

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO DE INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y AGROAMBIENTAL



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA AUTORIZACIÓN DE
MOVIMIENTO DE TIERRAS E INSTALACIÓN DE INVERNADEROS EN ZONA
DE POLICÍA DE LA RAMBLA DE VILLALBA
Situación: Cañada de Gallego. T.M. Mazarrón

TRABAJO FIN DE GRADO
JUNIO 2014

AUTOR: Mariano Pelegrín Muelas

TUTOR: Francisco Bernal Alarcón

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA AUTORIZACIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS E INSTALACIÓN DE INVERNADEROS EN ZONA DE POLICÍA DE LA RAMBLA DE VILLALBA

Situación: Cañada de Gallego. T.M. Mazarrón

INDICE

1.- ANTECEDENTES Y OBJETO

2.- CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

3.- METODOLOGIA EMPLEDA

4.- ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.1.- Obtención del tiempo de concentración

4.2.- Obtención del valor de “T” a partir de curvas de intensidad-duración

4.3.- Obtención del coeficiente de uniformidad

4.4.- Estimación del coeficiente de escorrentía

4.4.1.- Asignación de los grupos de suelo

4.4.2.- Vegetación, usos del suelo y cultivos

4.4.3.- Pendientes

4.4.4.- Umbral de escorrentía

4.4.5.- Coeficiente de escorrentía

4.5.- Obtención de los caudales de cálculo

5.- ESTUDIO HIDRÁULICO

5.1.- Base teórica del programa HEC-RAS

5.1.1.- Ecuación básica de cálculo

5.1.2.- Cálculos de conductividad

5.1.3.- Cálculos de rugosidad

5.2.- Datos de partida para el cálculo con HEC-RAS y resultados

5.2.1.- Geometría del cauce

5.2.2.- Propuesta de ampliación del cauce

5.2.3.- Valor del coeficiente “n” de Manning

5.2.4.- Cálculos hidráulicos. Datos de partida

5.2.5.- Resultados obtenidos

ANEXOS

I.- PERFILES TRANSVERSALES DE LA RAMBLA PARA CADA PERIODO DE RETORNO ESTUDIADO (HEC-RAS)

II.- FOTOGRAFÍAS DEL CAUCE

PLANOS

1.- SITUACIÓN

2.- TOPOGRAFÍA DEL TERRENO. PLANO DE CURVAS DE NIVEL

3.- SITUACIÓN ACTUAL. SECCIONES TRANSVERSALES A RAMBLA

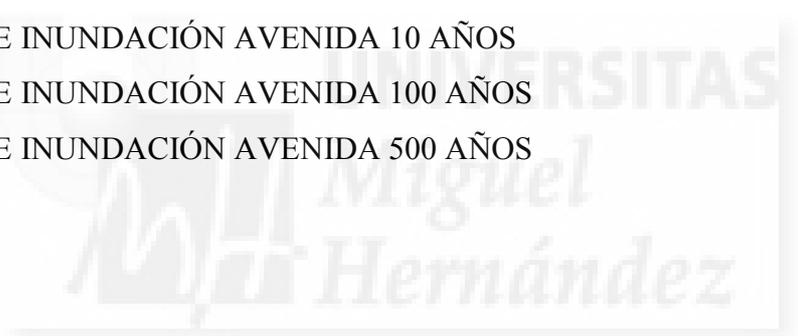
4.- TOPOGRÁFICO TRAS LA ACTUACIÓN Y PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DEL CAUCE

5.- PROPUESTA AMPLIACION DEL CAUCE. SECCIONES TRANSVERSALES COMPARATIVAS

6.- ZONA DE INUNDACIÓN AVENIDA 10 AÑOS

7.- ZONA DE INUNDACIÓN AVENIDA 100 AÑOS

8.- ZONA DE INUNDACIÓN AVENIDA 500 AÑOS



1.- ANTECEDENTES Y OBJETO

Se redacta el presente ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA AUTORIZACIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS E INSTALACIÓN DE INVERNADEROS EN ZONA DE POLICÍA DE LA RAMBLA DE VILLALBA, para la realización de movimiento de tierras y construcción de invernaderos en la zona de policía de la Rambla de Villalba, que queda dentro de una finca agrícola, en la que se pretende ejecutar las obras antes indicadas.

Dicho estudio hidráulico se realizará con propuesta de ampliación del cauce hacia la finca, dado que como se verá en el apartado 5.2.2, la sección actual de la rambla es insuficiente para desaguar sin desbordamientos la avenida para períodos de retorno de 100 y de 500 años.

La finca se encuentra en los Parajes de Vaqueros y La Marina, de Cañada Gallego. La superficie total de la finca según catastro es de 63,20 ha. La superficie objeto de autorización que queda dentro de la zona de policía, es de aproximadamente 9 ha.

La finalidad del presente estudio, es determinar para períodos de retorno de 10,100 y 500 años, las zonas de inundación de aquellos terrenos de la finca que están situados a orillas de la Rambla de Villalba, correspondiendo dichas zonas de inundación a; *máxima avenida ordinaria, y avenidas correspondientes a 100 y 500 años de período estadístico de retorno.*

2.- CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

La Rambla de Villalba, como la mayoría de las ramblas del sureste peninsular español, es un cauce de tipo efímero que únicamente transporta el agua de drenaje de su cuenca vertiente tras una tormenta torrencial. Dicho cauce, comienza a formarse en la cara sur de la Loma de las Herrerías, de la Sierra de Las Moreras, a unos 452 m de altura sobre el nivel del mar y desemboca en el Mar Mediterráneo, en la Playa del Hondón. La longitud del cauce, desde su nacimiento hasta el punto en que comienza la finca, que está a 10 m de altura sobre el nivel del mar, presenta un total de 7.482 m, por lo que la pendiente media del cauce de la rambla en estudio, es de 0,0592 m/m.

