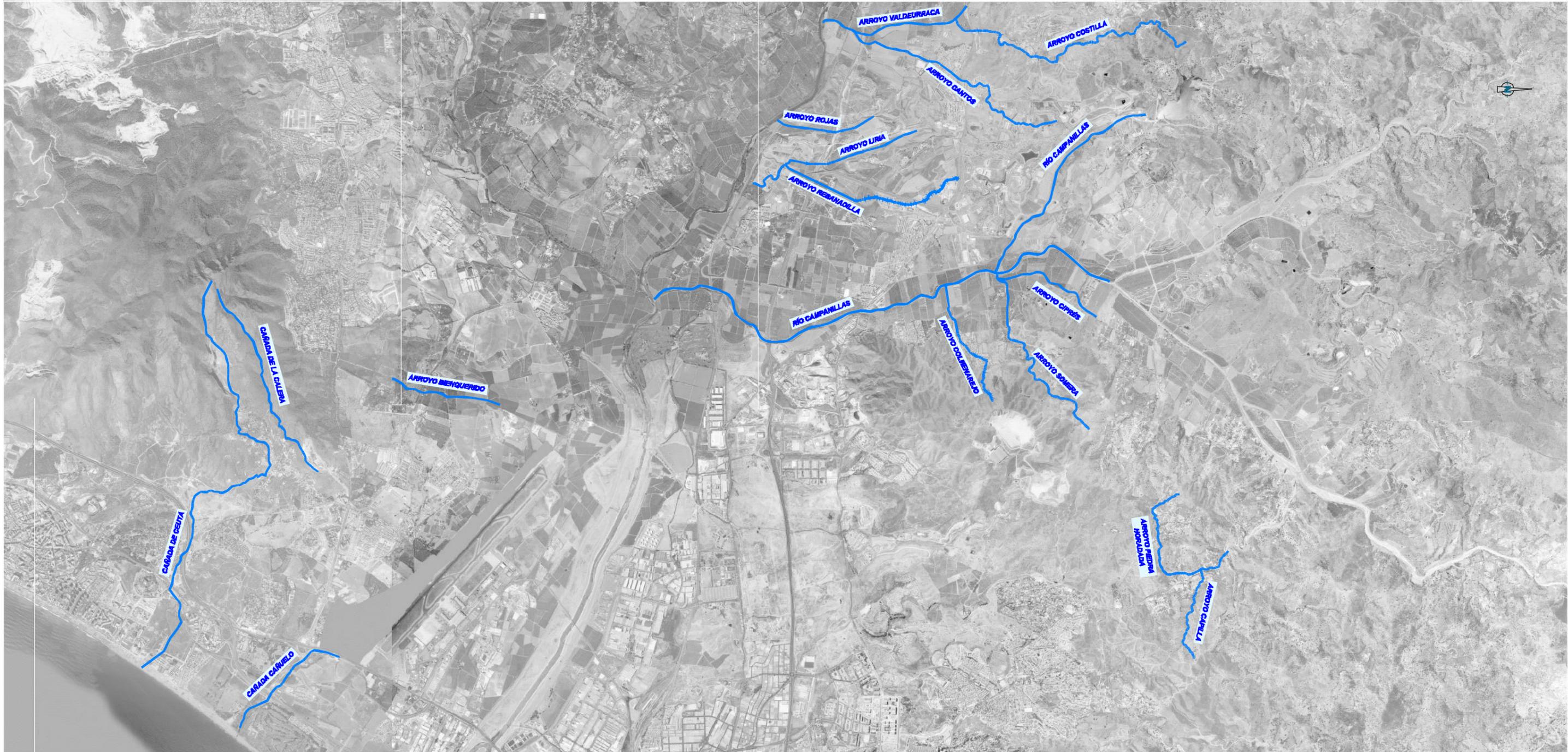


# DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y LAS ZONAS INUNDABLES EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL GUADALHORCE DESDE EL CAMPANILLAS AL LIMITE DEL T.M. EN EL ARROYO CAÑUELO, EN LOS DESARROLLOS PREVISTOS POR EL PGOU EN REVISIÓN.



**Ayuntamiento de Málaga**  
Gerencia Municipal de Urbanismo, Obras e Infraestructuras



EL CONSULTOR:



**NARVAL Ingeniería, S.A.**  
Ingeniería civil, Urbanismo, Medio Ambiente

AUTORES DEL PROYECTO:

**INMACULADA BARQUERO ZAFRA**  
Ingeniero Caminos, Canales y Puertos

**RAFAEL GALLEGU LÓPEZ**  
Ingeniero Caminos, Canales y Puertos

**JUNIO 2010**

**INDICE**

**1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETO ..... 4**

**2.- DATOS DE PARTIDA ..... 5**

2.1.- INTRODUCCIÓN ..... 5

2.2.- CARTOGRAFÍA EMPLEADA EN LA MODELIZACIÓN ..... 5

2.3.- DATOS DE PRECIPITACIÓN ..... 6

2.4.- DATOS DE LA CUENCA ..... 6

**3.- ESTUDIO HIDROLÓGICO ..... 6**

3.1.- OBJETIVO DE LA SIMULACIÓN HIDROLÓGICA ..... 6

3.2.- DESCRIPCIÓN DE LAS CUENCAS OBJETO DE ESTUDIO ..... 7

3.2.1.-División en subcuencas ..... 9

3.2.2.-Caracterización morfológica ..... 11

3.2.3.-Tiempo de concentración ..... 13

3.3.- CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA ..... 13

3.3.1.-Vegetación y usos del suelo ..... 14

3.3.2.-Litología y permeabilidades en la zona superficial ..... 18

3.3.3.-Pendientes medias ..... 22

3.3.4.-Determinación del umbral de escorrentía ..... 24

3.4.- PRECIPITACION DE DISEÑO ..... 30

3.5.- CÁLCULO DE CAUDALES ..... 33

3.5.1.-Planteamiento general ..... 33

3.5.2.-Fórmula de cálculo ..... 33

3.5.3.-Coeficiente de escorrentía ..... 34

3.5.4.-Intensidad media de precipitación ..... 36

3.5.5.-Superficie ..... 38

3.5.6.-Factor reductor por área y coeficiente de uniformidad ..... 38

3.5.7.-Caudales de referencia ..... 39

3.5.8.-Caudales de cálculo ..... 43

**4.- ESTUDIO HIDRAÚLICO ..... 47**

4.1.- OBJETO DEL ESTUDIO ..... 47

4.2.- CUMPLIMIENTO DE LA LEY DE AGUAS ..... 47

4.3.- MODELO MATEMÁTICO DE CÁLCULO ..... 48

4.3.1.-Datos Hidráulicos ..... 48

4.4.- PROCESO DE CÁLCULO HIDRAÚLICO ..... 49

4.5.- CÁLCULOS CON HEC-RAS ..... 50

4.5.1.-Descripción del programa ..... 50

4.5.2.-Hipótesis y limitaciones del programa ..... 52

4.5.3.-Resultados de la simulación ..... 52

**5.- CONCLUSIONES ..... 53**

5.1.- ANÁLISIS DE RIESGOS ..... 53

5.1.1.-Problemas de funcionamiento de obras de fábrica y embovedados ..... 53

5.1.2.-Problemas de inundación de márgenes ..... 55

5.2.- DELIMITACIÓN DE ZONAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN ..... 56

