34	11.12	13.86	21.56	25.16
TOTAL PIEDRA HORADADA		TOTAL DE LA CUENCA	3.44	7.09	10.06	14.71	19.26	23.46	34.96	40.24
2	1	Arroyo Pilones	6.41	14.22	21.19	31.90	41.45	51.44	79.46	92.57
TOTAL PILONES		TOTAL DE LA CUENCA	6.41	14.22	21.19	31.90	41.45	51.44	79.46	92.57
2	3	Arroyo Ciprés	1.76	4.07	6.16	9.42	12.34	15.43	24.16	28.27
TOTAL CIPRÉS		TOTAL DE LA CUENCA	1.76	4.07	6.16	9.42	12.34	15.43	24.16	28.27
2	4	Arroyo Somera	3.84	7.76	11.10	16.07	20.38	24.81	36.92	42.48
TOTAL SOMERA		TOTAL DE LA CUENCA	3.84	7.76	11.10	16.07	20.38	24.81	36.92	42.48
2	5	Colmenarejo	2.51	5.33	7.79	11.52	17.95	21.58	31.37	35.83
TOTAL COLMENAREJO		TOTAL DE LA CUENCA	2.51	5.33	7.79	11.52	17.95	21.58	31.37	35.83
3	7	Valdeurraca	3.11	7.18	10.87	16.61	21.77	27.21	42.61	49.87
3	6	Valdeurraca	1.83	4.22	6.39	9.77	12.81	16.00	25.06	29.33
3	4	Valdeurraca	2.43	5.56	8.27	12.47	16.39	20.52	31.90	37.53
3	5	Costilla	2.89	6.55	9.86	15.00	19.81	24.88	38.88	45.37
3	3	Valdeurraca	1.34	3.07	4.57	6.89	9.06	11.34	17.62	20.74
3	1	Cantos	2.66	6.04	9.09	13.83	31.98	37.32	51.11	57.22
3	2	Valdeurraca	0.60	1.37	2.04	3.08	4.05	5.07	7.88	9.28
TOTAL VALDEURRACA		TOTAL DE LA CUENCA	9.22	20.93	31.50	47.91	63.28	79.50	124.21	144.93
7	C3	Arroyo Cañuelo	10.80	17.13	21.71	28.01	33.76	39.32	53.34	59.48
TOTAL CAÑUELO		TOTAL DE LA CUENCA	10.80	17.13	21.71	28.01	33.76	39.32	53.34	59.48
4		Rojas	1.10	2.52	3.76	5.66	12.16	14.32	19.89	22.53
TOTAL ROJAS		TOTAL DE LA CUENCA	1.10	2.52	3.76	5.66	12.16	14.32	19.89	22.53
5	2	Liria	0.95	2.17	3.24	4.88	11.48	13.30	18.00	20.23
5	1	Rebanadilla	3.23	6.58	9.46	13.76	26.08	30.10	40.74	45.88
5	3	Tramo común	0.10	0.24	0.35	0.53	1.25	1.45	1.96	2.21
TOTAL LIRIA-REBANADILLA		TOTAL DE LA CUENCA	3.90	8.32	11.68	17.29	35.70	41.19	55.77	62.80
8		Cañada de la Calera	1.34	2.95	4.32	6.44	10.08	12.39	18.40	21.07
TOTAL CALERA		TOTAL DE LA CUENCA	1.34	2.95	4.32	6.44	10.08	12.39	18.40	21.07
9		Cañada de Ceuta	4.71	9.64	13.73	19.84	25.17	31.14	46.80	53.81
9		Cañada de Ceuta	3.28	7.24	10.64	15.85	20.50	25.78	39.91	46.33
TOTAL CAÑADA CEUTA		TOTAL DE LA CUENCA	7.36	15.55	22.47	32.92	42.13	52.50	79.97	92.34
6		Bienquerido	0.74	1.66	2.46	3.70	6.17	7.57	11.19	12.79
TOTAL BIENQUERIDO		TOTAL DE LA CUENCA	0.74	1.66	2.46	3.70	6.17	7.57	11.19	12.79

Caudales de referencia (m3/s) según la Publicación “Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas”

CÓDIGO	NOMBRE	SEGÚN MÉTODO MODIFICADO DE TÉMEZ								
		T2	T5	T10	T25	T50	T100	T500	T1000	
1	1	Capilla	0.79	1.79	2.65	4.03	7.04	8.49	12.39	14.17
TOTAL CAPILLA		TOTAL DE LA CUENCA	0.79	1.79	2.65	4.03	7.03	8.48	12.38	14.16
1	2	Arroyo Piedra Horadada	2.55	5.03	7.01	10.06	9.87	12.30	19.14	22.34
TOTAL PIEDRA HORADADA		TOTAL DE LA CUENCA	3.02	6.23	8.84	12.93	16.92	20.62	30.72	35.36
2	1	Arroyo Pilonos	6.55	14.53	21.66	32.60	42.36	52.57	81.20	94.59
TOTAL PILONES		TOTAL DE LA CUENCA	6.55	14.53	21.66	32.60	42.36	52.57	81.20	94.59
2	3	Arroyo Ciprés	1.56	3.59	5.44	8.31	10.89	13.61	21.31	24.94
TOTAL CIPRÉS		TOTAL DE LA CUENCA	1.56	3.59	5.44	8.31	10.89	13.61	21.31	24.94
2	4	Arroyo Somera	3.43	6.94	9.93	14.37	18.22	22.18	33.01	37.98
TOTAL SOMERA		TOTAL DE LA CUENCA	3.43	6.94	9.93	14.37	18.22	22.18	33.01	37.98
2	5	Colmenarejo	2.20	4.67	6.83	10.10	15.72	18.90	27.49	31.39
TOTAL COLMENAREJO		TOTAL DE LA CUENCA	2.20	4.67	6.83	10.10	15.72	18.90	27.49	31.39
3	7	Valdeurraca	2.87	6.61	10.01	15.29	20.05	25.06	39.24	45.92
3	6	Valdeurraca	1.64	3.79	5.74	8.77	11.50	14.37	22.50	26.34
3	4	Valdeurraca	2.19	5.01	7.45	11.24	14.77	18.50	28.75	33.83
3	5	Costilla	2.60	5.89	8.87	13.49	17.82	22.38	34.97	40.81
3	3	Valdeurraca	1.21	2.77	4.13	6.22	8.18	10.24	15.92	18.73
3	1	Cantos	2.43	5.52	8.32	12.65	29.24	34.12	46.73	52.33
3	2	Valdeurraca	0.53	1.22	1.82	2.74	3.60	4.51	7.01	8.24
TOTAL VALDEURRACA		TOTAL DE LA CUENCA	8.86	20.11	30.27	46.03	60.80	76.38	119.34	139.24
7	C3	Arroyo Cañuelo	9.81	15.55	19.71	25.43	30.66	35.70	48.44	54.01
TOTAL CAÑUELO		TOTAL DE LA CUENCA	9.81	15.55	19.71	25.43	30.66	35.70	48.44	54.01
4		Rojas	1.01	2.30	3.42	5.16	11.08	13.04	18.12	20.53
TOTAL ROJAS		TOTAL DE LA CUENCA	1.01	2.30	3.42	5.16	11.08	13.04	18.12	20.53
5	2	Liria	0.88	2.00	2.98	4.49	10.57	12.24	16.57	18.63
5	1	Rebanadilla	3.00	6.10	8.77	12.77	24.19	27.92	37.79	42.56
5	3	Tramo común	0.10	0.22	0.33	0.49	1.16	1.35	1.82	2.05
TOTAL LIRIA-REBANADILLA		TOTAL DE LA CUENCA	3.59	7.65	10.74	15.90	32.82	37.87	51.27	57.74
8		Cañada de la Calera	1.21	2.67	3.91	5.82	9.12	11.21	16.65	19.07
TOTAL CALERA		TOTAL DE LA CUENCA	1.21	2.67	3.91	5.82	9.12	11.21	16.65	19.07
9		Cañada de Ceuta	4.20	8.59	12.23	17.67	22.43	27.74	41.69	47.93
9		Cañada de Ceuta	2.87	6.32	9.29	13.85	17.91	22.52	34.87	40.47
TOTAL CAÑADA CEUTA		TOTAL DE LA CUENCA	6.44	13.62	19.67	28.82	36.89	45.97	70.02	80.85
6		Bienquerido	0.68	1.52	2.25	3.38	5.64	6.91	10.21	11.68
TOTAL BIENQUERIDO		TOTAL DE LA CUENCA	0.68	1.52	2.25	3.38	5.64	6.91	10.21	11.68

En este caso se obtienen valores inferiores a los propuestos por la Instrucción 5.2-IC, debido fundamentalmente al coeficiente mayorador del 20% que emplea la fórmula de la Instrucción.