La cuenca hidrográfica correspondiente a la Rambla de Villalba, tiene una extensión superficial de 15,71 km², estando ésta dividida en dos zonas claramente diferenciadas. La parte más alta está formada por una zona eminentemente forestal, con

CUENCA RAMBLA DE VILLALBA	
SUPERFICIE CUENCA S (km ²)	15.71
COTA MAX (msnm)	452.97
COTA MIN (msnm)	10
LONGITUD CAUCE PRINCIPAL L (m)	7482
PENDIENTE MEDIA J (m/m)	0.05920

3.- METODOLOGÍA EMPLEADA

En primer lugar, se realiza la simulación hidrológica para obtener el caudal máximo de avenida para los tres períodos de retorno considerados. Posteriormente se ha realizado la simulación hidráulica para determinar la velocidad y calado del agua en el cauce, para cada uno de los tres períodos de retorno analizados.

A fin de elaborar un estudio hidrológico lo más fiable posible, se ha utilizado la versión mejorada del Método Racional, el Método de Témez Modificado, también denominado MTM (Método Racional Modificado).

El cálculo de la intensidad de lluvia se ha obtenido del programa informático MaxPlu del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) del Ministerio de Fomento.

El estudio hidráulico, se ha realizado utilizando el programa de modelización HEC-RAS Versión 3.1.3. (River Analysis System), desarrollado por el Hidrologic Engineering Center de Estados Unidos (US Army Corps of Engineers), para determinar la velocidad y la altura de agua sobre el lecho del cauce a su paso por la finca.

La determinación de la superficie y usos de la cuenca, se ha realizado a partir de ortofotos en formato digital realizadas en el año 2009 y del Mapa de Suelos de España del SIGA (Sistema de Información Geográfico Agrario) del MARM, contrastado con visitas a campo. La altimetría de la cuenca se ha obtenido a partir de los planos de la cartografía oficial de la Región de Murcia en formato digital.

La medición de la sección del cauce y altimetría en la zona objeto de autorización, se ha realizado con un GPS diferencial modelo Topcon +Hiper+Glonass, con una precisión de 0.5 m entre curvas de nivel.

4.- ESTUDIO HIDROLÓGICO

- Método Racional Modificado (MTM)

El Método Racional Modificado (Método de Témez Modificado), 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:

$$Q(m^3/s) = Kx \frac{CxIx A}{3,6}$$

Donde:

- Q; caudal punta correspondiente a un período de retorno determinado (m³/s)
- I; máxima intensidad media de precipitación, correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración (mm/h)
- A; superficie de la cuenca (km²)
- C; coeficiente de escorrentía
- K; coeficiente de uniformidad

4.1.- OBTENCIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración (T_c) se expresa como sigue:

$$T_c(h) = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{J^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Donde:

- T_c, tiempo de concentración (h)
- L; longitud del curso más largo de la cuenca (km)
- J; pendiente media del cauce principal (m/m)

Sustituyendo los valores en la ecuación tenemos que:

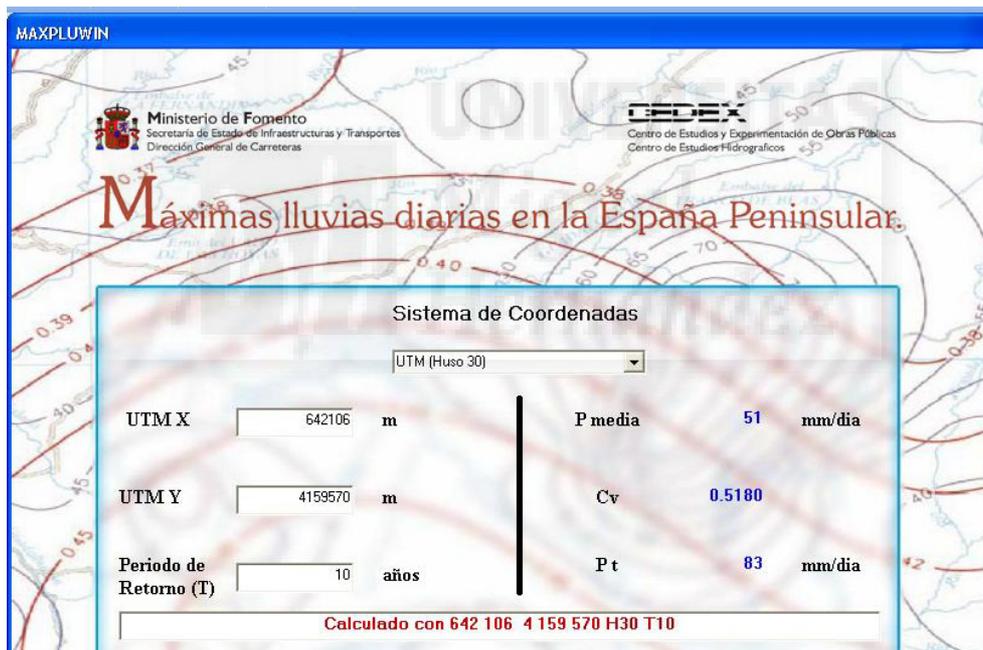
$$T_c(h) = 2,37$$

4.2.- OBTENCIÓN DEL VALOR DE “I” A PARTIR DE CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN

