

ANEJO N° 5.
ESTUDIO HIDROLÓGICO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.	2
1.1. OBJETO.	2
1.2. METODOLOGÍA.	2
1.3. LOCALIZACIÓN.	3
2. CLIMATOLOGÍA.	5
2.1. ENCUADRE CLIMÁTICO GENERAL.	5
2.2. TEMPERATURAS.	6
2.3. PRECIPITACIONES.	8
2.4. BALANCE HÍDRICO.	9
2.5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.	12
3. ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO.	15
3.1. INTRODUCCIÓN.	15
3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS FORMAS DEL RELIEVE DE LAS CUENCAS ESTUDIADAS.	16
3.2.1. CARACTERÍSTICAS MORFOESTRUCTURALES.	16
3.2.2. TOPOGRAFÍA.	17
3.2.3. GEOMORFOLOGÍA.	21
3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS ESTUDIADAS.	23
3.3.1. PARÁMETROS RELATIVOS A LA CUENCA VERTIENTE Y RED DE DRENAJE.	23
3.3.2. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO.	27
4. ESTUDIO HISTÓRICO.	28
5. ANÁLISIS HIDROLÓGICO.	30
5.1. RASGOS GENERALES.	30
5.2. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA.	33
5.2.1. APROXIMACIÓN A LOS EPISODIOS LLUVIOSOS EXCEPCIONALES.	33
5.2.2. MÁXIMAS PRECIPITACIONES DIARIAS (Pd).	34
5.2.3. ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO.	40
5.3. PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS (Pd) CONSIDERADAS PARA EL CÁLCULO DE LOS CAUDALES PUNTA.	42
5.4. CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE ESCORRENTÍA.	44
5.4.1. MÉTODOS DE CÁLCULO.	44
5.4.2. ESTIMACIÓN DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA.	50
5.4.3. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.	56
5.5. CAUDALES DE REFERENCIA.	56
5.5.1. DEFINICIÓN DE SUBCUENCAS Y PUNTOS DE CONTROL.	56
5.5.2. RESULTADOS OBTENIDOS.	60

APÉNDICES

I. PLANO: LOCALIZACIÓN DE LAS CUENCAS VERTIENTES.

II. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS VERTIENTES.

III. RESULTADOS NUMÉRICOS Y GRÁFICOS DEL MODELO HEC-HMS.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. OBJETO.

El objeto del presente estudio es la determinación de los caudales de avenida, para distintos periodos de retorno, de las cuencas de drenaje que vierten la escorrentía superficial, generada en episodios lluviosos intensos, en la población de Santiago de la Ribera (Municipio de San Javier).

El objetivo final de este estudio es obtener unos caudales de referencia en distintos puntos de control que sirvan de base para el posterior dimensionamiento de las actuaciones propuestas encaminadas a evitar sucesos de inundación en distintos sectores del casco urbano de Santiago de la Ribera.

1.2. METODOLOGÍA.

El estudio se divide en dos bloques principales que constituyen, a su vez, las distintas fases necesarias para obtener los cálculos hidráulicos y la afección del sector estudiado por la generación de los caudales de avenida:

- Delimitación y estudio físico y geomorfológico de las cuencas de drenaje.
- Estudio hidrológico de las cuencas.

Se realiza el estudio hidrológico de las cuencas de drenaje de las ramblas del Mirador y Cobatillas, más una pequeña cuenca urbana emplazada en Santiago de la Ribera, partiendo de los datos de precipitaciones, cartografía referente a usos del suelo, edafología, geología y topografía, fotografías aéreas y secciones transversales levantadas en campo.

En este caso, el objetivo de la modelación hidrológica es la obtención, para diferentes niveles de frecuencia, del caudal pico de crecida correspondiente. Para ello, en primer lugar, se obtienen para esas frecuencias las precipitaciones máximas diarias. En una segunda fase, mediante un modelo de transformación de la lluvia en escorrentía, se convierten éstas en caudales máximos.

1.3. LOCALIZACIÓN.

La red de drenaje superficial que confluye en el casco urbano de Santiago de la Ribera, antes de su desagüe en la laguna litoral del Mar Menor, está constituida básicamente por las cuencas vertientes que conforman las ramblas de Cobatillas y el Mirador. Además de estas dos cuencas hay que añadir la drenada por la Rambla del Aeropuerto que, si bien desemboca al Sur del casco urbano de Santiago de la Ribera, ha sido incluida en el presente Estudio para la posterior propuesta y definición de las actuaciones encaminadas a reducir la afección en la trama urbana por generación de escorrentía superficial en eventos de intensas precipitaciones.

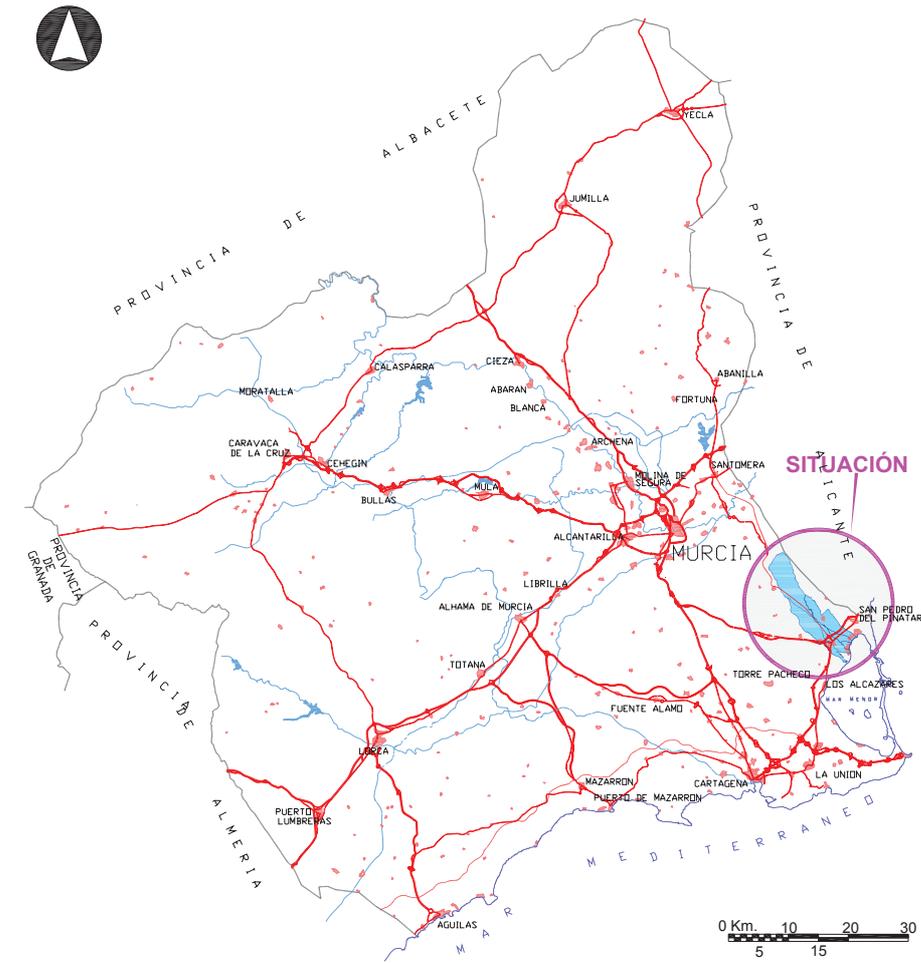
El conjunto de esta red de drenaje analizada pertenece a la unidad hidrográfica del Campo de Cartagena, si bien no está conectada con el colector principal de esta unidad: la Rambla del Albuñón. Además de las tres cuencas delimitadas para el presente estudio, existe un pequeño sector independiente emplazado en el entorno de Santiago de la Ribera que drena las aguas de escorrentía, principalmente sobre superficies urbanizadas, hacia el Mar Menor.

Las cuencas de las ramblas de Cobatillas, el Mirador y el Aeropuerto quedan localizadas geográficamente en el Sureste de la Región de Murcia, en los términos municipales de Murcia, San Javier y San Pedro del Pinatar.

La cuenca de la Rambla del Mirador abarca una superficie de 16,22 Km² que se extienden desde su cabecera hidrográfica en el Paraje del Hornero (T.M. de Murcia) hasta Santiago de la Ribera, punto donde su cauce principal desagua.

Por su parte, la cuenca de drenaje de la Rambla de Cobatillas presenta una superficie mayor (36,49 Km²) que recoge las aguas de escorrentía de varias subcuencas: Barranco de la Grajera, Rambla de las Higueras y Barranco del Agua. La cabecera hidrográfica se localiza en los relieves prelitorales de la Sierra de Escalona, más al Norte en relación a la Rambla del Mirador y la desembocadura se produce igualmente en la localidad de Santiago de la Ribera.

Por último, la cuenca de la Rambla del Aeropuerto, con una superficie de su red de drenaje de 17,39 Km², presenta una cabecera caracterizada por un relieve poco contrastado (Paraje de Cañada Marín), situado aguas arriba del Canal del Campo de Cartagena. Como consecuencia de un relieve de carácter marcadamente llano tanto el cauce principal como los cursos tributarios tienen una escasa definición geomorfológica estando en la mayor parte de los casos ocupados por cultivos agrícolas. La desembocadura de esta rambla se emplaza a la altura del Aeropuerto de San Javier poco antes de desagüe en el Mar Menor.



Localización geográfica de las cuencas estudiadas

2. CLIMATOLOGÍA.

2.1. ENCUADRE CLIMÁTICO GENERAL.

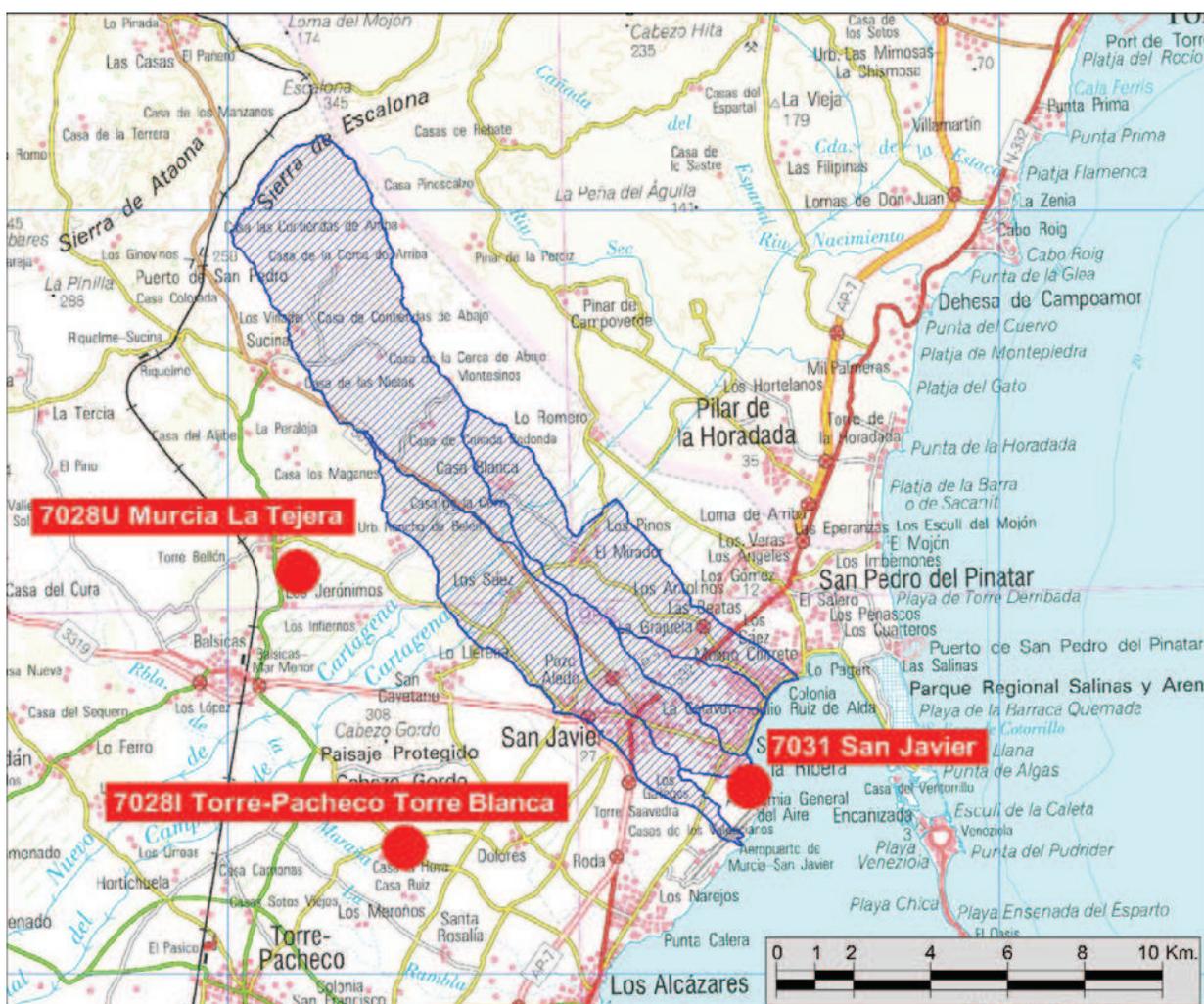
El clima de este sector se incluye dentro del dominio de los climas mediterráneos, concretamente submediterráneo (dentro del conjunto xérico) según la clasificación bioclimática de la UNESCO-FAO. Sin embargo, este encuadramiento es tan general como impreciso debido a la gran variabilidad espaciotemporal del clima mediterráneo. De acuerdo con diversas clasificaciones climáticas, el clima mediterráneo se extiende latitudinalmente entre los 30 y 45° N y S, con inviernos húmedos y veranos secos, pero con la particularidad de una precipitación total anual que incluye desde zonas áridas y semiáridas hasta zonas subhúmedas y húmedas. Además se incluyen zonas aisladas en toda la cuenca mediterránea de climas muy variados que se dan entre espacios muy reducidos como climas de estepa (calurosos o fríos), semidesérticos, etc.

En el caso de la superficie de estudio, el clima se encuentra determinado por una serie de factores fisiográficos y meteorológicos que causan, dentro del ámbito del clima mediterráneo, unas características propias que lo diferencian, a nivel microclimático, de zonas de igual latitud, altitud e incluso circundantes geográficamente.

En este contexto regional, la disposición orográfica de las Béticas dificulta, a grandes rasgos, la extensión de las influencias marítimas atlánticas quedando a sotavento de las repercusiones que dan lugar los tipos de tiempo ciclónicos atlánticos, presentando un claro dominio el ámbito mediterráneo en sus caracteres termopluiométricos. De esta manera, la trascendencia pluviométrica, de las elevaciones orográficas que enmarcan las cuencas analizadas, se deja sentir negativamente, con respecto a los flujos húmedos superficiales procedentes del océano, sometiéndolos a un intenso efecto Föhn, ya que se sitúan a sotavento suyo. Por el contrario, en relación a los vientos de Levante, originarios del Mediterráneo occidental, la disposición orográfica influye positivamente dando origen a episodios lluviosos por ascenso del aire por el disparo vertical de las capas superficiales.

Para el estudio de la zona de estudio y con el fin de conseguir una mejor caracterización climática, se han recogido y analizado los datos correspondientes a las siguientes estaciones meteorológicas:

Estaciones meteorológicas						
Nombre/Indicador	Altitud (m)	Longitud	Latitud	Coordenadas UTM		Periodo observación (años)
				X	Y	
San Javier "Aeródromo" 7031	2	0° 48' W	37° 47' N	693.505	4.184.896	43
Murcia La Tejera 7028U	120	0° 56' W	37° 50' N	681.803	4.190.491	35
Torre-Pacheco Torre-Blanca 7028I	38	0° 54' W	37° 46' N	684.581	4.183.306	35

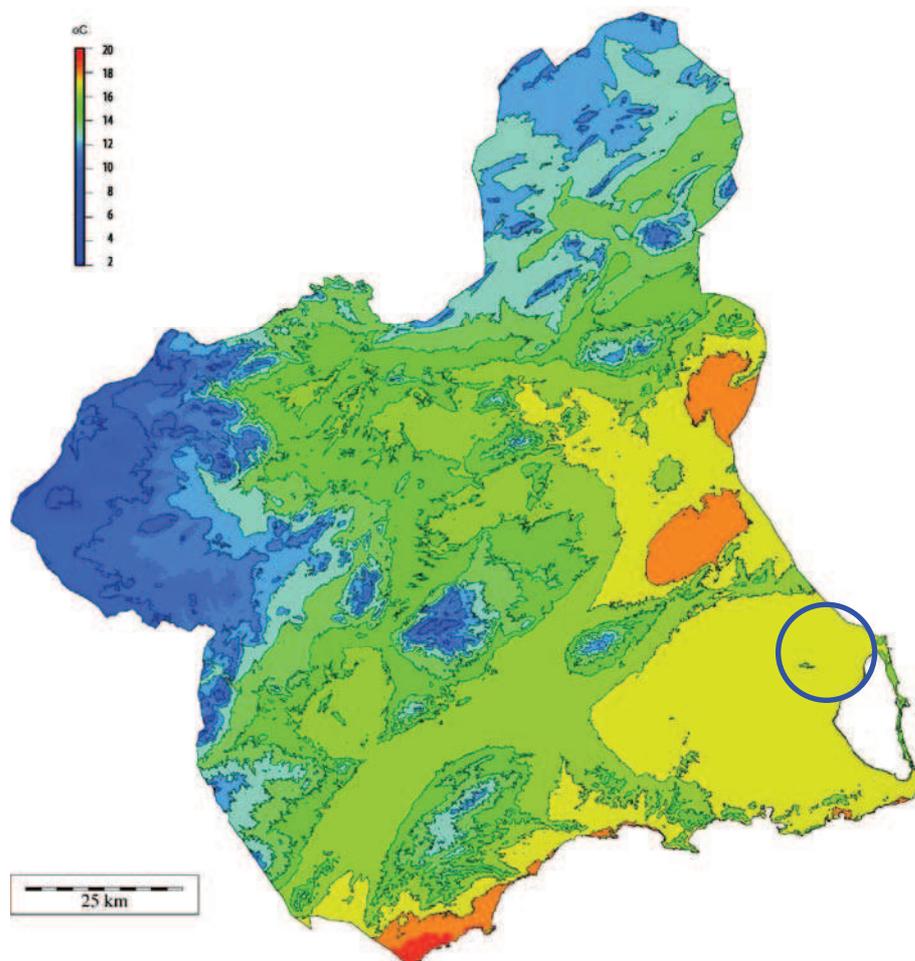


Localización estaciones meteorológicas

2.2. TEMPERATURAS.

La situación geográfica de la zona determina unos valores térmicos anuales moderadamente elevados (comprendidos en torno a 17-18°C) como consecuencia de la latitud y el resguardo de los vientos más fríos procedentes de latitudes más septentrionales. Así, el régimen anual muestra unos inviernos suaves y unos meses estivales con temperaturas elevadas.

Temperatura media mensual (°C)													
Estación	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Anual
San Javier "Aeródromo"	10,7	11,5	12,9	14,8	17,7	21,4	24,2	24,9	22,8	18,8	14,5	11,6	17,1
Murcia La Tejera	12,1	10,4	12,7	15,5	17,6	21,8	24,2	25	21,2	17,8	14,5	11,4	17,0
Torre-Pacheco Torre-Blanca	13	11,6	13,8	17	19	23	25	25,6	21,6	18	15	12	17,9



Temperatura media anual

En la estaciones analizadas, y dado que enero y agosto son los meses más frío y cálido respectivamente, las curvas descienden en la segunda mitad del año con más rapidez que ascienden en la primera, quedando patente en el ritmo anual de la temperatura una asimetría. El otoño es más cálido que la primavera, y ello se explica por la influencia del régimen térmico de las aguas superficiales del Mediterráneo Occidental y no por efecto de la radiación.

Por otro lado, hay que señalar que las máximas registran en ocasiones valores por encima de los 40° C excepto en el sector más próximo al litoral donde, por el efecto amortiguador del mar, alcanzan tan sólo los 36-37° C. Estas temperaturas se inscriben casi siempre durante los meses de julio y agosto.

2.3. PRECIPITACIONES.

Son varios los rasgos que definen el régimen pluviométrico de este territorio:

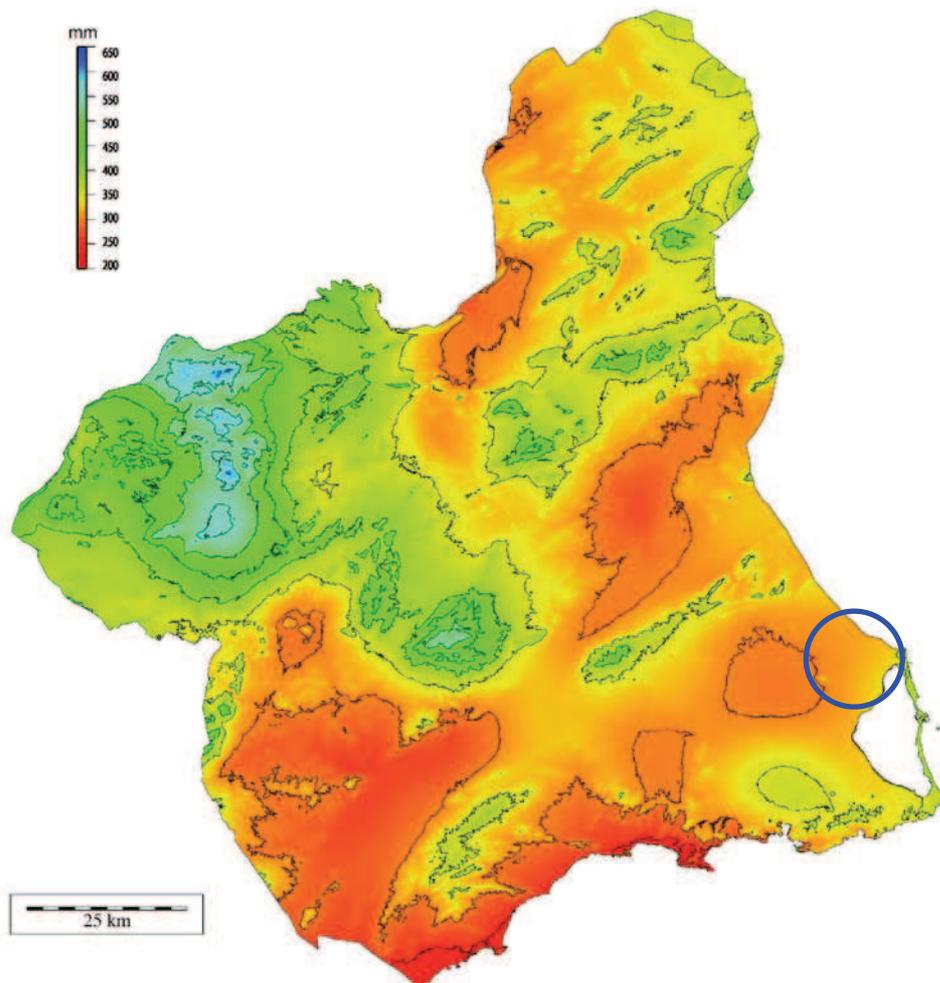
- Escasa pluviometría, como lo demuestran los valores medios anuales de 284 mm en las estaciones de Murcia La Tejera o Torre-Pacheco Torre Blanca.
- Los meses de mínimas lluvias coinciden con aquellos que registran las temperaturas más altas, lo que deriva en una fuerte aridez.
- Gran irregularidad estacional e interanual. Aún así, en el primer caso se producen unos máximos en primavera y sobre todo en otoño (alrededor del 35% en las tres estaciones) del total anual. En cambio la variabilidad anual es destacada. Pero también una gran irregularidad mensual; así, un mismo mes puede ser muy lluvioso un año y no tener ni un solo día de lluvia en otros años.
- Intensas precipitaciones que, aunque con carácter ocasional, pueden ser de gran violencia e importante volumen de agua. La génesis de estas lluvias, que no suelen durar más de 48 horas y se producen sobre todo en el mes de octubre, tienen un origen en el que se reúnen una serie de factores: proximidad del relieve costero frente a las masas de levante cargadas de humedad que al ascender ocasionan fuertes lluvias, altas temperaturas superficiales del agua del mar a inicios del otoño, fuerte gradiente térmico vertical de la atmósfera, índices elevados de humedad, la presencia de gotas frías de altitud (irrupción de aire frío en las capas altas) y la inestabilidad de las masas de aire mediterráneo en otoño.

Precipitaciones mensuales (mm)													
Estación	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Anual
San Javier "Aeródromo"	35	23	24	24	26	12	4	6	28	53	33	34	307
Murcia La Tejera	33	32	22	25	32	13	6	5	25	41	29	20	284
Torre-Pacheco Torre-Blanca	33	34	19	23	34	10	6	12	23	41	29	18	284

Coeficiente pluviométrico*													
Estación	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	
San Javier "Aeródromo"	1,34	0,98	0,92	0,95	1,00	0,48	0,15	0,23	1,11	2,03	1,31	1,30	
Murcia La Tejera	1,37	1,47	0,91	1,07	1,33	0,56	0,25	0,21	1,07	1,70	1,24	0,83	
Torre-Pacheco Torre-Blanca	1,37	1,56	0,79	0,99	1,41	0,43	0,25	0,50	0,99	1,70	1,24	0,75	

*C. pluviométrico = media del mes / precipitación total anual (nº días mes/365)

Distribución estacional (mm)								
	Invierno		Primavera		Verano		Otoño	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
San Javier "Aeródromo"	92	30,5	74	24,5	22	7,3	114	37,7
Murcia La Tejera	85	29,93	79	27,82	24	8,45	95	33,45
Torre-Pacheco Torre-Blanca	85	29,93	76	26,76	28	9,86	93	32,75

*Precipitación total anual*

2.4. BALANCE HÍDRICO.

Mediante el cálculo del balance hídrico se obtiene información sobre la cantidad en exceso o el déficit de agua disponible en el suelo durante las diferentes estaciones. En ellas se diferencian las distintas fases del ciclo hidrológico, en función de una serie de variables que serán descritas. El balance hídrico tiene una finalidad hidrológica, por lo que el aspecto más importante que interesa destacar es la escorrentía superficial de una cuenca. En dicho cálculo se tienen en cuenta las siguientes variables:

T = Temperatura media en °C.