5.3.- MEDIDAS DE CONSERVACIÓN Y POLICÍA ..... 56

**APENDICES: ..... 58**

1.- DATOS PREVIOS ..... 59

1.1.- Fichas de los cauces ..... 60

1.2.- PGOU ..... 61

2.- ESTUDIO HIDROLOGICO ..... 62

2.1.- Cuenca de aportación ..... 63

2.2.- Usos del suelo ..... 64

2.3.- Litología ..... 65

2.4.- Permeabilidad superficial ..... 66

2.5.- Pendientes medias ..... 67

2.6.- Umbral de escorrentía ..... 68

3.- ESTUDIO HIDRAULICO. RESULTADOS ..... 69

3.1.- CÁLCULOS CON HEC-RAS ..... 72

3.1.1.- Cuenca 1. Arroyo Piedra Horadada. T=10 años ..... 73

3.1.1.1.- Vista 3D arroyo ..... 74

3.1.1.1.1.- Todos los arroyos ..... 75

3.1.1.1.2.- Arroyo Capilla ..... 76

3.1.1.1.3.- Arroyo Piedra Horadada ..... 77

3.1.1.2.- Perfil longitudinal ..... 78

3.1.1.2.1.- Arroyo Capilla ..... 79

3.1.1.2.2.- Arroyo Piedra Horadada ..... 80

3.1.1.3.- Perfiles transversales ..... 82

3.1.1.3.1.- Arroyo Capilla ..... 83

3.1.1.3.2.- Arroyo Piedra Horadada ..... 92

3.1.1.4.- Tablas de resultados ..... 110

3.1.1.4.1.- Arroyo Capilla ..... 111

3.1.1.4.2.- Arroyo Piedra Horadada ..... 111

3.1.2.- Cuenca 2. Arroyos tributarios del río Campanillas. T=10 años ..... 113

3.1.2.1.- Cuenca 2.1. Arroyo Pilonos ..... 114

3.1.2.1.1.- Vista 3D arroyo ..... 115

3.1.2.1.2.- Perfil longitudinal ..... 117

3.1.2.1.3.- Perfiles transversales ..... 119

3.1.2.1.4.- Tablas de resultados ..... 140

3.1.2.2.- Cuenca 2.4. Arroyo Somera ..... 143

3.1.2.2.1.- Vista 3D arroyo ..... 144

3.1.2.2.2.- Perfil longitudinal ..... 146

3.1.2.2.3.- Perfiles transversales ..... 149

3.1.2.2.4.- Tablas de resultados ..... 168

3.1.2.3.- Cuenca 2.5. Arroyo Colmenarejo ..... 170

3.1.2.3.1.- Vista 3D arroyo ..... 171

3.1.2.3.2.- Perfil longitudinal ..... 173

3.1.2.3.3.- Perfiles transversales ..... 175

3.1.2.3.4.- Tablas de resultados ..... 182

3.1.3.-	Cuenca 3. Arroyo Cantos. T=10 años .....	184	3.1.6.-	Cuenca 6. Arroyo Bienquerido. T=10 años.....	367
3.1.3.1.-	Vista 3D arroyo.....	185	3.1.6.1.-	Vista 3D arroyo.....	368
3.1.3.1.1.-	Todos los arroyos .....	186	3.1.6.2.-	Perfil longitudinal .....	370
3.1.3.1.2.-	Arroyo Cantos.....	187	3.1.6.3.-	Perfiles transversales .....	373
3.1.3.1.3.-	Arroyo Valdeurraca.....	188	3.1.6.4.-	Tablas de resultados .....	378
3.1.3.1.4.-	Arroyo Costilla.....	189	3.1.7.-	Cuenca 7. Arroyo Cañuelo. T=10 años.....	380
3.1.3.2.-	Perfil longitudinal.....	190	3.1.7.1.-	Vista 3D arroyo.....	381
3.1.3.2.1.-	Arroyo Cantos.....	191	3.1.7.2.-	Perfil longitudinal .....	383
3.1.3.2.2.-	Arroyo Valdeurraca.....	195	3.1.7.3.-	Perfiles transversales .....	385
3.1.3.2.3.-	Arroyo Costilla.....	197	3.1.7.4.-	Tablas de resultados .....	390
3.1.3.3.-	Perfiles transversales .....	199	3.1.8.-	Cuenca 8. Arroyo Cañada de La Calera. T=10 años.....	392
3.1.3.3.1.-	Arroyo Cantos.....	200	3.1.8.1.-	Vista 3D arroyo.....	393
3.1.3.3.2.-	Arroyo Valdeurraca.....	232	3.1.8.2.-	Perfil longitudinal .....	395
3.1.3.3.3.-	Arroyo Costilla.....	258	3.1.8.3.-	Perfiles transversales .....	397
3.1.3.4.-	Tablas de resultados .....	284	3.1.8.4.-	Tablas de resultados .....	401
3.1.3.4.1.-	Arroyo Cantos.....	285	3.1.9.-	Cuenca 9. Arroyo Cañada de Ceuta. T=10 años.....	403
3.1.3.4.2.-	Arroyo Valdeurraca.....	287	3.1.9.1.-	Vista 3D arroyo.....	404
3.1.3.4.3.-	Arroyo Costilla.....	288	3.1.9.2.-	Perfil longitudinal .....	406
3.1.4.-	Cuenca 4. Arroyo Rojas. T=10 años .....	290	3.1.9.3.-	Perfiles transversales .....	408
3.1.4.1.-	Vista 3D arroyo.....	291	3.1.9.4.-	Tablas de resultados .....	414
3.1.4.2.-	Perfil longitudinal.....	293	3.1.10.-	Cuenca 1. Arroyo Piedra Horadada. T=500 años.....	416
3.1.4.3.-	Perfiles transversales .....	295	3.1.10.1.-	Vista 3D arroyo.....	417
3.1.4.4.-	Tablas de resultados.....	304	3.1.10.1.1.-	Todos los Arroyos .....	418
3.1.5.-	Cuenca 5. Arroyos Liria y Rebanadilla T=10 años .....	306	3.1.10.1.2.-	Arroyo Capilla.....	419
3.1.5.1.-	Vista 3D arroyo.....	307	3.1.10.1.3.-	Arroyo Piedra Horadada.....	420
3.1.5.1.1.-	Arroyo Liria.....	308	3.1.10.2.-	Perfil longitudinal .....	421
3.1.5.1.2.-	Arroyo Rebanadilla .....	309	3.1.10.2.1.-	Arroyo Capilla.....	422
3.1.5.1.3.-	Afluente del Rebanadilla .....	310	3.1.10.2.2.-	Arroyo Piedra Horadada.....	423
3.1.5.1.4.-	Tramo común arroyos Liria y Rebanadilla .....	311	3.1.10.3.-	Perfiles transversales .....	425
3.1.5.2.-	Perfil longitudinal.....	312	3.1.10.3.1.-	Arroyo Capilla.....	426
3.1.5.2.1.-	Arroyo Liria.....	313	3.1.10.3.2.-	Arroyo Piedra Horadada.....	435
3.1.5.2.2.-	Arroyo Rebanadilla .....	314	3.1.10.4.-	Tablas de resultados .....	453
3.1.5.2.3.-	Afluente del Rebanadilla .....	315	3.1.10.4.1.-	Arroyo Capilla.....	454
3.1.5.2.4.-	Tramo común arroyos Liria y Rebanadilla .....	316	3.1.10.4.2.-	Arroyo Piedra Horadada.....	454
3.1.5.3.-	Perfiles transversales .....	319	3.1.11.-	Cuenca 2. Arroyos tributarios del río Campanillas. T=500 años .....	456
3.1.5.3.1.-	Arroyo Liria.....	320	3.1.11.1.-	Cuenca 2.1. Arroyo Pilonos .....	457
3.1.5.3.2.-	Arroyo Rebanadilla .....	329	3.1.11.1.1.-	Vista 3D arroyo.....	458
3.1.5.3.3.-	Afluente del Rebanadilla .....	344	3.1.11.1.2.-	Perfil longitudinal.....	460
3.1.5.3.4.-	Tramo común arroyos Liria y anadilla.....	350	3.1.11.1.3.-	Perfiles transversales .....	462
3.1.5.4.-	Tablas de resultados.....	362	3.1.11.1.4.-	Tablas de resultados .....	483
3.1.5.4.1.-	Arroyo Liria.....	363	3.1.11.2.-	Cuenca 2.4. Arroyo Somera .....	486
3.1.5.4.2.-	Arroyo Rebanadilla .....	364	3.1.11.2.1.-	Vista 3D arroyo.....	487
3.1.5.4.3.-	Afluente del Rebanadilla .....	365	3.1.11.2.2.-	Perfil longitudinal.....	489
3.1.5.4.4.-	Tramo común arroyos Liria y Rebanadilla .....	365	3.1.11.2.3.-	Perfiles transversales .....	491
			3.1.11.2.4.-	Tablas de resultados .....	510