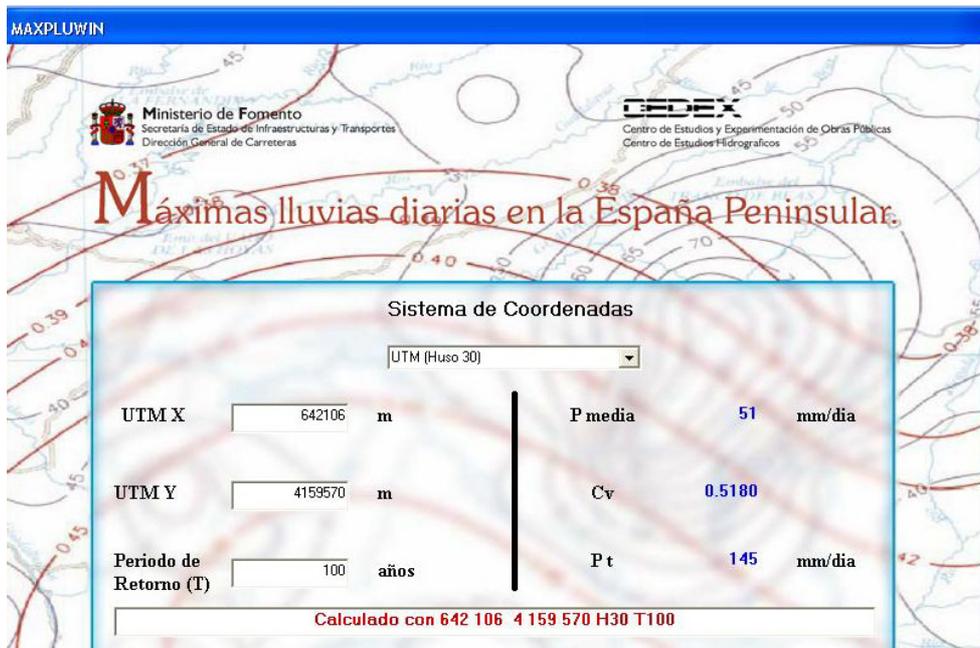
Tal y como se ha indicado anteriormente, la intensidad de lluvia máxima diaria Pd (mm/día), se obtiene del programa informático MaxPlu. A continuación se reflejan los datos de lluvia obtenidos para cada período de retorno considerado.

CAUCE	UTM X	UTM Y	P media	Cv	Pd(T=10)	Pd(T=100)	Pd(T=500)
R. VILLALBA	642106	4159570	51	0,518	83	145	196

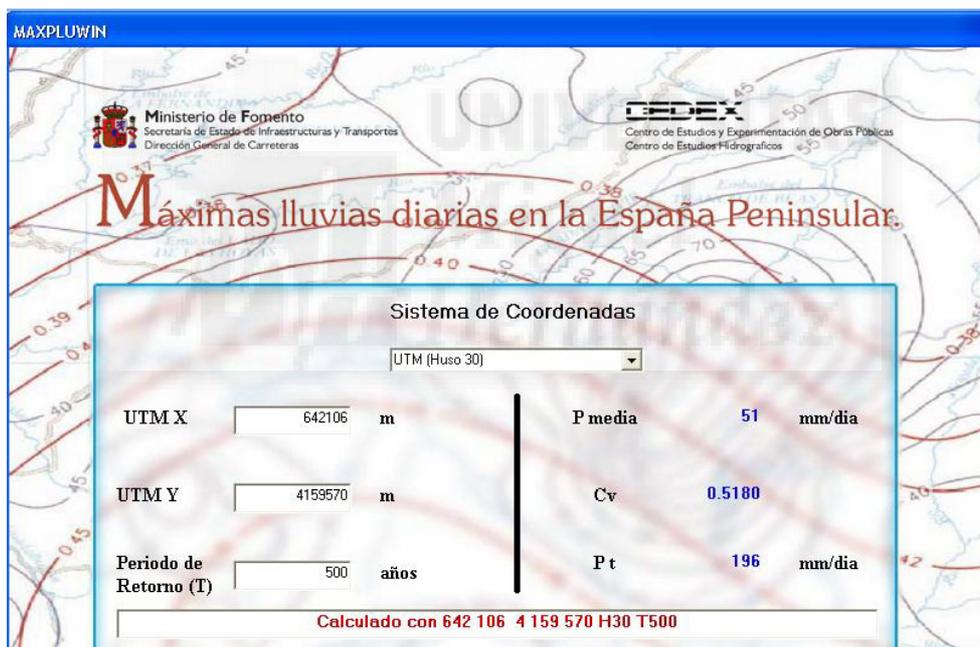
T=10



T=100



T=500



* Factor reductor del área:

La no simultaneidad de las precipitaciones máximas de un mismo período de retorno en todos los puntos de la superficie de una cuenca, provoca que la estimación de la lluvia para los cálculos hidrológicos sobre un determinado área se deba realizar sobre un área igual ó menor que el correspondiente valor calculado. Para ello, se empleó un factor reductor de las lluvias diarias que permite obtener dichos valores reales.

Así, el valor de las precipitaciones máximas diarias P_d , anteriormente estimados, se ve afectado por un factor reductor según la siguiente expresión;

$$k = 1 - \frac{\log A}{15} \quad \Rightarrow \quad k = 0,92$$

El valor de las precipitaciones máximas diarias (mm/día) modificado, será el que sigue;