P = Precipitación en mm. Constituye las aportaciones o entradas.

ETP = Evapotranspiración potencial en mm. Representa las salidas o consumos de agua, calculada según el método de Thornthwaite.

R = Reserva. Capacidad de campo igual a 100 mm. de agua. El agua retenida por el suelo constituye una reserva que será consumida, en parte, cuando la ETP sea superior a la precipitación.

ETR = Evapotranspiración real en mm.

DEF = Déficit de agua en mm.

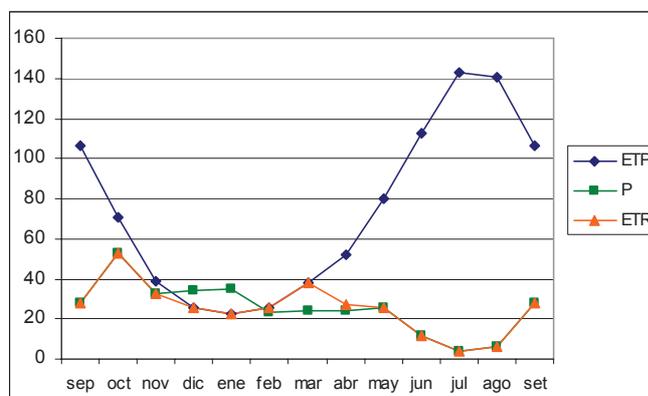
EXC = Exceso de agua en mm.

La representación numérica de los datos contenidos en el balance del agua en el suelo son los siguientes:

Estación: San Javier "Aeródromo"

	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	JL	A	Anual
T	22,8	18,8	14,5	11,6	10,7	11,5	12,9	14,8	17,7	21,4	24,2	24,9	17,1
P	28	53	33	34	35	23	24	24	26	12	4	6	302,0
ETP	106,8	70,8	39,0	25,6	22,8	26,0	38,3	52,4	80,0	112,7	142,6	140,9	858,0
R	0,0	0,0	0,0	8,4	20,6	17,6	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ETR	28,0	53,0	33,0	25,6	22,8	26,0	38,3	27,3	26,0	12,0	4,0	6,0	302,0
DEF	78,8	17,8	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,1	54,0	100,7	138,6	134,9	556,0
EXC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

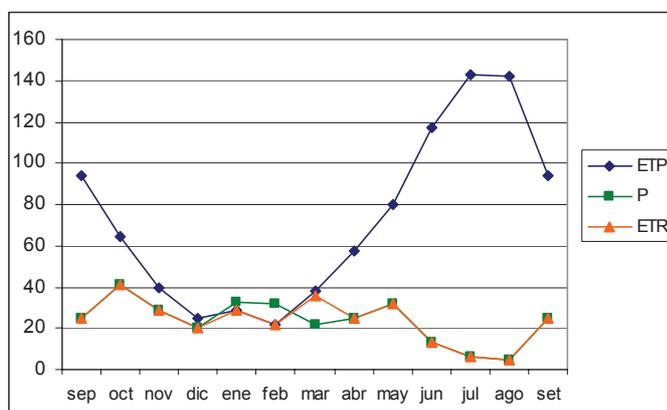
La principal conclusión que se obtiene de la ficha hídrica de San Javier, punto más meridional de la zona de estudio realizada, es el elevado déficit hídrico anual (556 mm) consecuencia de las elevadas temperaturas (lo que conlleva una alta evapotranspiración anual, 858 mm) y las débiles precipitaciones.



Estación: Murcia La Tejera

	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	JL	A	Annual
T	21,2	17,8	14,5	11,4	12,1	10,4	12,7	15,5	17,6	21,8	24,2	25	17,0
P	25	41	29	20	33	32	22	25	32	13	6	5	283,0
ETP	94,2	64,8	39,5	25,2	28,9	22,1	37,8	57,5	79,8	116,9	142,8	142,1	851,5
R	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ETR	25,0	41,0	29,0	20,0	28,9	22,1	36,0	25,0	32,0	13,0	6,0	5,0	283,0
DEF	69,2	23,8	10,5	5,2	0,0	0,0	1,8	32,5	47,8	103,9	136,8	137,1	568,5
EXC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

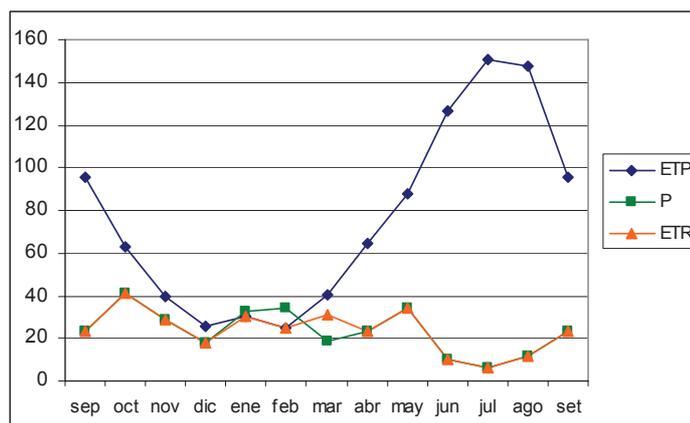
Con los datos recogidos de la estación de Murcia La Tjera se constata igualmente la aridez del medio y el acusado déficit hídrico. Los elevados valores térmicos se traducen en una alta evapotranspiración (851,5 mm anuales) lo que ocasiona un déficit hídrico anual de 568,5 mm, donde la ETR anual es igual a la precipitación registrada y no existe reserva útil salvo en sólo dos meses, en los que el agua precipitada es superior a la ETP por lo que se produce un excedente que se infiltra en el suelo.



Estación: Torre-Pacheco Torre Blanca

	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	JL	A	ANUAL
T	21,6	18	15	12	13	11,6	13,8	17	19	23	25	25,6	17,9
P	23	41	29	18	33	34	19	23	34	10	6	12	282,0
ETP	95,2	63,3	39,4	25,3	30,3	24,5	40,7	64,4	88,1	126,5	150,3	147,6	895,3
R	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ETR	23,0	41,0	29,0	18,0	30,3	24,5	31,3	23,0	34,0	10,0	6,0	12,0	282,0
DEF	72,2	22,3	10,4	7,3	0,0	0,0	9,4	41,4	54,1	116,5	144,3	135,6	613,3
EXC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

En el observatorio de Torre-Pacheco, los rasgos climáticos son similares a los de todo el territorio. Salvo dos meses, aquí también en ningún mes la precipitación supera la evapotranspiración; así, el déficit es casi continuo todo el año sobre todos en los meses estivales con valores incluso superiores a 140 mm. Los valores anuales de ETR, como en el resto de estaciones, son equivalentes a la cantidad total de agua precipitada.



2.5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.

Como consecuencia de las escasas precipitaciones y las altas temperaturas esta zona se va a caracterizar por una marcada aridez. Para precisar el grado de aridez se emplea el índice termopluviométrico de Dantín-Revenega (1940). Este método fue creado para elaborar un mapa de isóxeras (isolíneas que unen puntos de igual valor del índice termopluviométrico), que pone de manifiesto la aridez del medio.

$$I_{tp} = 100T/P$$

Donde:

T = temperatura media anual.

P = precipitación total anual.

Una vez calculado el índice, la aridez se expresa de acuerdo con la tabla siguiente:

I_{tp}	Designación
0-2	Zona húmeda
2-3	Zona semiárida
3-6	Zona árida
>6	Zona subdesértica

Los valores obtenidos a partir de este índice ponen de manifiesto el fuerte carácter xérico de este territorio:

San Javier "Aeródromo": 5,57

Murcia La Tejera: 5,99

Torre-Pacheco Torre Blanca: 6,29

Por otra parte, el índice de aridez de Gaussen (1952) establece como mes árido aquel en el que las precipitaciones (P) en mm son inferiores al doble de las temperaturas (t):

$$P < 2t$$

La relación entre las temperaturas y precipitaciones permite definir la duración del periodo seco, pero no su intensidad, que depende de la duración de la lluvia y la humedad del aire.

El resultado para las estaciones meteorológicas seleccionadas es el siguiente:

Índice de aridez de Gausson												
Estación	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
San Javier "Aeródromo"	H	H	S	S	S	S	S	S	S	H	H	H
Murcia La Tejera	H	H	S	S	S	S	S	S	S	H	H	S
Torre-Pacheco Torre-Blanca	H	H	S	S	S	S	S	S	S	H	S	S
H (húmedo) = $P > 2t$ A (árido) = $P < 2t$												

Por otra parte, la clasificación de Thornthwaite define tres índices hídricos a partir de los balances de agua:

- El índice de humedad (I_h) es el porcentaje del superávit hídrico anual (EXC), respecto a la evapotranspiración potencial anual (ETP). En el caso de las estaciones de estudio el valor es 0 para todas ellas ya que nunca se produce dicho superávit.

$$I_h = \frac{S}{ETP} \cdot 100$$

- El índice de aridez (I_a) se define como el porcentaje del déficit anual (DEF), respecto a la evapotranspiración potencial anual (ETP).

$$I_a = \frac{D}{ETP} \cdot 100$$

- El índice hídrico anual (I_m) resulta de la diferencia entre el índice de humedad y el de aridez, este último multiplicado por 0,6. El coeficiente 0,6 tiene por objeto dar mayor peso a los meses en los que la precipitación supera a la evaporación, debido a la capacidad de retención de los suelos.

$$I_m = I_h - 0,6I_a$$

Clasificación de Thornthwaite						
Estación	I_h	I_a	I_m	Régimen de humedad	Eficacia térmica anual	
					Tipo principal	Subtipo*
San Javier "Aeródromo"	0	64,8	-38,8	Semiárido	Mesotérmico III	46,2
Murcia La Tejera	0	62,5	-37,5	Semiárido	Mesotérmico III	38,5
Torre-Pacheco Torre-Blanca	0	64,5	-38,7	Semiárido	Mesotérmico III	38,6

*En función de la eficacia térmica estival (relación entre la evaporación de junio, julio y agosto, respecto al total anual en %)

Existe una adaptación de la clasificación de Thornthwaite para España establecida por Font Tullot (1983), según la siguiente relación:

$$I_h = R/E$$

Donde R es la precipitación total anual y E la evaporación, calculada por el método de Thornthwaite.

Los límites son:

I_h	Zona
<0,3	Árida
0,3-0,7	Semiárida
0,7-1,0	Subhúmeda
>1,0	Húmeda

Siendo los valores obtenidos los siguientes:

San Javier "Aerodrómo": 0,35

Murcia La Tejera: 0,33

Torre-Pacheco Torre Blanca: 0,31

3. ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO.

3.1. INTRODUCCIÓN.

Las redes de drenaje son la manifestación de la escorrentía superficial concentrada y jerarquizada en cauces. Arroyada concentrada y jerarquización implican un proceso dinámico, dado que requieren el movimiento de las aguas y su concentración progresiva hacia colectores cuyas dimensiones son proporcionales al volumen de escorrentía generado. Pero este proceso dinámico nunca se manifiesta con una intensidad estable y depende de la forma como interactúan numerosos factores.

Por un lado, depende de una alimentación hídrica, sea a partir de surgencias o resurgencias hidrogeológicas, o, como en este caso, ya a partir de precipitaciones que intervienen con intensidades muy variables, especialmente en el ámbito mediterráneo.

Y, por otro, depende de la respuesta del suelo a estas precipitaciones, pues las características edáficas intervienen en el volumen escurrido en función de la textura, estructura, permeabilidad y condiciones de humedad del suelo. Además de sus características intrínsecas, la respuesta del suelo está influida por las características fisiográficas: pendiente, longitud, posición, orientación y forma de la ladera, que intervienen en la velocidad y aceleración de la escorrentía. Y también por la cubierta vegetal, que en su clase (herbácea, arbustiva, arbórea) y densidad puede facilitar la infiltración y reducir la energía del impacto de las gotas de agua, o contribuir a concentrar la arroyada hacia áreas de menor densidad vegetal.

En el origen y desarrollo de la red de drenaje intervienen las características del sustrato (litología y tectónica), posibilitando o dificultando la infiltración y el excavado, y condicionando el trazado y configuración que la red adquiere. También intervienen, cada vez en mayor medida, las modificaciones humanas, como sucede en el ámbito de estudio. Así, el hombre puede modificar la alimentación del caudal de la red, aumentándolo a partir de la creación de pozos y sondeos, así como por retornos de regadíos; o reduciéndolo con la desviación del caudal (canalizaciones) y extracciones del mismo.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS FORMAS DEL RELIEVE DE LAS CUENCAS ESTUDIADAS.

3.2.1. CARACTERÍSTICAS MORFOESTRUCTURALES.

Desde el punto de vista estructural las cuencas de las ramblas del Mirador, Aeropuerto y Cobatillas se asientan en la unidad fisiográfica del Campo de Cartagena que corresponde a una extensa llanura intrabética dividida en subcuencas relativamente profundas, con orientación NW-SE y rellanada por sedimentos neógenos y cuaternarios hasta hacer patente en la actualidad la existencia de una llanura regular escasamente inclinada hacia el Mar Menor.

En relación a su configuración geológica esta área se sitúa dentro de las Cordilleras Béticas, en la Zona Bética "s.str." y está representada mitológicamente por un conjunto post-orogénico que recubre a un sustrato metamórfico Paleozoico y del Trías con materiales neógenos y cuaternarios. Los primeros quedan reducidos geográficamente al sector Norte de la cuenca de la Rambla de Cobatillas, es decir a su área de cabecera correspondiente a la vertiente Sur de la Sierra de Escalona, mientras que el recubrimiento cuaternario se extiende en el resto del área de las dos cuencas que supone, superficialmente, la mayor parte de las mismas.

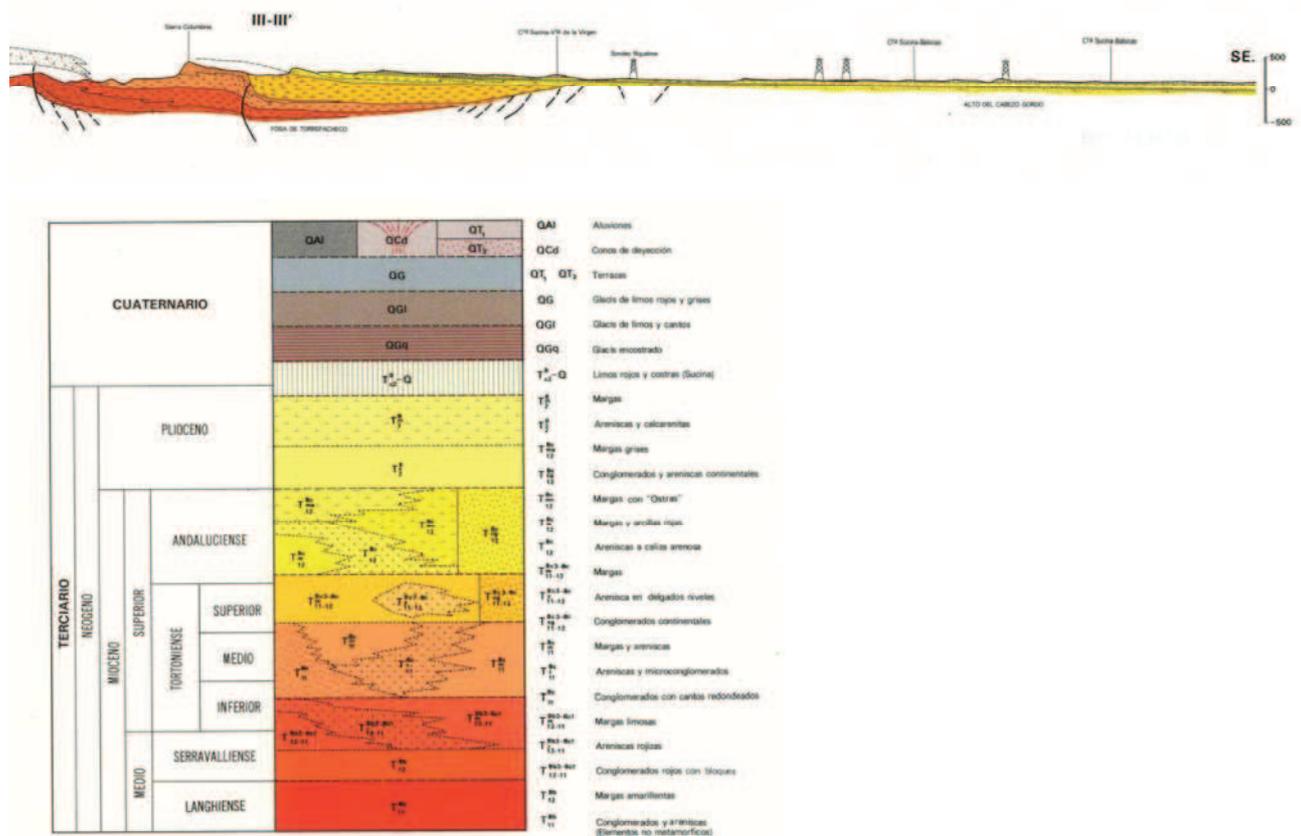
El Neógeno está representado por los siguientes grupos litológicos:

- Conglomerados y areniscas del Mioceno Superior. Afloran en la vertiente Sur de la Sierra de Escalona. Los conglomerados de la base son muy poligénicos y heterométricos estando constituidos por cantos metamórficos y hacia el Este pasan lateralmente a areniscas.
- Margas y areniscas del Tortoniense ocupando la vertiente meridional de la Sierra de Escalona a modo de un segmento de plataforma progradante hacia el centro de la cuenca de manera que se sumergen bajo formaciones pliocenas y cuaternarias de menor espesor.
- Areniscas del Plioceno, localizadas, a modo de transición, entre las formaciones altitudinalmente más elevadas del Norte con el relleno cuaternario de la cuenca del Campo de Cartagena. Están compuestas por litarenitas y calcarenitas arenosas con delgados niveles margosos.

Por otra parte, en el recubrimiento cuaternario se pueden distinguir dos tipos de litología:

- Limos con algunos cantos acumulados en zonas preferentes que constituyen niveles actuales de acumulación.
- Sedimentos detríticos con matriz limo-arcillosa correspondientes a abanicos aluviales, derrubios de ladera y depósitos fluviales. No suelen superar los 20 m. de espesor.

Como se observa en el corte geológico, con orientación NW-SE, extraído de la Hoja 934 del Mapa Geológico de España (Escala 1:50.000), el ámbito correspondiente a las cuencas estudiadas pertenece, en su mayor parte, a un gran sinclinorio neógeno. Esta cuenca de sedimentación (Campo de Cartagena) destaca por su fuerte buzamiento que presentan las estructuras del flanco Norte (40-50°), hecho que justifica, junto con la inclinación del plano axial, la enorme potencia que alcanzan los depósitos post-manto en el centro del Campo (3.500 m.)



Corte geológico Sierra de Columbares-Mar Menor.

3.2.2. TOPOGRAFÍA.

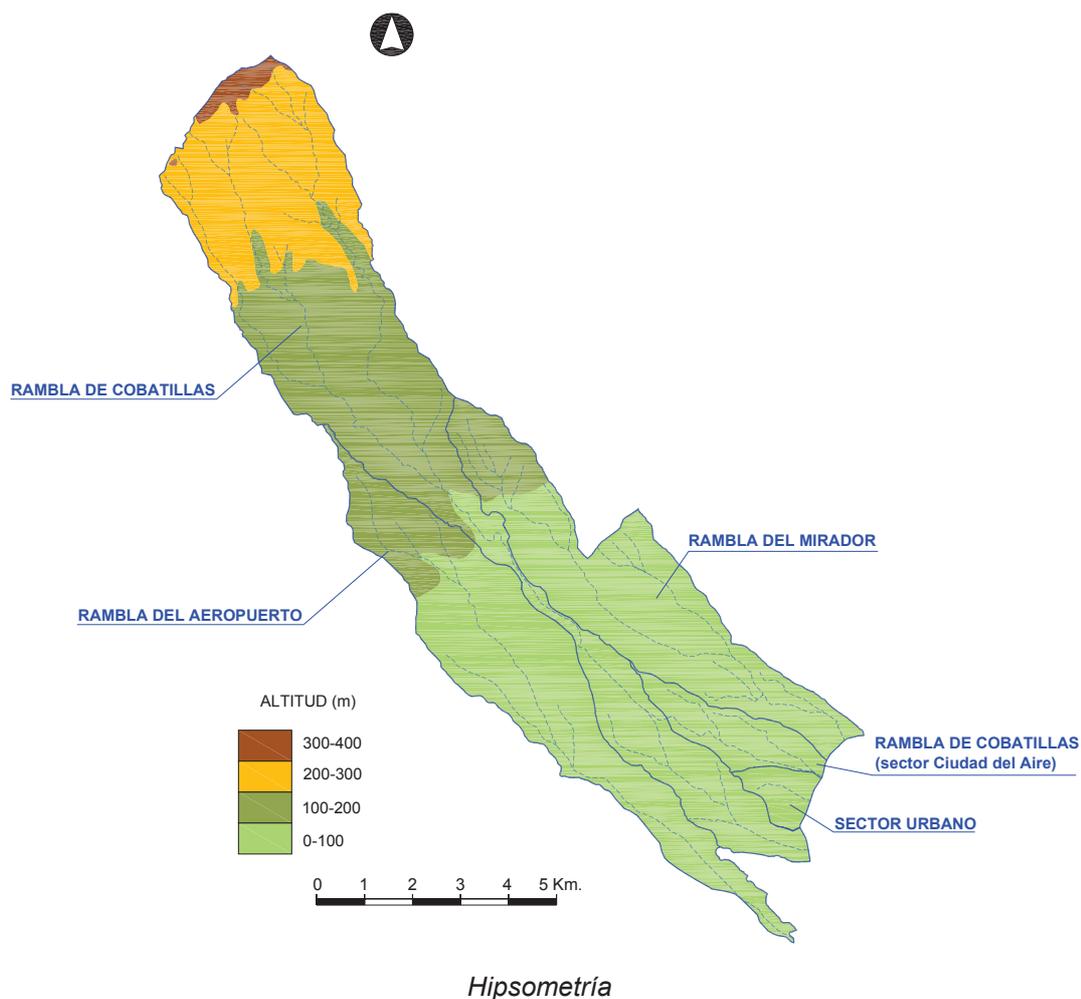
Las principales directrices morfoestructurales determinan en el ámbito geográfico de las cuencas analizadas un relieve monótono llano y de escaso desnivel altitudinal salvo la formación montañosa de la Sierra de Escalona localizada en el sector de cabecera hidrográfica de la Rambla de Cobatillas. En efecto, el territorio estudiado queda insertado sobre una gran cuenca sedimentaria denominada Campo de Cartagena delimitada por los relieves prelitorales y la laguna litoral del Mar Menor al Norte y al Sur respectivamente.

Así, desde el punto de vista fisiográfico, la mayor parte de la superficie estudiada corresponde a una extensa llanura de sedimentación aluvial (Campo de Cartagena) que

queda enmarcada por el conjunto montañoso de las sierras prelitorales al Norte. Al Sur y Este el límite físico de esta llanura lo constituye el Mar Menor mientras que hacia occidente se extiende una zona de transición de suave relieve hacia el Valle del Guadalentín.

Como consecuencia de esta configuración topográfica el desnivel altitudinal es relativamente escaso, 304 metros entre la cota máxima y mínima. De los 74 kilómetros cuadrados de superficie que comprenden las cuencas delimitadas, el 98,8 por cien del total corresponde a tierras comprendidas por debajo del rango altitudinal de los 300 metros, lo que da idea del relieve escasamente montañoso de la zona. El resto del terreno, situado por encima de la cota 300, queda reducido a los relieves terciarios de la Sierra de Escalona.

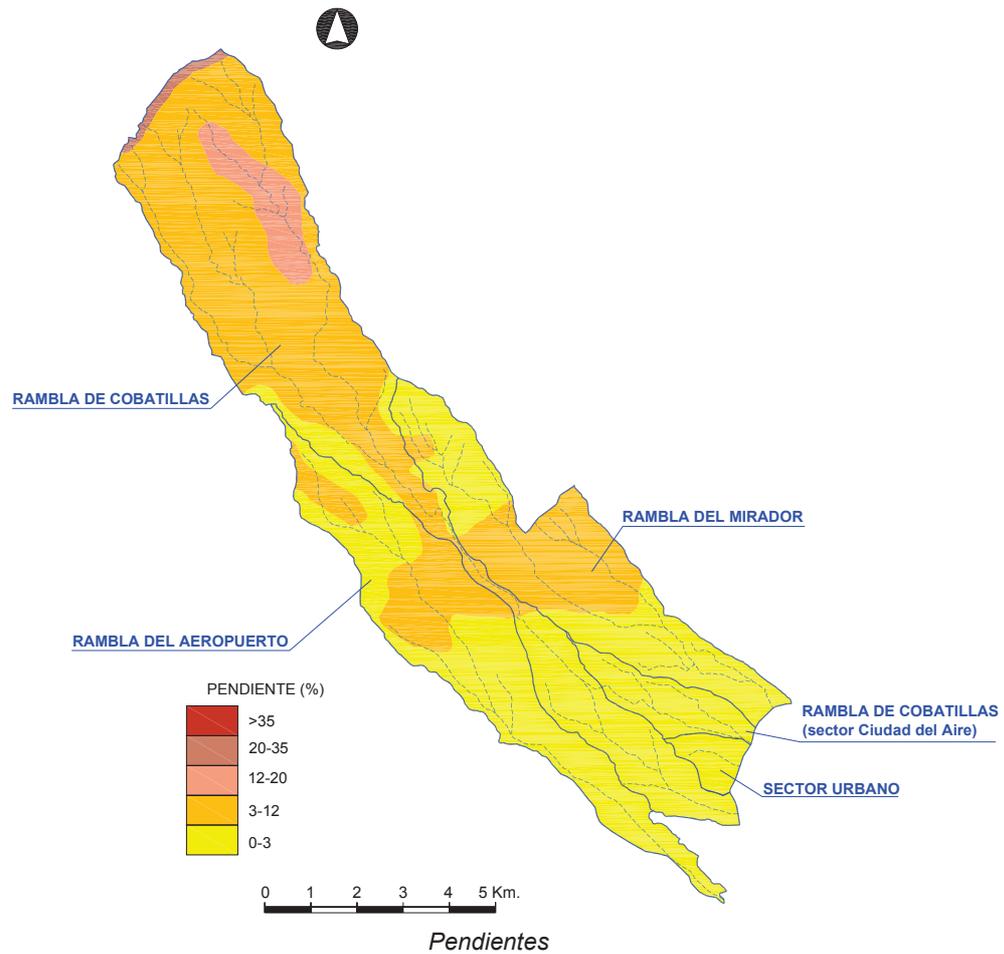
Hipsometría		
Cuenca Rambla de Cobatillas		
Altitud	Superficie (Km ²)	% Superficie
0-100	11,82	29,59
100-200	15,18	38,00
200-300	12,06	30,21
300-400	0,88	2,19
Total	39,93	100,00
Cuenca Rambla del Mirador		
0-100	13,62	83,96
100-200	2,60	16,04
Total	16,22	100,00
Cuenca Rambla del Aeropuerto		
0-100	13,65	78,49
100-200	3,74	21,51
Total	17,39	100,00
Sector urbano (Santiago de la Ribera)		
0-100	1,41	100,00



Para el estudio de pendientes se ha empleado la cartografía y clasificación propuesta por el Ministerio de Medio Ambiente dentro del conjunto de trabajos englobados en la elaboración del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura. Se trata de una clasificación adaptada del Mapa de Estados Erosivos del ICONA-MAPA orientada al uso y conservación del suelo en función de su potencial erosivo.