3.1.11.3.-	Cuenca 2.5. Arroyo Colmenarejo .....	513	3.1.14.4.-	Tablas de resultados .....	706
3.1.11.3.1.-	Vista 3D arroyo .....	514	3.1.14.4.1.-	Arroyo Liria .....	707
3.1.11.3.2.-	Perfil longitudinal.....	516	3.1.14.4.2.-	Arroyo Rebanadilla.....	708
3.1.11.3.3.-	Perfiles transversales.....	518	3.1.14.4.3.-	Afluente del Rebanadilla .....	709
3.1.11.3.4.-	Tablas de resultados.....	525	3.1.14.4.4.-	Tramo común arroyos Liria y Rebanadilla .....	709
3.1.12.-	Cuenca 3. Arroyo Cantos. T=500 años .....	527	3.1.15.-	Cuenca 6. Arroyo Bienquerido. T=500 años.....	711
3.1.12.1.-	Vista 3D arroyo.....	528	3.1.15.1.-	Vista 3D arroyo .....	712
3.1.12.1.1.-	Todos los arroyos .....	529	3.1.15.2.-	Perfil longitudinal .....	714
3.1.12.1.2.-	Arroyo Cantos .....	530	3.1.15.3.-	Perfiles transversales .....	717
3.1.12.1.3.-	Arroyo Valdeurraca .....	531	3.1.15.4.-	Tablas de resultados .....	722
3.1.12.1.4.-	Arroyo Costilla.....	532	3.1.16.-	Cuenca 7. Arroyo Cañuelo. T=500 años.....	724
3.1.12.2.-	Perfil longitudinal .....	533	3.1.16.1.-	Vista 3D arroyo .....	725
3.1.12.2.1.-	Arroyo Cantos .....	534	3.1.16.2.-	Perfil longitudinal .....	727
3.1.12.2.2.-	Arroyo Valdeurraca .....	538	3.1.16.3.-	Perfiles transversales .....	729
3.1.12.2.3.-	Arroyo Costilla.....	540	3.1.16.4.-	Tablas de resultados .....	734
3.1.12.3.-	Perfiles transversales .....	542	3.1.17.-	Cuenca 8. Arroyo Cañada de La Calera. T=500 años .....	736
3.1.12.3.1.-	Arroyo Cantos .....	543	3.1.17.1.-	Vista 3D arroyo .....	737
3.1.12.3.2.-	Arroyo Valdeurraca .....	575	3.1.17.2.-	Perfil longitudinal .....	739
3.1.12.3.3.-	Arroyo Costilla.....	601	3.1.17.3.-	Perfiles transversales .....	741
3.1.12.4.-	Tablas de resultados .....	627	3.1.17.4.-	Tablas de resultados .....	745
3.1.12.4.1.-	Arroyo Cantos .....	628	3.1.18.-	Cuenca 9. Arroyo Cañada de Ceuta. T=500 años.....	747
3.1.12.4.2.-	Arroyo Valdeurraca .....	630	3.1.18.1.-	Vista 3D arroyo .....	748
3.1.12.4.3.-	Arroyo Costilla.....	631	3.1.18.2.-	Perfil longitudinal .....	750
3.1.13.-	Cuenca 4. Arroyo Rojas. T=500 años .....	633	3.1.18.3.-	Perfiles transversales .....	752
3.1.13.1.-	Vista 3D arroyo.....	634	3.1.18.4.-	Tablas de resultados .....	758
3.1.13.2.-	Perfil longitudinal.....	636	3.2.-	ESTUDIO HIDRAULICO CON FLOW-MASTER. RESULTADOS .....	760
3.1.13.3.-	Perfiles transversales .....	638	3.2.1.-	Cuenca 3. Arroyo Cantos. T=10 años.....	761
3.1.13.4.-	Tablas de resultados .....	647	3.2.2.-	Cuenca 2.4. Arroyo Somera. T=10 años .....	779
3.1.14.-	Cuenca 5. Arroyo Liria y Rebanadilla. T=500 años .....	649	4.-	DETERMINACION DE LAS ZONAS DE DOMINIO PUBLICO, ZONAS DE SERVIDUMBRE Y ZONAS DE POLICIA .....	789
3.1.14.1.-	Vista 3D arroyo.....	650	5.-	DETERMINACION DE LAS ZONAS CON PELIGRO DE INUNDACION PARA T=500 AÑOS.....	790
3.1.14.1.1.-	Arroyo Liria.....	651			
3.1.14.1.2.-	Arroyo Rebanadilla .....	652			
3.1.14.1.3.-	Afluente del Rebanadilla .....	653			
3.1.14.1.4.-	Tramo común arroyos Liria y Rebanadilla .....	654			
3.1.14.2.-	Perfil longitudinal .....	655			
3.1.14.2.1.-	Arroyo Liria.....	656			
3.1.14.2.2.-	Arroyo Rebanadilla .....	657			
3.1.14.2.3.-	Afluente del Rebanadilla .....	658			
3.1.14.2.4.-	Tramo común arroyos Liria y Rebanadilla .....	659			
3.1.14.3.-	Perfiles transversales .....	662			
3.1.14.3.1.-	Arroyo Liria.....	663			
3.1.14.3.2.-	Arroyo Rebanadilla .....	672			
3.1.14.3.3.-	Afluente del Rebanadilla .....	688			
3.1.14.3.4.-	Tramo común arroyos Liria y Rebanadilla .....	694			

## 1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El Ayuntamiento de Málaga está redactado la Revisión-Adaptación del Plan General de Ordenación Urbana de Málaga. El documento de Avance fue aprobado con fecha 1 de julio de 2.005. La Aprobación Inicial del PGOU tuvo lugar el 26 de julio de 2.006, tras un periodo de información pública. El Ayuntamiento de Málaga, en sesión extraordinaria en pleno celebrada el 14 de agosto de 2.008, aprobó provisionalmente el documento de Revisión-Adaptación del PGOU, fechado en julio de 2.008, con carácter previo a la resolución definitiva.

Tras la recavación de los correspondientes informes sectoriales, se procede a emitir la Modificación y Corrección de Determinaciones del Documento de Revisión-Adaptación del PGOU fechado julio del 2.008, que fue aprobada por el Ayuntamiento en Acuerdo Plenario el 9 de junio de 2.009.

Actualmente se está redactando un segundo documento de Revisión-Adaptación del del Plan General de Ordenación Urbana de Málaga, que contempla, entre otras, las modificaciones necesarias a consecuencia de los informes sectoriales recabados. El presente estudio complementa el nuevo Documento de Revisión del PGOU y su objeto es definir los límites del dominio público hidráulico y sus zonas asociadas en los tramos de los cauces afectados por los desarrollos previstos en el PGOU revisado, con objeto no sólo de proteger dicho dominio, sino también de poder evitar o disminuir riesgos potenciales en áreas contiguas de propiedad privada. Recoge también las determinaciones incluidas en el informe sectorial emitido por la Agencia Andaluza del Agua con fecha 9 de febrero de 2.009, realizando las correcciones necesarias al documento inicial, redactado en febrero de 2.008.

El estudio que se incluye en el presente documento, comprende la margen izquierda del Guadalhorce desde el Campanillas al límite del término municipal, y los arroyo Cañuelo, Cañada de Ceuta, Cañada de La Calera y Bienquerido, y se ha estructurado en los siguientes puntos:

- 1) Análisis de antecedentes, donde se tratan entre otros, los siguientes puntos:
  - Recopilación y análisis de información previa.
  - Análisis topográfico general de la cuenca de aportación.
  - Estudio de la geología general de la cuenca.
  - Recopilación de información relativa a usos del suelo, pendientes del terreno y vegetación natural.
  
- 2) Estudio hidrológico, donde se analizan en detalle los siguientes apartados:
  - Determinación de la precipitación de cálculo correspondiente para diferentes periodos de retorno, en función de las prescripciones técnicas de la Agencia Andaluza del Agua.
  - Determinación del umbral de escorrentía y del coeficiente de escorrentía, a partir de la información obtenida en el análisis de antecedentes anterior.
  - Estimación del caudal de avenida correspondiente para diferentes periodos de retorno, en función de las prescripciones de la Agencia Andaluza del Agua.
  
- 3) Estudio hidráulico donde se recogen los siguientes puntos de análisis:
  - Estudio hidráulico para los caudales determinados en el estudio hidrológico.
  - Delimitación del dominio público hidráulico, zona de servidumbre y zona de policía.
  - Delimitación de la zona con riesgo de inundación para un periodo de retorno de 500 años.