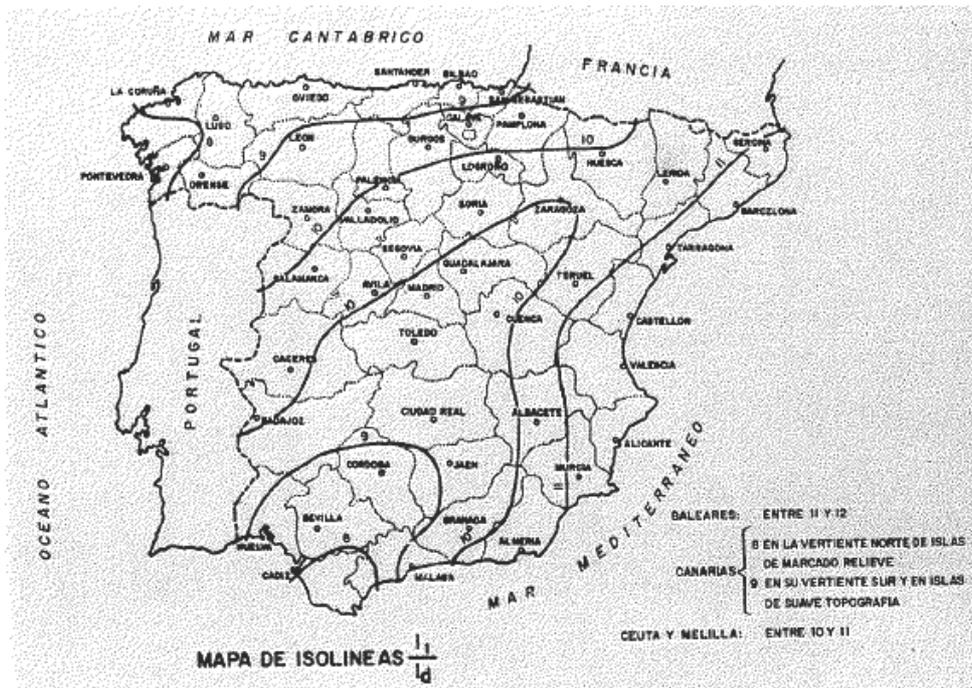
CAUCE	P*d (T=10)	P*d(T=100)	P*d(T=500)
R. VILLALBA	76,36	133,4	180,32

El cálculo de la intensidad media de precipitación (I), para cada período de retorno considerado, asociada a una duración (t) igual al tiempo de concentración (duración del intervalo considerado), se realiza a partir del valor de lluvia diaria real (P*d), según la siguiente ley intensidad-duración;

$$\frac{I}{Id} = \left(\frac{I1}{Id} \right)^{\frac{28^{0,1} - Tc^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

Donde:

- Id; Intensidad media máxima diaria (mm/h) para cada período de retorno analizado. A partir de los valores de P*d, se obtiene como P*d/24
- I1/Id; Parámetro característico del lugar, que representa la relación entre la intensidad horaria y la diaria, con el mismo período de retorno. Este parámetro se obtiene del siguiente mapa de isolíneas incluido en la Instrucción 5.2-IC.



Para la zona en estudio, se adopta un valor de $I1/Id = 11$

La intensidad media máxima diaria de precipitación corregida (I_d), y la **intensidad media de precipitación (I), para cada período de retorno considerado (mm/h)**, asociada a una duración (t) igual al tiempo de concentración será la que sigue;

CAUCE	$I1/Id$	I_d ($T=10$)	I_d ($T=100$)	I_d ($T=500$)	I ($T=10$)	I ($T=100$)	I ($T=500$)
R. VILLALBA	11	3,18	5,56	7,51	20,38	35,63	48,13

4.3.- OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

El valor del coeficiente de uniformidad K corrige el supuesto reparto uniforme de la escorrentía dentro del intervalo de cálculo de duración igual al tiempo de concentración. Aunque éste varía de un episodio a otro, su valor medio en una cuenca concreta depende fundamentalmente del valor de su tiempo de concentración, y de forma tan prevalente que a efectos prácticos puede despreciarse la influencia del resto de variables. Para su determinación, a efectos de cálculo, se adopta la siguiente expresión propuesta por Témez:

$$K = 1 + \frac{Tc^{1,25}}{Tc^{1,25} + 14} \Rightarrow K = 1,1735$$

Donde:

K; coeficiente de uniformidad

Tc; tiempo de concentración (horas)

4.4.- ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía (C), define la proporción de intensidad de lluvia (I) que genera escorrentía superficial. Para ello, hay que determinar un umbral de escorrentía (Po) por debajo del cual las precipitaciones no provocan escorrentía.