De acuerdo con los resultados que se obtienen de los valores de pendiente la principal característica a destacar es la inclusión del 95% de la superficie total de la cuenca de drenaje dentro de valores inferiores al 12 por cien lo que denota el carácter llano del terreno. Por otro lado, los terrenos con valores de pendiente más acusadas (por encima del 12 por cien) se circunscriben casi exclusivamente a los sectores de topografía más compleja del Barranco de la Grajera y Sierra de Escalona.

Pendientes		
Rambla de Cobatillas		
Pendiente %	Superficie (Km ²)	% Superficie
0-3	12,19	30,53
3-12	23,96	60,01
12-20	3,14	7,87
20-35	0,64	1,59
Total	39,93	100,00
Rambla del Mirador		
0-3	9,23	56,91
3-12	6,99	43,09
Total	16,22	100,00
Rambla del Aeropuerto		
0-3	13,38	76,94
3-12	4,01	23,05
Total	17,39	100,00
Sector urbano (Santiago de la Ribera)		
0-3	1,41	100,00



3.2.3. GEOMORFOLOGÍA.

Como resultado de las suaves pendientes y la configuración general del relieve, las formas y procesos geomorfológicos van a estar protagonizados por mecanismos de depósito aluvial y coluvial, aparte de las acciones erosivas que se localizan en ramblas. Solamente, en la mitad Norte de la cuenca de la Rambla de Cobatillas, en la Sierra de la Escalona y Barranco de la Grajera los procesos geomórficos van estar condicionados por pendientes más acusadas. Por lo tanto, se pueden establecer tres unidades geomorfológicas: llanura del Campo de Cartagena, barrancos y fondos de valle, y relieves terciarios de la Sierra de Escalona.

1. Llanura Campo de Cartagena.

En esta unidad predominan las formas fluviales. Entre ellas, la principal geoforma fluvial son los abanicos aluviales. De morfogénesis mixta tienen en planta una forma triangular con cauce definido a la salida del relieve, pero no aguas abajo. El perfil transversal es convexo-plano. Están formados por cantos, arenas y arcillas, pudiendo estar cementados los más antiguos. A destacar por su extensión es el sistema de abanicos superpuestos de distintas edades del Pleistoceno que se desarrollan asociados a cauces que discurren en suaves rupturas de pendiente del relieve. Estas rupturas de pendiente determinan la existencia de tres grupos de abanicos aluviales en función de la antigüedad de sus depósitos de manera que conforme se desciende altitudinalmente son de edad más reciente.

La morfología y distribución de los depósitos cuaternarios está íntimamente ligada a la actividad geotectónica de los sistemas de falla que la delimitan y atraviesan. El Campo de Cartagena está constituido por distintos sistemas de de glaciares y abanicos aluviales desarrollados al pie de los conjuntos montañosos que rodean a esta unidad pasando hacia el interior a facies distales con desarrollo de plantas de abanicos aluviales.

Debido a la configuración geomorfológica de esta depresión existe un predominio casi exclusivo de litologías sedimentarias cuaternarias que han sido depositadas gracias a los procesos aluviales y coluviales que se dan en la zona. Se pueden distinguir dos tipos de litologías:

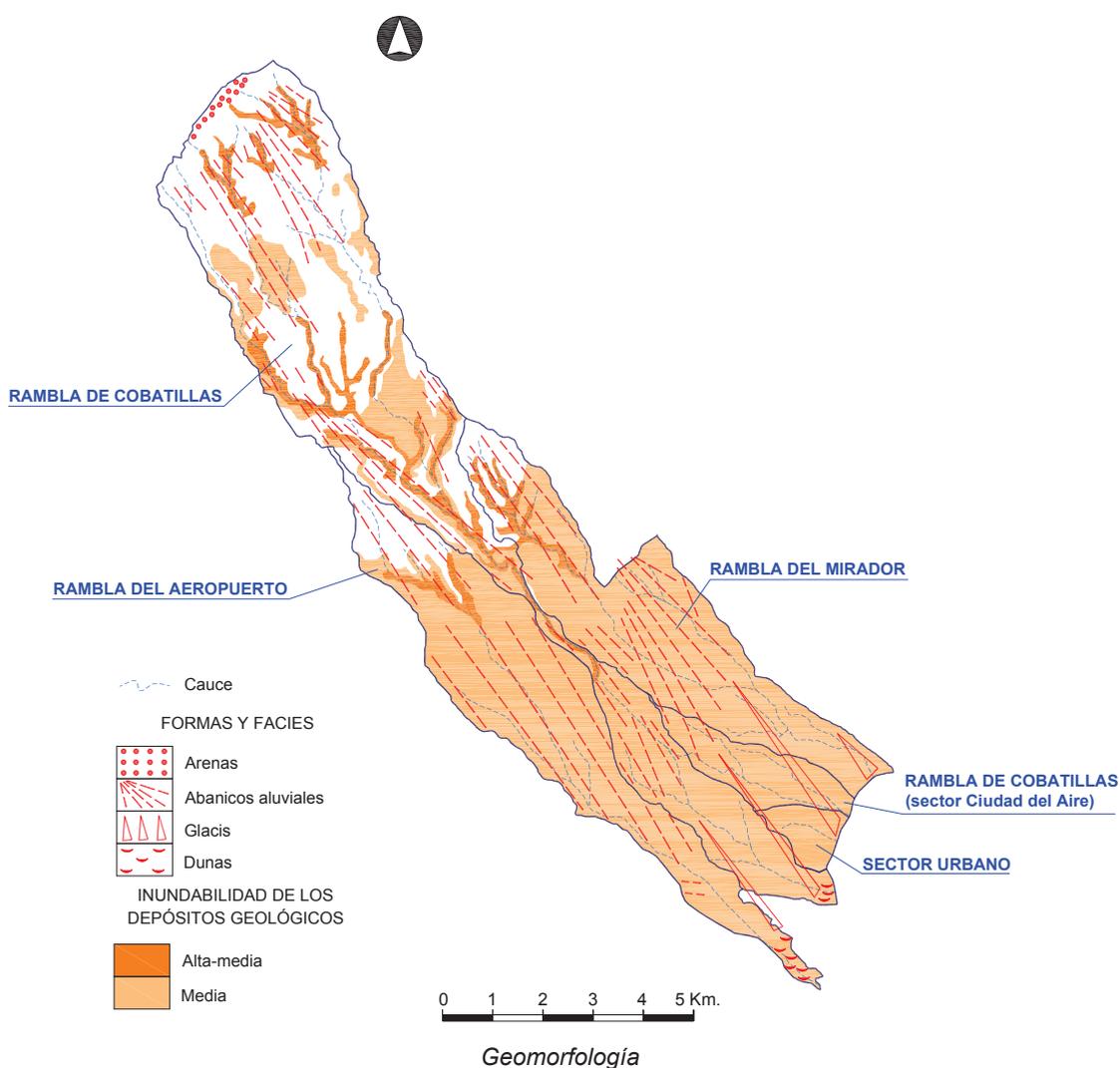
- Limos con algunos cantos acumulados en zonas preferentes.
- Sedimentos detríticos con matriz limo-arcillosa correspondientes a abanicos aluviales, derrubios de ladera y depósitos fluviales.

2. Barrancos y fondos de valle.

En la cabecera de la cuenca de la Rambla de Cobatillas discurre el Barranco de la Grajera en un sector caracterizado por formas de relieve asociadas a la erosión hídrica del cauce y sus afluentes (p. ej. Rambla de las Colmenas) que se traduce en formas de relieve negativas.

3. Relieves terciarios.

Se tratan de formaciones montañosas de escasa envergadura (entre 200 y 300 metros de altitud como término medio) que, con orientación predominante ENE-WSW, se localizan en la parte de cabecera de la cuenca de la Rambla de Cobatillas. Están asociados a litologías terciarias del Mioceno, principalmente margas y areniscas, que afloran siguiendo una línea muy recortada con frentes de cresta que denotan un claro carácter transgresivo.



3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS ESTUDIADAS.

3.3.1. PARÁMETROS RELATIVOS A LA CUENCA VERTIENTE Y RED DE DRENAJE.

Mediante la determinación y análisis de estos parámetros se obtiene el concepto de cuenca como un espacio geográfico cuyos aportes son alimentados exclusivamente por las precipitaciones y cuyos excedentes en agua o en materias sólidas transportadas por el agua forman, en un punto espacial único, una desembocadura.

Dos cuencas sometidas a las mismas condiciones climáticas pueden tener regímenes de flujo totalmente distintos. Esta diferencia se debe principalmente a las diversas características físicas de ambas cuencas. Aunque resulta evidente que factores como el tipo de suelo y el espesor de la capa permeable ejercen un gran efecto sobre el régimen de flujo, la fisiografía puede ser importante en la respuesta de la cuenca a las precipitaciones. A continuación se hace una descripción de las características fisiográficas que se han considerado más importantes en la cuenca analizada.

Parámetros relativos a la cuenca vertiente.

Área (A)

El área de la cuenca es quizás el parámetro más importante, siendo determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales, etc. El área de la cuenca se define como la proyección horizontal de la superficie de la misma. Desde el punto de vista hidrológico es más importante esta proyección horizontal que la superficie real de la cuenca. La superficie medida está referida a Km².

Área de la superficie real (As)

Considera la pendiente de la cuenca que se puede relacionar con el área de la misma

mediante la siguiente expresión: $A_s = \frac{A}{\cos i}$; Donde:

A, superficie medida en el mapa (Km²).

i, ángulo que define la pendiente media de la cuenca. Como este ángulo de inclinación de laderas es, en general, pequeño, los valores de *A* y *As* son prácticamente iguales excepto en las cuencas de orografía muy abrupta.

Perímetro (P)

Es la longitud del límite exterior de la cuenca en kilómetros y depende la superficie y la forma de la cuenca.

Altura máxima (H max.)

Corresponde a la altitud en metros del punto de inicio del cauce.

Altura mínima (H min.)

Corresponde a la altitud en metros del punto de desagüe del cauce.

Longitud cauce principal (L)

Es la distancia en metros entre el punto de desagüe y el recorrido principal del supuesto flujo de agua dentro de la cuenca.

Coefficiente de Gravelius (Cg)

También llamado índice o coeficiente de compacidad. Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de otra teórica circular de la misma superficie. En cualquier caso, el coeficiente será mayor que la unidad, tanto más próximo a ella cuanto la cuenca se aproxime más a la forma circular, pudiendo alcanzar valores próximo a 3 en cuencas muy alargadas.

Su expresión es la siguiente: $Cg = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$; Donde:

Cg , coeficiente de Gravelius.

P , perímetro de la cuenca en Km.

A , superficie de la cuenca en Km².

El valor que toma esta expresión es siempre mayor que la unidad y crece con la irregularidad de la forma de la cuenca, estableciéndose la siguiente clasificación:

$Cg = 1,00 - 1,25$. Forma redonda.

$Cg = 1,25 - 1,50$. Forma ovalada.

$Cg > 1,50$. Forma alargada.

Sinuosidad hidráulica (Sh)

Es el cociente entre la longitud directa, en línea recta entre el eje (Le) y las extremidades (Ld)

del cauce. $Sh = \frac{Le}{Ld}$

De acuerdo con la clasificación propuesta por Schumm (1963), y de forma orientativa, los

valores iguales a 1 corresponden a cursos rectilíneos y valores iguales o superiores a 2 a cauces tortuosos.

Parámetros relativos a la red de drenaje.

Densidad de drenaje (D)

La densidad de drenaje está definida, para una cuenca dada, como la longitud media de curso por unidad de superficie.

Se define mediante la expresión: $D = \frac{\sum L_i}{A}$; Donde:

D , densidad de drenaje.

$\sum L_i$, suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca (Km.).

A , superficie de la cuenca (Km²).

En un principio, y sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad de drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. Al ser la densidad de drenaje alta, una gota deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad de escurrimiento es mayor; por tanto los hidrogramas tendrán un tiempo de concentración corto.

A mayor densidad de drenaje, más dominante es el flujo en el cauce frente al flujo en ladera, lo que se traduce en un menor tiempo de respuesta de la cuenca y, por tanto, un menor tiempo al pico del hidrograma.

Densidad hidrográfica (F)

Se define como el cociente entre el número de segmentos de canal de la cuenca y la

superficie de la misma. $F = \frac{NT}{A}$; Donde:

NT , suma de todos los segmentos de canal que forman la red hidrográfica de la cuenca.

A , superficie de la cuenca en Km².

Pendiente media del cauce principal (S)

Tiene gran importancia porque, indirectamente, a través de la velocidad del flujo de agua, influye en el tiempo de respuesta de la cuenca.

Se calcula mediante la expresión:

$$Sc = \frac{H \text{ max.} - H \text{ min.}}{L} \cdot 100$$

Donde:

Sc , pendiente media del cauce (%).

$H \text{ max.}$, altitud máxima del cauce (m.).

$H \text{ min.}$, altitud mínima del cauce (m.).

L , longitud del cauce (m.).

Alejamiento medio (a)

Es un coeficiente que relaciona el curso de agua más largo con la superficie de la cuenca.

Su expresión es: $a = \frac{L}{\sqrt{A}}$; Donde:

a , alejamiento medio.

L , longitud del curso de agua más largo (Km.).

A , superficie de la cuenca (Km²).

Tiempo de concentración (T_c)

El tiempo de concentración se refiere a una sección de cálculo y se define como el tiempo que tarda una gota de caída en el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca vertiente de una sección en alcanzar la misma, es decir, el tiempo necesario para que toda la cuenca contribuya eficazmente a la generación de flujo en el desagüe.

Para su cálculo se emplea la siguiente formula:

$$T_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{Sc^{1/4}} \right)^{0,76} ;$$

Donde:

T_c , tiempo de concentración en horas.

L , longitud del cauce principal en Km.

Sc , pendiente del cauce principal.

Parámetros morfométricos y fisiográficos de las cuenca de drenaje													
Cuenca vertiente									Red de drenaje				
Cuenca	<i>A</i> (km ²)	<i>As</i> (km ²)	<i>P</i> (km)	<i>H</i> <i>max</i> (m)	<i>H</i> <i>min</i> (m)	<i>L</i> (m)	<i>Cg</i>	<i>Sh</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>S</i>	<i>a</i>	<i>Tc</i>
Rambla de Cobatillas	36,49	36,50	48,619	339	0	22.148	2,25	1,12	1,52	0,47	1,53	3,67	6,99
Sector urbano	1,41	1,41	5,230	19	0	1217	1,23	1,08	0,86	0,71	1,56	1,02	0,77
Rambla de Cobatillas (sector Ciudad del Aire)	3,44	3,44	10,573	47	0	3721	1,60	1,08	2,31	0,87	1,26	2,01	1,87
Rambla del Mirador	16,22	16,22	26,729	148	0	10.974	1,86	1,12	1,67	0,74	1,35	2,73	4,20
Rambla del Aeropuerto	17,39	17,40	32,56	145	0	14.225	2,19	1,07	1,22	0,29	1,02	3,41	5,39

3.3.2. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO.

Las cuencas estudiadas (a excepción de la cuenca urbana de Santiago de la Ribera) presentan rasgos morfométricos y fisiográficos comunes como consecuencia de estar emplazadas conjuntamente: orientación de los cursos, control litológico, densidad de drenaje, etc. Pero al mismo tiempo el hecho principal de que la cuenca de la Rambla de Cobatillas tenga su cabecera hidrográfica más elevada y una mayor superficie de la red de drenaje, determina unas características claramente diferenciadas respecto a las ramblas del Mirador y del Aeropuerto: pendiente, tiempo de concentración o longitud del curso principal.

La orografía de la cuenca definida para la Rambla de Cobatillas determina dos zonas claramente diferenciadas: un sector septentrional de montaña media-baja correspondiente a la cabecera hidrográfica (Sierra de Escalona), y un sector centro-meridional de relieve cada más suave conforme se acerca a su desembocadura. Por su parte, la cuenca vertiente de las ramblas del Mirador y del Aeropuerto se caracteriza por no presentar una cabecera definida ya que ésta se localiza en un sector de escasa pendiente. Los sectores medios y bajos, al igual que la Rambla de Cobatillas, corresponden a la llanura aluvial del Campo de Cartagena, de marcado carácter llano. Esta diferencia en relación a la altitud máxima de la cuenca queda plasmada en un mayor valor de la pendiente de la Rambla de Cobatillas (1,53%), que en la rambla del Mirador y del Aeropuerto (1,35 y 1,02% respectivamente), a pesar de una mayor longitud de su cauce principal.

Como ha quedado indicado, la superficie de la cuenca vertiente de la Rambla de Cobatillas (36,49 Km²) es mayor que la correspondiente a la Rambla del Mirador (16,22 Km²), por lo que consecuentemente el cauce principal tiene una mayor longitud (22.148 m. por 10.974 m.).

La configuración geomorfológica del ámbito de estudio ocasiona que el cauce principal de las tres cuencas tenga una disposición NW-SE, quedando insertado en un área predominantemente alargada (coeficiente de Gravelius (*Cg*) mayor de 1,5: entre 2,25 y 1,86).

Consecuencia de esta disposición orográfica e hidrográfica, el curso principal presenta un trazado rectilíneo según los valores medios extraídos del índice de sinuosidad hidráulica (Sh): entre 1,07 (Rambla del Aeropuerto) y 1,12 (Ramblas de Cobatillas y el Mirador).

Por otro lado, en relación con los factores topográficos, litológicos y de vegetación, se obtiene una baja densidad de drenaje (D) (promedio de 1,5), por lo que se trata de cuencas donde la velocidad de escurrimiento es baja y por tanto los hidrogramas tendrán un tiempo de concentración medio-largo (Tc entre 4,2 y 6,9).

4. ESTUDIO HISTÓRICO.

A través del estudio de las inundaciones históricas acontecidas en el ámbito de estudio se puede obtener, de manera somera, como resulta en este caso, una tipología de los procesos históricos de avenidas fluviales así como la localización y delimitación de las zonas históricamente inundables.

Debido a la dificultad en la obtención de una información histórica lo suficientemente detallada se realizará una breve descripción, gracias a las distintas fuentes consultadas, de la cronología de las principales inundaciones relatadas en el término municipal de San Javier.

En la siguiente tabla se recopilan cronológicamente las principales inundaciones documentadas registradas en la zona:

Fecha	Características del episodio y consecuencias	Fuente
Octubre 1900	- Duración del episodio: 3 días. - Desbordamiento de la Rambla de Cobatillas.	(1)
Enero 1968	- Precipitación registrada: 189 mm. - Daños en carreteras y caminos vecinales.	(5)
Agosto de 1974	- Daños en la Academia General del Aire. - Pérdida del 50% en la cosecha del pimiento de bola.	(2)
Octubre 1972	- Precipitación registrada: 262 mm.	(4)
Octubre 1986	- Pérdidas valoradas en 17 millones de pesetas en el conjunto del municipio de San Javier. - Precipitación registrada: 207 mm.	(2) y (3)
Noviembre 1987	- Duración del episodio: 8 días. - Precipitación registrada: 304 mm. - Declaración de zona catastrófica. - Zonas afectadas: Barrida de Los Pinos, Barrio de Pescadores, Los Pozuelos (tareas de rescate), Caserío de la Grajuela, Los Sáez de Terquemales, Las Picas (tareas de rescate), Camping Andrómeda. - Aeropuerto anegado, Centro social de San Javier (200 personas evacuadas), destrozado el Barrio Las Palmeras (entre la ciudad del aire y Lo Pagán), Club de Suboficiales destrozado hasta la entrada de Lo Pagán, arrasado las playas del Castillico y de la Ribera. - Daños en el hotel "Don Juan" en Santiago de la Ribera - Pérdidas valoradas en 2.300 millones de pesetas en el conjunto del municipio de San Javier. - Carreteras cortadas: F-34 Santiago de La Ribera	(1), (2) y (3)

Fecha	Características del episodio y consecuencias	Fuente
	Aeropuerto y carretera hacia los Alcázares y San Pedro.	
Octubre 1988	- Posibilidad de desbordamiento de la rambla del Mirador.	(2)
Septiembre 1989	- Duración del episodio: 7 días. - Precipitación registrada: 130 mm. - Inundación de un edificio situado frente a la base aérea. - Carretera cortada: MU-301 de San Javier (por Sucina).	(1), (2) y (3)
Septiembre 1996	- Carretera cortada: F-24 San Javier-El Mirador.	(2)
Enero 1997	- Zona que inundada: puente que une la pedanía de Pozo Aledo con el casco urbano de San Javier.	(2)
Septiembre 1997	- Duración del episodio: 5 días. - Desbordamiento de la Rambla de Cobatillas.	(1)
Octubre 2000	- Duración del episodio: 5 días. - Desbordamiento de la Rambla de Cobatillas. - Carretera cortada: F-35 que une San Javier con Cartagena por la diputación de La Puebla. Rotura del puente y corte de la carretera.	(1) y (2)
Septiembre de 2009	- Duración del episodio: 1 día. - Desbordamiento de la Rambla de Cobatillas. - Inundaciones en garajes y bajos.	(1)

Fuente:

(1) MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO: Evaluación preliminar del riesgo de inundaciones de origen fluvial en la demarcación hidrográfica del Segura. 2010.

(2) LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (Dir.): Recopilación de la documentación sobre inundaciones en la Región de Murcia. Identificación y localización de las zonas vulnerables. Instituto del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de Murcia. Dirección General de Protección Civil. 2001.

(3) ROMERO DÍAZ, A.; MAURANDI GUIRADO, A.: Las inundaciones en la cuenca del Segura en las últimas dos décadas del siglo XX. Actuaciones de Prevención. En Serie geográfica, nº9. 2000.

(4) FERRERAS FERNÁNDEZ, C.: Inundaciones y sequías en la Cuenca del Segura. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Región de Murcia. 2004.

(5) CONESA GARCÍA, C. El Campo de Cartagena. Clima e hidrología en un medio semiárido. Universidad de Murcia. Ayuntamiento de Cartagena. Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena. 1990.



Inundaciones de noviembre de 1987. Urbanización de los Ríos, en San Javier (foto izq.) y Santiago de la Ribera.

5. ANÁLISIS HIDROLÓGICO.

5.1. RASGOS GENERALES.

Toda la superficie de estudio pertenece, administrativamente, a la Cuenca del Segura. Sin embargo, hidrográficamente, la red de drenaje analizada no se engloba dentro de dicha cuenca sino que todos sus cursos, por su localización geográfica, desaguan en la laguna litoral del Mar Menor.

Todos los cauces englobados en las cuencas delimitados se caracterizan por la ausencia de caudal permanente salvo en episodios de intensas precipitaciones, que pueden dar lugar a súbitas crecidas provocando incluso inundaciones en los terrenos próximos a dichos cauces.

Las cuencas vertientes que desaguan en el área urbana de Santiago de la Ribera corresponden a la red de drenaje que configuran las ramblas de Cobatillas y El Mirador, además de un pequeño sector definido en el propio casco urbano de Santiago de la Ribera.

Rambla de Cobatillas

De acuerdo con la superficie de la cuenca vertiente delimitada en el presente estudio, la Rambla de Cobatillas (36,49 Km²) presenta la mayor entidad hidrológica del ámbito analizado.

La cuenca de la Rambla del Cobatillas presenta una forma alargada con una orientación preferente del curso principal NW-SE. En relación a la cuenca delimitada para el presente estudio hidrológico, el punto más alto de la red de drenaje tiene una altitud de 339 metros, mientras que la cota más baja se sitúa al nivel del mar, punto de desemboca. Su cabecera hidrográfica se sitúa en la Sierra de Escalona mientras que su desembocadura queda emplazada en el Mar Menor. Su superficie está ocupada en gran medida por terrenos agrícolas irrigados (sector central y meridional), y cultivos de secano y formaciones forestales de pinar (zona de cabecera). La longitud del curso principal es de 22,1 Km.

Aunque difícil de precisar el punto exacto por la ausencia de cauces geomorfológicamente definidos, aguas arriba de la AP-7 se identifica una ramificación de la Rambla de Cobatillas en dos cursos. De esta manera, el cauce principal discurre por la población de San Javier hasta desaguar en el mar a la altura de la Academia General del Aire, mientras que el cauce ramificado adopta una disposición casi W-E hasta desembocar a la altura de la Ciudad del Aire.

Rambla de El Mirador

La cuenca de la Rambla de el Mirador tiene su cabecera hidrográfica a la altura del paraje del Hornero, sector caracterizado por relieves escasamente contrastados localizado entre las poblaciones de Sucina y El Mirador. La red de drenaje está constituida por dos subcuencas (además de la correspondiente al cauce principal, se identifica una subcuenca al Este) cuyos cauces principales se unen aproximadamente aguas arriba de la Autopista AP-7. La longitud de curso principal es de 10,9 Km. Al igual que la Rambla de Cobatillas la cuenca delimitada muestra una forma alargada con una disposición de los cursos principales NW-SE, estando los sectores más elevados próximos a la cota de 150 metros de altitud, mientras su desembocadura se localiza en el Mar Menor (cota cero). Los terrenos que engloban la superficie de la cuenca estudiada (16,22 Km²) están dedicados principalmente a usos agrícolas de regadío (hortalizas y frutales), y en los sectores más elevados a cultivos de secano así como masas forestales (matorral y formaciones arbóreas aisladas de pinar).