En los siguientes apartados de la presente memoria, se incluye el desarrollo completo de los diferentes puntos citados en la presente introducción.

## 2.- DATOS DE PARTIDA

### 2.1.- INTRODUCCIÓN

Para el correcto estudio hidrológico-hidráulico de los arroyos objeto del presente estudio se requiere previamente de la definición de los siguientes datos:

- Cartografía vectorial.
- Datos de precipitación.
- Datos de la cuenca: geomorfológicos y geológicos del lugar, (pendientes, permeabilidad), cultivos y usos del suelo.

Seguidamente describimos la definición de los datos anteriores.

### 2.2.- CARTOGRAFÍA EMPLEADA EN LA MODELIZACIÓN

Se ha contado con la cartografía en formato digital aportada por el ICA a escala 1:10.000 de todo el término municipal. También se ha empleado la cartografía a escala 1:2.000, con curvas de nivel elevadas, aportada por la Gerencia Municipal de Urbanismo del Ayuntamiento de Málaga. Esta cartografía ha sido empleada en la modelización tridimensional de los cauces y sus márgenes, para la posterior simulación hidráulica.

La cartografía de base está restituida sobre un vuelo, y tiene un exceso de información, que ha habido que depurar muy bien para evitar errores al generar los modelos 3D del terreno.

La cartografía es del año 2.004, por lo que hay muchas zonas que aparecen en la cartografía en un estado, que no se corresponde al observado en el momento de realizar el trabajo de campo. En las zonas no cubiertas por la cartografía del año 2.004, ha sido necesario recurrir a cartografía del año 2.002.

Vistas las limitaciones de la cartografía, se decide utilizar, para los modelos en 3D del terreno, únicamente las capas con información coherente.

De este modo, se ha optado por aislar por un lado las curvas de nivel, y por otro, las nubes de puntos. En un tercer archivo se incluyen las líneas de rotura extraídas de la cartografía que pueden ser válidas para generar un modelo 3D más acorde con la realidad, además de otras líneas de rotura, dibujadas a mano, que ayuden a generar un mejor modelo.

Así, para que los longitudinales de los arroyos salgan sin escalonar, se han dibujado polilíneas 3D por el eje del cauce, de curva a curva de nivel, y, en algunos casos, también en las márgenes.

Con estos 3 ficheros (curvas, puntos y rotura), mediante el uso del programa ARCMAP/GEORAS, se han generado los modelos 3D (ficheros TIN) sobre los que trabajar.

En el caso de la cuenca 5 (arroyos Liria y Rebanadilla), para la zona inferior se ha empleado un levantamiento topográfico a escala 1:1.000, más detallado que la cartografía de la Gerencia Municipal de Urbanismo, aportado por NARVAL INGENIERÍA.

### 2.3.- DATOS DE PRECIPITACIÓN

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.

### 2.4.- DATOS DE LA CUENCA

Para la simulación hidrológica se ha partido de la siguiente información:

- Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 del Instituto Geológico y Minero de España.
- Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de la Consejería de Medioambiente de la Junta de Andalucía, a escala 1:50.000.
- Instrucción de Drenaje 5.2-IC "Drenaje superficial".
- Cartografía del ICA a escala 1:10.000 y la cartografía a escala 1:2.000 y 1:1.000, con curvas de nivel elevadas, aportada por la Gerencia Municipal de Urbanismo del Ayuntamiento de Málaga para determinación de pendientes, delimitación de cuencas y trazado de cauces.
- Primer Documento de Aprobación Provisional del Plan General de Ordenación Urbana.

### 3.- ESTUDIO HIDROLÓGICO

#### 3.1.- OBJETIVO DE LA SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

El principal objetivo de la presente simulación hidrológica, es el obtener los diferentes caudales de avenidas, según diferentes períodos de retorno, para los cauces identificados en el presente estudio.

Los períodos de retorno que se han considerado en el presente estudio han sido los siguientes:

- 2 años.
- 5 años.
- 10 años.
- 25 años.
- 50 años.
- 100 años.
- 500 años.
- 1.000 años.

Para la determinación de dichos caudales, se ha seguido la metodología propuesta por la Instrucción de Carreteras 5.2-IC "Drenaje Superficial", con la modificación propuesta por Témex.

Para el caso de los caudales correspondientes al periodo de retorno de 500 años se ha adoptado el mayor de los siguientes valores:

- 1.- El obtenido aplicando el método racional de la Instrucción de carreteras 5.2-IC “Drenaje Superficial”, con la modificación propuesta por Témez.
- 2.- El obtenido teniendo en cuenta los siguientes valores de caudal, en función de la superficie de la cuenca:

Superficie (Km <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Tipo de terreno
0-5	20	Rústicos y urbanos
5-20	20-15	Rústicos
20-30	20-15	Urbanos

- 3.- El obtenido considerando las siguientes fórmulas empíricas:

$$20 < S < 25 \text{ Km}^2 \Rightarrow Q = 45 \cdot S^{0,636}$$

$$S \geq 25 \text{ Km}^2 \Rightarrow Q = 65.54 \cdot S^{0,522}$$

En el caso de cuencas con más de 30 km<sup>2</sup>, sólo se han considerado, a la hora de calcular el caudal de 500 años, los puntos 1 y 3.

Al mismo tiempo se han tenido también en las recomendaciones de la Agencia Andaluza del Agua para el cálculo del coeficiente de escorrentía.

Los caudales determinados en la presente simulación hidrológica son los que posteriormente se emplean para calcular las líneas de ocupación del agua para cada período de retorno.

### 3.2.- DESCRIPCIÓN DE LAS CUENCAS OBJETO DE ESTUDIO

Mediante tratamiento cartográfico de los cauces considerados en el presente estudio, se han determinado un total de 9 cuencas diferenciadas. Estas son las siguientes:

- Cuenca 1. Arroyo Piedra Horadada. Es tributario del río Campanillas pero se estudia sólo un tramo del mismo.
- Cuenca 2. Arroyos tributarios del Campanillas. Se incluyen aquí los arroyos tributarios del río Campanillas que se han estudiado hasta su ingerencia en el mismo. Estos son:
  - Cuenca 2.1. Arroyo Pilonés.
  - Cuenca 2.3. Arroyo Ciprés.
  - Cuenca 2.4. Arroyo Somera.
  - Cuenca 2.5. Arroyo Colmenarejo.

Inicialmente, en el estudio se incluyó la cuenca completa del río Campanillas. Finalmente, a petición expresa de la GMU, se eliminó el estudio del Campanillas. Algo similar ha ocurrido con el arroyo Ciprés, ya que, si bien se incluyó inicialmente en el estudio hidrológico, finalmente, a petición expresa de la GMU, se ha omitido en el presente documento el estudio hidráulico realizado.
- Cuenca 3. Arroyo Cantos.
- Cuenca 4. Arroyo Rojas.
- Cuenca 5. Arroyos Liria-Rebanadilla.
- Cuenca 6. Arroyo Bienquerido.
- Cuenca 7. Arroyo Cañuelo.

- Cuenca 8. Arroyo Cañada de La Calera.
- Cuenca 9. Arroyo Cañada de Ceuta.

Para la delimitación de las cuencas y subcuencas se ha partido de las cartografía a escala 1:10.000 del ICA, además de la cartografía a escala 1:2.000 y 1:1.000 aportada por la Gerencia Municipal de Urbanismo del Ayuntamiento de Málaga.

En lo que se refiere a las pendientes del terreno, la cuenca 1 (arroyos Piedra Horadada y Capilla) tiene pendientes que oscilan entre un 7 y un 15%.

Respecto a la cuenca 2 (arroyos tributarios del río Campanillas), tenemos las siguientes pendientes:

- Cuenca 2.1 (arroyo Pilonos). Pendientes superiores al 45% en el cuarto superior, que bajan hasta un 15% en el siguiente cuarto. En la mitad inferior oscilan entre un 3 y un 7%.
- Cuenca 2.2 (tramo del río Campanillas). Pendientes entre un 3 y un 7%.
- Cuencas 2.3, 2.4 y 2.5 (arroyos Ciprés, Somera y Colmenarejo, respectivamente). Pendientes entre un 7 y un 15%.
- Cuenca 2.6 (tramo del río Campanillas). Pendientes del 7 al 15% en su tercio superior, que pasan a ser del 3 al 7% en su tercio central, descendiendo del 2% al 0% en su tercio inferior.
- Cuenca 4 (arroyo Rojas). Pendientes del 2 al 0%.