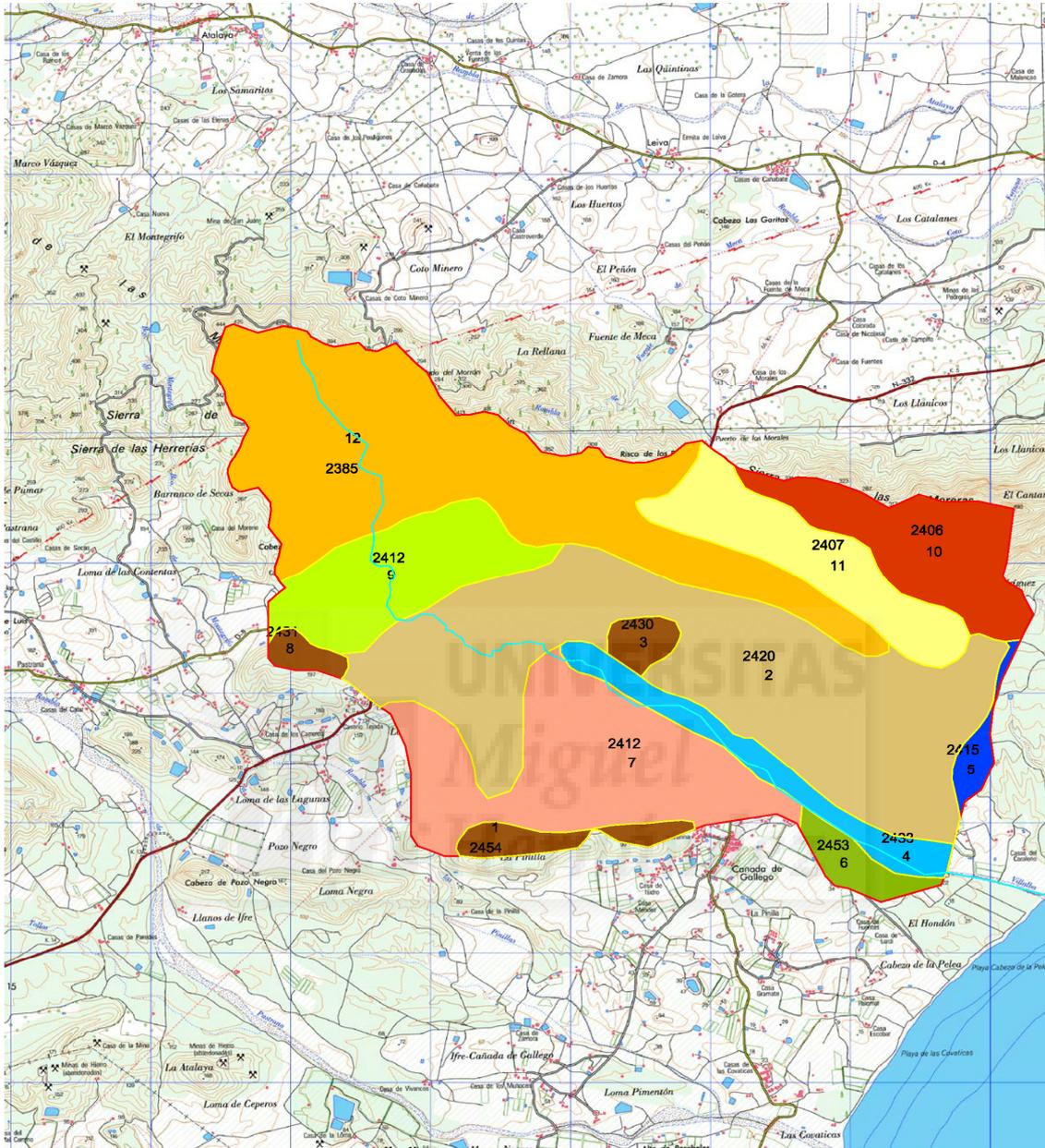
El umbral de escorrentía en una determinada cuenca, dadas unas condiciones de humedad, depende de la capacidad de infiltración del suelo, de los usos del suelo y de las actividades agrarias, y de la pendiente del terreno. Por tanto, habrá que analizar la tipología y los usos de los suelos existentes en la cuenca estudiada.

4.4.1.- ASIGNACIÓN DE LOS GRUPOS DE SUELO

Para la catalogación y conocimiento de los tipos de suelos, se parte del Inventario Edafológico de la Región de Murcia a escala 1:5.000 (Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente 1999) y los datos de campo que lo acompañan, completado con el mapa de suelo de la Dirección General de Medio Natural, Consejería de Industria y Medio Ambiente. La información de suelos utilizada ha sido en formato digital.

Los tipos de suelos presentes en los mapas edafológicos responden a las clasificaciones Soil Taxonomy del USDA (U.S. Department of Agriculture). A continuación se refleja el mapa de clasificación de suelos obtenido para la cuenca objeto de estudio, y después la tabla con la clasificación de cada suelo según el código reflejado en el mapa y su número de recinto.

**-Mapa de suelos de la cuenca de la Rambla de Villalba-
(Según clasificación Soil Taxonomy del USDA)**



**-Tabla de equivalencia de los códigos y nº de recintos asignados en el mapa de
suelos de la cuenca
con la taxonomía de suelos del USDA-**

Tabla de códigos de recintos		
Nº recinto	Código suelo	Taxonomía
1	2454	Litsoles con xerosoles
2	2420	Xerosoles petrocálcicos
3	2430	Litsoles con xerosoles
4	2433	Fluvisoles calcáreos
5	2415	Xerosoles petrocálcicos + fluvisoles + regosoles
6	2453	Xerosoles petrocálcicos
7	2412	Xerosoles petrocálcicos + fluvisoles + regosoles
8	2431	Litsoles con xerosoles
9	2412	Xerosoles petrocálcicos + fluvisoles + regosoles
10	2406	Litsoles con xerosoles cálcicos
11	2407	Xerosoles cálcicos + regosoles
12	2385	Xerosoles cálcicos

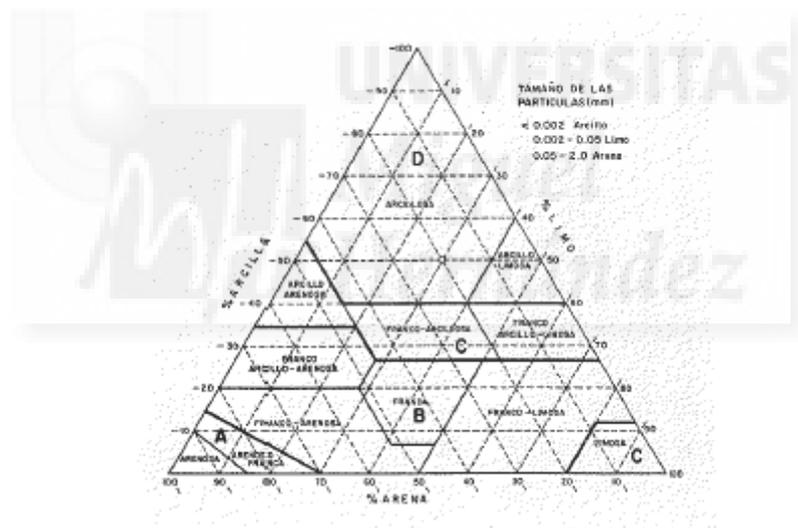
En la cuenca objeto de estudio, los suelos han formado una secuencia en forma de cadena, en función del tipo de la roca madre y de su grado de evolución, como son: litsoles con incrustaciones de xerosoles, xerosoles cálcicos y petrocálcicos con incrustaciones de fluvisoles y fluvisoles calcáreos, en la zona más baja de la rambla. En cualquier caso, son suelos generalmente poco profundos y pedregosos, de naturaleza caliza y típica de zonas áridas o semiáridas al estar su escaso grado de evolución muy influenciado por las características xéricas del medio.