Sector urbano

Entre los dos subcuencas disgregadas en el tramo final de la Rambla de Cobatillas existe una pequeña cuenca vertiente cuyas características físicas e hidrológicas están determinadas por un predominio de la superficie urbanizada correspondiente a la población de Santiago de la Ribera. Se trata de un pequeño sector con una superficie de apenas 1,5 Km² y ausencia de un cauce definido. Al corresponder gran parte de su superficie a superficies pavimentadas y artificiales se trata de un área cuyo comportamiento hidrológico va a estar determinado por un alto coeficiente de escorrentía.

Rambla del Aeropuerto

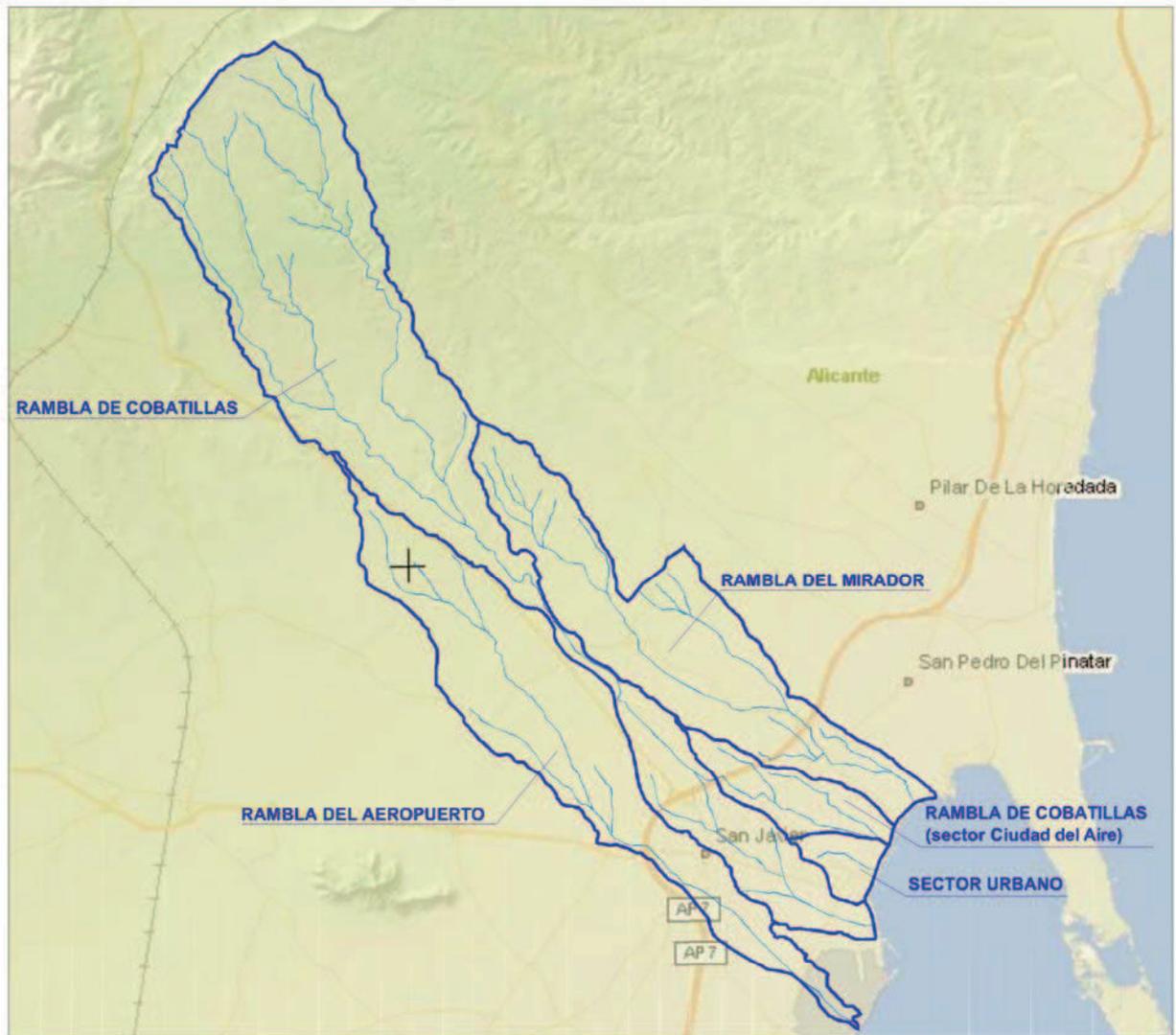
Emplazada en el sector más occidental del ámbito de estudio esta cuenca está drenada por cauces de escasa entidad (a excepción del curso principal) y escasa definición en el terreno consecuencia de las suaves pendientes del mismo y el factor antrópico derivado del desarrollo de amplias superficies cultivadas.

La superficie de la cuenca vertiente es de 17,39 Km² y el cauce principal tiene una longitud de 14,2 kilómetros. Carece de una cabecera hidrográfica claramente definida consecuencia de un relieve poco contrastado en los sectores de mayor altitud (en torno a 140-150 metros) lo que determina la ausencia de rasgos propios de los cursos de zona de montaña: elevada pendiente, potencial erosivo, etc.

Como ocurre con las otras cuencas analizadas los cursos presentan una orientación predominante NW-SE consecuencia de la configuración topográfica de la llanura del Campo

de Cartagena.

La desembocadura del curso principal se localiza en el Aeropuerto de San Javier, antes de su desembocadura en el Mar Menor.



Cuencas vertientes estudiadas

5.2. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA.

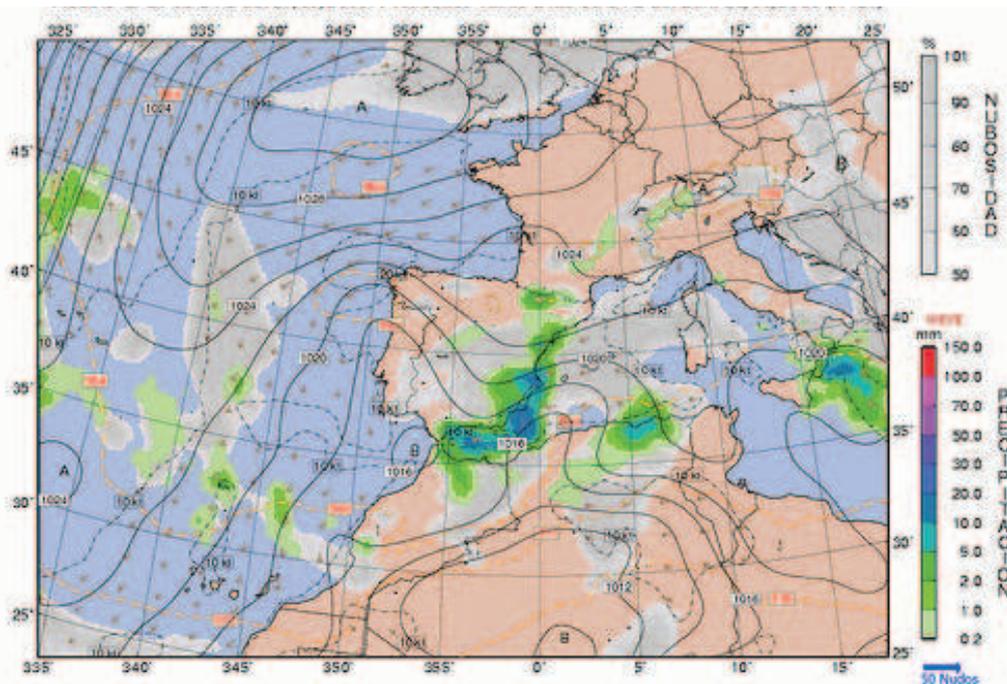
5.2.1. APROXIMACIÓN A LOS EPISODIOS LLUVIOSOS EXCEPCIONALES.

En la zona de estudio, por su situación en el Sureste Peninsular, las precipitaciones torrenciales constituyen un fenómeno reiterativo especialmente en otoño, y de manera secundaria, en primavera. A principios de otoño, cuando en sectores localizados del Mediterráneo Occidental actúan focos de gran termicidad y activos generadores de vapor de agua, en condiciones meteorológicas concretas, suelen producirse lluvias de tipo general, que adquieren especial abundancia e intensidad en áreas específicas.

Estos intensos aguaceros son consecuencia de una serie de efectos convergentes que se exponen a continuación:

- Elevado contenido higrométrico de la atmósfera, debido a la tensión media de vapor, elevada en septiembre-octubre y bastante inferior en primavera, lo que rige la disimetría estacionaria del calendario de las crecidas catastróficas, específicas en otoño.
- La alta temperatura registrada superficialmente en las aguas del Mediterráneo Occidental y que prevalece hasta finales del mes de octubre.
- La presencia de depresiones aisladas en niveles altos de la atmósfera (DANA), coloquialmente conocidas como “gotas frías”, como factor iniciador junto con otros elementos atmosféricos: áreas depresionarias, vaguadas en altitud, depresiones muy activas o células barométricas de tipo cerrado.
- La configuración del relieve, que favorece la ascensión vertical de las masas de aire mediterráneo cálidas y húmedas, con la consiguiente condensación de enormes cantidades de vapor de agua.
- La marcada inestabilidad de las masas de aire mediterráneo en otoño. La frecuente superposición del aire frío sobre el aire cálido de los niveles bajos provoca la existencia de un fuerte gradiente térmico vertical.

La situación sinóptica del tiempo que suele preceder a las intensas lluvias de esta área, queda reflejada, a modo de ejemplo, en la siguiente figura; corresponde a la formación y evolución del fenómeno “gota fría” acontecido en septiembre de 2009.



Situación sinóptica característica de un fenómeno de "gota fría" (27-09-2009).

5.2.2. MÁXIMAS PRECIPITACIONES DIARIAS (Pd).

Para el estudio hidrológico se han considerado los métodos para la obtención de las máximas precipitaciones diarias (Pd):

- Mapa para el cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular.
- Ajuste de Gumbel de series de precipitaciones recogidas en estaciones meteorológicas.
- Monografía "Las precipitaciones máximas en 24 horas y sus períodos de retorno en España".

Mapa de isolíneas

Con objeto de sistematizar el procedimiento de determinación de la máxima precipitación diaria, la Dirección General de Carreteras, del Ministerio de Fomento, publicó en 1999 la monografía denominada "*Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*", en la que se incluye un mapa, que cubre todo el territorio peninsular, donde están reflejadas sendas familias de isolíneas correspondientes a la variación espacial del valor medio de la ley de frecuencia de máximas precipitaciones, por una parte, y del coeficiente de variación, por otra.

Con esta información gráfica, y para un emplazamiento concreto, es posible, determinar tanto el valor medio de la ley de frecuencias de máximas precipitaciones diarias, como el coeficiente de variación correspondiente a esa ley. A partir de los valores obtenidos del coeficiente de variación, y mediante la información de la siguiente tabla (tomada de la monografía citada de la Dirección General de Carreteras), se puede deducir el factor regional Y_t , que es el que se debe aplicar al valor medio para determinar la lluvia asociada a cada

periodo de retorno.

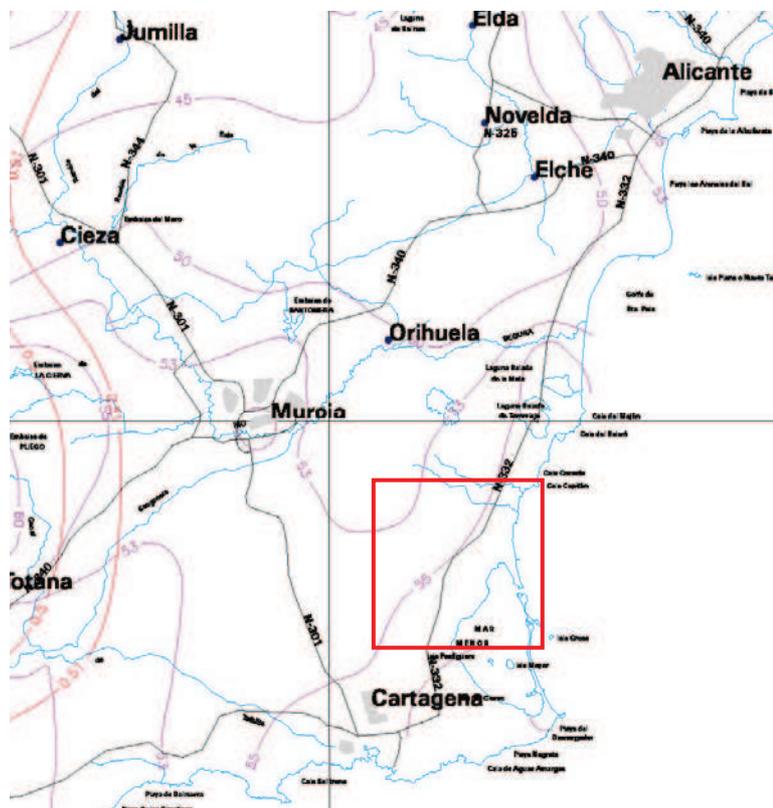
VALORES DEL FACTOR REGIONAL Y_t									
PERIODO DE RETORNO (años)									
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C_v)	2	5	10	25	50	100	200	300	500
0,30	0,935	1,194	1,377	1,625	1,823	2,022	2,251	2,379	2,541
0,31	0,932	0,198	1,385	1,640	1,854	2,068	2,296	2,431	2,602
0,32	0,929	1,202	1,400	1,671	1,884	2,098	2,342	2,484	2,663
0,33	0,927	1,209	1,415	1,686	1,915	2,144	2,388	2,537	2,724
0,34	0,924	1,213	1,423	1,717	1,930	2,174	2,434	2,589	2,785
0,35	0,921	1,217	1,438	1,732	1,961	2,220	2,480	2,635	2,831
0,36	0,919	1,225	1,446	1,747	1,991	2,251	2,525	2,687	2,892
0,37	0,917	1,232	1,461	1,778	2,022	2,281	2,571	2,740	2,953
0,38	0,914	1,240	1,469	1,793	2,052	2,327	2,617	2,793	3,014
0,39	0,912	1,243	1,484	1,808	2,083	2,357	2,663	2,842	3,067
0,40	0,909	1,247	1,492	1,839	2,113	2,403	2,708	2,894	3,128
0,41	0,906	1,255	1,507	1,854	2,144	2,434	2,754	2,946	3,189
0,42	0,904	1,259	1,514	1,884	2,174	2,480	2,800	2,999	3,250
0,43	0,901	1,263	1,534	1,900	2,205	2,510	2,846	3,052	3,311
0,44	0,898	1,270	1,541	1,915	2,220	2,556	2,892	3,104	3,372
0,45	0,896	1,274	1,549	1,945	2,251	2,586	2,937	3,156	3,433
0,46	0,894	1,278	1,564	1,961	2,281	2,632	2,983	3,209	3,494
0,47	0,892	1,286	1,579	1,991	2,312	2,663	3,044	3,270	3,555
0,48	0,890	1,289	1,595	2,007	2,342	2,708	3,098	3,327	3,616
0,49	0,887	1,293	1,603	2,022	2,373	2,739	3,128	3,371	3,677
0,50	0,885	1,297	1,610	2,052	2,403	2,785	3,189	3,432	3,738
0,51	0,883	1,301	1,625	2,068	2,434	2,815	3,220	3,476	3,799
0,52	0,881	1,308	1,640	2,098	2,464	2,861	3,281	3,537	3,860

En definitiva, según la monografía, el proceso a seguir para determinar la máxima precipitación en un emplazamiento determinado, correspondiente a diversos periodos de recurrencia, se sintetiza en lo que sigue:

- Para el ámbito territorial abarcado por el estudio, y mediante la información de la lámina correspondiente del texto, se calculan los coeficientes de variación de la ley de frecuencias utilizada -la denominada SQRT-ET máx-, y el valor medio de la precipitación máxima que se deduce de esa ley.
- Para un periodo de retorno determinado y el valor del coeficiente de variación antes obtenido, se determina, mediante la tabla anterior, el factor regional Y_t que debe afectar al valor medio de la precipitación para obtener el valor de la precipitación máxima, en mm/día, correspondiente al periodo de retorno en cuestión.

El conjunto de trabajos incluidos en el mapa de isóneas contiene la aplicación MAXPLU que, a partir de los valores medios de la máxima precipitación diaria anual y los coeficientes de

variación de las series de precipitaciones máximas diarias regionalizadas, permite obtener de forma automática las estimas de precipitación máxima diaria correspondientes a diferentes períodos de retorno. Mediante esta aplicación se han calculado los valores máximos de precipitación en 24 horas para el periodo de retorno considerado, tomando como punto geográfico de referencia el centroide de la cuenca estudiada.



Mapa de isolinias

Líneas color rojo: coeficiente de variación (Cv)

Líneas color morado: valor medio de la máxima precipitación diaria anual (P)

Ajuste de Gumbel

Con objeto de contrastar los resultados obtenidos en el mapa de isolinias, se considera conveniente determinar los valores de máxima precipitación asociados a los periodos de retorno pertinentes, en la estación pluviométrica seleccionada en la zona que disponga de una serie con una longitud relevante. Para estos casos, se aplica el ajuste de Gumbel.

La distribución de Gumbel ha sido utilizada con buenos resultados para valores extremos independientes de variables meteorológicas y parece ajustarse bien a los valores máximos de la precipitación en distintos intervalos de tiempo y después de muchos años de uso parece confirmarse su utilidad en los problemas prácticos de ingeniería de dimensionamiento de redes de drenaje y diversas obras hidráulicas.

Si n es el número anual de valores diarios independientes de un elemento meteorológico o hidrológico y Ex el número medio anual de valores diarios que exceden el valor x , la probabilidad de que un valor diario exceda a x es Ex/n , mientras que la probabilidad de que

sea menor será $1 - (Ex/n)$.

La probabilidad $F(x)$, en tanto por uno, de que el máximo anual sea menor que x vendrá dada por $F(x) = (1 - Ex/n)n$, y si n es suficientemente grande $F(x) \rightarrow e^{-Ex}$. Si se hace $y = -Ln Ex$, se tiene:

$$F(x) = e^{-e^{-y}}$$

Y es variable reducida, $y = -Ln Ln 1/F(x)$, y e la base de los logaritmos neperianos.

En la aplicación de la teoría de los valores extremos se suele expresar la probabilidad en términos del periodo de retorno o de recurrencia $T(x)$, que para un valor particular de x es "el intervalo medio, expresado en años, en que el valor extremo alcanza o supera a x una vez solamente". La relación entre la probabilidad $F(x)$ y el periodo de retorno $T(x)$ viene dada por:

$$T(x) = \frac{1}{1 - F(x)}$$

La variable reducida viene dada por:

$$y = \alpha(x - \mu)$$

Siendo α y μ parámetros que pueden calcularse a partir de la serie de valores extremos x .

Para estimar estos parámetros pueden utilizarse varios métodos, si bien para el presente estudio se ha adoptado el de ajuste por mínimos cuadrados.

Para ver, a priori, si la serie de valores máximos anuales se ajusta a la distribución Gumbel puede utilizarse un papel de probabilidad extrema. En abscisas se lleva la frecuencia acumulada o probabilidad.

$$F(x) = \frac{100 * m}{n + 1}$$

La escala es doble logarítmica y por consiguiente lineal en y . En la horizontal superior figuran los periodos de retorno.

$$T(x) = \frac{1}{1 - F(x)}$$

Para representar una distribución de frecuencia de valores extremos se ordenan los n valores máximos anuales de menor a mayor, asignando al primero el valor 1, al segundo 2, etc. En la expresión $100 * m / (n + 1)$ se dan a m los valores 1, 2, 3, ..., n , y los obtenidos se llevan sobre la escala horizontal. Sobre la vertical se llevan los correspondientes valores máximos. Si los puntos representativos están más o menos alineados, la distribución se ajusta a la del tipo Gumbel, tanto mejor cuanto más alineados estén.

Para el cálculo de la línea de mejor ajuste se ha desarrollado un método que es una variante del de mínimos cuadrados (Chow). La diferencia consiste en que la suma de cuadrados de las distancias que hay que hacer mínima no se mide paralelamente a los ejes coordenadas (x ó y) sino paralelamente a una línea cuya pendiente es de signo opuesto a la línea de mejor ajuste. Este método simplifica considerablemente los cálculos y conduce a las relaciones siguientes para estimar los parámetros α y μ : $\alpha = \frac{S_n}{S_x}$; $\mu = \bar{x} - \bar{y}_n \frac{S_x}{S_n}$

El valor extremo buscado x , es para cada periodo de retorno:

$$x = \bar{x} + \frac{Y_T - \bar{Y}_n}{S_n} * S_x$$

Donde Y_T es la variable reducida, que depende únicamente del periodo de retorno T considerado, y se calcula como:

$$Y_T = -Ln Ln \frac{T}{T-1}$$

\bar{Y}_n y S_n son respectivamente la media y la desviación típica de la variable reducida y, obtenidas a partir de la relación :

$$Y = -Ln Ln \frac{n+1}{m}$$

Y dependen solamente de n (número de años de la serie).

Máxima precipitación diaria y el Método hidrometeorológico

Ambos procedimientos, Mapa de isolíneas y el ajuste de Gumbel, aplicados para la determinación de la máxima precipitación en los pluviómetros próximos a la cuenca en estudio, han sido cumplimentados convenientemente en este estudio, tal y como se detalla en apartados posteriores.

De acuerdo con el método hidrometeorológico, los valores de la precipitación máxima diaria deben corregirse según la expresión siguiente, para tener en cuenta la no simultaneidad de las lluvias máximas de un mismo periodo de retorno en toda la superficie.

$$P_d^* = P_d \left[1 - \frac{\log A}{15} \right] \quad \text{para } A \geq 1 \text{ km}^2$$

$$P_d^* = P_d \quad \text{para } A < 1 \text{ km}^2$$

Donde:

Pd^* = Precipitación máxima diaria areal (en mm) correspondiente a un periodo de retorno T, modificada en función del área de la cuenca.

Pd = Precipitación máxima diaria (en mm) deducida según el procedimiento antes descrito a partir de las isomáximas correspondientes a un periodo de retorno T.

$\log A$ = Logaritmo decimal de la superficie de la cuenca A (km²).

El aguacero, a efectos de cálculo, queda definido por la intensidad I (mm/hora) de precipitación media, que es función de la duración del intervalo considerado, y de la intensidad de precipitación media diaria ($P*d/24$) para un periodo de retorno de referencia. Por su parte, de acuerdo con lo asumido en el método hidrometeorológico, la duración del aguacero que se considera en los cálculos de la intensidad es igual al del tiempo de concentración de la cuenca.

La intensidad de precipitación media para un periodo de retorno dado se obtiene a partir de las siguientes expresiones:

$$\frac{I}{I_d} = \left[\frac{I_1}{I_d} \right]^{\frac{28^{0.1} - D^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Donde:

D = Duración de la lluvia en horas = T_c

I = Intensidad media de la lluvia en un intervalo de duración D para un periodo de retorno dado.

I_d = Intensidad diaria de la lluvia para ese mismo periodo de retorno ($P*d/24$).

I/I_d = Relación entre la intensidad de lluvia horaria y la diaria independiente del periodo de retorno y que puede obtenerse para el territorio nacional, de la figura adjunta.



Relación entre las intensidades de lluvia horaria y diaria (I_1/I_d)

5.2.3. ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO.

Una vez expuestas las metodologías de obtención de las precipitaciones máximas diarias mediante el mapa de isolíneas y el ajuste de Gumbel, en este apartado se muestran los resultados obtenidos a partir de ambos métodos, aparte de los valores obtenidos directamente de la monografía “*Las precipitaciones máximas en 24 horas y sus períodos de retorno en España*”.