- Cuenca 5 (arroyos Liria y Rebanadilla). Presenta pendientes del 3 al 7% en su mitad superior, y del 2 al 0% en su mitad inferior.
- Cuenca 6 (arroyo Bienquerido). Presenta pendientes del 30 al 15% en su mitad superior, descendiendo hasta un 3% en su mitad inferior.
- Cuenca 7 (arroyo Cañuelo). Presenta pendientes entre un 7 y un 3%.
- Cuenca 8 (La Calera). Presenta pendientes del 45% al 30% en su mitad superior, descendiendo hasta el 3% en su mitad inferior.
- Cuenca 9 (Cañada de Ceuta). Presenta pendientes del 45% al 30% en su mitad superior, descendiendo hasta el 3% en su mitad inferior.

Por último, en lo que a cubierta vegetal se refiere, aunque la mayor parte de los tramos a estudiar están ocupados por zonas urbanas o urbanizables, en lo que se refiere a las cuencas de aportación, existen gran variedad de usos del suelo, entre los que cabe distinguir los cultivos herbáceos y leñosos, cítricos, formaciones arboladas densas, matorral denso y disperso con pastizal o con arbolado, olivar o pastizal.

### 3.2.1.- División en subcuencas

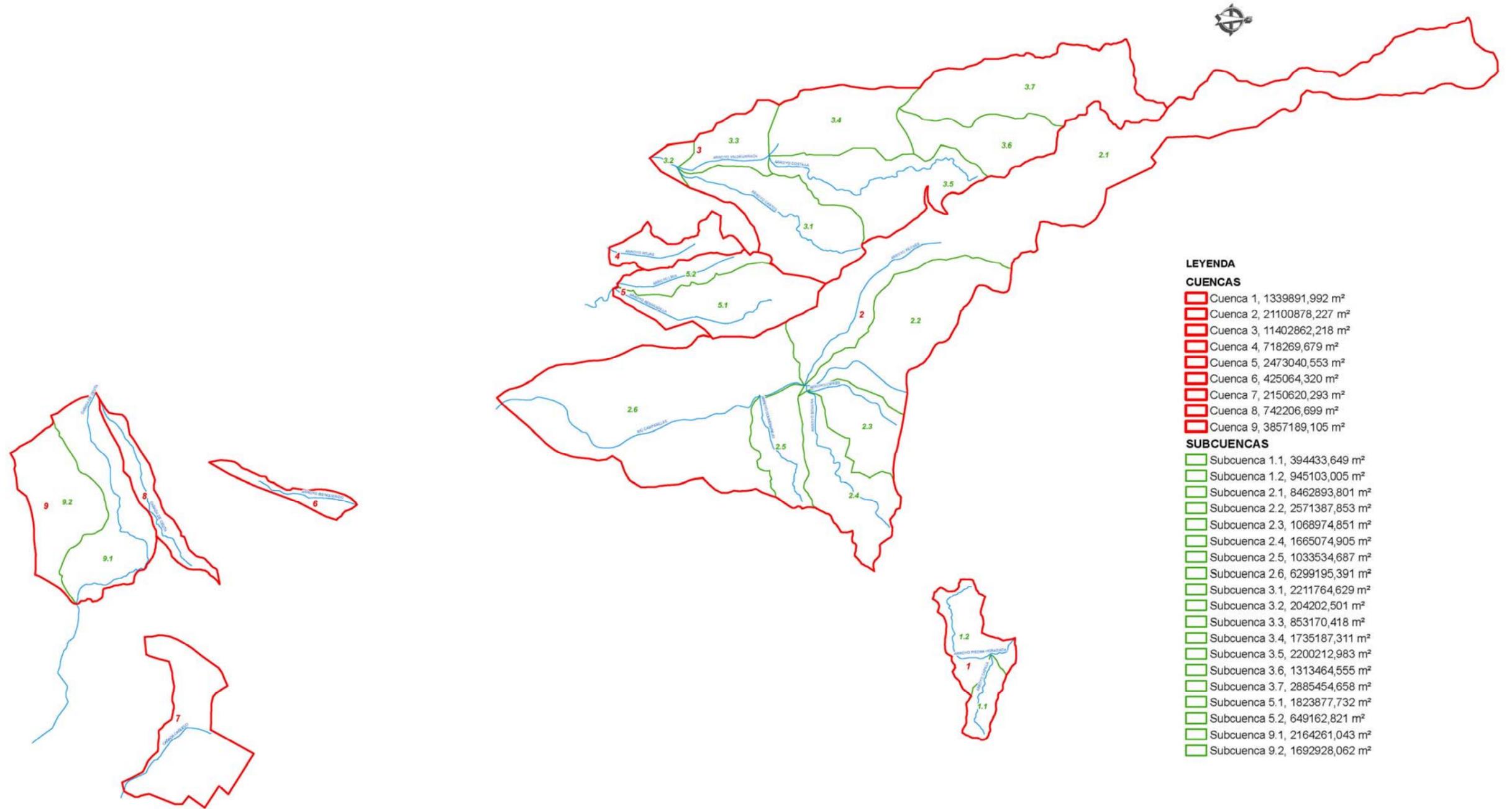
Como se dijo en la introducción, se han identificado un total de 9 cuencas diferenciadas, con características hidrológicas homogéneas dentro de cada unidad. La subdivisión de cuencas y subcuencas se ha realizado sobre cartografía a escala 1:10.000 y 1:2.000.

La superficie total de las cuencas estudiadas es de 3.537,06 Has, distribuidas de la siguiente manera:

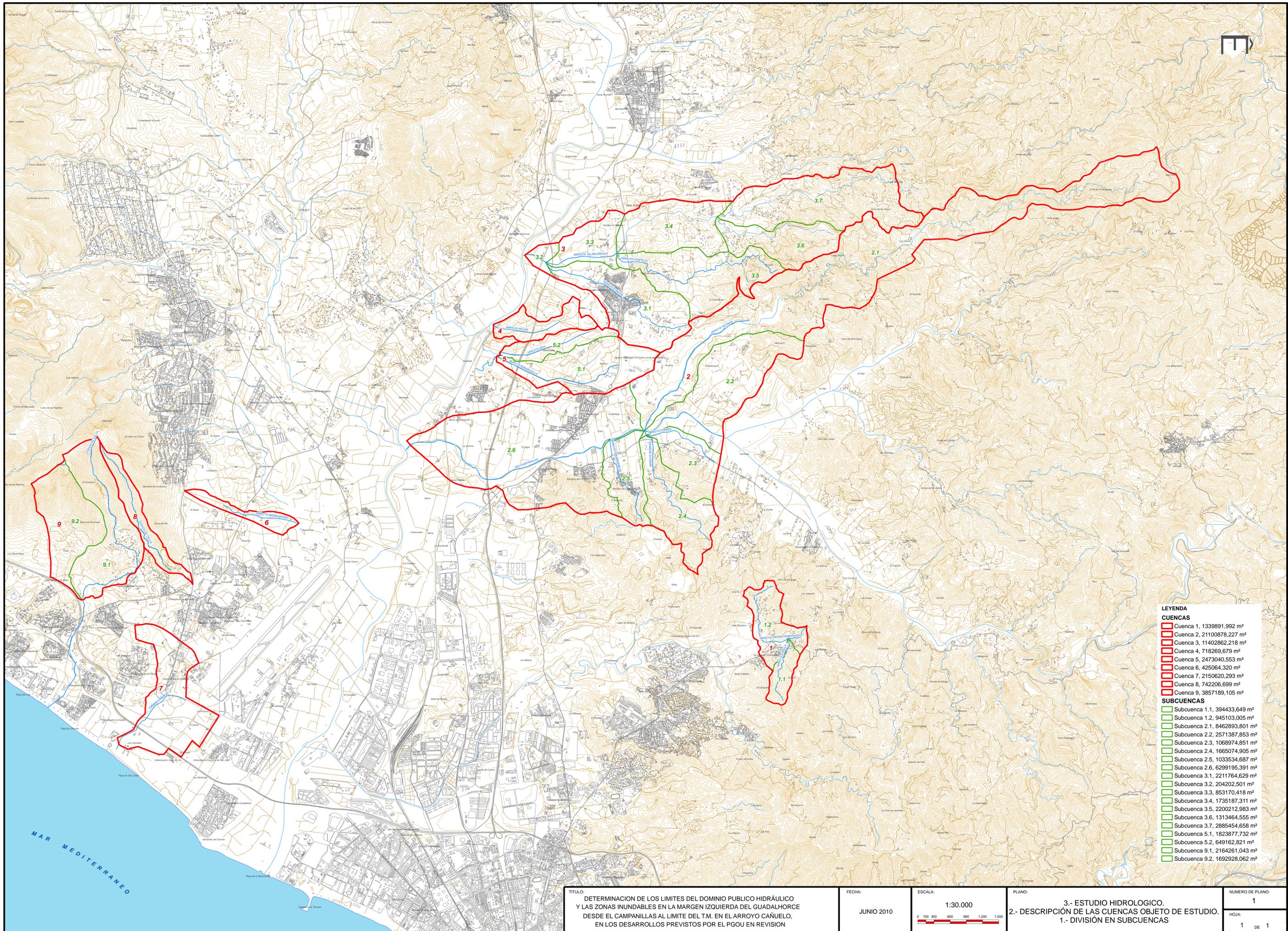
CÓDIGO		NOMBRE	S (Ha)
1	1	Capilla	39.5
1	2	Arroyo Piedra Horadada	94.5
2	1	Arroyo Pilonos	846.3
2	3	Arroyo Ciprés	106.9
2	4	Arroyo Somera	166.9
2	5	Colmenarejo	102.6
3	7	Valdeurraca	288.5
3	6	Valdeurraca	131.3
3	4	Valdeurraca	173.5
3	5	Costilla	220.0
3	3	Valdeurraca	85.3
3	1	Cantos	221.2
3	2	Valdeurraca	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