Los litsoles son suelos muy poco profundos, pedregosos, constituidos por gravas, piedras y materiales rocosos de diferentes tamaños, sin desarrollo del perfil. Los regosoles son suelos azonales, poco evolucionados por sequía del perfil, muy dependientes de la litología de la roca madre y desarrollados sobre materiales detríticos de aluvión o torrenciales no consolidados y carentes de horizonte diagnóstico. En el ámbito de estudio no aparecen regosoles por sí mismos sino como incrustaciones en los xerosoles. Los xerosoles son suelos pobres en humus y ricos en arcillas, con frecuentes acumulaciones de caliza o yesos en profundidad. Aparecen xerosoles cálcicos, petrocálcicos con diversas incrustaciones, en función del material original. Los fluvisoles son suelos poco desarrollados, formados sobre depósitos aluviales y constituidos por materiales disgregados. En el ámbito de estudio aparecen fluvisoles calcáricos en el lecho de la rambla, en su zona más baja. La permeabilidad de estos suelos y por tanto su capacidad de escorrentía, depende tanto de las características de la roca madre, como de su potencia que, en cualquier caso, no es muy grande.

En resumen; la clasificación de estos suelos a efectos del umbral de escorrentía han sido C/D para litosoles, y xerosoles, es decir, infiltración de lenta a muy lenta, con potencia de media a pequeña, texturas de franco-arcillosas a arcillosas y drenaje; de imperfecto a muy pobre ó muy pobre en el caso de los litosoles, y B para el único fluvisol que aparece, no pudiéndose catalogar ninguno como A.

Una vez clasificados los tipos de suelo por sus características texturales y sus propiedades de permeabilidad, se trasladaron a las 4 categorías establecidas al respecto por el SCS (Soil Conservation Service (A, B, C y D)), que es la base para la Clasificación de Suelos a Efectos del Umbral de Escorrentía contenida en la Instrucción 5.2-IC, que se refleja a continuación.

-Diagrama triangular para determinación de la textura (Instrucción 5.2-IC)-



-Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía del SCS reflejados en la Instrucción 5.2-IC-

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

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

-Grupos de suelo del SCS asignado a cada tipo de suelo (clasificación USDA), según sus características de textura y profundidad-

SOIL TAXONOMY (USDA)	GRUPO DE SUELO (SCS) (Instrucción 5.2-IC)
Litsoles con xerosoles	D
Xerosoles petrocalcicos	C
Fluvisoles	B
Xerosoles calcicos y Xerosolex petrocalcicos	C
Xerololes petrocálcicos con Fluvisoles y Regosoles	C
Litsoles con xerosoles Cálcidos	C

A partir del mapa digital de suelos para la cuenca de estudio, se han obtenido varias subcuencas homogéneas en cuanto a grupos de suelo se refiere, para más tarde ser superpuesto sobre las cuencas homogéneas de usos de suelo, vegetación y cultivos que se presentan en el siguiente apartado, para posteriormente obtener subcuencas de

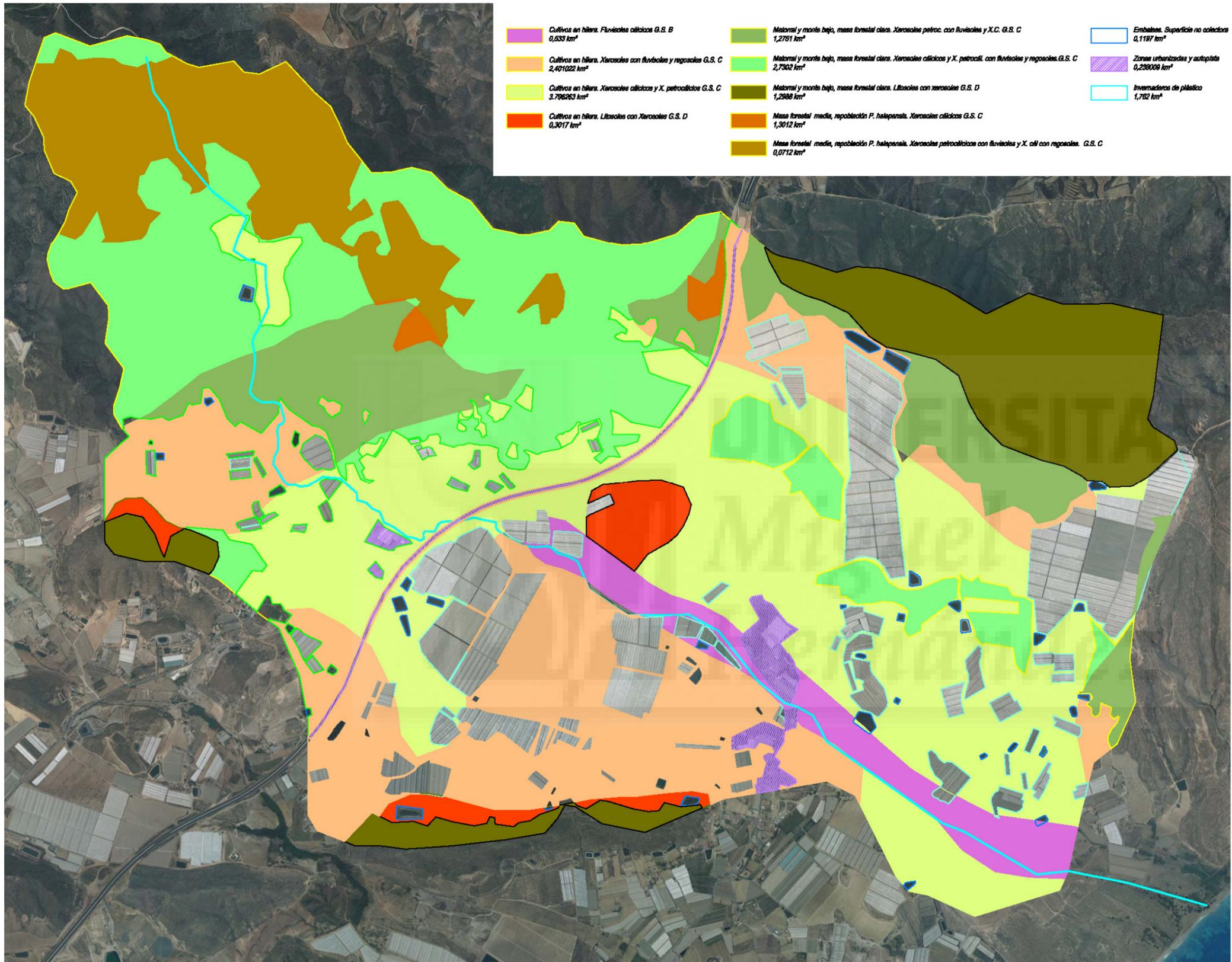
cruce homogéneas en cuanto al umbral de escorrentía, una vez contrastadas con la pendiente.