Con el procedimiento descrito en el apartado anterior para el cálculo de “Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular”, los valores de las precipitaciones máximas en 24 h, para el centroide de área definida por el conjunto de las cuencas delimitadas, son los siguientes:

Períodos de retorno				
T años	2	10	100	500
mm.	47	88	154	208

Por otra parte, a continuación se incluye la serie pluviométrica y el ajuste de Gumbel para la estación meteorológica de Sucina (7-029), localizada en el sector de cabecera de las principales cuencas vertientes estudiadas. El periodo de observación para ambas estaciones corresponde a los años 1972-2001.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA:			SUCINA 7-029		
Longitud:	0° 57' W	Latitud:	37° 53' N	Altitud (m):	203
Año	mm/día	N° de orden	$(100n)/(N+1)$	$(X-X_i)$	$(X-X_i)^2$
1999	18	1	3,23	33,11000	1.096,27210
1978	18,5	2	6,45	32,61000	1.063,41210
1984	19	3	9,68	32,11000	1.031,05210
1983	20	4	12,90	31,11000	967,83210
1976	23,5	5	16,13	27,61000	762,31210
1975	25	6	19,35	26,11000	681,73210
1990	29	7	22,58	22,11000	488,85210
1979	31	8	25,81	20,11000	404,41210
1998	32	9	29,03	19,11000	365,19210
1995	35	10	32,26	16,11000	259,53210
1994	37	11	35,48	14,11000	199,09210
1981	38,3	12	38,71	12,81000	164,09610
1982	43	13	41,94	8,11000	65,77210
2001	44	14	45,16	7,11000	50,55210
1973	44,5	15	48,39	6,61000	43,69210
1997	49	16	51,61	2,11000	4,45210
1977	50	17	54,84	1,11000	1,23210
1988	50	18	58,06	1,11000	1,23210
1996	53,5	19	61,29	2,39000	5,71210
1980	54	20	64,52	2,89000	8,35210
2000	58	21	67,74	6,89000	47,47210
1986	63	22	70,97	11,89000	141,37210
1993	65	23	74,19	13,89000	192,93210
1985	66	24	77,42	14,89000	221,71210
1989	66	25	80,65	14,89000	221,71210
1991	75	26	83,87	23,89000	570,73210
1974	76	27	87,10	24,89000	619,51210
1992	88	28	90,32	36,89000	1.360,87210
1972	92	29	93,55	40,89000	1.671,99210
1987	170	30	96,77	118,89000	14.134,83210
$\Sigma =$	1.533,30				
X =	51,11				
	$\sigma =$	29,91			

y	0,5362
σ^*	1,1124
n° de años	30
α	0,0371
u	36,6901

Resultados		
Periodo de retorno (Años)	$F(X)$	Pd (mm/día)
500	0,998	203,79
100	0,99	160,40
10	0,9	97,21
2	0,5	46,80

Por último, en la monografía del Ministerio de Medio Ambiente “Las Precipitaciones máximas en 24 horas y sus periodos de retorno en España. Volumen 7 Murcia”, los datos recogidos (en mm) de las estaciones de San Javier y Sucina son los siguientes:

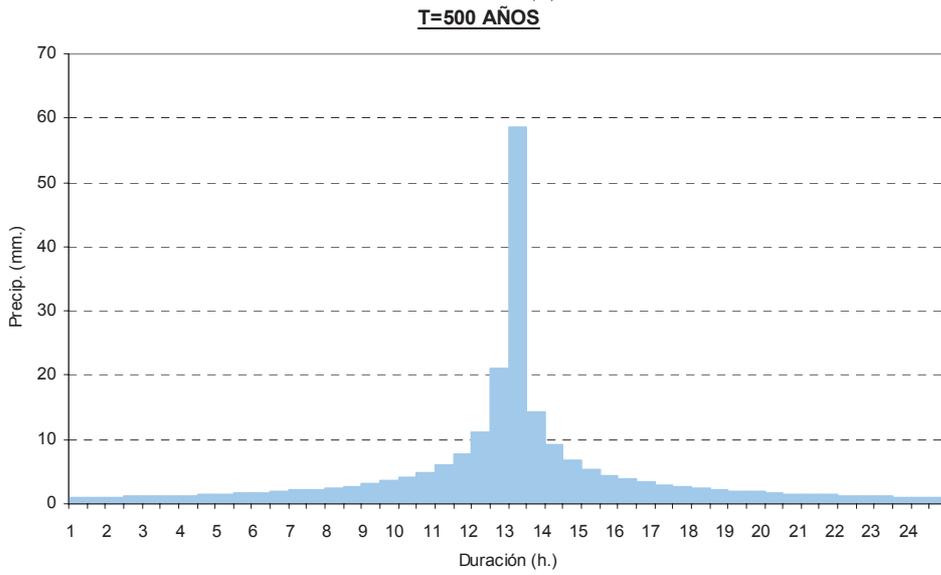
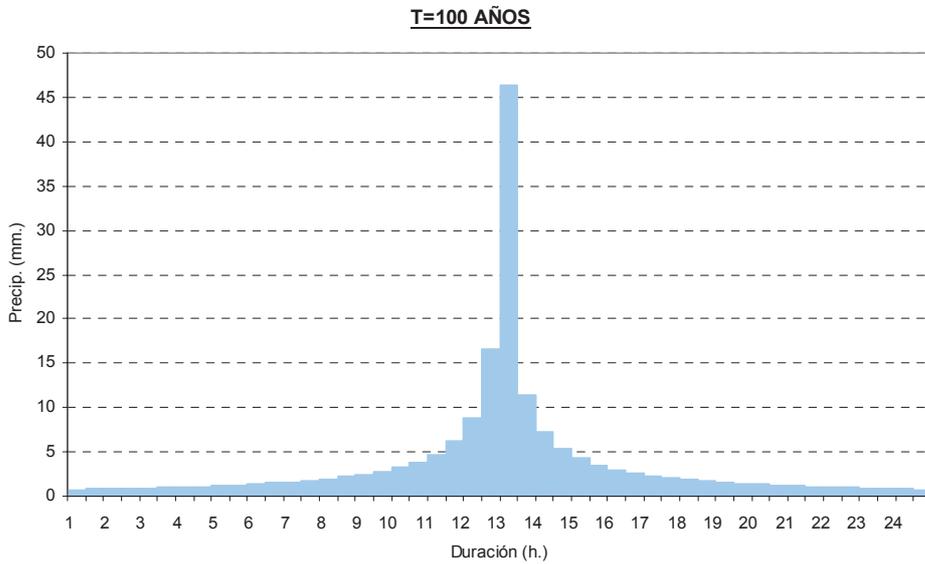
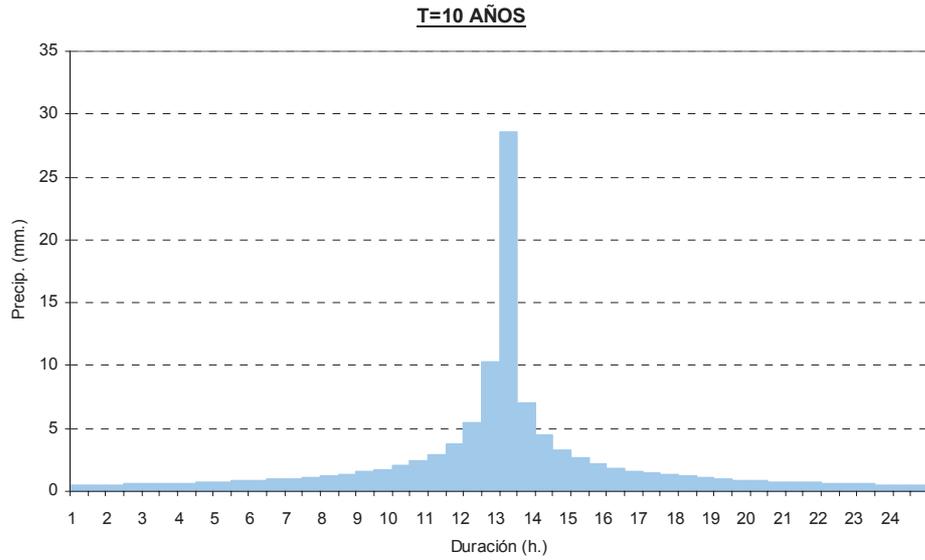
Períodos de retorno					
Estación	Periodo de observación	2	10	100	500
San Javier “Aeródromo”	1949-1986	54,0	107,4	174,0	219,7
Sucina	1955-1989	46,2	84,2	131,6	164,2

5.3. PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS (Pd) CONSIDERADAS PARA EL CÁLCULO DE LOS CAUDALES PUNTA.

De los tres métodos utilizados para el cálculo de las precipitaciones máximas diarias (Pd), se ha elegido la precipitación mayor obtenida (más desfavorable), para el cálculo posterior de los caudales y el correspondiente dimensionamiento de las actuaciones proyectadas. En este caso, el mayor valor de precipitación en 24 horas para los periodos de retorno considerados, corresponde al obtenido mediante la monografía “Las Precipitaciones máximas en 24 horas y sus periodos de retorno en España”, tal y como quedan recogidos en la siguiente tabla:

Valores finales Pd						
		Años	2	10	100	500
Mapa de isolíneas			47	88	154	208
Gumbel	Sucina		46,80	97,21	160,40	203,79
Monografía	Sucina		46,2	84,2	131,6	164,2
“Precipitaciones máximas”	San Javier		54,0	107,4	174,0	219,7

Mediante el método de los bloques alternos (Chow, et al. 1994), la tormenta de proyecto para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años presenta los siguientes hietogramas:



5.4. CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE ESCORRENTÍA.

5.4.1. MÉTODOS DE CÁLCULO.

Para el cálculo de caudales pico o punta se van a utilizar el método racional, incluyendo el modificado de Témez, y la modelización mediante el modelo HMS.

5.4.1.1. MÉTODO RACIONAL Y MÉTODO DE TÉMEZ.

Para pequeñas cuencas (Tiempo de concentración menor de seis horas) se sigue lo prescrito en la “Instrucción 5.2-I.C. (Drenaje superficial)”, siendo apropiados los métodos hidrometeorológicos, basados en la aplicación de una intensidad media de la precipitación a la superficie de la cuenca, a través de una estimación de su escorrentía. Ello equivale a admitir que la única componente de esa precipitación que interviene en la generación de caudales máximos es la que escurre superficialmente.

Se considera necesario para el estudio, el análisis de las superficies de aportación, los tiempos de concentración, coeficientes de escorrentía, precipitaciones e intensidades de lluvia, intensidades horarias máximas de lluvia, etc.

El método hidrometeorológico a utilizar en el presente estudio es el Racional modificado de Témez.

Como limitación al campo de aplicación de este método se puede citar:

- $0,25 < T_c \leq 24$ h (T_c es el tiempo de concentración).
- $A \leq 3000$ Km² (A es la superficie de la cuenca).

El Método Racional supone que el caudal máximo es el generado por la lluvia de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. De tal forma que:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6} \cdot K ; \text{ Donde:}$$

Q = Caudal pico en m³/s.

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad de la tormenta de diseño en mm/h.

A = Superficie de la cuenca en Km².

K = Coeficiente de uniformidad.

Las fases propuestas por Témez como modificación al Método Racional son las siguientes:

a) Tiempo de concentración.

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

Donde:

T_c = tiempo de concentración en horas.

L = Longitud de cauce principal en Km.

J = Pendiente del cauce principal.

b) Precipitación diaria. Para tener en cuenta la no uniformidad espacial de la lluvia, hay que afectarla por un coeficiente de reducción areal si la superficie de la cuenca es superior a 1 Km² como es el caso. Este coeficiente tiene como expresión:

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

Donde A es la superficie de la cuenca en Km².

c) Tormentas de diseño. La curva de intensidad-duración- frecuencia tiene como expresión:

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

Donde:

I_t = intensidad media de la tormenta de diseño en mm/h.

I_d = intensidad media diaria en mm/h ($I_d = P_d/24$).

I_1 = intensidad media de la tormenta de 1 hora de duración.

t = duración de la tormenta de diseño e igual al tiempo de concentración.

La relación $\frac{I_1}{I_d}$ (factor de torrencialidad) es 11 para la cuenca (obtenido de la figura 2.2 de la

Instrucción 5.2 – IC Drenaje superficial (MOPU-90).

d) Coeficiente de escorrentía. Es el obtenido en el punto 5.4.3 de este estudio.

e) Coeficiente de uniformidad. Viene dado por la ecuación:

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

Esta ecuación está en función del tiempo de concentración y tiene en cuenta el error introducido en la hipótesis de uniformidad temporal de la precipitación a medida que crece el tamaño de la cuenca.

Para los cálculos de los caudales máximos se ha utilizado el periodo de retorno de 100 años para las cuencas estudiadas.

5.4.1.2. MODELO HEC-HMS.

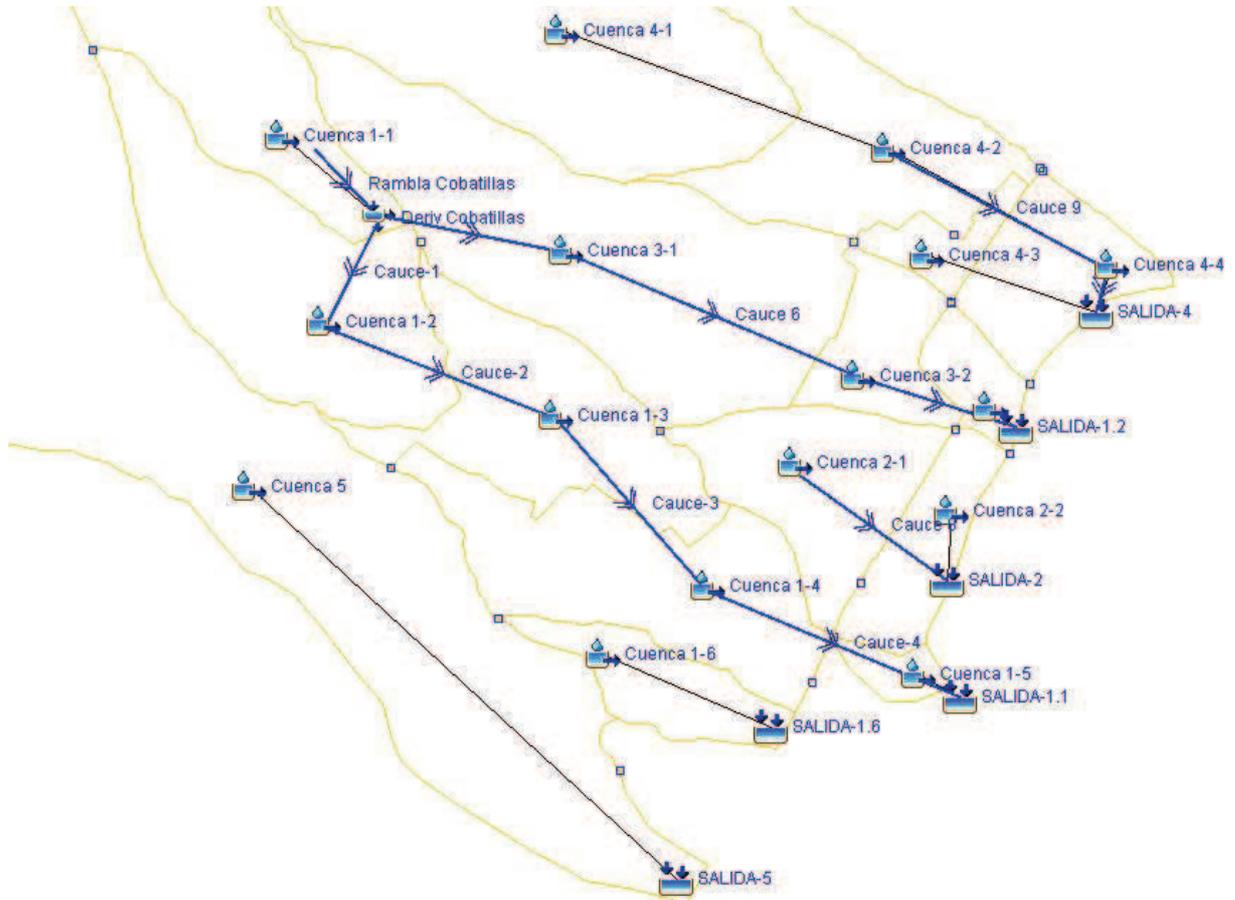
El HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System*) es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar las hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa.

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, HEC-HMS utiliza los siguientes componentes:

Modelo físico de las cuencas

En esta fase, se realiza una caracterización hidrológica de las cuencas objeto de estudio. Para ello, previamente se lleva a cabo una descomposición de las cuencas iniciales en los

distintos elementos hidrológicos existentes que se introducen al modelo. Cada elemento hidrológico tendrá asociado un proceso y un método para modelarlo.



Esquema de modelización de las cuencas analizadas

Modelo meteorológico

Una vez caracterizadas las cuencas se indica la precipitación que caerá sobre ella en cada una de las avenidas a simular. Este aspecto se concreta en HEC HMS en el modelo meteorológico.

Especificaciones de control

Las especificaciones de control definen el periodo de tiempo durante el cual se realizará la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar. La fecha y hora de inicio será la de comienzo de la precipitación y la de final cuando este previsto el fin de la circulación de caudales de avenida.

Entrada de datos

Los componentes de los datos de entrada, tales como las series temporales, tablas y datos por celdas son requeridos como parámetros o condiciones de contorno tanto en el modelo de la cuenca como en el meteorológico.

Para el presente estudio el cálculo de las pérdidas de precipitación y la transformación lluvia-

caudal se ha realizado por medio del método del SCS y el análisis de la propagación de caudales por el método de Muskingum.

El método del SCS, también llamado del “número de curva” consta de dos partes: en la primera de ellas se hace una estimación del volumen de escorrentía resultante de una precipitación; en la segunda se determina el tiempo de distribución del caudal originado, incluyendo el caudal de punta.

La estimación del caudal correspondiente a una lluvia, se hace con el siguiente procedimiento: los datos de lluvia más generalmente disponibles son los totales medidos en pluviómetros y para tales datos se ha desarrollado la relación lluvia-escorrentía. Esos datos son los totales de una o más tormentas que ocurren en un día del calendario, y nada se sabe acerca de su distribución en el tiempo, por eso es que la relación excluye al tiempo como la variable explícita.

Para precipitaciones (P) menores que I_a , no tiene lugar la escorrentía directa acumulada (Q). La consiste principalmente en pérdidas por intercepción, almacenamiento en depresiones e infiltración, antes de que se produzca el escurrimiento.

Para cantidad de lluvia en aumento, la curva Q en relación con P se aproxima asintóticamente a una línea recta paralela (S) se llama retención potencial máxima, que es la máxima cantidad de lluvia que la cuenca puede absorber. Como hay muchas curvas que cumplen la condición de pasar por el punto (I_a, Q) y aproximarse asintóticamente a $Q = P - S$, se necesita definir otra condición para establecer la forma de la curva.

Esto se hace estableciendo que la relación entre la retención real ($P - I_a - Q$), y la retención potencial máxima (S) es igual a la relación entre la escorrentía real (Q) y la escorrentía potencial máxima ($P - I_a$):

$$\frac{P - I_a - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$$

La experiencia práctica ha demostrado que I_a es aproximadamente el 20% de la retención potencial máxima, así $I_a = 0.2 S$, por lo que la ecuación de escurrimiento puede escribirse como:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

El valor de S (en pulgadas) se relaciona con el número de curva de escorrentía (CN) por la definición:

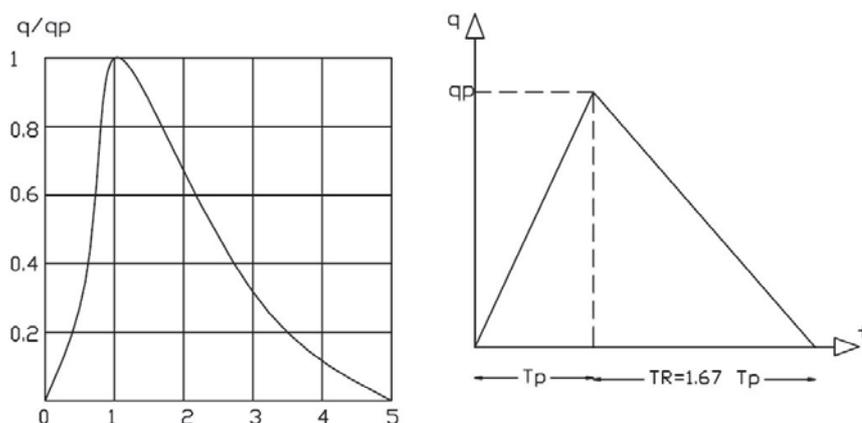
$$CN = \frac{1000}{10 + S}$$

De lo cual se deduce que para zonas pavimentadas S será igual 0 y $CN = 100$, mientras que las condiciones en que no se produce escurrimiento superficial S se hace infinito y $CN = 0$.

Para la distribución en el tiempo de la esorrentía se emplea el hidrograma unitario adimensional desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos cuya forma está predeterminada. La escala de tiempo del hidrograma se expresa horas, tiempo par alcanzar el máximo caudal pico (t_p) del mismo, y los caudales pico se expresan en m^3/s (Q_p).

Para convertir las ordenadas adimensionales del hidrograma en valores reales, debe conocerse el período de elevación t_p y Q_p . Este último se obtiene utilizando la relación obtenida del hidrograma triangular sintético.

El caudal pico esta dado por la expresión:



$$Q_p = \frac{K_q \cdot A}{t_p}$$

Donde:

Q_p = caudal pico (m^3/s)

A = Área de drenaje en Km^2

t_p = tiempo para alcanzar el caudal pico, en horas.

El tiempo para alcanzar el caudal pico se estima igual al tiempo de retraso (lag time) más la mitad de la duración de la lluvia. El tiempo de retraso se estima como 0,6 veces el tiempo de concentración de la cuenca, quedando la ecuación siguiente para el tiempo de pico:

$$t_p = \frac{t_r}{2} + 0,6 \cdot t_c$$

Donde:

t_p = tiempo para alcanzar el caudal pico, en horas.

t_r = duración de lluvia (duración del hidrograma unitario) = $0,133t_c$, en horas.

t_c = tiempo de concentración, en horas.

Una vez conocidos los caudales de referencia y obtenidos los hidrogramas de la cuenca se puede realizar el tránsito de dichos hidrogramas. El tránsito de caudales es un procedimiento para determinar el tiempo y la magnitud del caudal en un punto de un curso de agua utilizando hidrogramas conocidos o superpuestos en uno o más puntos aguas arriba. En un sentido más amplio, el tránsito de caudales puede considerarse como un análisis para seguir el caudal a través de un sistema hidrológico, dada una entrada. Uno de estos métodos de tránsito de avenidas es el Método de Muskingum, que es un método de tránsito de sistemas agregados es decir, el flujo se calcula como una función del tiempo únicamente en un lugar particular, sin entrar en los análisis y detalles que realizan los modelos hidráulicos.

El modelo de Muskingum viene definido por dos parámetros k y x . El parámetro k representa el tiempo de recorrido de un hidrograma, o de una onda de crecida, a lo largo del tramo de estudio. En este estudio se ha establecido un valor promedio de k igual al tiempo de concentración del cauce principal multiplicado por 0,6.

Mientras, el parámetro x constituye una especie de coeficiente de ponderación entre los caudales entrantes y salientes del tramo a la hora de cuantificar el almacenamiento de agua en el citado tramo. Ante la imposibilidad de utilizar el procedimiento de cálculo expuesto anteriormente, se ha seguido el criterio señalado por diversos autores, que indican que, en cauces naturales, dicho valor se sitúa en un rango comprendido entre 0 y 0,3. El modelo es poco sensible al valor de x y normalmente para corrientes naturales se asume un valor medio próximo a 0,2 (CHOW, 1994). En este Estudio se ha asumido este valor para todos los cauces.

5.4.2. ESTIMACIÓN DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA.

El umbral de escorrentía (P_0) se obtiene de la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada. Se supone que cada uno de los complejos suelo-vegetación se comporta de una misma forma frente a la infiltración. Cuando el umbral de precipitación es superado, el valor de la escorrentía en relación con la precipitación va aumentando. Constituye uno de los parámetros clave en el estudio de la respuesta hidrológica de una cuenca.

Este método utiliza, entre otros, valores de pendiente, vegetación, usos del suelo y características hidrológicas del suelo. Aunque los valores de las tablas originales han sido modificados para el caso español por Témez, la experiencia demuestra que, en ambientes de rambla, se necesita una mayor adaptación, dada la especificidad del entorno morfoclimático.

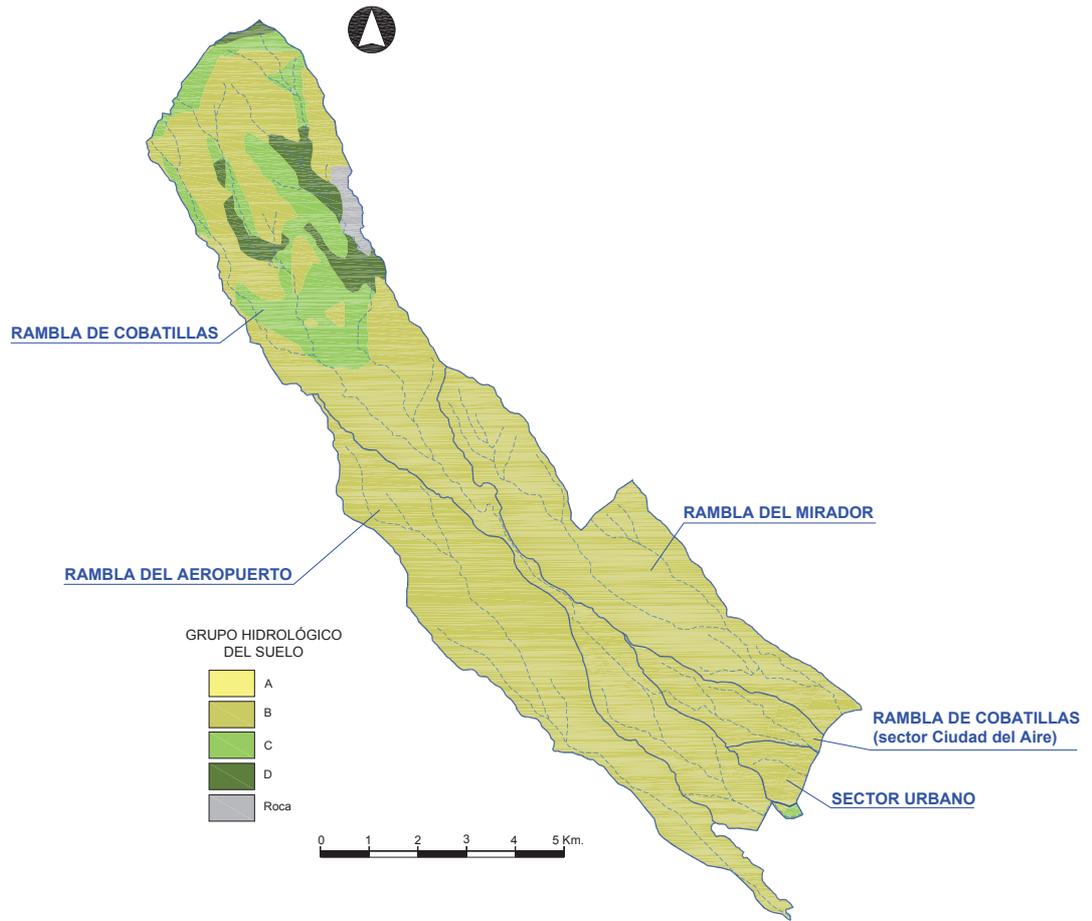
Para la determinación del grupo textural del suelo se ha seguido la metodología propuesta por CAMARASA, A. M. (*et al*)¹. basada en cruzar las distintas unidades taxonómicas de tipos de suelo con las unidades correspondientes al mapa lito-geomorfológico.

Las unidades taxonómicas de los distintos tipos de suelo han sido obtenidas del Mapa de Suelos de la Región de Murcia, elaborado por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y siguiendo la clasificación de FAO-UNESCO (1974). Por su parte, las unidades litológicas y geomorfológicas han sido definidas a partir de la cartografía publicada por el Instituto Geológico y Minero de España en distintas publicaciones y escalas.