Caudales de referencia (m³/s) según criterios de la Agencia Andaluza del Agua

Por último, según los criterios expuestos por la Agencia Andaluza del Agua para un periodo de retorno de 500 años, se deben considerar los siguientes valores de caudal en función de la superficie de la cuenca:

SUPERFICIE (Km²)	Q (m³/s/Km²)	Características de los terrenos
0-5	20.00	Rústicos y urbanos
5-20	15-20	Rústicos
5-30	15-20	Urbanos

Además, se debe también calcular el caudal con las siguientes fórmulas empíricas:

Si $20 < S < 25 \text{ Km}^2$

$$Q = 45 \cdot S^{0,636}$$

Si $S > 25 \text{ Km}^2$

$$Q = 65,54 \cdot S^{0,522}$$

Según dicho criterio los caudales a considerar para T=500 años no deben ser inferiores a los siguientes:

CAUDALES SEGÚN AGENCIA ANDALUZA DEL AGUA		SEGÚN TABLAS	SEGÚN FÓRMULAS EMPÍRICAS	
CÓDIGO	NOMBRE	Q (m3/sg)	Q (m3/sg)	
1	1	Capilla	7.91	NO PROCEDE
TOTAL CAPILLA		TOTAL DE LA CUENCA	7.90	NO PROCEDE
1	2	Arroyo Piedra Horadada	18.90	NO PROCEDE
TOTAL PIEDRA HORADADA		TOTAL DE LA CUENCA	26.81	NO PROCEDE
2	1	Arroyo Pilonos	126.94	NO PROCEDE
TOTAL PILONES		TOTAL DE LA CUENCA	126.94	NO PROCEDE
2	3	Arroyo Ciprés	21.38	NO PROCEDE
TOTAL CIPRÉS		TOTAL DE LA CUENCA	21.38	NO PROCEDE
2	4	Arroyo Somera	33.39	NO PROCEDE
TOTAL SOMERA		TOTAL DE LA CUENCA	33.39	NO PROCEDE
2	5	Colmenarejo	20.53	NO PROCEDE
TOTAL COLMENAREJO		TOTAL DE LA CUENCA	20.53	NO PROCEDE
3	7	Valdeurraca	57.71	NO PROCEDE
3	6	Valdeurraca	26.27	NO PROCEDE
3	4	Valdeurraca	34.70	NO PROCEDE
3	5	Costilla	44.00	NO PROCEDE
3	3	Valdeurraca	17.06	NO PROCEDE
3	1	Cantos	44.24	NO PROCEDE
3	2	Valdeurraca	4.08	NO PROCEDE
TOTAL VALDEURRACA		TOTAL DE LA CUENCA	171.05	NO PROCEDE
7	C3	Arroyo Cañuelo	43.01	NO PROCEDE
TOTAL CAÑUELO		TOTAL DE LA CUENCA	43.01	NO PROCEDE
4		Rojas	14.42	NO PROCEDE
TOTAL ROJAS		TOTAL DE LA CUENCA	14.42	NO PROCEDE
5	2	Liria	13.00	NO PROCEDE
5	1	Rebanadilla	36.49	NO PROCEDE
5	3	Tramo común	0.58	NO PROCEDE
TOTAL LIRIA-REBANADILLA		TOTAL DE LA CUENCA	50.07	NO PROCEDE
8		Cañada de la Calera	14.84	NO PROCEDE
TOTAL CALERA		TOTAL DE LA CUENCA	14.84	NO PROCEDE
9		Cañada de Ceuta	43.29	NO PROCEDE
9		Cañada de Ceuta	33.86	NO PROCEDE
TOTAL CAÑADA CEUTA		TOTAL DE LA CUENCA	77.14	NO PROCEDE
6		Bienquerido	8.50	NO PROCEDE
TOTAL BIENQUERIDO		TOTAL DE LA CUENCA	8.50	NO PROCEDE

3.5.8.- Caudales de cálculo

Para la determinación del caudal de la cuenca vertiente para el periodo de retorno de 500 años se considerará la situación futura (con los desarrollos previstos en el nuevo PGOU).

Se adoptará el mayor valor de los siguientes:

- El obtenido por el método racional propuesto en la Instrucción de Drenaje 5.2 I.C del Ministerio de Fomento, con la modificación introducida por Témez.
- El valor de caudal obtenido aplicando la tabla en función de la superficie propuesta por la Agencia Andaluza del Agua.
- El valor de caudal obtenido con las fórmulas empíricas dependientes de la superficie propuestas por la Agencia Andaluza del Agua.

Finalmente los valores de cálculo del presente estudio para un periodo de retorno de 500 años se recogen en la siguiente tabla.