4.4.2.- VEGETACIÓN, USOS DEL SUELO Y CULTIVOS

A partir de la información obtenida del estudio de ortofotografías aéreas en formato digital, obtenidas del vuelo reciente de 2009, así como de las visitas a campo para la validación de su interpretación y obtención de información adicional, en la cuenca hidrográfica de la Rambla de Villalba, se ha realizado una clasificación de ésta en cuanto a los usos y cultivos y vegetación de estos suelos, en unidades homogéneas que vienen a formar varias subcuencas homogéneas en cuanto a usos, vegetación y cultivos se refiere.

A continuación se expone el mapa de subcuencas homogéneas con su superficie, para entrar en las tablas de umbral de escorrentía de la Instrucción 5.2.- IC, obtenidas mediante intersección superficial de los tipos de suelo (grupos hidrológicos) y los usos y vegetación-cultivos.





4.4.3.- PENDIENTES

Todos los terrenos que conforman la cuenca en estudio, presentan una superficie superior al 3%, que es el límite dado en la tabla 2.1 de la Instrucción 5.2.- IC para la elección del umbral de escorrentía.

4.4.4.- UMBRAL DE ESCORRENTÍA

A partir de todos estos datos anteriores y teniendo en cuenta además la pendiente del terreno (> a 3 %), se obtienen los valores de los umbrales de escorrentía (Po) para cada subcuenca, obtenido de la tabla 2.1 “estimación inicial del umbral de escorrentía” contenida en la Instrucción 5.2-IC.

En la tabla que se adjunta a continuación se reflejan los valores de Po adoptados, y las características que definen y que han determinado para cada subcuenca dicho valor del umbral de escorrentía.

-Umbrales de escorrentía por subcuencas según uso de la tierra y características hidrológicas-

N° SUBCUENCA	A SUPERFICIES SUBCUENCAS (Km²)	USOS DE LA TIERRA	EQUIVALENCIA USO DE LA TIERRA (Instrucción 5.2-IC)	CLASIFICACIÓN DE SUELO (USDA) Soil Taxonomy	GRUPO DE SUELO (SCS) (Instrucción 5.2-IC)	UMBRAL ESCORRENTIA Po(mm) (Tabla 2-1 Instrucción 5.2-IC)	UMBRAL ESCORRENTIA corregido Po(mm)	UMBRAL ESCORRENTIA Po(mm) limitado a 25
1	3.796263	CULTIVOS EN REGADÍO	CULTIVOS EN HILERA (PTE.>3%), Normalmente según L. de max. Pendiente	Xerosoles calcícos y X. petrocalcícos	C	8	24	24
2	2.401022	CULTIVOS EN REGADÍO	CULTIVOS EN HILERA (PTE.>3%), Normalmente según L. de max. Pendiente	Xerololes con Fluvisoles y Regosoles	C	8	24	24
3	0.533359	CULTIVOS EN REGADÍO	CULTIVOS EN HILERA (PTE.>3%), Normalmente según L. de max. Pendiente	Fluvisoles	B	13	39	25
4	0.301768	CULTIVOS EN REGADÍO	CULTIVOS EN HILERA (PTE.>3%), Normalmente según L. de max. Pendiente	Litsoles con xerosoles	D	6	18	18
5	1.624917	INVERNADEROS	PAVIMENTOS	-	-	1	1	1
6	0.137864	INVERNADEROS CON RECUPERACIÓN AGUA	CULTIVOS EN HILERA (PTE.>3%)	Xerosoles petrocalcícos	C	8	24	24
7	1.275134	MATORRAL Y MONTE BAJO	MASAS FORESTALES (DENSIDAD CLARA)	Xerololes petrocalcícos con Fluvisoles y Regosoles	C	14	42	25
8	2.730246	MATORRAL Y MONTE BAJO	MASAS FORESTALES (DENSIDAD CLARA)	Xerosoles calcícos y X. petrocalcícos	C	14	42	25
9	1.298889	MATORRAL Y MONTE BAJO	MASAS FORESTALES (DENSIDAD CLARA)	Litsoles con xerosoles	D	10	30	25
10	1.301241	FORESTAL REPOBLACION	MASAS FORESTALES (MEDIA)	Xerosoles calcícos	C	22	66	25
11	0.071288	FORESTAL REPOBLACION	MASAS FORESTALES (MEDIA)	Xerololes petrocalcícos con Fluvisoles y Regosoles y xerosoles calcícos con regosoles	C	22	66	25
12	0.238009	ZONAS URBANA + AUTOPISTA	PAVIMENTOS	-	-	1	1	1
13	0.119722	BALSAS RIEGO	-	-	-	-	-	-

Nota: Los invernaderos con recuperación de agua se toman como si fuesen cultivos, que es más desfavorable, por estar del lado de la seguridad si algún día son desmontados.