De acuerdo con la metodología citada se determinan los siguientes grupos hidrológicos en el ámbito de estudio:

GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
LITOGEOFOLÓGÍA	TIPO DE SUELO		
	Xerosoles	Regosoles	Litosoles
Abanicos aluviales. Costras, cantos y arenas	B	C	D
Suelos aluviales. Arcillas y limos	C	D	D
Abarrancamientos, ramblas y cuestas. Margas y margocalizas	C	D	D
Roquedo calcáreo. Dolomías y calizas	-	-	D
Yesos y margas	D	-	-
Arenas, areniscas y arcillas	B	-	-

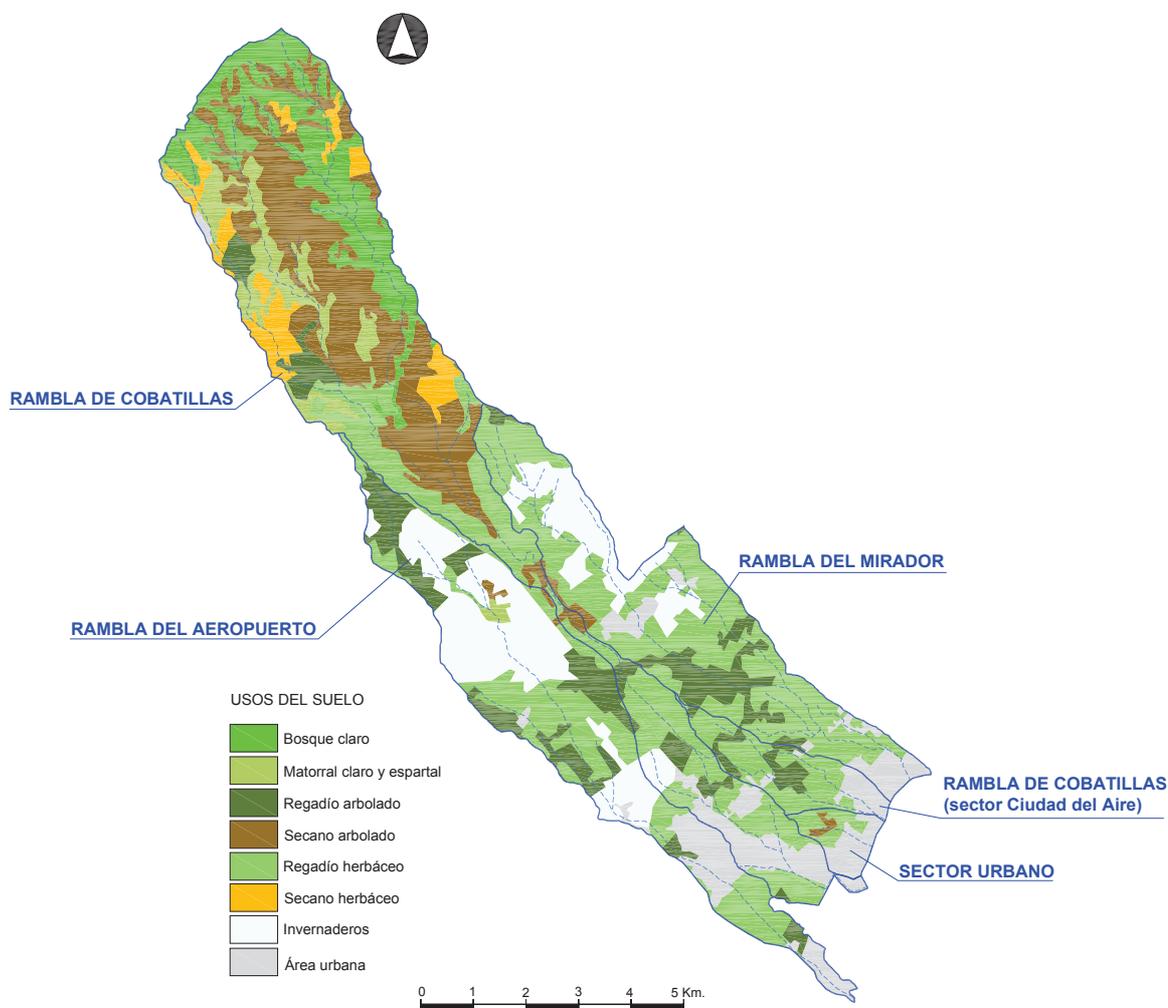
¹ CAMARASA, A. M.; LÓPEZ-GARCÍA, M. J. y PASCUAL, J. A.: *Análisis mediante SIG de los parámetros de producción de escorrentía*. Universidad de Valencia y Centro de Investigaciones sobre Desertificación-CIDE.



Mapa del grupo hidrológico del suelo

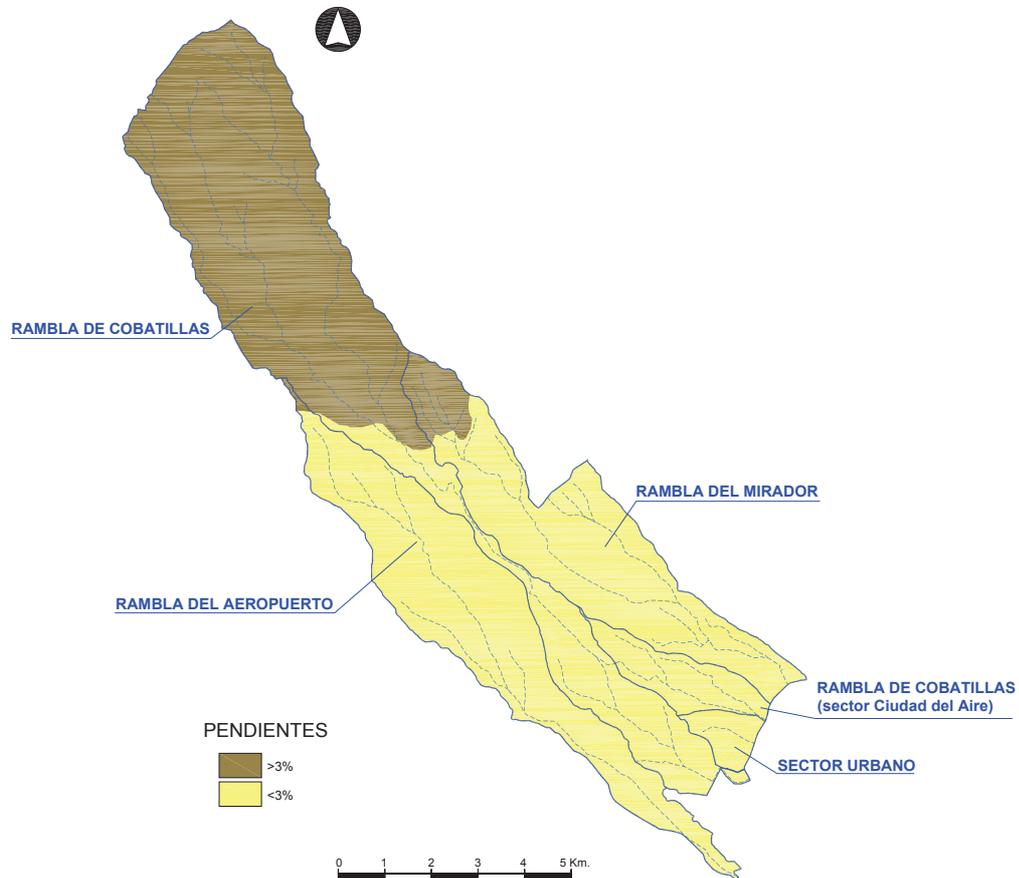
En la zonificación de usos de suelos se ha empleado cartografía raster perteneciente a imágenes de satélite y ortofotos publicadas por el visualizador Web cartográfico Google Earth y el mapa de usos del suelo del MAGRAMA. Así, en el área correspondiente a la cuenca analizada se localizan los siguientes usos del suelo.

- Bosque claro.
- Matorral claro y espartal.
- Regadío arbolado.
- Secano arbolado.
- Regadío herbáceo.
- Secano herbáceo.
- Invernaderos.
- Áreas urbanizadas.



Mapa usos del suelo

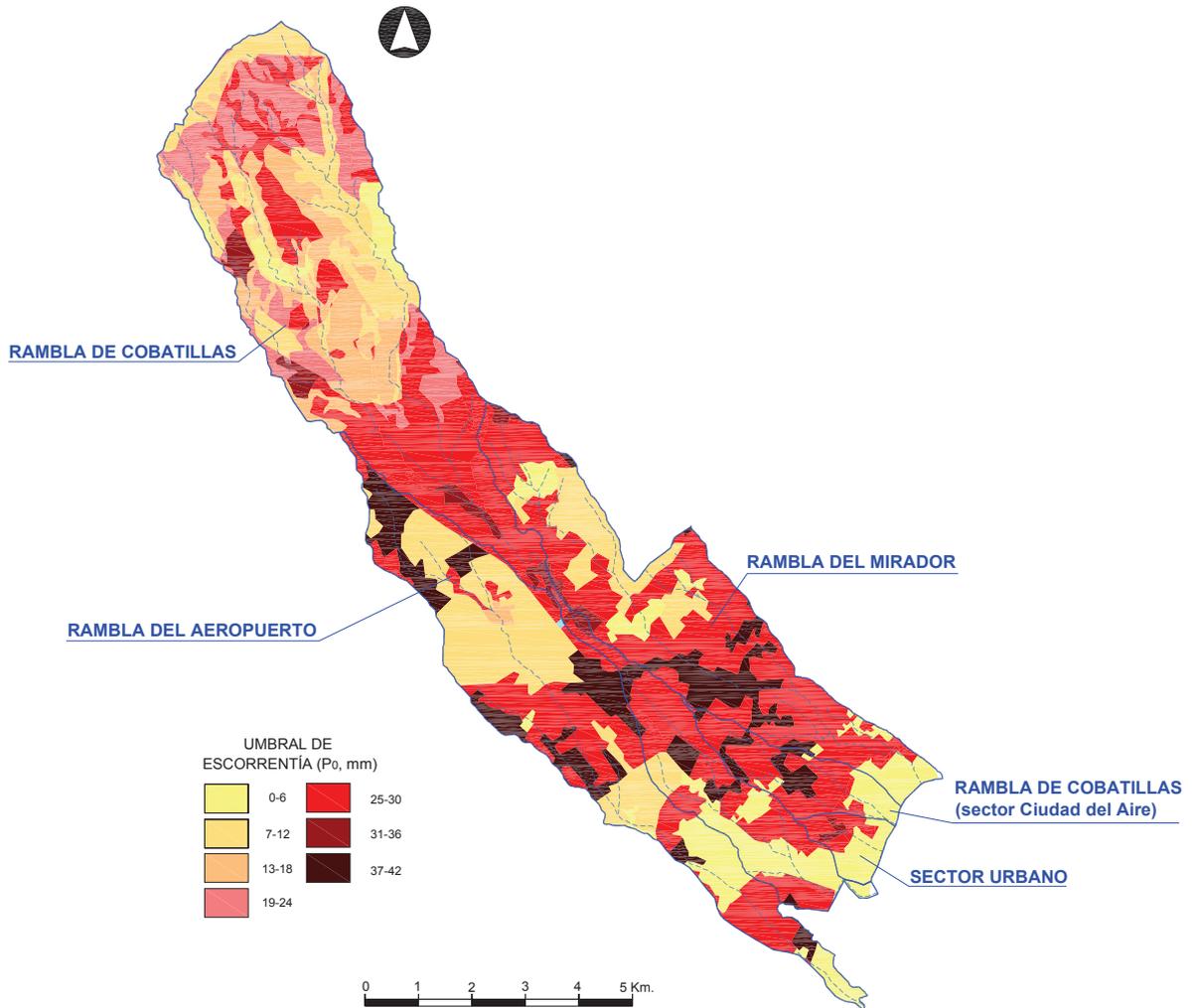
Por último, los valores de pendientes, expresados en tanto por ciento, han sido obtenidos mediante un modelo digital de elevaciones elaborado en la publicación Atlas Global de la Región de Murcia.



Mapa de pendientes

En el Apéndice n°1 se incluyen las tablas que muestran los datos relativos a la caracterización hidrológica de las cuencas analizadas.

La obtención del valor final del umbral de escorrentía es resultado de la integración de la cartografía temática (usos del suelo, grupo textural y pendiente) en un Sistema de Información Geográfica (Autocad Map) y su posterior análisis espacial mediante la superposición de la citada cartografía temática.



Mapa de umbral de escorrentía

Para la obtención del coeficiente corrector del umbral de escorrentía se ha aplicado la metodología recogida en la publicación “*Instrucción 5.2-IC Drenaje Superficial*” elaborada por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (1990), donde se obtiene un mapa a partir de los valores de los coeficiente interpolados a escala nacional. En el ámbito de estudio, al corresponder con un clima árido, y por tanto con una situación de precipitación antecedente seca, los valores del parámetro son los más altos para el conjunto de España.

De acuerdo con el mapa del coeficiente corrector del umbral de escorrentía de las cuencas estudiadas, se ha optado por aplicar un **coeficiente corrector de 3,2** para el cálculo final de los caudales de avenida.

5.4.3. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.

El coeficiente de escorrentía es el cociente entre la lluvia total y la lluvia neta caída durante un periodo de tiempo. Para obtener el coeficiente de escorrentía, se ha empleado el modelo de infiltración del Soil Conservation Service, de tal forma que el coeficiente de escorrentía depende tanto del parámetro del modelo de infiltración como de la magnitud del aguacero. Define la proporción de la componente superficial de la precipitación de intensidad I , y depende de la razón entre la precipitación diaria P_d correspondiente al periodo de retorno y el umbral de escorrentía P_0 , a partir del cual se inicia ésta. El resultado es:

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

Donde:

P_d = precipitación diaria en mm para el período de retorno considerado.

P_0 = umbral de escorrentía en mm. Es decir, el valor de la precipitación a partir del cual se produce escorrentía y que es función de la pendiente del terreno, de la textura del suelo y del uso a que se dedique el mismo.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla del siguiente epígrafe.

5.5. CAUDALES DE REFERENCIA.**5.5.1. DEFINICIÓN DE SUBCUENCAS Y PUNTOS DE CONTROL.**

Para la correcta ubicación y dimensionamiento de las actuaciones propuestas resulta necesario establecer unos puntos de control en donde se determina un caudal de avenida que sirva de referencia para dichos cálculos. La definición en el terreno de puntos de control obliga a una subdivisión de las cuencas de drenaje analizadas en el presente estudio hidrológico en las cuales se emplazan.

En base a esta premisa se obtienen los siguientes puntos de control y subcuencas:

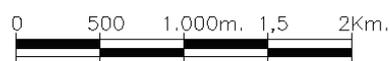
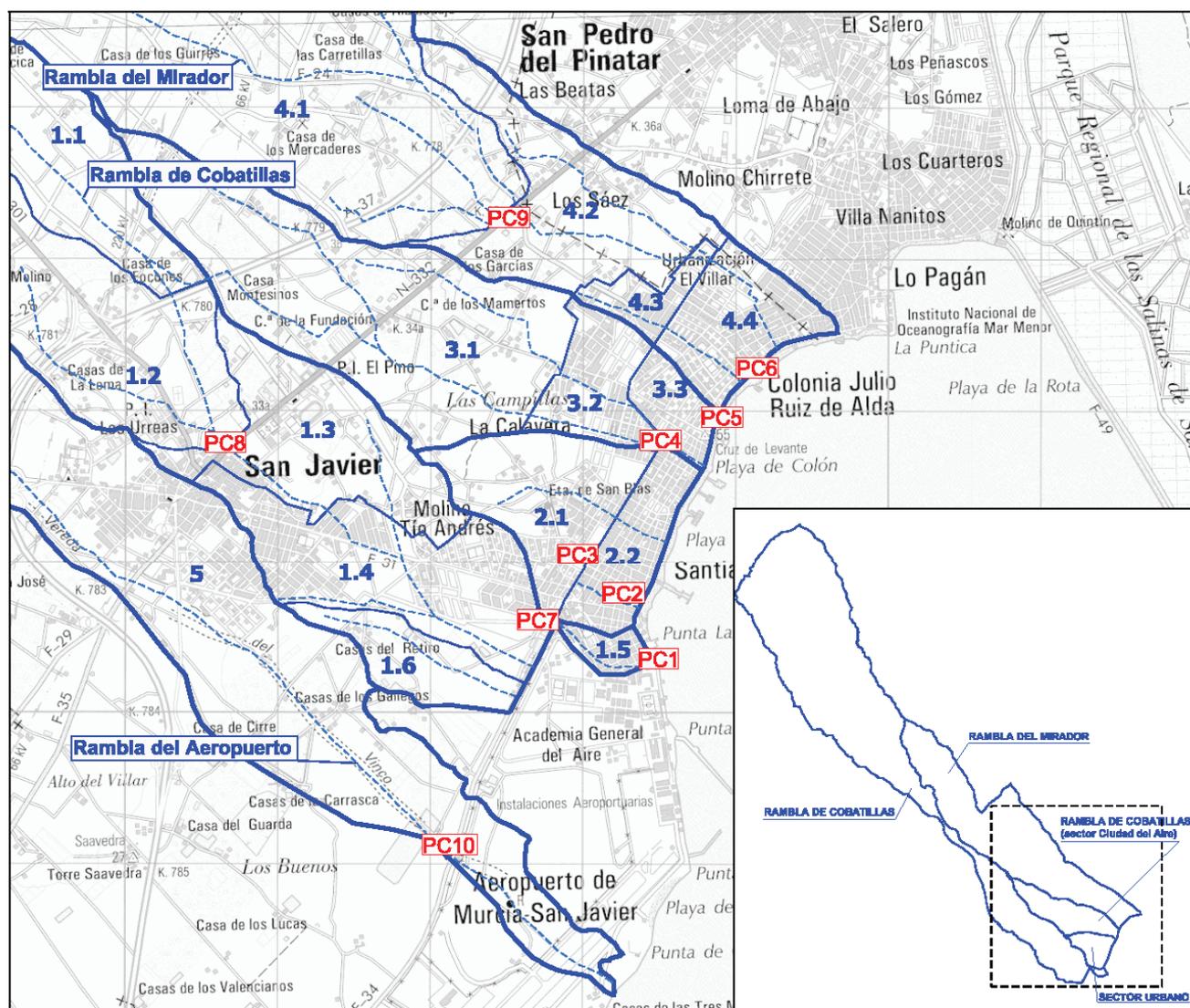
Cuenca	Subcuenca	
	Nº	Sup. (Km ²)
Rambla de Cobatillas	1.1	31,0207
	1.2	1,8020
	1.3	1,2377
	1.4	1,4329
	1.5	0,1044
	1.6	0,4780
Sector urbano	2.1	0,9169
	2.2	0,4920
Rambla de Cobatillas (sector Ciudad del Aire)	3.1	2,6970
	3.2	0,4883
	3.3	0,2476
Rambla del Mirador	4.1	14,0177
	4.2	1,3317
	4.3	0,2187
	4.4	0,6354
Rambla del Aeropuerto	5	17,3948

En la siguiente tabla se reflejan las subcuencas que engloban cada punto de control, diferenciando la situación actual y la futura ya que la ejecución de las actuaciones previstas significará una modificación en el drenaje de las aguas de escorrentía:

Cuenca	Punto de control	Subcuencas	
		Situación actual	Situación actuaciones previstas
Rambla de Cobatillas	PC8	1.1*+1.2	1.1*+1.2
	PC7	1.1*+1.2+1.3+1.4	1.2+1.3+1.4
	PC1	1.1*+1.2+1.3+1.4+1.5	1.5
Sector urbano	PC3	2.1	2.1
	PC2	2.1+2.2	2.2
Rambla de Cobatillas (sector Ciudad del Aire)	PC4	1.1*+3.1+3.2	1.1*+3.1+3.2+4.2+4.3
	PC5	1.1*+3.1+3.2+3.3	3.3
Rambla del Mirador	PC9	4.1	4.1
	PC6	4.1+4.2+4.3+4.4	4.4
Rambla del Aeropuerto	PC10	5	5

*En la subcuenca 1.1, en el cauce principal (Rambla de Cobatillas) se observa, en una zona aguas arriba próxima a la Autopista AP-7, una derivación en un cauce secundario vierte las aguas de

escorrentía hacia el sector de la Ciudad del Aire en Santiago de la Ribera. Para determinar el cálculo de caudales en ambos cauces, aguas abajo de este punto, se ha analizado la influencia que ejerce, por su proximidad, la AP-7 a través de las obras de drenaje transversal existentes en este sector. En base a este criterio se ha constatado que el cauce principal de la Rambla de Cobatillas es drenado en la intersección con esta infraestructura viaria mediante dos obras de fábrica, mientras que en el caso del cauce secundario éste atraviesa la AP-7 mediante un solo paso, de igual dimensiones que los dos que drenan el cauce principal. Por lo tanto, para el cálculo de los caudales de referencia se ha optado por restar un tercio del caudal obtenido en este punto al cauce principal (subcuencas 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5) y dos tercios al cauce secundario (subcuencas 3.1, 3.2 y 3.3).



Subcuencas y puntos de control

Los parámetros hidrológicos necesarios para la obtención de los caudales punta son los siguientes:

Cuenca	Punto de control	Área (Km ²)	Longitud L (Km)	Pendiente (m/m)	Tc (h)	Po inicial	Po (corregida)	Número Curva
Rambla de Cobatillas	PC8	32,82	18,70	0,0168	6,04	19,88	63,62	52,44
	PC7	35,49	21,28	0,0155	6,77	19,42	62,14	53,02
	PC1	36,08	22,02	0,0154	6,95	19,78	63,29	52,57
Sector urbano	PC3	0,92	0,85	0,0141	0,60	9,56	30,59	69,63
	PC2	1,41	1,21	0,0156	0,77	6,23	19,96	77,87
Rambla de Cobatillas (sector Ciudad del Aire)	PC4	34,21	21,00	0,0159	6,67	20,16	64,53	52,09
	PC5	34,45	21,39	0,0158	6,76	20,01	64,04	52,28
Rambla del Mirador	PC9	14,01	8,73	0,0148	3,46	23,30	74,56	48,47
	PC6	16,90	11,43	0,0130	4,36	21,11	67,58	50,94
Rambla del Aeropuerto	PC10	16,73	12,73	0,0107	4,91	21,16	67,71	50,88

5.5.2. RESULTADOS OBTENIDOS.

Una vez definidas las cuencas y subcuencas de drenaje y calculados sus diferentes parámetros hidrológicos, se muestra un resumen de los caudales punta de referencia obtenidos para los periodos de retorno de 2, 10, 100 y 500 años por el Método Racional, modelo HEC-HMS y la fórmula empírica de Témez:

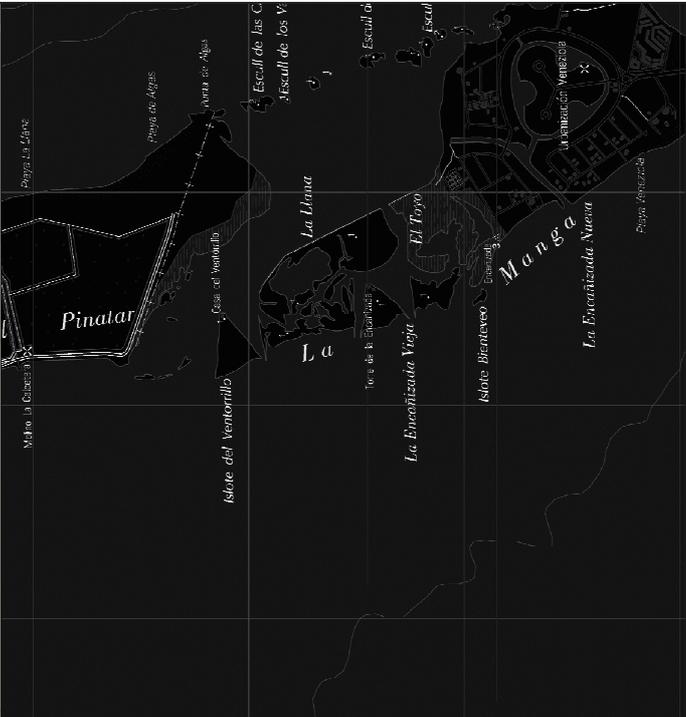
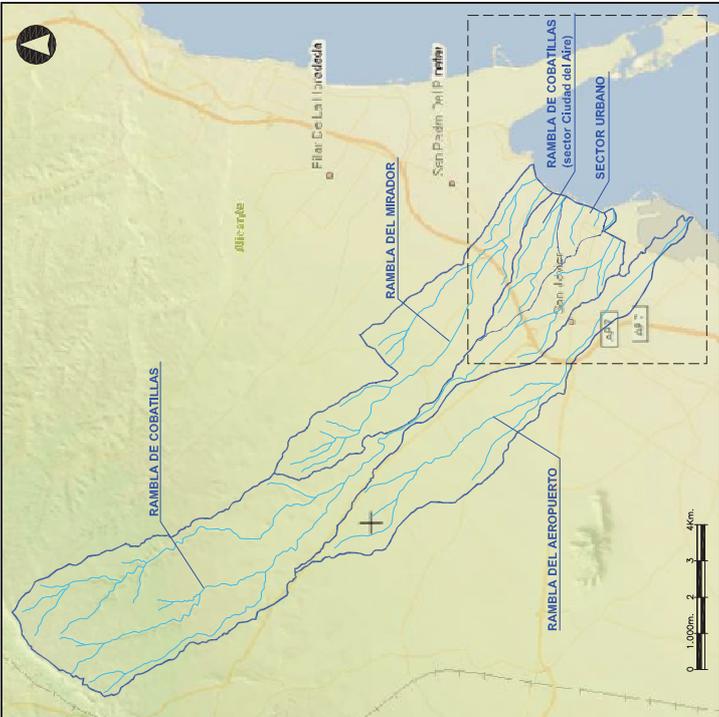
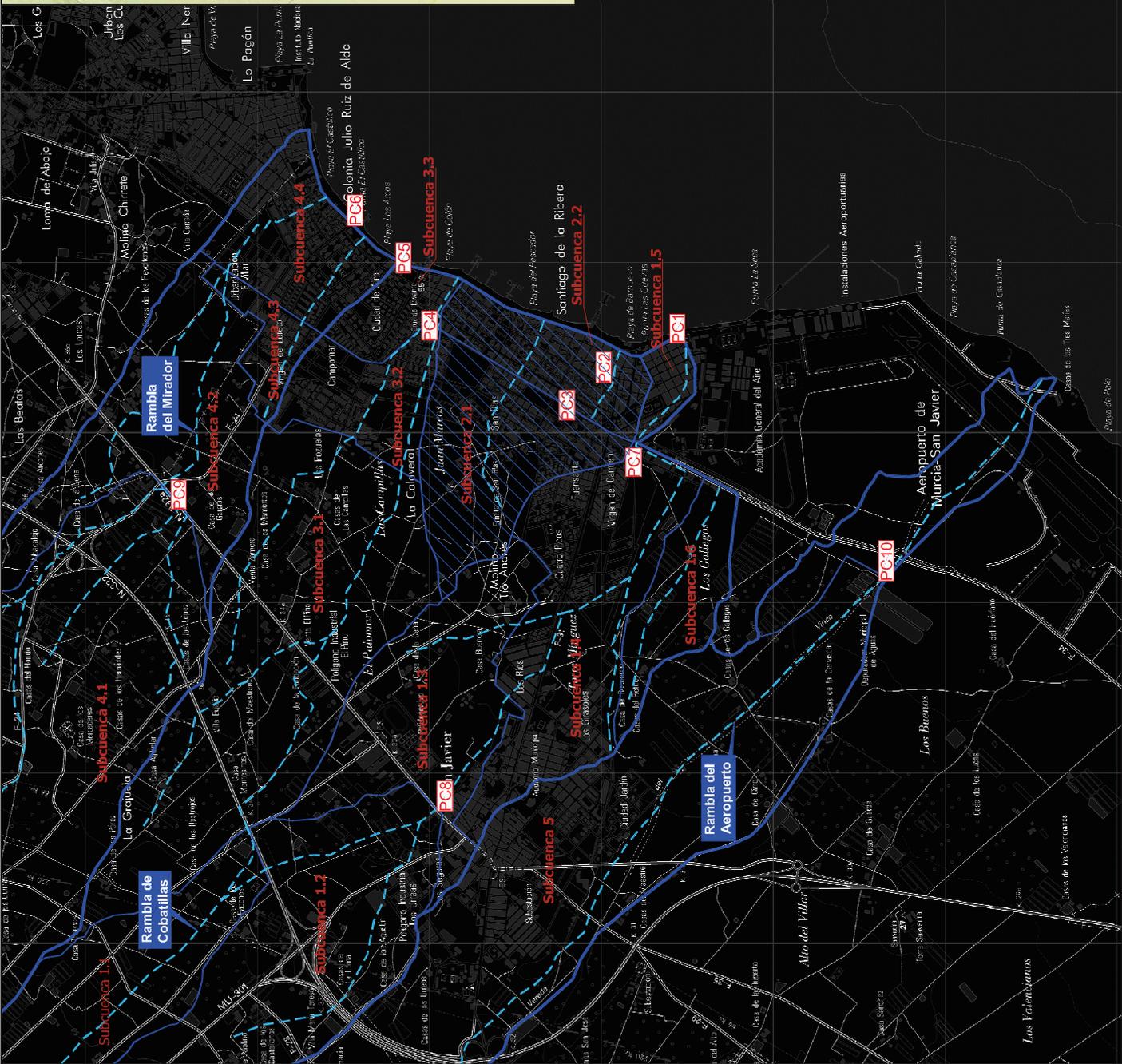
CAUDALES DE REFERENCIA. SITUACIÓN ACTUAL														
Cuenca	Subcuencas	Punto de control	Q (m ³ /s)											
			Periodo de retorno											
			2 años			10 años			100 años			500 años		
			Método racional	Témez	HMS	Método racional	Témez	HMS	Método racional	Témez	HMS	Método racional	Témez	HMS
Rambla de Cobatillas	1.1*+1.2	PC8	0	0	0,2	10,33	9,28	11,9	37,66	38,28	48,6	62,05	64,73	82,6
	1.1*+1.2+1.3+1.4	PC7	1,55	1,36	1,1	11,04	10,34	13,1	38,94	40,99	50,6	63,68	68,77	85,2
	1.1*+1.2+1.3+1.4+1.5+1.6	PC1	1,85	1,62	1,2	10,83	10,25	13,2	38,12	40,49	50,7	62,29	67,87	85,3
Sector urbano	2.1	PC3	1,19	1,03	0,1	3,90	3,36	2,4	11,30	9,76	7,7	17,52	15,13	12,0
	2.1+2.2	PC2	2,94	2,79	0,6	6,77	5,85	4,8	17,96	15,56	13,2	27,02	23,45	19,7
Rambla de Cobatillas (sector Ciudad del Aire)	1.1*+3.1+3.2	PC4	0,27	0,24	0,9	4,07	3,76	5,6	16,03	17,38	25,2	26,86	30,00	42,9
	1.1*+3.1+3.2+3.3	PC5	1,24	1,06	1,2	4,19	3,93	5,8	16,19	17,74	25,5	27,03	30,48	43,4
Rambla del Mirador	4.1	PC9	0	0	0	6,62	5,25	5,7	29,32	27,04	34,4	50,23	47,46	63,3
	4.1+4.2+4.3+4.4	PC6	1,66	1,44	1,0	7,21	6,03	6,5	30,27	29,13	35,1	51,36	50,63	63,4
Rambla del Aeropuerto	5	PC10	0	0	0,1	8,06	7,14	8,3	31,27	31,03	39,5	52,23	52,99	69,4

CAUDALES DE REFERENCIA (m3/s)						
Cuenca	T= 2 años			T= 10 años		
	Método racional	Témez	HMS	Método racional	Témez	HMS
2.1	1,19	1,03	0,1	3,90	3,36	2,4
2.1+2.2	2,94	2,79	0,6	6,77	5,85	4,8
2.2	1,75	1,76	0,5	2,87	2,49	2,4

APÉNDICE I

PLANO 1: LOCALIZACIÓN DE LAS CUENCAS VERTIENTES

PLANO 2. RUTAS DE LLUVIA



<p>Región de Murcia Comunidad Autónoma de Murcia DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA</p>	<p>PROYECTOR: Protejer Ingeniería</p>	<p>INSTRUMENTOS DE CÁMBIO, S.L.P. Wobts Módulo: S017/12/08</p>	<p>PROYECTOR: Wobts</p>	<p>ESCALAS: 1:25.000 URBANA CORRIENTE</p>	<p>PROYECTO: LOCALIZACIÓN DE LAS CUENCAS VERTIENTES</p>	<p>PLANO Nº: 1</p>	<p>FECHA: ABRIL 2013</p>
---	--	---	------------------------------------	---	---	------------------------	------------------------------



02AG-SN-12-07 REV-00

Región de Murcia Consejería de Medio Ambiente y Agua DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA	CONSULTOR: Ingenuaria	PROYECTOS: INGENIERO DE CARRIAGES, C. P. A. Wouter	ESCALAS: 1: 1.000 LINEA A3 ORIGINAL	PLANOS: RUTAS DE LLUVIA 2	FECHA: ABRIL 2013

APÉNDICE II

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS VERTIENTES

ÍNDICE

CUENCA 1-1.....	1
CUENCA 1-2.....	1
CUENCA 1-3.....	2
CUENCA 1-4.....	2
CUENCA 1-5.....	2
CUENCA 1-6.....	3
CUENCA 2-1.....	3
CUENCA 2-2.....	3
CUENCA 3-1.....	4
CUENCA 3-2.....	4
CUENCA 3-3.....	4
CUENCA 4-1.....	5
CUENCA 4-2.....	5
CUENCA 4-3.....	5
CUENCA 4-4.....	6
CUENCA 5.....	6

CUENCA 1-1						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Bosque claro			-	306,2580	189,0982	159,4893
Matorral claro y espartal			-	191,3157	83,3090	40,9628
Regadío arbolado		≥ 3	-	66,0738	39,1966	1,4989
		< 3	-	27,5380	-	-
Secano arbolado		≥ 3	-	638,7972	369,1336	63,1259
		< 3	-	59,5956	-	-
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	487,0689	41,3482	-
Secano herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	206,7128	54,7899	5,2469
	R/N	< 3	-	-	-	-
Invernaderos		≥ 3	-			
		< 3	0,1374			
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		8,8489			
	Áreas industriales		-			
Afloramientos rocosos	Roca fracturada	≥ 3	62,5212			
		< 3	-			
	Roca compacta	≥ 3	-			
		< 3	-			
					Superficie total (Ha.):	3102,0666
					Po (inicial):	19,74

CUENCA 1-2						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Regadío arbolado		≥ 3	-	-	-	-
		< 3	-	32,4613	-	-
Secano arbolado		≥ 3	-	-	-	-
		< 3	-	-	-	-
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	86,0232	-	-
Invernaderos		≥ 3	-			
		< 3	37,3809			
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		24,3304			
	Áreas industriales		-			
					Superficie total (Ha.):	180,1958
					Po (inicial):	22,39

CUENCA 1-3						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Regadío arbolado		≥ 3	-	-	-	-
		< 3	-	4,7246	-	-
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	79,6422	-	-
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		39,3989			
	Áreas industriales		-			
					Superficie total (Ha.):	123,7656
					P₀ (inicial):	19,60

CUENCA 1-4						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	20,1814	-	-
Secano herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	-	-	-
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		123,1112			
	Áreas industriales		-			
					Superficie total (Ha.):	143,2926
					P₀ (inicial):	8,68

CUENCA 1-5						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		10,4405			
	Áreas industriales		-			
					Superficie total (Ha.):	10,4405
					P₀ (inicial):	6,00

CUENCA 1-6						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Regadío arbolado		≥ 3	-	-	-	-
		< 3	-	4,1001	-	-
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	42,4102	-	-
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		1,2889			
	Áreas industriales		-			
Superficie total (Ha.):						47,7992
Po (inicial):						25,95

CUENCA 2-1						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Secano arbolado		≥ 3	-	-	-	-
		< 3	-	1,0516	-	-
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	38,6452	-	-
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		51,9947			
	Áreas industriales		-			
Superficie total (Ha.):						91,6915
Po (inicial):						14,33

CUENCA 2-2						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	1,7165	-	-
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		47,4851			
	Áreas industriales		-			
Superficie total (Ha.):						49,2015
Po (inicial):						6,66

CUENCA 3-1						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Regadío arbolado		≥ 3	-	-	-	-
		< 3	-	68,5102	-	-
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	193,0521	-	-
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		8,1334			
	Áreas industriales		-			
					Superficie total (Ha.):	269,6958
					Po (inicial):	28,75

CUENCA 3-2						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Matorral claro y espartal			-	2,7794	-	-
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		46,0520			
	Áreas industriales		-			
					Superficie total (Ha.):	48,8315
					Po (inicial):	6,46

CUENCA 3-3						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		24,7557			
	Áreas industriales		-			
					Superficie total (Ha.):	24,7557
					Po (inicial):	6,00

CUENCA 4-1						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Regadío arbolado		≥ 3	-	12,4068	-	-
		< 3	-	190,4447	-	-
Secano arbolado		≥ 3	-	6,8474	-	-
		< 3	-	17,9537	-	-
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	806,4601	-	-
Invernaderos		≥ 3	46,6444			
		< 3	268,6243			
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		52,3848			
	Áreas industriales		-			
Superficie total (Ha.):						1,401,7661
Po (inicial):						23,30

CUENCA 4-2						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Regadío arbolado		≥ 3	-	-	-	-
		< 3	-	3,9566	-	-
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	109,5500	-	-
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		19,6656			
	Áreas industriales		-			
Superficie total (Ha.):						133,1722
Po (inicial):						22,70

CUENCA 4-3						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	8,1628	-	-
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		13,7050			
	Áreas industriales		-			
Superficie total (Ha.):						21,8679
Po (inicial):						13,09

CUENCA 4-4						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	5,6862	-	-
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		57,8558			
	Áreas industriales		-			
					Superficie total (Ha.):	63,5420
					P₀ (inicial):	7,70

CUENCA 5						
Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo de SCS (Sup. en Ha.)			
			A	B	C	D
Matorral claro y espartal			-	17,4336	-	-
Regadío arbolado		≥ 3	-	0,6643	-	-
		< 3	-	360,1268	-	-
Secano arbolado		≥ 3	-	13,3663	-	-
		< 3	-	-	-	-
Regadío herbáceo	R	≥ 3	-	-	-	-
	N	≥ 3	-	-	-	-
	R/N	< 3	-	525,4715	-	-
Invernaderos		≥ 3	-			
		< 3	636,7269			
Núcleos urbanos	Parques y jardines		-			
	Áreas residenciales		-			
	Áreas urbanas		185,6979			
	Áreas industriales		-			
					Superficie total (Ha.):	1,739,4873
					P₀ (inicial):	20,92

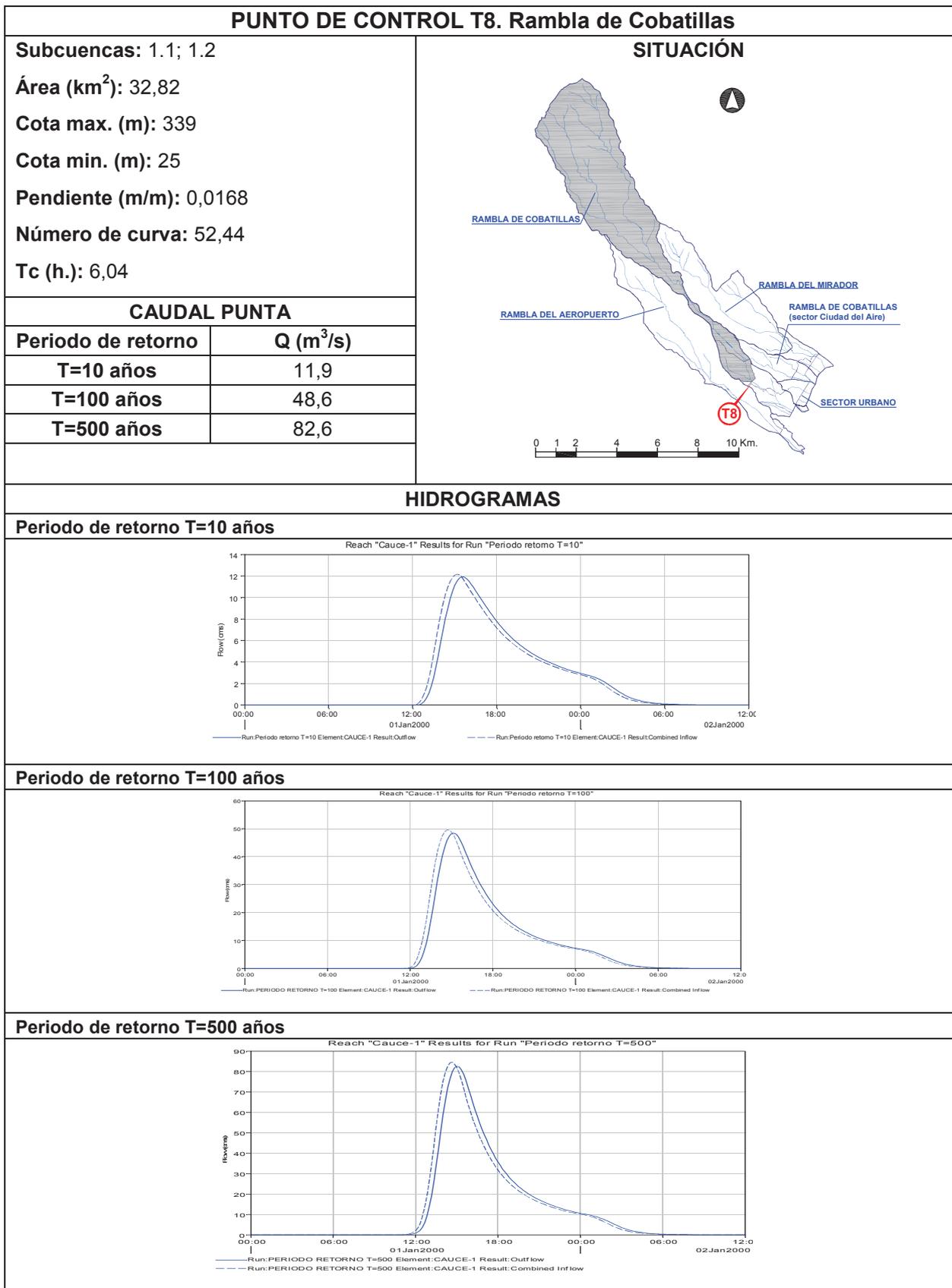
APÉNDICE III

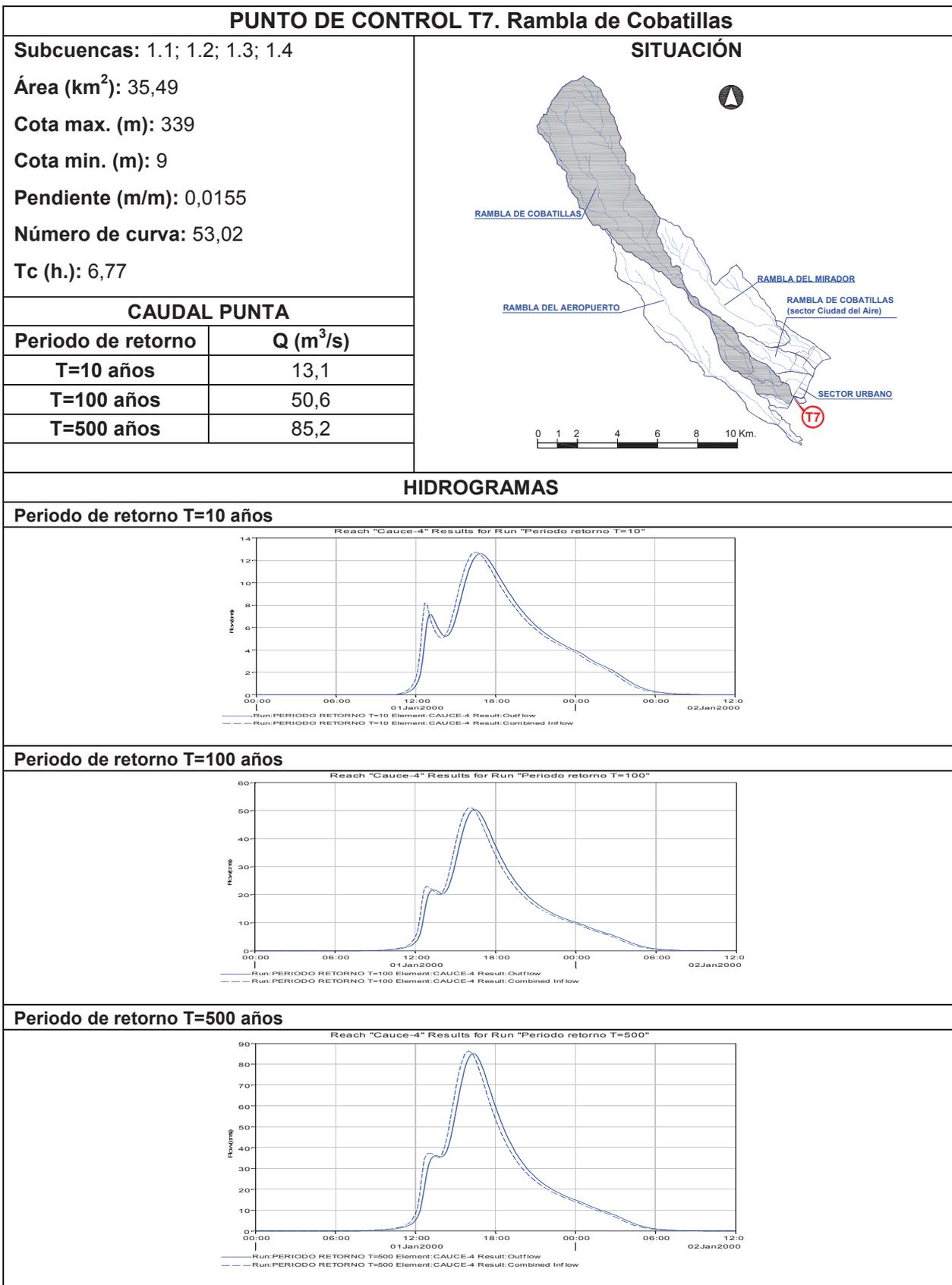
RESULTADOS NUMÉRICOS Y GRÁFICOS DEL MODELO HEC-HMS

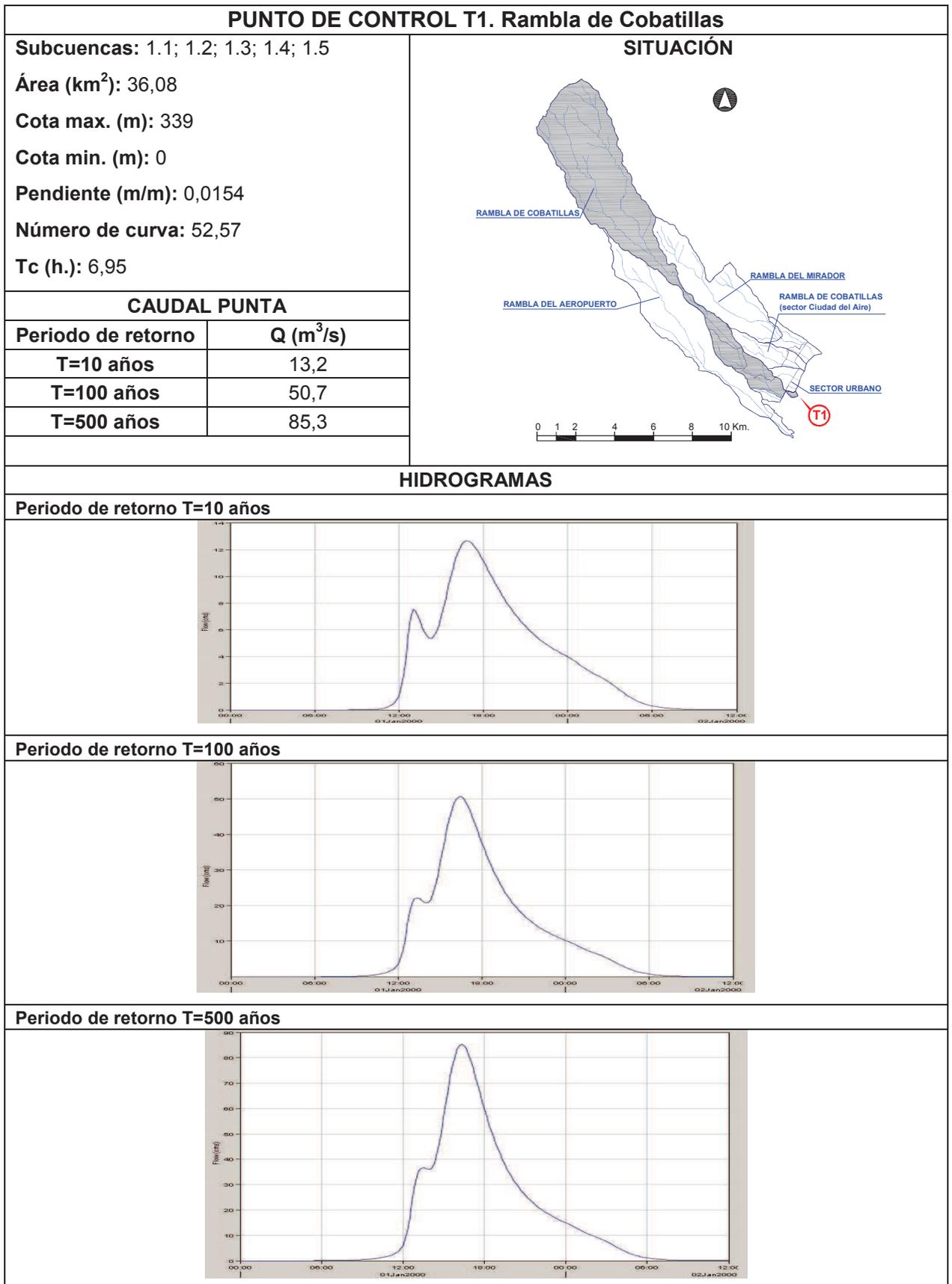
ÍNDICE

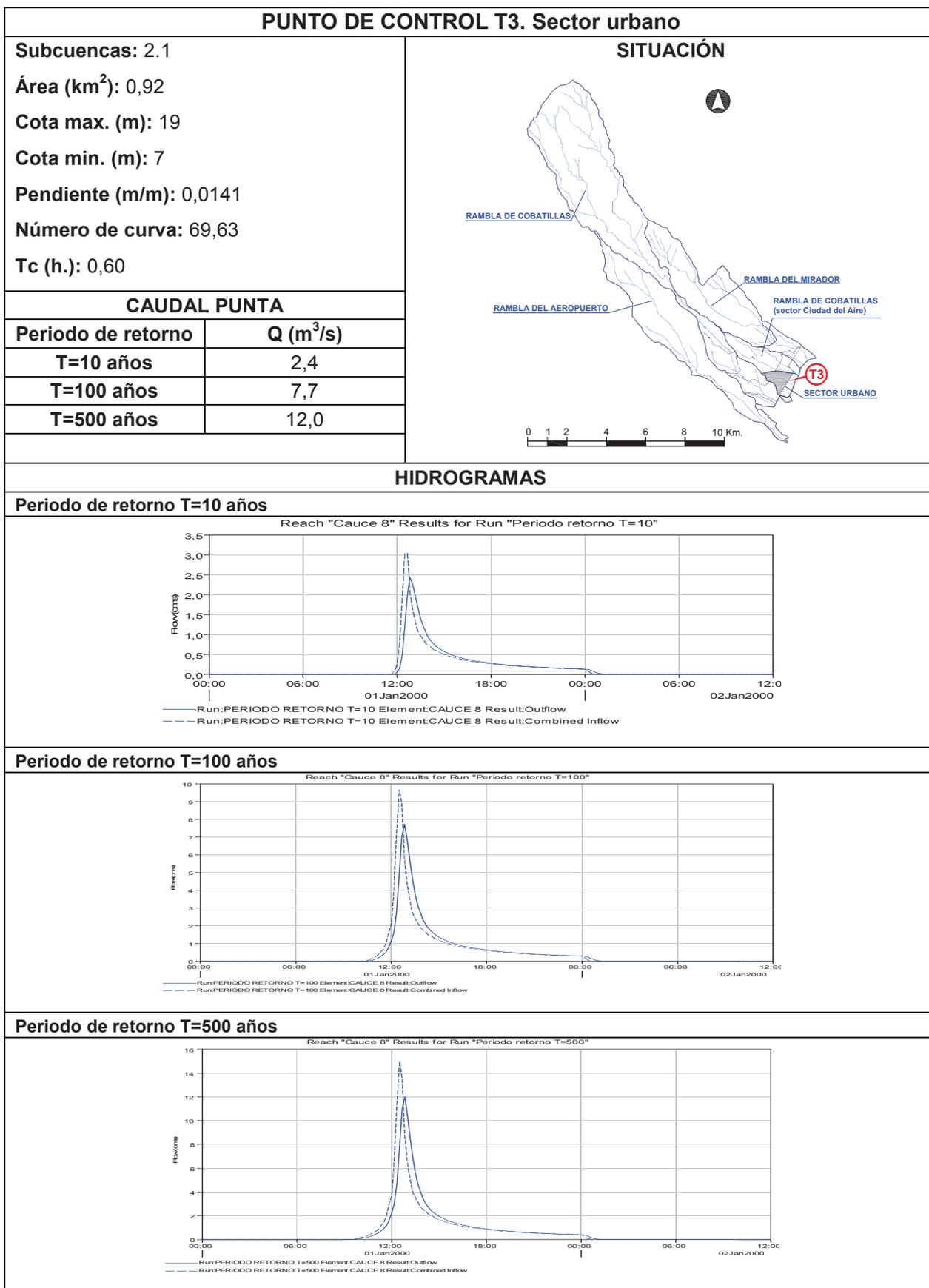
1. HIDROGRAMAS PUNTOS DE CONTROL.....	1
PUNTO DE CONTROL T8. Rambla de Cobatillas.....	1
PUNTO DE CONTROL T7. Rambla de Cobatillas.....	2
PUNTO DE CONTROL T1. Rambla de Cobatillas.....	3
PUNTO DE CONTROL T3. Sector urbano.....	4
PUNTO DE CONTROL T2. Sector urbano.....	5
PUNTO DE CONTROL T4. Rambla de Cobatillas (Sector Ciudad del Aire)	6
PUNTO DE CONTROL T5. Rambla de Cobatillas (Sector Ciudad del Aire)	7
PUNTO DE CONTROL T9. Rambla del Mirador.....	8
PUNTO DE CONTROL T6. Rambla del Mirador.....	9
PUNTO DE CONTROL T10. Rambla del Aeropuerto	10
2. HIDROGRAMAS SUBCUENCAS	11
SUBCUENCA 1-1 (Cuenca Rambla de Cobatillas)	11
SUBCUENCA 1-2 (Cuenca Rambla de Cobatillas)	12
SUBCUENCA 1-3 (Cuenca Rambla de Cobatillas)	13
SUBCUENCA 1-4 (Cuenca Rambla de Cobatillas)	14
SUBCUENCA 1-5 (Cuenca Rambla de Cobatillas)	15
SUBCUENCA 2-1 (Sector urbano).....	16
SUBCUENCA 2-2 (Sector urbano).....	17
SUBCUENCA 3-1 (Cuenca Rambla de Cobatillas. Sector Ciudad del Aire).....	18
SUBCUENCA 3-2 (Cuenca Rambla de Cobatillas. Sector Ciudad del Aire).....	19
SUBCUENCA 3-3 (Cuenca Rambla de Cobatillas. Sector Ciudad del Aire).....	20
SUBCUENCA 4-1 (Cuenca Rambla del Mirador)	21
SUBCUENCA 4-2 (Cuenca Rambla del Mirador)	22
SUBCUENCA 4-3 (Cuenca Rambla del Mirador)	23
SUBCUENCA 4-4 (Cuenca Rambla del Mirador)	24
SUBCUENCA 5 (Cuenca Rambla del Aeropuerto)	25