SEGÚN LA INSTRUCCIÓN 5.2-IC															SEGÚN MÉTODO MODIFICADO DE TÉMEZ					SEGÚN AAA (tabla)	SEGÚN AAA (fórmulas)	Qmax (m3/s)	
CÓDIGO	NOMBRE	Tc (h)	Pd (mm)	l1/ld	ld	lt (mm/h)	Corr.	Umb Esc(mm)	Po (mm)	Po corr. (mm)	Pd/Po	C	AREA (Ha)	Q (m3/sg)	Ks	AREA (m2)	AREA (Km2)	K	Q (m3/sg)	Q (m3/sg)	Q (m3/sg)		
1	1	Capilla	0.61	249.00	9.20	10.38	125.10	3.10	4.08	12.65	12.65	19.69	0.85	39.53	13.96	1.03	395290.09	0.40	1.04	12.39	7.91	NO PROCEDE	12.39
TOTAL CAPILLA		TOTAL DE LA CUENCA	0.61	249.00	9.20	10.38	125.10	3.10	4.08	12.65	12.65	19.69	0.85	39.50	13.95	1.03	395000.00	0.40	1.04	12.38	7.90	NO PROCEDE	12.38
1	2	Arroyo Piedra Horadada	0.96	249.00	9.20	10.38	97.62	3.10	7.34	22.75	22.75	10.94	0.70	94.51	21.56	1.00	945100.00	0.95	1.06	19.14	18.90	NO PROCEDE	19.14
TOTAL PIEDRA HORADADA		TOTAL DE LA CUENCA	0.96	249.00	9.20	10.38	97.62	3.10	5.04	15.62	15.62	15.94	0.80	134.04	34.96	0.99	1340390.09	1.34	1.06	30.72	26.81	NO PROCEDE	30.72
2	1	Arroyo Pilonos	4.31	251.00	9.20	10.46	39.82	3.10	7.24	22.44	22.44	11.18	0.71	846.29	79.46	0.94	8462890.00	8.46	1.31	81.20	126.94	NO PROCEDE	126.94
TOTAL PILONES		TOTAL DE LA CUENCA	4.31	251.00	9.20	10.46	39.82	3.10	7.24	22.44	22.44	11.18	0.71	846.29	79.46	0.94	8462890.00	8.46	1.31	81.20	126.94	NO PROCEDE	126.94
2	3	Arroyo Ciprés	0.93	251.00	9.20	10.46	100.48	3.10	8.49	26.32	25.00	10.04	0.67	106.90	24.16	1.00	1068974.85	1.07	1.06	21.31	21.38	NO PROCEDE	21.38
TOTAL CIPRÉS		TOTAL DE LA CUENCA	0.93	251.00	9.20	10.46	100.48	3.10	8.49	26.32	25.00	10.04	0.67	106.90	24.16	1.00	1068974.85	1.07	1.06	21.31	21.38	NO PROCEDE	21.38
2	4	Arroyo Somera	1.29	251.00	9.20	10.46	83.38	3.10	5.21	16.15	16.15	15.54	0.80	166.95	36.92	0.99	1669450.00	1.67	1.09	33.01	33.39	NO PROCEDE	33.39
TOTAL SOMERA		TOTAL DE LA CUENCA	1.29	251.00	9.20	10.46	83.38	3.10	5.21	16.15	16.15	15.54	0.80	166.95	36.92	0.99	1669450.00	1.67	1.09	33.01	33.39	NO PROCEDE	33.39
2	5	Colmenarejo	0.81	251.00	9.20	10.46	108.06	3.10	4.08	12.65	12.65	19.85	0.85	102.63	31.37	1.00	1026270.00	1.03	1.05	27.49	20.53	NO PROCEDE	27.49
TOTAL COLMENAREJO		TOTAL DE LA CUENCA	0.81	251.00	9.20	10.46	108.06	3.10	4.08	12.65	12.65	19.85	0.85	102.63	31.37	1.00	1026270.00	1.03	1.05	27.49	20.53	NO PROCEDE	27.49
3	7	Valdeurraca	1.93	251.00	9.20	10.46	65.67	3.10	9.61	29.79	25.00	10.04	0.67	288.55	42.61	0.97	2885454.66	2.89	1.14	39.24	57.71	NO PROCEDE	57.71
3	6	Valdeurraca	1.25	251.00	9.20	10.46	84.84	3.10	8.57	26.57	25.00	10.04	0.67	131.35	25.06	0.99	1313464.55	1.31	1.09	22.50	26.27	NO PROCEDE	26.27
3	4	Valdeurraca	1.41	257	9.20	10.71	80.86	3.10	15.45	47.90	25.00	10.28	0.68	173.52	31.90	0.98	1735187.31	1.74	1.10	28.75	34.70	NO PROCEDE	34.70
3	5	Costilla	1.48	255	9.20	10.63	78.01	3.10	12.59	39.03	25.00	10.20	0.68	220.02	38.88	0.98	2200210.00	2.20	1.10	34.97	44.00	NO PROCEDE	44.00
3	3	Valdeurraca	1.15	257	9.20	10.71	90.87	3.10	11.93	36.98	25.00	10.28	0.68	85.32	17.62	1.00	853170.00	0.85	1.08	15.92	17.06	NO PROCEDE	17.06
3	1	Cantos	1.72	255	9.20	10.63	71.56	3.10	1.45	4.50	4.50	56.73	0.97	221.18	51.11	0.98	2211764.63	2.21	1.12	46.73	44.24	NO PROCEDE	46.73
3	2	Valdeurraca	0.36	257	9.20	10.71	169.81	3.10	11.65	36.12	25.00	10.28	0.68	20.42	7.88	1.05	204202.50	0.20	1.02	7.01	4.08	NO PROCEDE	7.01
TOTAL VALDEURRACA		TOTAL DE LA CUENCA	3.29	255	9.20	10.63	48.08	3.10	10.26	31.81	25.00	10.20	0.68	1140.35	124.21	0.93	11403453.65	11.40	1.24	119.34	171.05	NO PROCEDE	171.05
7	C3	Arroyo Cañuelo	1.61	259	9.20	10.79	75.63	3.10	1	3.10	3.10	83.55	0.98	215.06	53.34	0.98	2150620.29	2.15	1.11	48.44	43.01	NO PROCEDE	48.44
TOTAL CAÑUELO		TOTAL DE LA CUENCA	1.61	259	9.20	10.79	75.63	3.10	1	3.10	3.10	83.55	0.98	215.06	53.34	0.98	2150620.29	2.15	1.11	48.44	43.01	NO PROCEDE	48.44
4		Rojas	1.21	257	9.20	10.71	88.38	3.10	2.26	7.01	7.01	36.68	0.94	72.08	19.89	1.01	720813.82	0.72	1.08	18.12	14.42	NO PROCEDE	18.12
TOTAL ROJAS		TOTAL DE LA CUENCA	1.21	257	9.20	10.71	88.38	3.10	2.26	7.01	7.01	36.68	0.94	72.08	19.89	1.01	720813.82	0.72	1.08	18.12	14.42	NO PROCEDE	18.12
5	2	Liria	1.31	257	9.20	10.71	84.45	3.10	1	3.10	3.10	82.90	0.98	65.01	18.00	1.01	650080.00	0.65	1.09	16.57	13.00	NO PROCEDE	16.57
5	1	Rebanadilla	1.84	253	9.20	10.54	68.15	3.10	1	3.10	3.10	81.61	0.98	182.43	40.74	0.98	1824306.83	1.82	1.13	37.79	36.49	NO PROCEDE	37.79
5	3	Tramo común	0.24	257	9.20	10.71	207.19	3.10	1	3.10	3.10	82.90	0.98	2.89	1.96	1.10	28890.54	0.03	1.01	1.82	0.58	NO PROCEDE	1.82
TOTAL LIRIA-REBANADILLA		TOTAL DE LA CUENCA	1.85	253	9.20	10.54	67.97	3.10	1	3.10	3.10	81.61	0.98	250.33	55.77	0.97	2503277.37	2.50	1.13	51.27	50.07	NO PROCEDE	51.27
8		Cañada de la Calera	1.12	259	9.20	10.79	92.93	3.10	5.27	16.34	16.34	15.85	0.80	74.22	18.40	1.01	742206.70	0.74	1.08	16.65	14.84	NO PROCEDE	16.65
TOTAL CALERA		TOTAL DE LA CUENCA	1.12	259	9.20	10.79	92.93	3.10	5.27	16.34	16.34	15.85	0.80	74.22	18.40	1.01	742206.70	0.74	1.08	16.65	14.84	NO PROCEDE	16.65
9		Cañada de Ceuta	1.34	259	9.20	10.79	84.02	3.10	5.91	18.32	18.32	14.14	0.77	216.43	46.80	0.98	2164261.04	2.16	1.09	41.69	43.29	NO PROCEDE	43.29
9		Cañada de Ceuta	0.97	259	9.20	10.79	100.88	3.10	7.63	23.65	23.65	10.95	0.70	169.29	39.91	0.98	1692928.06	1.69	1.06	34.87	33.86	NO PROCEDE	34.87
TOTAL CAÑADA CEUTA		TOTAL DE LA CUENCA	1.34	259	9.20	10.79	84.02	3.10	6.66	20.65	20.65	12.54	0.74	385.72	79.97	0.96	3857189.10	3.86	1.09	70.02	77.14	NO PROCEDE	77.14
6		Bienquerido	1.03	259	9.20	10.79	97.45	3.10	5.05	15.66	15.66	16.54	0.81	42.51	11.19	1.02	425064.32	0.43	1.07	10.21	8.50	NO PROCEDE	10.21
TOTAL BIENQUERIDO		TOTAL DE LA CUENCA	1.03	259	9.20	10.79	97.45	3.10	5.05	15.66	15.66	16.54	0.81	42.51	11.19	1.02	425064.32	0.43	1.07	10.21	8.50	NO PROCEDE	10.21

DETERMINACION DE LOS LIMITES DEL DOMINIO PUBLICO HIDRAULICO Y LAS ZONAS INUNDABLES EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL GUADALHORCE DESDE EL CAMPANILLAS AL LIMITE DEL T.M. EN EL ARROYO CAÑUELO, EN LOS DESARROLLOS PREVISTOS POR EL PGOU EN REVISION

En el caso del periodo de retorno de 10 años, tomaremos como el caudal de referencia el obtenido por el método racional propuesto en la Instrucción de Drenaje 5.2-IC del Ministerio de Fomento, con la modificación introducida por Témez, tal y como prescribe la Agencia Andaluza del Agua. No obstante, indicar que, aunque aplicando estrictamente la Instrucción 5.2-IC, sin la modificación de Témez, se observan en el caso de las cuencas que nos ocupan, valores ligeramente superiores a los obtenidos aplicando la modificación de Témez, si bien las diferencias no son significativas.

Indicar también que, para el periodo de retorno de 10 años se ha considerado únicamente la situación actual, puesto que su finalidad es la obtención de la zona ocupada por la lámina de agua sobre el cauce natural, con el fin de realizar una estimación del Dominio Público Hidráulico.