En la siguiente figura y en el apéndice 2 del presente anejo, se puede observar gráficamente la distribución espacial de las cuencas y subcuencas consideradas en el estudio, así como la denominación adoptada para cada una de ellas.

División en cuencas y subcuencas



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



**LEYENDA**

**CUENCAS**

- Cuenca 1, 1339891,992 m<sup>2</sup>
- Cuenca 2, 21100878,227 m<sup>2</sup>
- Cuenca 3, 11402862,218 m<sup>2</sup>
- Cuenca 4, 718269,679 m<sup>2</sup>
- Cuenca 5, 2473040,553 m<sup>2</sup>
- Cuenca 6, 425064,320 m<sup>2</sup>
- Cuenca 7, 2150620,293 m<sup>2</sup>
- Cuenca 8, 742206,699 m<sup>2</sup>
- Cuenca 9, 3857189,105 m<sup>2</sup>

**SUBCUENCAS**

- Subcuenca 1.1, 394433,649 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 1.2, 945103,005 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 2.1, 8462893,801 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 2.2, 2571387,853 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 2.3, 1068974,851 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 2.4, 1665074,905 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 2.5, 1033534,687 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 2.6, 6299195,391 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 3.1, 2211764,629 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 3.2, 204202,501 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 3.3, 853170,418 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 3.4, 1735187,311 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 3.5, 2200212,983 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 3.6, 1313464,555 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 3.7, 2885454,658 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 5.1, 1823877,732 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 5.2, 649162,821 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 9.1, 2164261,043 m<sup>2</sup>
- Subcuenca 9.2, 1692928,062 m<sup>2</sup>

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.  
 2.- DESCRIPCION DE LAS CUENCAS OBJETO DE ESTUDIO.  
 1.- DIVISION EN SUBCUENCAS

NUMERO DE PLANO:  
 1  
 HOJA:  
 1 DE 1

### 3.2.2.- Caracterización morfológica

Por otro lado, se han obtenido una serie de indicadores morfológicos para cada una de las cuencas y subcuencas analizadas. Los parámetros que se han determinado son los siguientes:

- **S:** Superficie en Has.
- **P:** Perímetro en km.
- **C.Sup:** Cota superior de la cuenca de aportación en m.
- **C.Inf:** Cota inferior de la cuenca de aportación en m.
- **L:** Longitud del cauce principal en km.
- **i:** Pendiente media del cauce principal en tantos por uno.

CÓDIGO	NOMBRE	S (Ha)	Pe (m)	Pe (Km)	Z máx (m)	Z mín (m)	L (Km)	J (m/m)
1   1	Capilla	39.5	2962.2	2.96	244.00	110.00	1.41	0.095
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>39.5</b>	<b>2962.2</b>	<b>2.96</b>	<b>244.00</b>	<b>110.00</b>	<b>1.41</b>	<b>0.095</b>
1   2	Arroyo Piedra Horadada	94.5	5479.1	5.48	237.00	90.00	2.32	0.063
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>134.0</b>	<b>6303.2</b>	<b>6.30</b>	<b>237.00</b>	<b>90.00</b>	<b>2.32</b>	<b>0.063</b>
2   1	Arroyo Pilonos	846.3	28048.5	28.05	794.00	30.00	15.65	0.049
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>846.3</b>	<b>28048.5</b>	<b>28.05</b>	<b>794.00</b>	<b>30.00</b>	<b>15.65</b>	<b>0.049</b>
2   3	Arroyo Ciprés	106.9	4875.9	4.88	194.00	30.00	2.28	0.072
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>106.9</b>	<b>4875.9</b>	<b>4.88</b>	<b>194.00</b>	<b>30.00</b>	<b>2.28</b>	<b>0.072</b>
2   4	Arroyo Somera	166.9	7077.8	7.08	250.00	30.00	3.42	0.064
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>166.9</b>	<b>7077.8</b>	<b>7.08</b>	<b>250.00</b>	<b>30.00</b>	<b>3.42</b>	<b>0.064</b>
2   5	Colmenarejo	102.6	5056.6	5.06	205.38	26.00	2.02	0.089
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>102.63</b>	<b>4982.1</b>	<b>4.98</b>	<b>205.38</b>	<b>26.00</b>	<b>2.02</b>	<b>0.089</b>
3   7	Valdeurraca	288.5	9787.1	9.79	294.00	53.00	5.34	0.045
3   6	Valdeurraca	131.3	6229.2	6.23	217.00	53.00	3.12	0.052
3   4	Valdeurraca	173.5	6207.5	6.21	53.00	28.00	2.44	0.010
3   5	Costilla	220.0	8843.3	8.84	280.96	28.00	4.09	0.062
3   3	Valdeurraca	85.3	4473.4	4.47	28.00	23.00	1.43	0.003
3   1	Cantos	221.2	7345.1	7.35	62.00	23.00	3.28	0.012
3   2	Valdeurraca	20.4	2255.0	2.25	23.00	20.00	0.38	0.008
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>1,140.35</b>	<b>19859.0</b>	<b>19.86</b>	<b>294.00</b>	<b>20.00</b>	<b>9.60</b>	<b>0.029</b>
7	Arroyo Cañuelo	215.1	8288.7	8.29	68.00	1.50	3.40	0.020
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>215.06</b>	<b>8288.7</b>	<b>8.29</b>	<b>68.00</b>	<b>1.50</b>	<b>3.40</b>	<b>0.020</b>
4	Rojas	72.1	5304.0	5.30	48.00	16.00	2.18	0.015
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>72.08</b>	<b>5304.0</b>	<b>5.30</b>	<b>48.00</b>	<b>16.00</b>	<b>2.18</b>	<b>0.015</b>
5   2	Liria	65.0	5138.5	5.14	61.65	16.00	2.55	0.018
5   1	Rebanadilla	182.4	7158.5	7.16	53.00	16.00	3.49	0.011
5   3	Tramo común	2.9	790.0	0.79	16.00	15.50	0.17	0.003
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>250.33</b>	<b>7547.7</b>	<b>7.55</b>	<b>61.65</b>	<b>15.50</b>	<b>3.66</b>	<b>0.013</b>
8	Cañada de la Calera	74.2	6757.7	6.76	606.50	67.50	3.55	0.152
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>74.22</b>	<b>6757.7</b>	<b>6.76</b>	<b>606.50</b>	<b>67.50</b>	<b>3.55</b>	<b>0.152</b>
9	Cañada de Ceuta	216.4	8230.7	8.23	606.50	44.00	4.31	0.131
9	Cañada de Ceuta	169.3	6681.5	6.68	598.06	44.00	3.06	0.181
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>385.72</b>	<b>8245.8</b>	<b>8.25</b>	<b>606.50</b>	<b>44.00</b>	<b>4.31</b>	<b>0.131</b>
6	Bienquerido	42.5	4698.0	4.70	106.74	13.27	2.29	0.041
	<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>42.51</b>	<b>4698.0</b>	<b>4.70</b>	<b>106.74</b>	<b>13.27</b>	<b>2.29</b>	<b>0.041</b>

**3.2.3.- Tiempo de concentración.**

Otro concepto fundamental a la hora de analizar el caudal aportado por cada cuenca, es el tiempo de concentración de la misma, definido como el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de agua de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca.