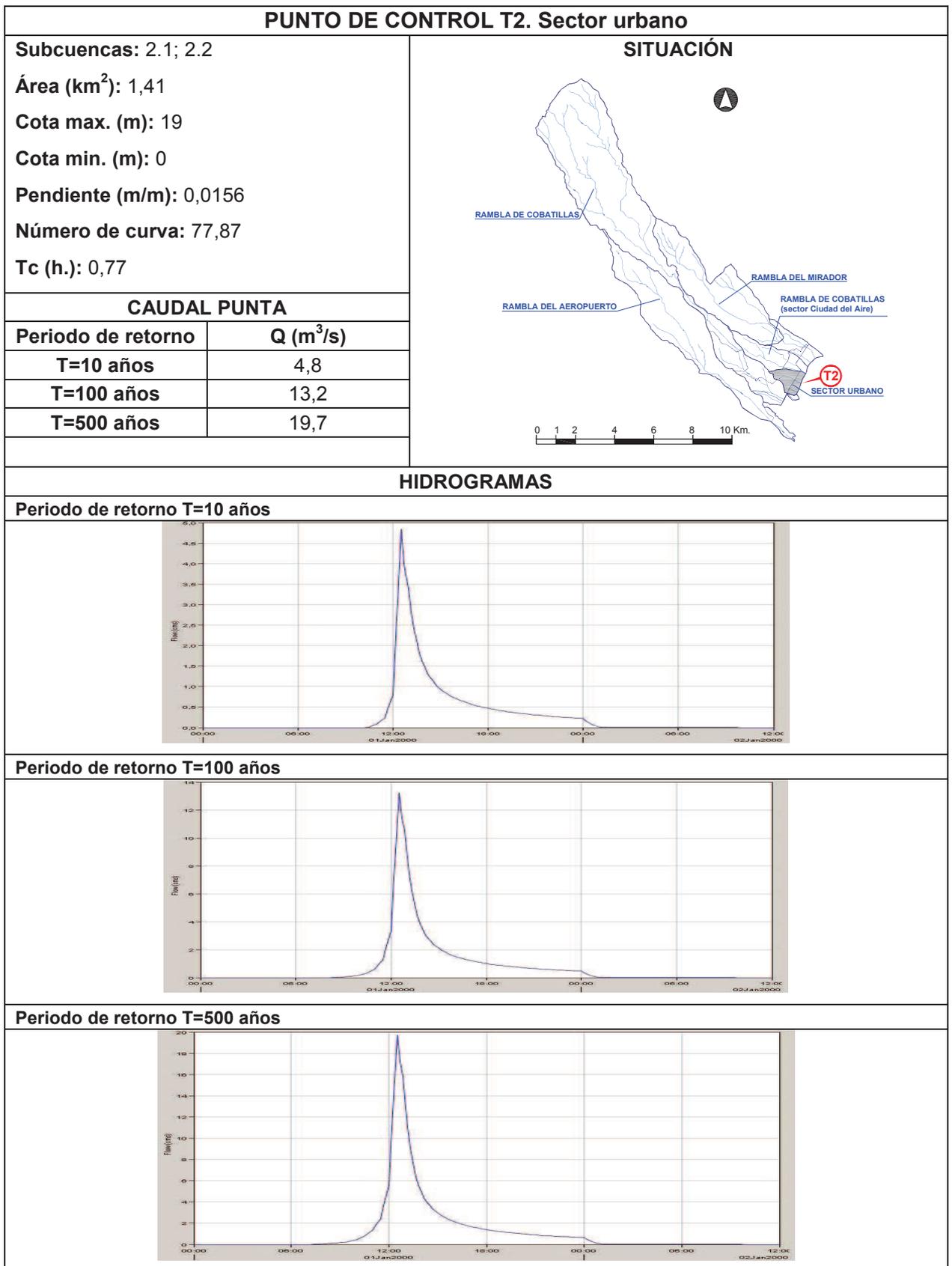
1. HIDROGRAMAS PUNTOS DE CONTROL.

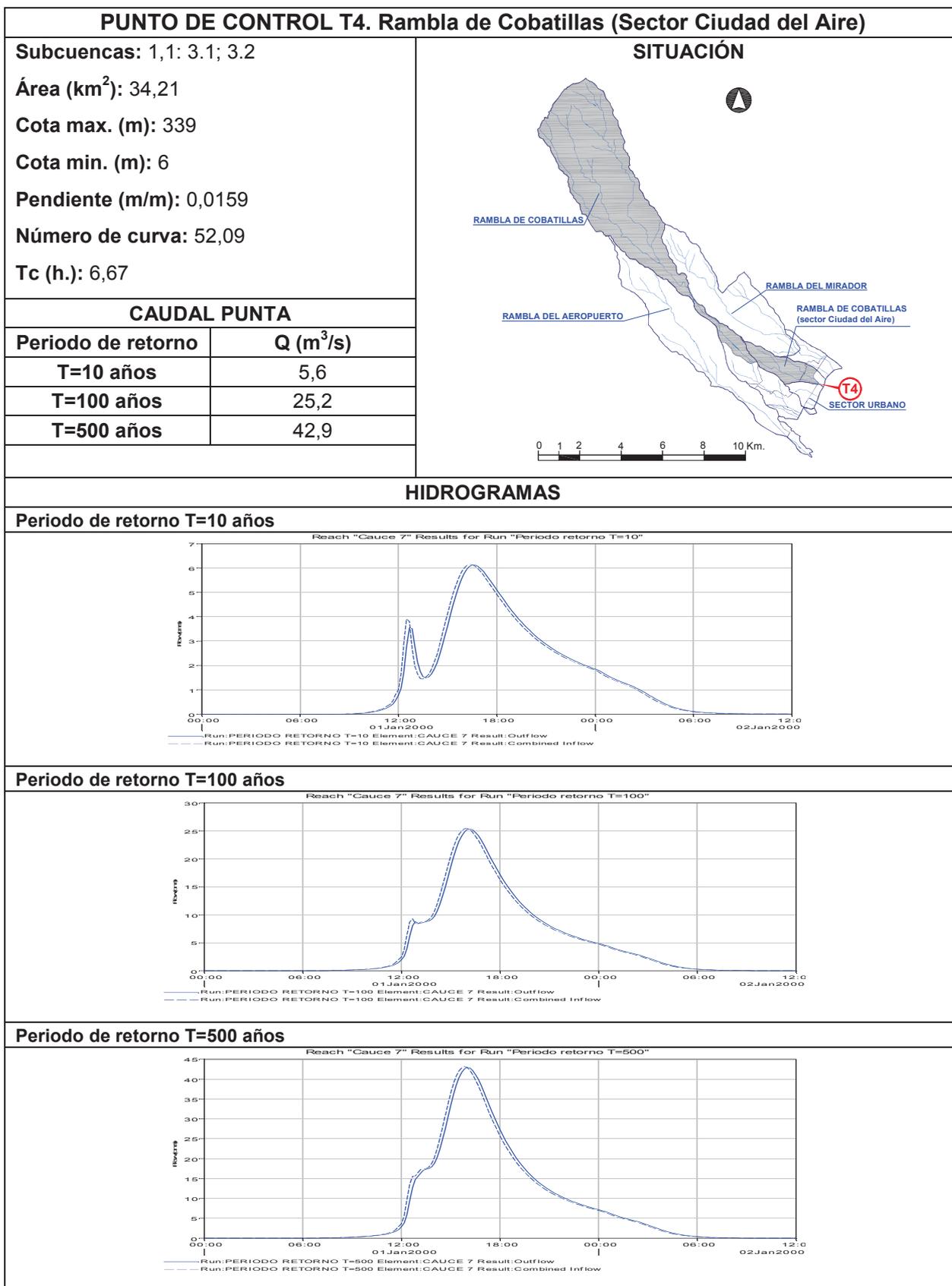


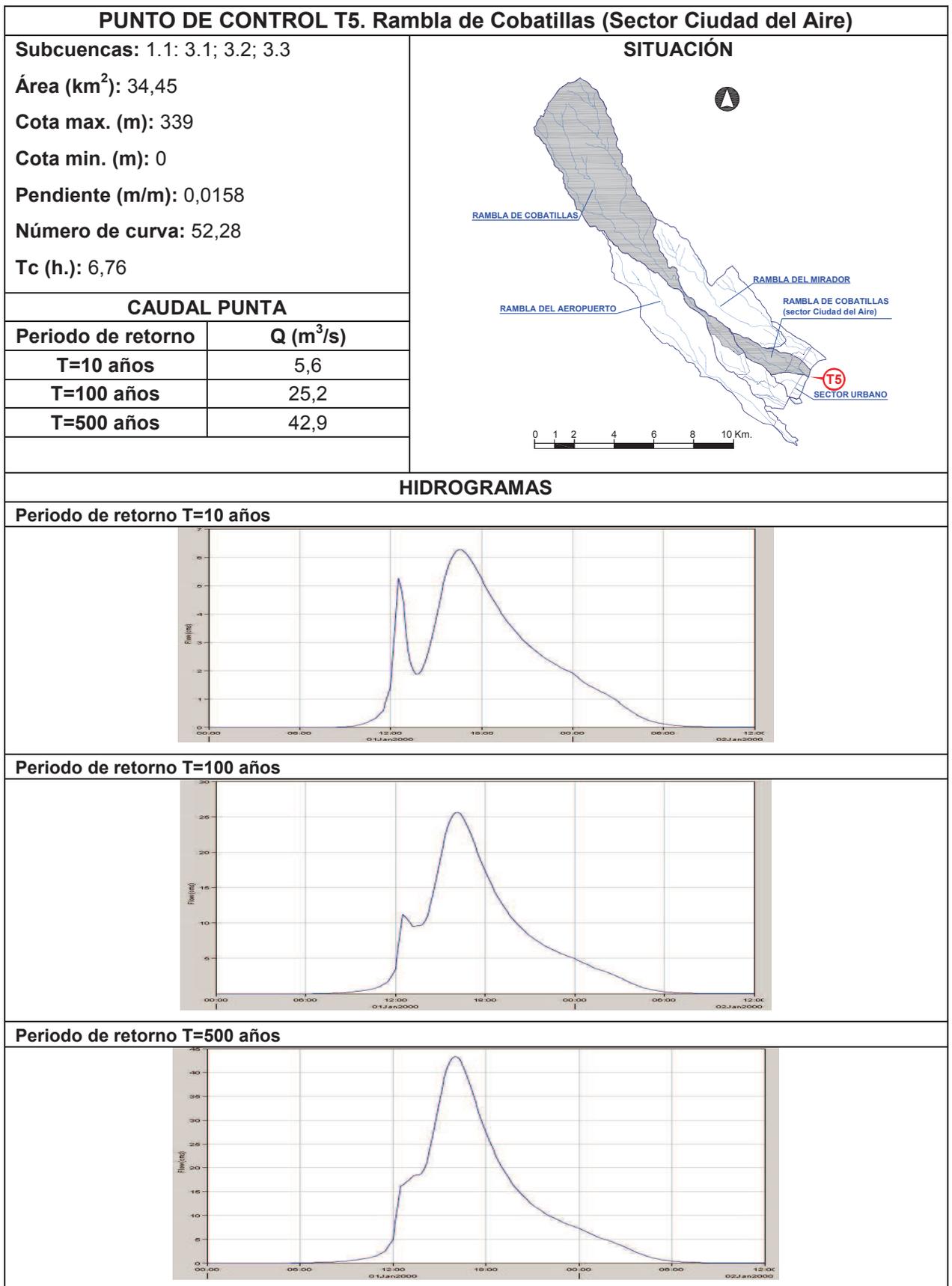


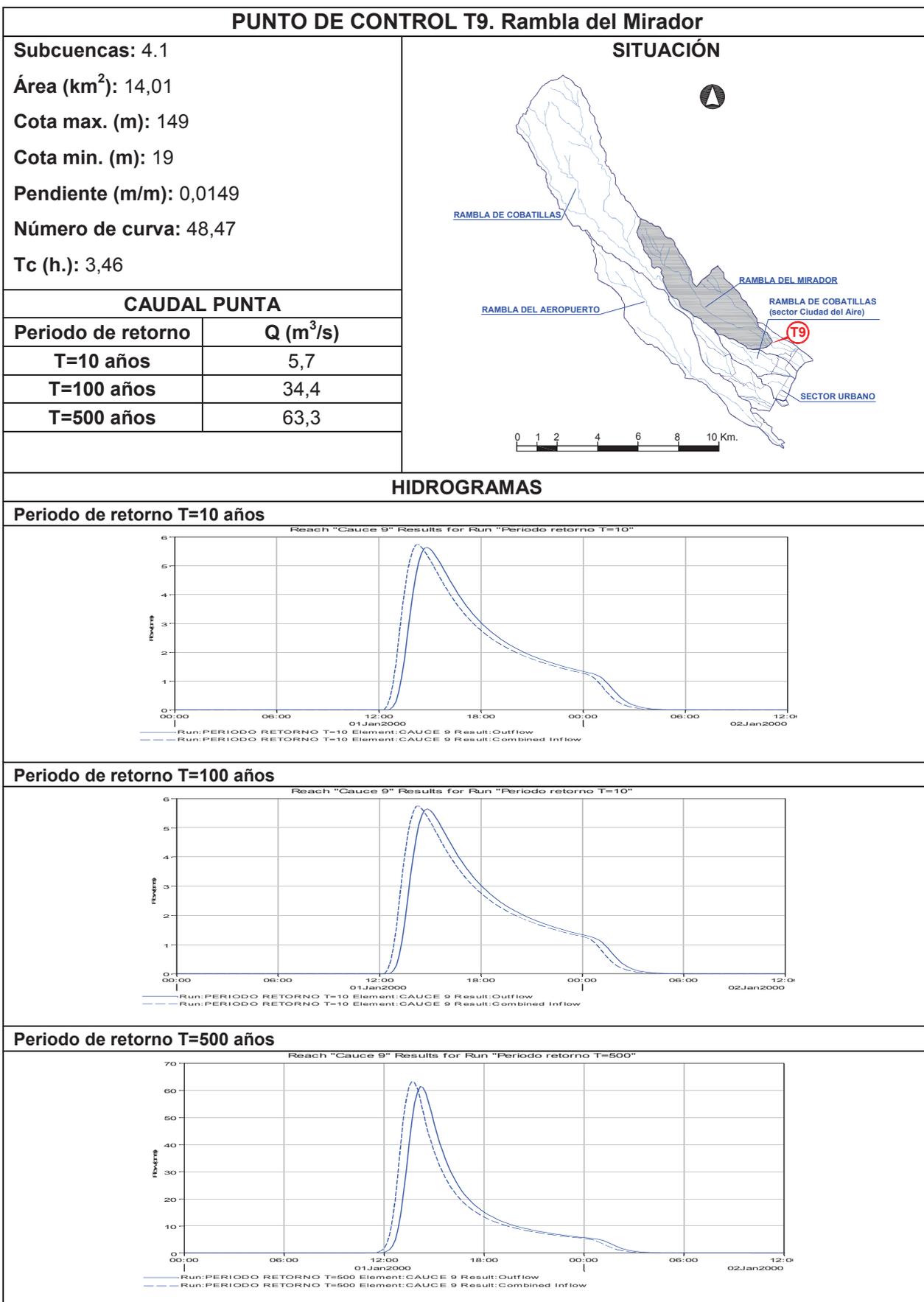


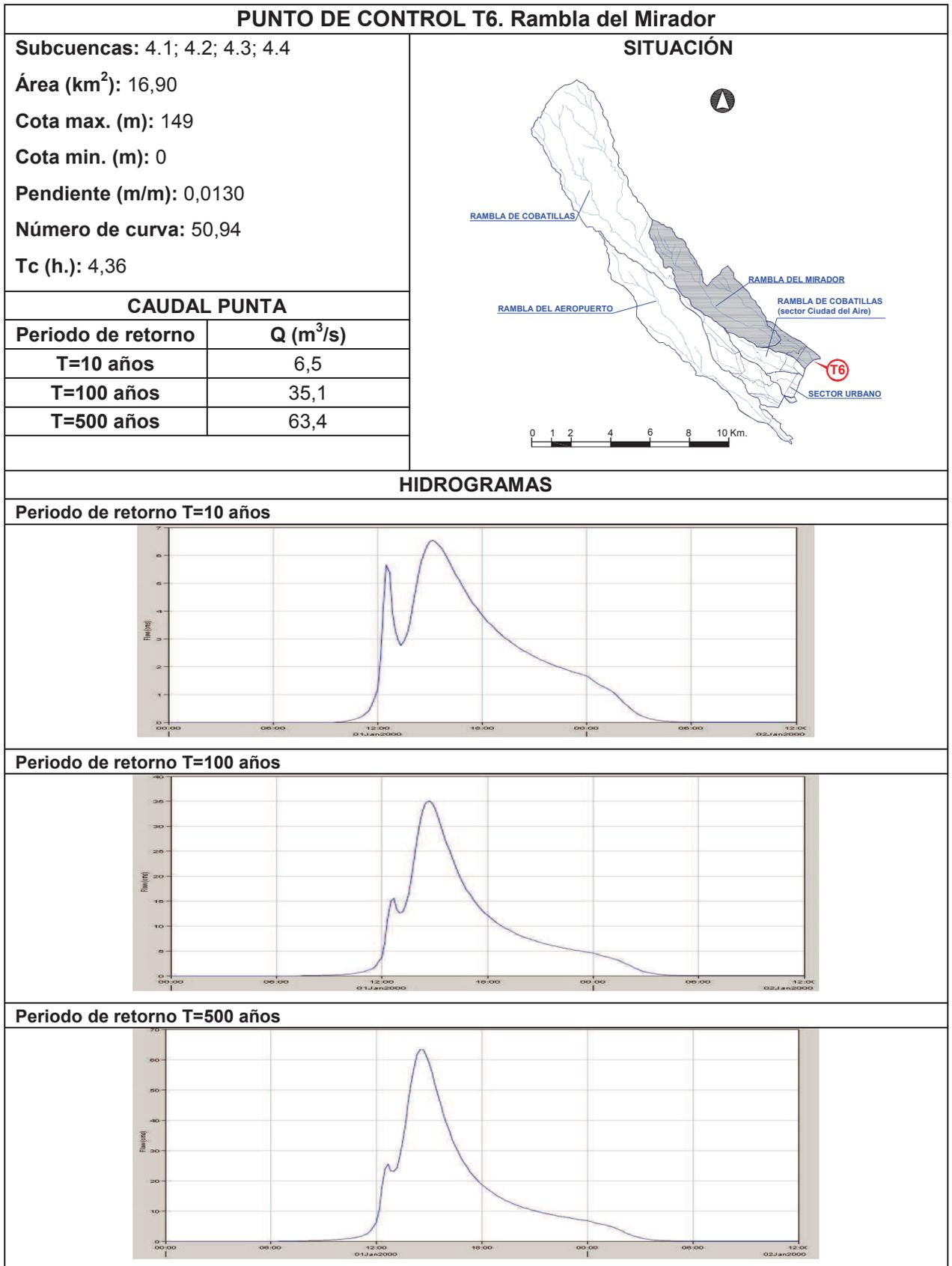


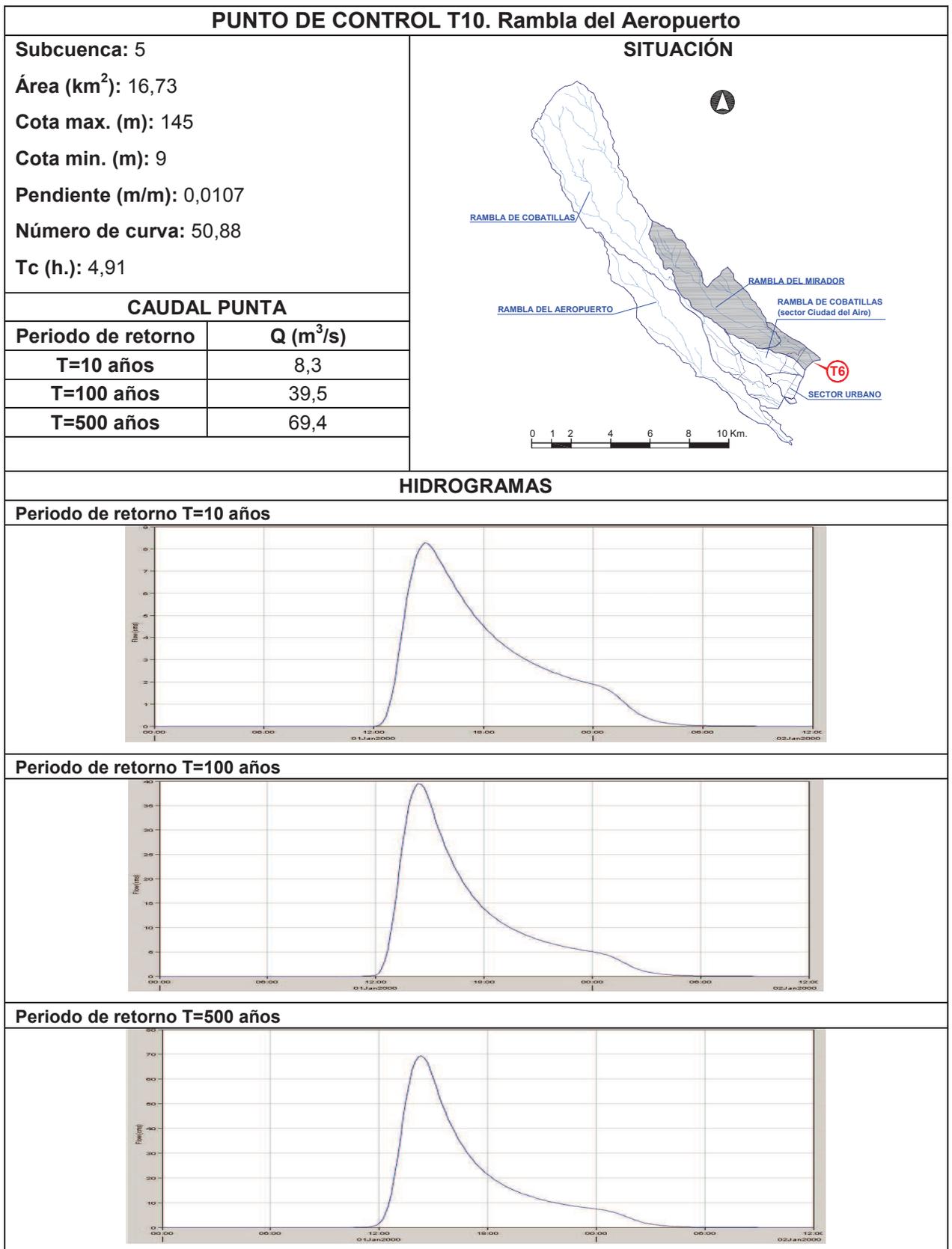












2. HIDROGRAMAS SUBCUENCAS.