SEGUN LA INSTRUCCIÓN 5.2-IC														SEGUN MÉTODO MODIFICADO DE TÉMEZ						
CÓDIGO	NOMBRE	Tc (h)	Pd (mm)	l1/ld	ld	lt (mm/h)	Corr.	Umb Esc(mm)	Po (mm)	Po corr. (mm)	Pd/Po	C	AREA (Ha)	Q (m3/sg)	Ks	AREA (m2)	AREA (Km2)	K	Q (m3/sg)	
2	Capilla	0.61	108.00	9.20	4.50	54.26	3.10	7.38	22.88	22.88	4.72	0.42	39.53	2.98	1.03	395290.09	0.40	1.04	2.65	
TOTAL CAPILLA		TOTAL DE LA CUENCA		0.61	108.00	9.20	4.50	54.26	3.10	7.38	22.88	4.72	0.42	39.50	2.98	1.03	395000.00	0.40	1.04	2.65
1	1	Arroyo Piedra Horadada	0.96	108.00	9.20	4.50	42.34	3.10	4.47	13.86	13.86	7.79	0.59	94.51	7.90	1.00	945100.00	0.95	1.06	7.01
TOTAL PIEDRA HORADADA		TOTAL DE LA CUENCA		0.96	108.00	9.20	4.50	42.34	3.10	5.33	16.52	6.54	0.53	134.04	10.06	0.99	1340390.09	1.34	1.06	8.84
1		Arroyo Pilones	4.31	110.00	9.20	4.58	17.45	3.10	7.24	22.44	22.44	4.90	0.43	846.29	21.19	0.94	8462890.00	8.46	1.31	21.66
TOTAL PILONES		TOTAL DE LA CUENCA		4.31	110.00	9.20	4.58	17.45	3.10	7.24	22.44	4.90	0.43	846.29	21.19	0.94	8462890.00	8.46	1.31	21.66
1		Arroyo Ciprés	0.93	110.00	9.20	4.58	44.03	3.10	8.49	26.32	25.00	4.40	0.39	106.90	6.16	1.00	1068974.85	1.07	1.06	5.44
TOTAL CIPRÉS		TOTAL DE LA CUENCA		0.93	110.00	9.20	4.58	44.03	3.10	8.49	26.32	4.40	0.39	106.90	6.16	1.00	1068974.85	1.07	1.06	5.44
1		Arroyo Somera	1.29	110.00	9.20	4.58	36.54	3.10	5.21	16.15	16.15	6.81	0.55	166.95	11.10	0.99	1669450.00	1.67	1.09	9.93
TOTAL SOMERA		TOTAL DE LA CUENCA		1.29	110	9.20	4.58	36.54	3.10	5.21	16.15	6.81	0.55	166.95	11.10	0.99	1669450.00	1.67	1.09	9.93
1		Colmenarejo	0.81	110	9.20	4.58	47.36	3.10	6.27	19.44	19.44	5.66	0.48	102.63	7.79	1.00	1026270.00	1.03	1.05	6.83
TOTAL COLMENAREJO		TOTAL DE LA CUENCA		0.81	110	9.20	4.58	47.36	3.10	6.27	19.44	5.66	0.48	102.63	7.79	1.00	1026270.00	1.03	1.05	6.83
2	1	Valdeurraca	1.93	110	9.20	4.58	28.78	3.10	9.61	29.79	25.00	4.40	0.39	288.55	10.87	0.97	2885454.66	2.89	1.14	10.01
2	2	Valdeurraca	1.25	110	9.20	4.58	37.18	3.10	8.57	26.57	25.00	4.40	0.39	131.35	6.39	0.99	1313464.55	1.31	1.09	5.74
2	3	Valdeurraca	1.41	113	9.20	4.71	35.55	3.10	15.55	48.21	25.00	4.52	0.40	173.52	8.27	0.98	1735187.31	1.74	1.10	7.45
2		Costilla	1.48	111	9.20	4.63	33.96	3.10	13.17	40.83	25.00	4.44	0.40	220.02	9.86	0.98	2200210.00	2.20	1.10	8.87
2		Valdeurraca	1.15	113	9.20	4.71	39.95	3.10	14.61	45.29	25.00	4.52	0.40	85.32	4.57	1.00	853170.00	0.85	1.08	4.13
2		Cantos	1.72	111	9.20	4.63	31.15	3.10	9.63	29.85	25.00	4.44	0.40	221.18	9.09	0.98	2211764.63	2.21	1.12	8.32
2		Valdeurraca	0.36	113	9.20	4.71	74.66	3.10	13.27	41.14	25.00	4.52	0.40	20.42	2.04	1.05	204202.50	0.20	1.02	1.82
TOTAL VALDEURRACA		TOTAL DE LA CUENCA		3.29	111	9.20	4.63	20.93	3.10	11.52	35.71	4.44	0.40	1140.35	31.50	0.93	11403453.65	11.40	1.24	30.27
3	C3	Arroyo Cañuelo	1.61	114	9.20	4.75	33.29	3.10	1.27	3.94	3.94	28.96	0.91	215.06	21.71	0.98	2150620.29	2.15	1.11	19.71
TOTAL CAÑUELO		TOTAL DE LA CUENCA		1.61	114	9.20	4.75	33.29	3.10	1.27	3.94	28.96	0.91	215.06	21.71	0.98	2150620.29	2.15	1.11	19.71
4		Rojas	1.21	113	9.20	4.71	38.86	3.10	11.16	34.60	25.00	4.52	0.40	72.08	3.76	1.01	720813.82	0.72	1.08	3.42
TOTAL ROJAS		TOTAL DE LA CUENCA		1.21	113	9.20	4.71	38.86	3.10	11.16	34.60	4.52	0.40	72.08	3.76	1.01	720813.82	0.72	1.08	3.42
5		Liria	1.31	113	9.20	4.71	37.13	3.10	8.7	26.97	25.00	4.52	0.40	65.01	3.24	1.01	650080.00	0.65	1.09	2.98
5		Rebanadilla	1.84	111	9.20	4.63	29.90	3.10	5.66	17.55	17.55	6.33	0.52	182.43	9.46	0.98	1824306.83	1.82	1.13	8.77
4		Tramo común	0.24	113	9.20	4.71	91.10	3.10	14	43.40	25.00	4.52	0.40	2.89	0.35	1.10	28890.54	0.03	1.01	0.33
TOTAL LIRIA-REBANADILLA		TOTAL DE LA CUENCA		1.85	111	9.20	4.63	29.82	3.10	6.54	20.27	5.47	0.47	250.33	11.68	0.97	2503277.37	2.50	1.13	10.74
6		Cañada de la Calera	1.12	114	9.20	4.75	40.90	3.10	7.57	23.47	23.47	4.86	0.43	74.22	4.32	1.01	742206.70	0.74	1.08	3.91
TOTAL CALERA		TOTAL DE LA CUENCA		1.12	114	9.20	4.75	40.90	3.10	7.57	23.47	4.86	0.43	74.22	4.32	1.01	742206.70	0.74	1.08	3.91
7		Cañada de Ceuta	1.34	114	9.20	4.75	36.98	3.10	5.91	18.32	18.32	6.22	0.51	216.43	13.73	0.98	2164261.04	2.16	1.09	12.23
7		Cañada de Ceuta	0.97	114	9.20	4.75	44.40	3.10	7.63	23.65	23.65	4.82	0.42	169.29	10.64	0.98	1692928.06	1.69	1.06	9.29
TOTAL CAÑADA CEUTA		TOTAL DE LA CUENCA		1.34	114	9.20	4.75	36.98	3.10	6.66	20.65	5.52	0.47	385.72	22.47	0.96	3857189.10	3.86	1.09	19.67
8		Bienquerido	1.03	114	9.20	4.75	42.89	3.10	12.58	39.00	25.00	4.56	0.41	42.51	2.46	1.02	425064.32	0.43	1.07	2.25
TOTAL BIENQUERIDO		TOTAL DE LA CUENCA		1.03	114	9.20	4.75	42.89	3.10	12.58	39.00	4.56	0.41	42.51	2.46	1.02	425064.32	0.43	1.07	2.25

DETERMINACION DE LOS LIMITES DEL DOMINIO PUBLICO HIDRAULICO Y LAS ZONAS INUNDABLES EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL GUADALHORCE DESDE EL CAMPANILLAS AL LIMITE DEL T.M. EN EL ARROYO CAÑUELO, EN LOS DESARROLLOS PREVISTOS POR EL PGOU EN REVISION

4.- ESTUDIO HIDRAÚLICO

4.1.- OBJETO DEL ESTUDIO

Con el presente estudio hidráulico se pretende analizar las condiciones hidráulicas de flujo de los principales cauces que atraviesan las zonas urbanas o urbanizables según el Documento de Aprobación Provisional del Plan General de Ordenación Urbana.

El análisis se hace para los caudales correspondientes a los períodos de retorno de 10 y 500 años. Se determinarán las cotas de agua en cada sección del cauce en agua clara. El presente estudio nos permitirá determinar las zonas de riesgo de inundación así como el deslinde del dominio público hidráulico, zona de servidumbre y policía.

4.2.- CUMPLIMIENTO DE LA LEY DE AGUAS

Comenzaremos por definir los siguientes términos, según establece la ley de Aguas, así como el Reglamento de Dominio Público Hidráulico:

- Cauce: terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias.
- Caudal de máxima crecida ordinaria: media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural, producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente.
- Riberas: fajas laterales de los cauces públicos situadas por encima del nivel de aguas bajas.

- Márgenes: terrenos que lindan con los cauces. Las márgenes están sujetas, en toda su extensión longitudinal a las siguientes restricciones:
 - a) A una zona de servidumbre de 5 m de anchura para uso público.
 - b) A una zona de policía de 100 metros de anchura en la que se condiciona el uso del suelo.
- Zonas inundables: las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período de retorno sea de quinientos años.

El concepto de caudal de M.C.O. es fundamental para la delimitación del cauce y por tanto de los bordes y zonificaciones del Dominio Público Hidráulico que establece la Ley de Aguas, y más ampliamente su Reglamento. Sin embargo la propia definición de la M.C.O. que se establece en la Ley de Aguas no representa un caudal concreto, sino que constituye una serie temporal de medias de valores máximos.