Este parámetro se determina mediante diferentes fórmulas empíricas. En nuestro caso, dada la enorme tradición existente, se ha empleado la fórmula de Témez que es además la que propone la instrucción de drenaje:

$$T_c = 0,3 \times \left( \frac{L}{i^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Los valores obtenidos son los siguientes, expresados en horas:

CÓDIGO	NOMBRE	Tc (h)	
1	1	Capilla	0.61
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>0.61</b>
1	2	Arroyo Piedra Horadada	0.96
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>0.96</b>
2	1	Arroyo Pilonos	4.31
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>4.31</b>
2	3	Arroyo Ciprés	0.93
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>0.93</b>
2	4	Arroyo Somera	1.29
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>1.29</b>
2	5	Colmenarejo	0.81
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>0.81</b>
3	7	Valdeurraca	1.93
3	6	Valdeurraca	1.25
3	4	Valdeurraca	1.41
3	5	Costilla	1.48
3	3	Valdeurraca	1.15
3	1	Cantos	1.72

CÓDIGO	NOMBRE	Tc (h)	
3	2	Valdeurraca	0.36
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>3.29</b>
7		Arroyo Cañuelo	1.61
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>1.61</b>
4		Rojas	1.21
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>1.21</b>
5	2	Liria	1.31
5	1	Rebanadilla	1.84
5	3	Tramo común	0.24
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>1.85</b>
8		Cañada de la Calera	1.12
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>1.12</b>
9		Cañada de Ceuta	1.34
9		Cañada de Ceuta	0.97
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>1.34</b>
6		Bienquerido	1.03
		<b>TOTAL DE LA CUENCA</b>	<b>1.03</b>

**3.3.- CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA**

Para determinar la respuesta de una cuenca a un determinado episodio lluvioso, se hace necesario obtener la lluvia que genera dicha escorrentía, es decir, la lluvia neta o exceso de lluvia.

En el caso de la instrucción de drenaje se define el coeficiente de escorrentía, que es la proporción de la componente superficial de la precipitación de intensidad I, y depende de la razón entre la precipitación diaria Pd, correspondiente a un determinado período de retorno, y el umbral de escorrentía Po a partir del cual se inicia ésta.

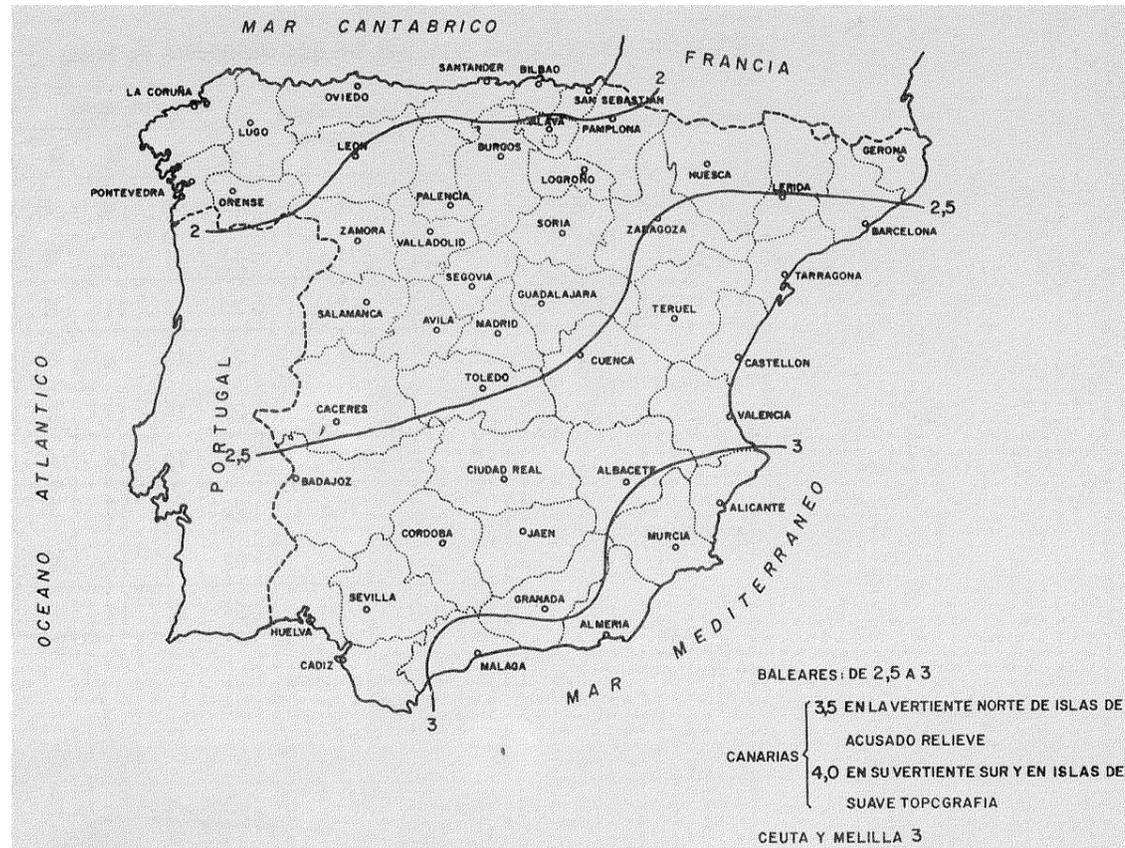
La fórmula propuesta por la instrucción es:

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

siendo:

- C = coeficiente de escorrentía.
- $P_d$  = precipitación máxima diaria.
- $P_o$  = umbral de escorrentía.

Para estimar  $P_o$  se siguen las indicaciones recogidas en la citada instrucción, en función del grupo de suelo y uso del suelo. Dicho parámetro se afecta además por un coeficiente corrector en función de la situación geográfica de la cuenca, según la figura adjunta. En nuestro caso, se ha optado por tomar el valor 3,1 para dicho coeficiente corrector.



**Coeficiente corrector para el umbral de escorrentía.**

En cualquier caso, como paso previo y necesario para la definición del complejo hidrológico presente en el área de estudio, se hace necesario elaborar una serie de planos temáticos geográficos, con información de la vegetación y usos del suelo, la litología y permeabilidades del terreno, y las pendientes medias de las diferentes cuencas y subcuencas.

**3.3.1.- Vegetación y usos del suelo**

El aspecto fundamental considerado para la obtención del umbral de escorrentía es el tipo de cubierta del suelo, conjuntamente con el tipo de tratamiento en el caso de cultivos. La documentación básica de partida para la elaboración de este plano ha sido el “Mapa de Cultivos y Aprovechamientos” de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, a escala 1:50.000. 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.
- 2.- Situación futura, 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.