ZONIFICACIÓN DEL CAUCE Y MÁRGENES INUNDABLES



Para resolver los aspectos prácticos que conlleva la aplicación de la definición recogida en la Ley de Aguas sobre la M.C.O., en la delimitación de los cauces y , consecuentemente, en la definición del Dominio Público Hidráulico, se efectuó un estudio en el CEDEX en 1.994 para la D.G.C.A. en el que se establece de forma aproximada el valor del caudal de M.C.O., $Q_{M.C.O.}$, en función de la media, Q_m , y el coeficiente de variación, C_v , de la distribución de máximos caudales anuales mediante la expresión:

$$\frac{Q_{M.C.O.}}{Q_m} = 0,7 + 0,6 \cdot C_v$$

O bien el valor de su periodo de retorno por la expresión alternativa:

¡Error! No se pueden crear objetos modificando códigos de campo.

El coeficiente de variación, C_v , de la mayoría de los cursos de agua españoles está comprendido en el intervalo $0,3 \leq C_v \leq 1,4$, que según la expresión anterior conduce a periodos de retorno entre 1,5 y 7 años. Los valores bajos corresponden a regímenes de hidrología moderada y los altos a las corrientes con hidrología extrema.

Siguiendo los criterios de la Agencia Andaluza del Agua, se ha optado finalmente por considerar un periodo de retorno de diez años para delimitar el Dominio Público Hidráulico, tomado el mismo del lado de la seguridad.

4.3.- MODELO MATEMÁTICO DE CÁLCULO

4.3.1.- Datos Hidráulicos

La simulación matemática del flujo requiere de un trabajo intenso preliminar que determine de la forma más real posible las condiciones geométricas del cauce, las condiciones de contorno y afinen al máximo las variables hidráulicas que determinan la cota absoluta de la lámina de agua. Seguidamente se analiza la información de la que se parte:

- Geometría

1. Para la elaboración de los cálculos hidráulicos se ha partido de la cartografía a escala 1:2.000 aportada por la Gerencia Municipal de Urbanismo del Ayuntamiento de Málaga, por estar más actualizada (año 2.004) que la 1:1.000. En dicha cartografía además de existir curvas de nivel cada 2 m en cota, algunos elementos gráficos se hayan elevados (con cota absoluta), mientras que otros no. Por dicho motivo la primera fase del trabajo ha consistido en depurar la información de partida eligiendo las capas con información relevante para la geometrización del cauce y descartando aquellas que pudieran introducir errores en la modelización del cauce y sus márgenes.
2. Con los datos anteriores se ha realizado la conversión de la cartografía depurada a un modelo en formato GIS (TIN), modelizando así el terreno en tres dimensiones, para después, aplicando el programa GEO-RAS, obtener secciones transversales de los cauces cada 20 m aproximadamente. Tales secciones se han importado posteriormente al programa de modelización HEC-RAS.

- Condiciones hidráulicas de contorno

Las pendientes existentes en algunos tramos de los arroyos estudiados, las confluencias y otras incidencias, tales como la existencia de puntos de estrangulamiento con sección insuficiente, nos inducen a realizar los cálculos en régimen mixto, obteniendo los cruces de la lámina de agua con la línea de calado crítico y conociendo por tanto los tramos en régimen rápido y lento.

Se supone el régimen uniforme en el inicio y final de los arroyos; dicha condición impondrá errores en los extremos del cauce por lo general poco significativos.

- Variables de cálculo hidráulico

La asignación de valores de n de Manning inicialmente se realizaron de acuerdo a la bibliografía existente y conforme a la experiencia de los modelos físicos elaborados por el CEDEX, con modelizaciones físicas y matemáticas de procesos tormentosos, con datos conocidos de precipitación y láminas de agua en cauces o llanuras de inundación de la cuenca sur mediterránea, lo que ha permitido obtener los valores de rugosidad de los cauces. No obstante, puesto que los valores que recomienda la Agencia Andaluza del Agua son mayores, finalmente se han tenido asimismo en cuenta las Recomendaciones de la Agencia Andaluza del Agua para la Realización de los Estudios Hidrológico-Hidráulicos. Con estas premisas, se han considerado los siguientes valores de Manning:

- Encauzamientos en escollera y obras de drenaje transversal en hormigón armado: 0,035.
- Encauzamientos y embovedados de hormigón: 0,025.
- Cauces naturales normales: 0,045.

Finalmente debe indicarse que el cálculo se hace en régimen permanente.

4.4.- PROCESO DE CÁLCULO HIDRÁULICO

En la totalidad de los arroyos se ha seguido la siguiente metodología de cálculo:

- 1º. Introducción de la geometría de los cauces independientes.
- 2º. Establecimiento de nudos de confluencia para que las condiciones de contorno en los cauces, den cotas de aguas congruentes en los arroyos convergentes aguas arriba y aguas abajo de dichas confluencias.
- 3º. Establecimiento de las condiciones de contorno en los extremos de los cauces.
- 4º. Introducción de los caudales obtenidos en la modelización hidrológica para T-10, y 500. Los caudales se han graduado a lo largo del cauce según el siguiente criterio: se establecen valores de caudal proporcionales a la superficie aguas arriba del punto del cauce, creando dos o tres tramos de cauce con caudales crecientes desde aguas arriba a aguas abajo.

Para la elaboración de los cálculos anteriores se han empleado las siguientes herramientas:

- Programa HEC-RAS v 3.1.2.

Sin embargo, hemos tenido problemas para modelizar algunos arroyos con HEC-RAS debido a la falta de información cartográfica (curvas de nivel cada 2 m con calados entre 0,5 y 1,5 m), agravados por una cartografía excesivamente llana, con cauces perdidos por aterramiento que han dado lugar a láminas de agua excesivamente grandes.

En esos casos, con secciones transversales incompletas con HEC-RAS, se optó por corregir las láminas manualmente, consultando en el programa la cota de la lámina de agua en cada sección.

No obstante, y a petición expresa del equipo de técnicos de la Oficina del Plan General de la Gerencia Municipal de Urbanismo, se opta, en el caso de los arroyos Cantos-Valdeurraca y Somera, por utilizar la siguiente metodología:

1. Recálculo del Dominio Público Hidráulico sin obstáculos artificiales que pudieran hacer que la corriente de agua se viera retenida en exceso.
2. En caso de que no obtenerse una lámina razonable, se procede a obtener la lámina de agua a partir de ortofotografías (en concreto, del año 56, que son las más antiguas disponibles). Con la lámina, se obtiene la sección mínima (trapezoidal con talud de 60°) capaz de evacuar el caudal de cálculo, estimando la pendiente del arroyo a partir de la cartografía. Si la sección obtenida resulta razonable (y se entiende como razonable, según la GMU, la obtención de calados de 0,5 m a 1,5 m) se considera como buena la lámina de agua determinada con la ortofoto.

Los recálculos del DPH sin puntos de estrangulamiento no llevaron a reducciones significativas de la lámina de agua. Por tanto, y a instancias de la Gerencia Municipal de Urbanismo, se procedió a la aplicación del punto 2 (a partir de las láminas obtenidas de las ortofotos, que fueron aportadas por la propia GMU, se obtiene la sección mínima capaz de evacuar el caudal de cálculo).

En el caso de los arroyos Cantos-Valdeurraca, se ha considerado la lámina de agua de la ortofoto del 56, aportada en formato dwg por la GMU, y se han dibujado finalmente las láminas de agua considerando los siguientes anchos de sección y cotas:

- Valdeurraca: anchura superior de la sección 16,5 m (para un ancho en la base de 15 m y calado de 1,12 m, con una anchura superior de la sección de 16,30 aproximadamente, redondeamos a 16,50 m).
- Cantos (tramo superior): anchura superior de la sección 9,0 m (para un ancho en la base de 8,0 m y calado de 0,80 m, con una anchura superior de la sección de 8,93 m, redondeamos a 9,0 m).

- Cantos (tramo común Cantos-Valdeurraca): 13,50 m (para un ancho en la base de 12 m y calado de 1,11 m, con una anchura superior de la sección de 13,25 m, redondeamos a 13,50 m).

Dichas láminas se consideran una APROXIMACIÓN razonable del Dominio Público Hidráulico para los arroyos Cantos-Valdeurraca.

En el caso del arroyo Somera, se ha considerado la lámina de agua de la ortofoto del 2.008, aportada en formato dwg por la GMU. Se comprueba que con la anchura de la lámina obtenida a partir de la ortofoto se obtienen calados inferiores a 1,0 m, por lo que se considera como válida dicha lámina a efectos de dar una APROXIMACIÓN de la zona ocupada por el Dominio Público Hidráulico para dicho arroyo.