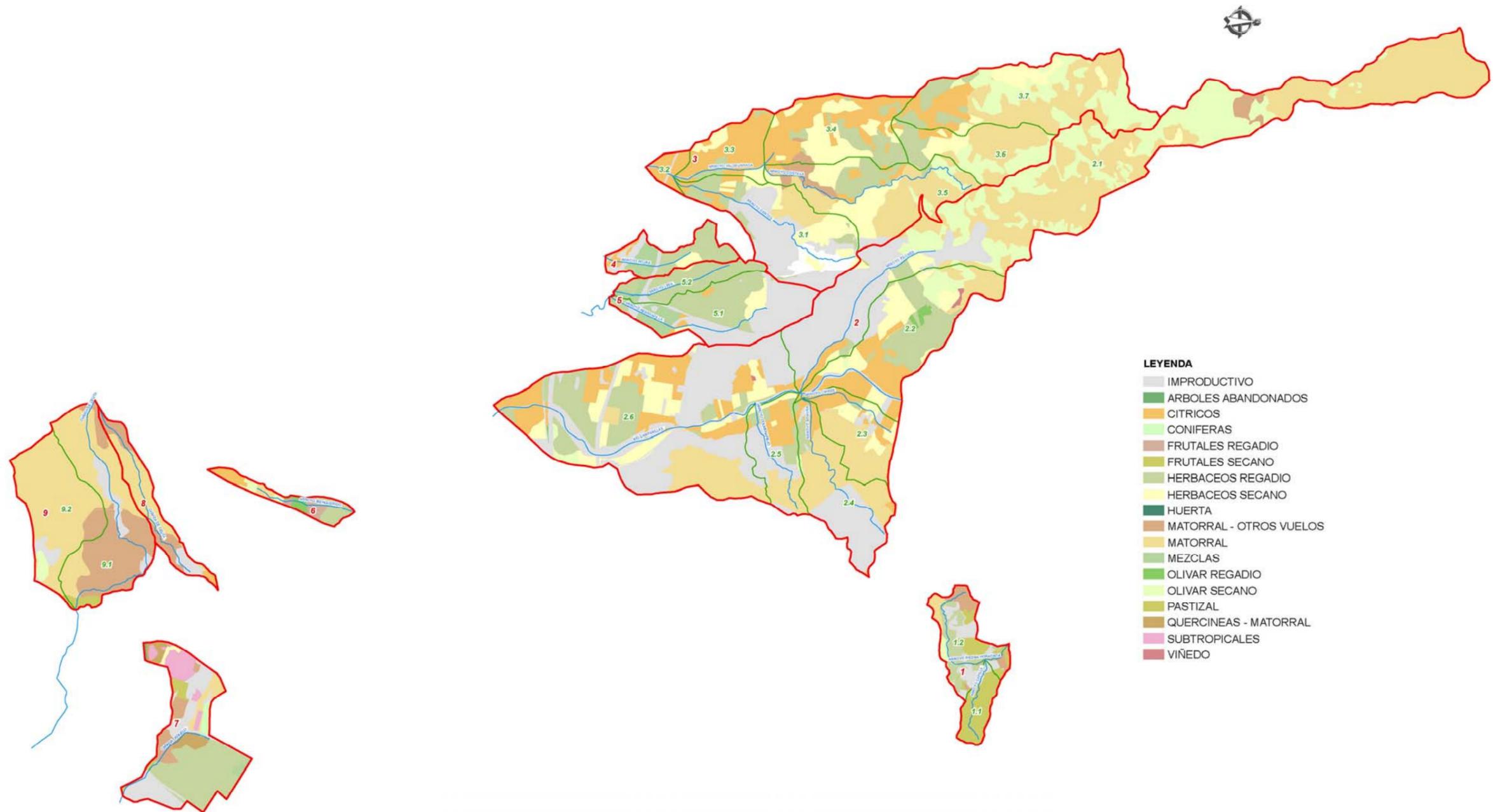
Según el Mapa de Cultivos mencionado, se han identificado los siguientes cultivos:

- Cultivos herbáceos.
- Cultivos leñosos.
- Cítricos.
- Cultivos forzados bajo plástico.
- Formaciones arboladas densas.
- Frutas tropicales.
- Matorral denso con y sin arbolado.

- 
- Matorral disperso con pastizal y con arbolado.
  - Olivar seco.
  - Olivar regadío.
  - Olivar abandonado.
  - Pastizal.
  - Viñedo.
  - Formaciones riparias.
  - Zonas mineras.
  - Zonas sin vegetación por roturación.
  - Infraestructuras (aeropuertos, autovías, autopistas y enlaces).
  - Balsas de riego.
  - Embalses, ríos y cauces.
  - Equipamientos deportivos.
  - Tejido urbano.

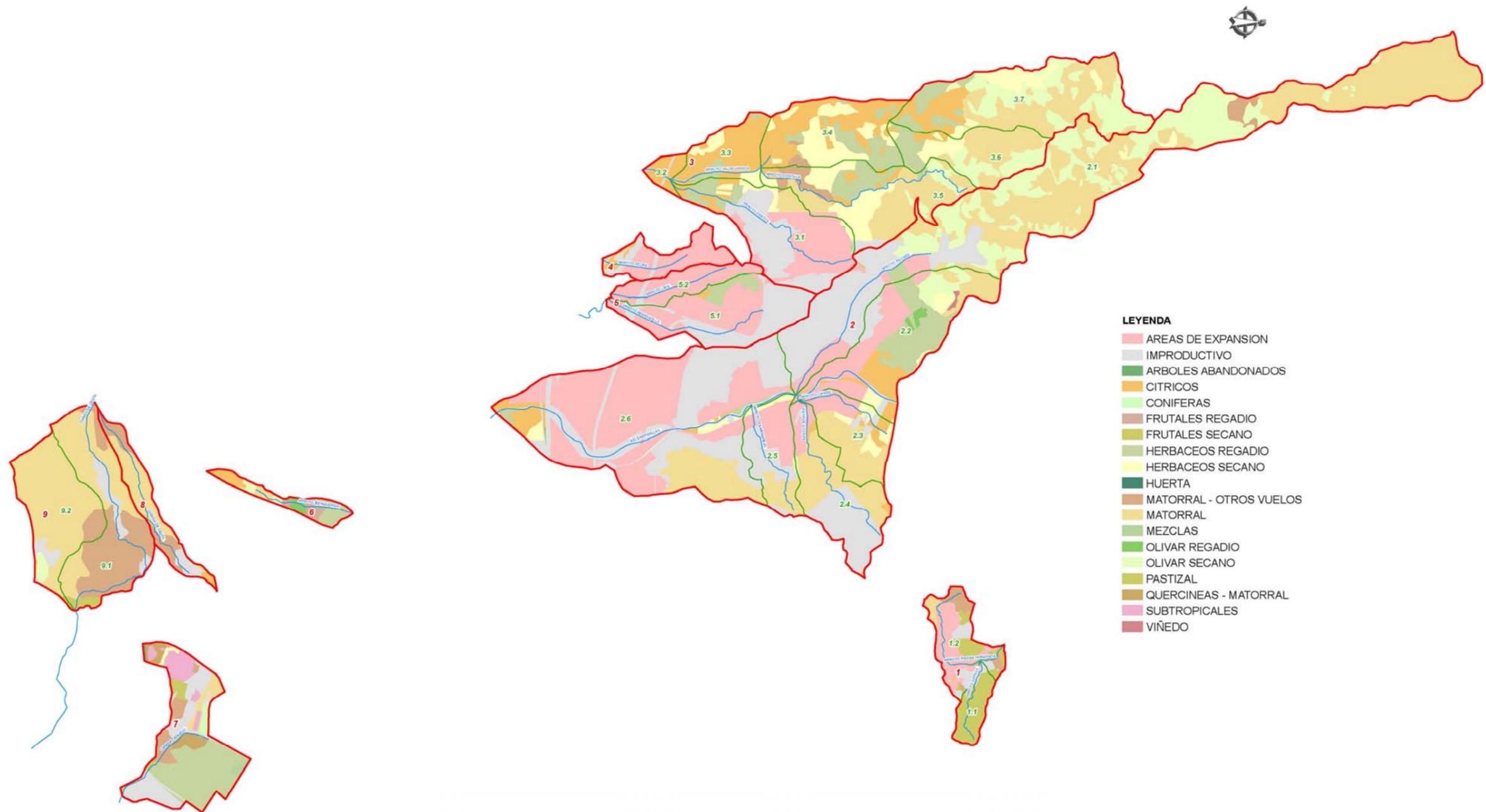
En las figuras adjuntas y en el apéndice 2 se muestra el plano de vegetación y usos de suelo que se ha utilizado en el presente estudio para obtener, conjuntamente con los planos de litología, permeabilidades y pendientes (analizados en sendos apartados a continuación), la distribución del umbral de escorrentía para cada subcuenca, en cada uno de los dos casos anteriormente mencionados (situación actual-PGOU vigente y situación futura-PGOU en revisión).

Mapa de usos del suelo. 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

Mapa de usos del suelo. 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