Los cálculos relativos a este aportado han sido realizados con el programa FLOWMASTER, y se adjuntan en el apéndice 3.2.

4.5.- CÁLCULOS CON HEC-RAS

4.5.1.- Descripción del programa

Para los cálculos del flujo en los arroyos incluidos en el presente estudio en la situación futura de desarrollo urbano del municipio se ha empleado el software HEC-RAS que fue desarrollado en el Hydrologic Engineering Center (HEC). HEC-RAS es un paquete de programas de análisis hidráulico, en el cual el usuario interacciona con el sistema a través de un interface gráfico (GUI). El sistema está capacitado para realizar cálculos de flujo continuo y discontinuo, así como otros cálculos de diseño hidráulico.

El programa para cada uno de los proyectos gestiona la siguiente información :

- Datos del Plan
- Datos geométricos
- Datos de flujo continuo
- Datos de flujo discontinuo
- Datos de diseño hidráulico

Durante el transcurso de un estudio el modelador puede realizar varios planes diferentes. Cada plan representa un conjunto específico de datos geométricos y de datos de flujo. Una vez que los datos básicos son introducidos, el modelador puede fácilmente desarrollar nuevos planes. Después de que el programa ha realizado los cálculos para los diferentes planes, los resultados pueden compararse simultáneamente mediante tablas y gráficos.

Para desarrollar un modelo hidráulico con HEC – RAS hay que completar los siguientes pasos:

- Entrada de datos geométricos.
- Entrada de datos del flujo.
- Realización de los cálculos hidráulicos.
- Visión e impresión de los resultados.

Una vez establecida la geometría en planta del cauce o canal, se pueden introducir las secciones transversales. Se puede incluso también establecer uniones de flujos en el sistema.

Para introducir los datos de flujo continuo hay que especificar los siguientes parámetros:

- El número de perfiles para ser calculados, entre 1 y 500.
- Los datos del flujo.
- Condiciones de borde del sistema del río.

- Al menos un flujo debe ser introducido para cada segmento dentro del sistema.
- Los valores del flujo deben ser introducidos para todos los contornos.

Si se va a hacer un análisis en régimen subcrítico sólo son necesarias las condiciones de borde en el extremo de aguas abajo del arroyo.

En un análisis en régimen supercrítico sólo son necesarias las condiciones de borde en el extremo de aguas arriba del arroyo.

En un análisis en régimen mixto son necesarias las condiciones de borde tanto en los extremos aguas arriba como aguas abajo.

El programa permite la entrada de las siguientes condiciones de borde:

- Elevaciones de la superficie de agua conocidas.
- Profundidad crítica: El usuario no tiene que introducir ninguna información. El programa calculará la profundidad crítica para cada uno de los perfiles.
- Profundidad normal: El usuario debe introducir la pendiente de la línea de energía que deberá ser usada en los cálculos de profundidad normal (en la ecuación de Manning). Si la pendiente de la línea de energía es desconocida, el usuario podría aproximarla introduciendo la pendiente de la superficie de agua o la pendiente del fondo del canal. (Se recomienda que estas condiciones de contorno, cuando se desconocen, se den en extremos lo suficientemente alejadas de los tramos de cálculo, ya que con la longitud se disipan los errores; incluso para secciones lo suficientemente alejadas puede ocurrir que la condición de contorno no afecte al flujo en el tramo objeto del cálculo).

Una vez elaborado el cálculo el programa permite la impresión de los resultados obtenidos mediante diferentes tipos de tablas y gráficos, con opciones de generación de perfiles y vistas en tres dimensiones.

4.5.2.- Hipótesis y limitaciones del programa

El modelo matemático HEC-RAS 3.1.2 está basado en la ecuación de conservación de la energía, con las pérdidas de carga valoradas según la ecuación de Manning y las siguientes hipótesis:

1. Pueden hacerse los cálculos en régimen permanente o variable según una tabla de valores, Q / t .
2. El flujo es gradualmente variado: la curvatura de las líneas de corriente es despreciable, de manera que se puede suponer una distribución hidrostática de la presión.
3. El flujo se supone unidimensional, considerándose en la distribución horizontal de la velocidad las zonas de cauce y llanuras de inundación por ambas márgenes. La altura de la energía es igual para todos los puntos de la sección.
4. La pendiente del cauce ha de ser pequeña (menor a un 10 %), debido a que la altura de presión se supone equivalente a la cota de agua medida verticalmente.
5. Se admite cambio de régimen (de lento a rápido o viceversa) en un mismo cálculo.
6. La pendiente de la línea de energía es constante entre dos secciones transversales.
7. El lecho del cauce es fijo. No tiene en cuenta los procesos de acreción o erosión en el lecho.

El modelo matemático resuelve de forma iterativa la ecuación de conservación de la energía para calcular el nivel del agua en una sección a partir del nivel conocido de otra. Para calcular las pérdidas por fricción se utiliza la fórmula de Manning, pudiendo usarse diferentes procedimientos, tanto para asignar el valor del coeficiente, que varía de sección en sección, y en cada una horizontal o verticalmente, como para calcular el valor medio en cada tramo (media aritmética, geométrica y armónica...).

4.5.3.- Resultados de la simulación.

Siguiendo la metodología de cálculo expuesta en el apartado anterior se han obtenido los siguientes resultados para cada sección:

- Caudal.
- Calado.
- Cota de rasante.
- Cota agua.
- Cota crítica.
- Cota energía.
- Pendiente de energía.
- Velocidad del canal
- Sección hidráulica.
- Número de Froude.

En los apéndices se aportan gráficos de vista en tres dimensiones del flujo, secciones transversales, y perfil longitudinal con cotas de agua para T-10 y T-500 y listado de las variables hidráulicas anteriores para T-10 y T-500.

En el caso de los arroyos Cantos-Valdeurraca y Somera, se ha realizado una aproximación del Dominio Público Hidráulico a partir de ortofotos a petición de la GMU, tal y como se describe en el punto 4.4.

Finalmente se han elaborado planos definiendo la zona de dominio público hidráulico, zonas de servidumbre y policía así como las zonas con peligro de inundación para T= 500 años.

5.- CONCLUSIONES

Una vez conocida la cota de la lámina de agua en los diferentes cauces objeto de estudio, estamos en disposición de analizar y determinar los posibles riesgos inherentes a cada cauce y sus márgenes, y proponer las soluciones pertinentes que mejoren el grado de protección o establecer las restricciones convenientes al uso del suelo para evitar riesgos.

5.1.- ANÁLISIS DE RIESGOS

Del estudio hidráulico elaborado al efecto podemos distinguir los siguientes tipos de riesgo:

1. Sección hidráulica insuficiente de obras de drenaje transversal y embovedados longitudinales, lo que conlleva la inundación de la carretera, camino o plataforma superior.
2. Inundación de las márgenes de los cauces.

Seguidamente vamos a analizar los diferentes tipos de riesgo.

5.1.1.- Problemas de funcionamiento de obras de fábrica y embovedados

Del estudio hidráulico elaborado al efecto se detecta el fallo de las obras de drenaje y embovedados que figuran en el siguiente cuadro:

Obras de Drenaje que no cumplen:

CUENCA	FICHA	ARROYO	OBRA	T	
				10	500
1	1	01-C1.1	Capilla	Paso superior sección 5.0x2.5 m	
		02-C1.1	Capilla	Bóveda sección 5.0x4.0 m	
		03-C1.1	Capilla	Paso superior sección 1.5x1.5 m	
1	2	01-C1.2	Piedra Horadada	Bóveda sección 1.0x1.0 m	
		02-C1.2	Piedra Horadada	ODT tajea 0.80x1.80	
		03-C1.2	Piedra Horadada	Tubo de Φ1.0 m	
		04-C1.2	Piedra Horadada	Tubo de Φ1.0 m	
		05-C1.2	Piedra Horadada	Tubo de Φ0.8 m	
		07-C1.2	Piedra Horadada	Tubo de Φ1.5 m	
		08-C1.2	Piedra Horadada	ODT cajón 2.0x1.60 m	
	10-C1.2	Piedra Horadada	ODT cajón 3.0x2.0 m		
2	1	02-C2.1	Pilones	Batería de tubos 3Φ0.40 m	
		04-C2.1	Pilones	Batería de tubos 3Φ0.40 m	
		05-C2.1	Pilones	Batería de tubos 2Φ1.00 m	
2	4	01-C2.4	Somera	Paso superior 2 vanos 3.0x2.2	
2	4	02-C2.4	Somera	ODT cajón 3.0x1.20 m	
2	4	03-C2.4	Somera	ODT cajón 3.0x1.20 m	
2	5	01-C2.5	Colmenarejo	Tubo de Φ1.2 m	
		02-C2.5	Colmenarejo	Tubo de Φ1.2 m	
		03-C2.5	Colmenarejo	Tubo de Φ1.0 m	
		04-C2.5	Colmenarejo	Batería de tubos 2Φ1.00 m	
		05-C2.5	Colmenarejo	Cajón bicelular 3.0x2.0	
		06-C2.5	Colmenarejo	Batería de tubos 2Φ1.00 m	
		07-C2.5	Colmenarejo	Batería de tubos 1Φ0.80 m y 1 Φ0.60 m	
		08-C2.5	Colmenarejo	Batería de tubos 1Φ0.80 m y 1 Φ0.60 m	
		09-C2.5	Colmenarejo	ODT Φ1.2 m	
3	1	01-C3.1	Cantos-Maqueda	Tubo de Φ0.8 m	
		02-C3.1	Cantos-Maqueda	Batería de tubos 2Φ0.80 m	
		03-C3.1	Cantos-Maqueda	Batería de tubos 2Φ0.80 m	
		03-C3.1	Cantos-Maqueda	Paso superior sección 3.0x2.0	
		05-C3.1	Cantos	Batería de tubos 2Φ0.80 m	
		06-C3.1	Cantos	Batería de tubos 2Φ0.80 m	
		07-C3.1	Cantos	Cajón 3.0x2.0	

CUENCA	FICHA	ARROYO	OBRA	T	
				10	500
	08-C3.1	Cantos	Cajón 3.0x2.0		X
	09-C3.2	Cantos	Cajón 3.0x2.0		X
	10-C3.1	Cantos	Cajón 3.0x1.0	X	X
	11-C3.1	Cantos	Cajón 3.0x1.0	X	X
	12-C3.1	Cantos	Bóveda 3.5x1.5		X
	13-C3.1	Cantos	Cajón 4.0x1.5		X
	14-C3.1	Cantos	Cajón 4.0x1.5		X
	15-C3.1	Cantos	Cajón 4.0x1.5		X
	16-C3.1	Cantos	Cajón 4.0x1.5		X
	17-C3.1	Cantos	Cajón 4.0x1.5		X
	18-C3.1	Cantos	Bóveda 3.0x1.5		X
	19-C3.1	Cantos	Cajón 4.5x2.5		X
3	2	01-C3.2	Cantos	Puente (44 de ancho y 4 de gálibo)	
		02-C3.2	Cantos	ODT cajón 8.0x2.0	
3	4	01-C3.4	Valdeurraca	Pontón 8.5x4.0	
		02-C3.4	Valdeurraca	X	X
3	3	04-C3.3	Valdeurraca	Cajón bicelular 4.0x3.5+6.0x3.5	
3	5	01-C3.5	Costilla	X	X
		03-C3.5	Costilla	Cajón 4.0x3.75	
		04-C3.5	Costilla	Cajón 4.5x2.5	
		05-C3.5	Costilla	X	X
		06-C3.5	Costilla	Pontón 5.0x3.25	
4		01-C4	Rojas	X	X
		02-C4	Rojas	X	X
		03-C4	Rojas	X	X
		04-C4	Rojas	Tubo Φ1.800 mm	
5	1	02-C5.1	Rebanadilla	Cajón 4.0x2.0	
		02-C5.1	Rebanadilla	Paso superior 3.5x1.5	
		03-C5.1	Rebanadilla	X	X
		04-C5.1	Rebanadilla	X	X
		06-C5.1	Rebanadilla	Cajón 2.5x1.5	
		07-C5.1	Rebanadilla	Cajón 5.0x2.0	
		08-C5.1	Rebanadilla	Cajón 5.0x2.5	
		09-C5.1	Rebanadilla	Cajón 5.0x2.5	
		10-C5.1	Rebanadilla	X	X
5	2	01-C5.2	Liria	X	X
		02-C5.2	Liria	X	X
		03-C5.2	Liria	X	X

CUENCA	FICHA	ARROYO	OBRA	T	
				10	500
	04-C5.2	Liria	Cajón 2.0x2.0		X
	05-C5.2	Liria	Cajón 2.0x2.0		X
6	02-C6	Bienquerido	Bóveda 2.0x2.0		
	03-C6	Bienquerido	Tubo de Φ1.0 m	X	X
	04-C6	Bienquerido	Bóveda 2.0x2.0		
7	07-C7	Cañuelo	Badén 3Φ0.4 m	X	X
9	03-C9	Cañada de Ceuta	Tubo de Φ1.0 m	X	X
	04-C9	Cañada de Ceuta	Tubo de Φ1.0 m	X	X
	05-C9	Cañada de Ceuta	Tubo de Φ1.0 m	X	X
	06-C9	Cañada de Ceuta	Badén 4Φ1.0 m	X	X
	06-C9	Cañada de Ceuta	Puente		
	08-C9	Cañada de Ceuta	ODT Φ1.0 m	X	X
	10-C9	Cañada de Ceuta	ODT Φ1.0 m	X	X
	11-C9	Cañada de Ceuta	ODT Boveda 5.0x3.0		

Con una x se ha marcado el período de retorno en el que se produce el fallo. Como fallo entendemos la inundación de la carretera o camino que cruza el cauce.

En particular la Instrucción de Carreteras para las obras de fábrica sólo exige el cumplimiento del drenaje para los caudales correspondientes a un período de 100 años, y en ferrocarriles se suelen dimensionar para 300 años. En nuestro caso se han comprobado para un periodo de retorno de 500 años. Cabe destacar la falta de capacidad de alguna de estas obras de drenaje para un periodo de retorno de 10 años. La falta de capacidad de las obras se traduce en la inundación de las vías y consecuentemente de las márgenes por la sobreelavación que se produce aguas arriba. Por este motivo y considerando la ubicación de tales obras de fábrica en un espacio principalmente urbano o urbanizable, parece recomendable exigir capacidades de desagüe superiores. Son importantes los efectos de sobreelavación aguas arriba en muchas de las obras de drenaje transversal estudiadas.

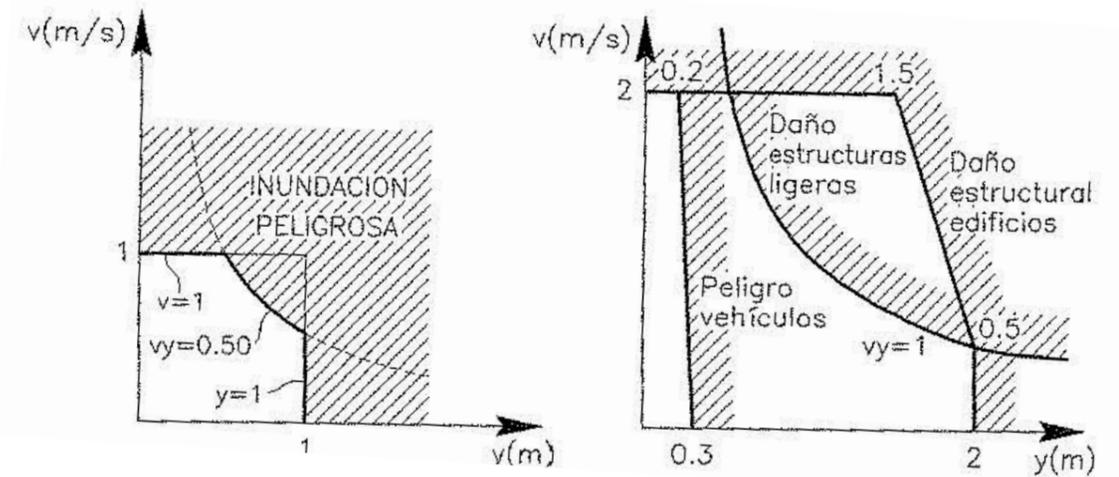
Por otro lado se localizan diversos encauzamientos, que si bien algunos presentan sección hidráulica suficiente, requieren de un intensa conservación a efectos de evitar mermas en su capacidad de desagüe, además de exigir una importante labor de policía para evitar afecciones a sus embocaduras.

En particular los encauzamientos estudiados son:

- Cuenca 1. Subcuenca 1.1. Arroyo Capilla. Encauzamiento muros de mampostería. Presentan sección hidráulica suficiente para T=10 años pero el estado de conservación es regular. Se recomienda su limpieza.
- Cuenca 2.5. Arroyo Colmenarejo. Encauzamiento sección rectangular con muros de mampostería y solera de hormigón. Con mejor conservación que los anteriores, la sección hidráulica es insuficiente para T=500 años. Es recomendable aumentar la sección hidráulica.
- Cuenca 3. Subcuenca 3.1: Arroyo Cantos. Sección rectangular de 3x2 m en hormigón, que pasa a trapecial de 4 m de anchura una vez cruza la MA-402. Sección insuficiente para T = 500 años. Se recomienda aumentar la sección hidráulica.
- Cuenca 5. Subcuenca 5.1. Arroyo Rebanadilla. Embovedado del arroyo en tubo de $\Phi 1.000$ mm. Sección insuficiente para T=10 y T = 500 años. No obstante, en la visita de campo realizada se observa que existe una balsa de riego junto al tramo entubado que toma una parte del caudal del arroyo, almacenándolo. Se recomienda aumentar la sección hidráulica.

5.1.2.- Problemas de inundación de márgenes

En este apartado determinaremos los intervalos de cauce con inundación de sus márgenes. Atenderemos a los criterios de inundación peligrosa. De acuerdo a experimentos sobre la resistencia y estabilidad de personas ante el flujo del agua, se considera a nivel internacional como peligrosas las condiciones hidráulicas (calado y velocidad) del diagrama adjunto, es decir, calado mayor de 1 m, velocidad mayor de 1 m/s y producto de ambas mayor de $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$.



En el caso de los arroyos Piedra Horadada y Capilla, se cumple la condición de velocidad mayor que 1 m/s en su mayor parte, y la condición de calado mayor que 1 m en los tramos inferiores, por lo que se ha considerado que la zona de riesgo coincide con la de ocupación del agua para un periodo de retorno de 500 años.

En el caso del arroyo Pilonos (cuenca 2.1), se cumplen las tres condiciones simultáneamente, por lo que se ha considerado que la zona de riesgo coincide con la de ocupación del agua para un periodo de retorno de 500 años.

Para el arroyo Somera (cuenca 2.4), se ha considerado que la zona de riesgo coincide con la de ocupación del agua para un periodo de retorno de 500 años, debido a que se cumple al menos una de las condiciones en los distintos tramos.

En el caso de la cuenca 2.5, correspondiente al arroyo Colmenarejo, se producen altas velocidades en la mayoría de los tramos, por lo que por lo que podemos concluir que la zona de riesgo coincide con la de ocupación del agua para un periodo de retorno de 500 años.

En el caso de la cuenca 3 (arroyos Cantos, Valdeurraca y Costilla), se cumple al menos una de las condiciones en la mayoría de los tramos, por lo que por lo que podemos concluir que la zona de riesgo coincide con la de ocupación del agua para un periodo de retorno de 500 años.

En el caso de la cuenca 4, correspondiente al arroyo Rojas, se producen velocidades superiores a 1 m/s en la mayor parte de los tramos, por lo que también se ha considerado que la zona de riesgo coincide con la de ocupación del agua para un periodo de retorno de 500 años.

En el caso de la cuenca 5, correspondiente a los arroyos Rebanadilla y Liria, se producen velocidades elevadas en la mayoría de los tramos, cumpliéndose además las otras dos condiciones, por lo que por lo que podemos concluir que la zona de riesgo coincide con la de ocupación del agua para un periodo de retorno de 500 años.

Para el arroyo Bienquerido (cuenca 6), se ha considerado que la zona de riesgo coincide con la de ocupación del agua para un periodo de retorno de 500 años, debido a que se cumple al menos una de las condiciones en los distintos tramos.

Para el arroyo La Calera (cuenca 8), se ha considerado que la zona de riesgo coincide con la de ocupación del agua para un periodo de retorno de 500 años, debido sobre todo a la velocidad.

En el caso de la cuenca 9, correspondiente al arroyo Cañada de Ceuta, se producen altas velocidades en la mayoría de los tramos, así como calados superiores a 1 m, por lo que por lo que podemos concluir que la zona de riesgo coincide con la de ocupación del agua para un periodo de retorno de 500 años.

5.2.- DELIMITACIÓN DE ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN

De acuerdo a las consideraciones del apartado 5.1.2 se delimitan las zonas de riesgo por inundación con los resultados del flujo para 500 años en todos los casos con cotas obtenidas en agua clara sin considerar esponjamiento por transporte sólido. Las zonas de riesgo por inundación serán por tanto:

- Las obras de drenaje y encauzamientos con sección hidráulica insuficiente que producen la inundación del viario o plataforma superior. En este sentido debe considerarse que un alto porcentaje de las víctimas producidas en inundaciones y de los vehículos arrastrados en los últimos años han tenido su origen en el corte del viario por la lámina de la crecida; la subestimación de la capacidad de arrastre del agua con calados escasos, ha aventurado a numerosas víctimas al uso de los viales inundados, provocando pérdidas humanas y económicas considerables.
- Las zonas urbanas o urbanizables según el Documento de Aprobación Inicial del Plan General de Ordenación Urbana en redacción, que se inundan.

5.3.- MEDIDAS DE CONSERVACIÓN Y POLICÍA

Se refieren a la totalidad de los cauces. Estas labores corresponden al organismo de cuenca, si bien desde la administración municipal puede prestarse un apoyo importante en la gestión de las afecciones a los dominios públicos hidráulicos. En particular parecerían adecuadas las siguientes medidas preventivas:

- Prohibir las obras de embovedados de cauces o las modificaciones de trazado de cauces integrados en urbanizaciones, salvo que no exista otra posibilidad de integración.

- En las urbanizaciones que se desarrollen junto a cauces principales exigir a los promotores las correspondientes obras de encauzamiento.
- Coordinación con el Organismo de Cuenca, a efectos de planificar los proyectos de encauzamientos necesarios.

Málaga, Junio de 2.010

Los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Autores del Estudio

Fdo.: Inmaculada Barquero Zafra

Fdo.: Rafael Gallego López

Vº Bº
Director del Estudio

Fdo.: Julio García Villanova

APENDICES:

- 1.- DATOS PREVIOS
 - 1.1.- Fichas de los cauces
 - 1.2.- PGOU
- 2.- ESTUDIO HIDROLOGICO
 - 2.1.- Cuenca de aportación
 - 2.2.- Usos del suelo
 - 2.3.- Litología
 - 2.4.- Permeabilidad superficial
 - 2.5.- Pendientes medias
 - 2.6.- Umbral de escorrentía
- 3.- ESTUDIO HIDRAULICO. RESULTADOS
 - 3.1.- CÁLCULOS CON HEC-RAS
 - 3.1.1.- Cuenca 1. Arroyo Piedra Horadada. T=10 años
 - 3.1.2.- Cuenca 2. Arroyos tributarios del río Campanillas. T=10 años
 - 3.1.3.- Cuenca 3. Arroyo Cantos. T=10 años
 - 3.1.4.- Cuenca 4. Arroyo Rojas. T=10 años
 - 3.1.5.- Cuenca 5. Arroyos Liria y Rebanadilla T=10 años
 - 3.1.6.- Cuenca 6. Arroyo Bienquerido. T=10 años
 - 3.1.7.- Cuenca 7. Arroyo Cañuelo. T=10 años
 - 3.1.8.- Cuenca 8. Arroyo Cañada de La Calera. T=10 años
 - 3.1.9.- Cuenca 9. Arroyo Cañada de Ceuta. T=10 años
 - 3.1.10.- Cuenca 1. Arroyo Piedra Horadada. T=500 años
 - 3.1.11.- Cuenca 2. Arroyos tributarios del río Campanillas. T=500 años
 - 3.1.12.- Cuenca 3. Arroyo Cantos. T=500 años
 - 3.1.13.- Cuenca 4. Arroyo Rojas. T=500 años
 - 3.1.14.- Cuenca 5. Arroyo Liria y Rebanadilla. T=500 años
 - 3.1.15.- Cuenca 6. Arroyo Bienquerido. T=500 años
 - 3.1.16.- Cuenca 7. Arroyo Cañuelo. T=500 años
 - 3.1.17.- Cuenca 8. Arroyo Cañada de La Calera. T=500 años
 - 3.1.18.- Cuenca 9. Arroyo Cañada de Ceuta. T=500 años
 - 3.2.- ESTUDIO HIDRAULICO CON FLOW-MASTER. RESULTADOS
 - 3.2.1.- Cuenca 3. Arroyo Cantos. T=10 años
 - 3.2.2.- Cuenca 2.4. Arroyo Somera. T=10 años
- 4.- DETERMINACION DE LAS ZONAS DE DOMINIO PÚBLICO, ZONAS DE SERVIDUMBRE Y ZONAS DE POLICIA
- 5.- DETERMINACION DE LAS ZONAS CON PELIGRO DE INUNDACION PARA T=500 AÑOS.

APENDICE:

- 1.- DATOS PREVIOS
 - 1.1.- Fichas de los cauces
 - 1.2.- PGOU

1.1.- Fichas de los cauces