*El valor de P_0 , se ve afectado de un factor corrector que se deduce del mapa de la figura 2.5 de la Instrucción 5.2-IC. Este coeficiente, refleja la variación regional de la humedad habitual en el suelo a comienzo de aguaceros significativos. Para la zona de estudio, se adopta un valor de 3.

No obstante, dado que diversas entidades recomiendan utilizar un **Po máximo de 25 mm**, se toma este valor en aquellos casos en que se haya superado, a fin de estar del lado de la seguridad y tras haber tenido en cuenta el factor de corrección.

-Mapa del coeficiente corrector del umbral de escorrentía-



4.4.5.- COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Para determinar el valor del coeficiente de escorrentía C , que representa el porcentaje de precipitación se incorpora al flujo superficial, se utiliza la siguiente expresión;

$$C = \frac{(P_d - P_0) \times (P_d + 23 \times P_0)}{(P_d + 11 \times P_0)^2} \quad \text{para } P_d > P_0$$

$$C = 0 \quad \text{para } P_d \leq P_0$$

Donde;

C ; coeficiente de escorrentía

P_d ; precipitación máxima diaria modificada para cada período de retorno considerado (mm)

Po; umbral de escorrentía

En la tabla que se muestra a continuación, vienen reflejados los coeficientes de escorrentía obtenidos para cada período de retorno, en cada una de las subcuencas y el coeficiente medio resultante que será tenido en cuenta para calcular el caudal de avenida correspondiente. Los coeficientes medios resultantes para cada período de retorno se obtienen mediante la suma de los coeficientes de cada subcuenca ponderados por la superficie de cada subcuenca.

- Coeficientes de escorrentía C por subcuencas y períodos de retorno-

Nº SUBCUENCA	USOS DE LA TIERRA	EQUIVALENCIA USO DE LA TIERRA (Instrucción 5.2-1C)	C, Coef. DE ESCORRENTÍA T=10 (-)	C, Coef. DE ESCORRENTÍA T=100 (-)	C, Coef. DE ESCORRENTÍA T=500 (-)
1	CULTIVOS EN REGADIO	CULTIVOS EN HILERA (PTE.>3%), Normalmente según L. de max. Pendiente	0.284097381	0.474892207	0.57995523
2	CULTIVOS EN REGADIO	CULTIVOS EN HILERA (PTE.>3%), Normalmente según L. de max. Pendiente	0.284097381	0.474892207	0.57995523
3	CULTIVOS EN REGADIO	CULTIVOS EN HILERA (PTE.>3%), Normalmente según L. de max. Pendiente	0.271070429	0.460498779	0.565975999
4	CULTIVOS EN REGADIO	CULTIVOS EN HILERA (PTE.>3%), Normalmente según L. de max. Pendiente	0.380275121	0.575277157	0.674107629
5	INVERNADEROS	PAVIMENTOS	0.981140642	0.99309751	0.996067987
6	INVERNADEROS CON RECUPERACIÓN AGUA	CULTIVOS EN HILERA (PTE.>3%)	0.284097381	0.474892207	0.57995523
7	MATORRAL Y MONTE BAJO	MASAS FORESTALES (DENSIDAD CLARA)	0.271070429	0.460498779	0.565975999
8	MATORRAL Y MONTE BAJO	MASAS FORESTALES (DENSIDAD CLARA)	0.271070429	0.460498779	0.565975999
9	MATORRAL Y MONTE BAJO	MASAS FORESTALES (DENSIDAD CLARA)	0.271070429	0.460498779	0.565975999
10	FORESTAL REPOBLACION	MASAS FORESTALES (MEDIA)	0.271070429	0.460498779	0.565975999
11	FORESTAL REPOBLACION	MASAS FORESTALES (MEDIA)	0.271070429	0.460498779	0.565975999
12	ZONAS URBANA + AUTOPISTA	PAVIMENTOS	0.981140642	0.99309751	0.996067987
13	BALSAS RIEGO	-	-	-	-

Coeficientes de escorrentía medios pesados de la superficie de cada subcuenca

COEFICIENTES MEDIOS DE ESCORRENTÍA "C" PARA TODA LA CUENCA		
T=10	T=100	T=500
0.348	0.517	0.625

4.5.- OBTENCIÓN DE LOS CAUDALES DE CÁLCULO

A partir de la expresión del MTM, se han obtenido los siguientes caudales máximos para cada período de retorno estudiado.

Caudales de avenida para cada período de retorno-

PERIODO DE RETORNO	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD "K"	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA "C"	INTENSIDAD MEDIA DE PRECIPITACION "I" (mm/h)	CAUDALES MAXIMOS (m³/s)
T=10	1.1735	0.348	20.38	36.29
T=100	1.1735	0.517	35.63	94.26
T=500	1.1735	0.625	48.13	153.97

5.- ESTUDIO HIDRÁULICO

Una vez obtenidos los caudales máximos de avenida, se ha realizado la simulación hidráulica a fin de determinar la velocidad y calado del agua en el cauce a su paso por la finca propiedad del peticionario, para cada uno de los tres períodos de retorno analizados y delimitar las zonas de inundación correspondientes.

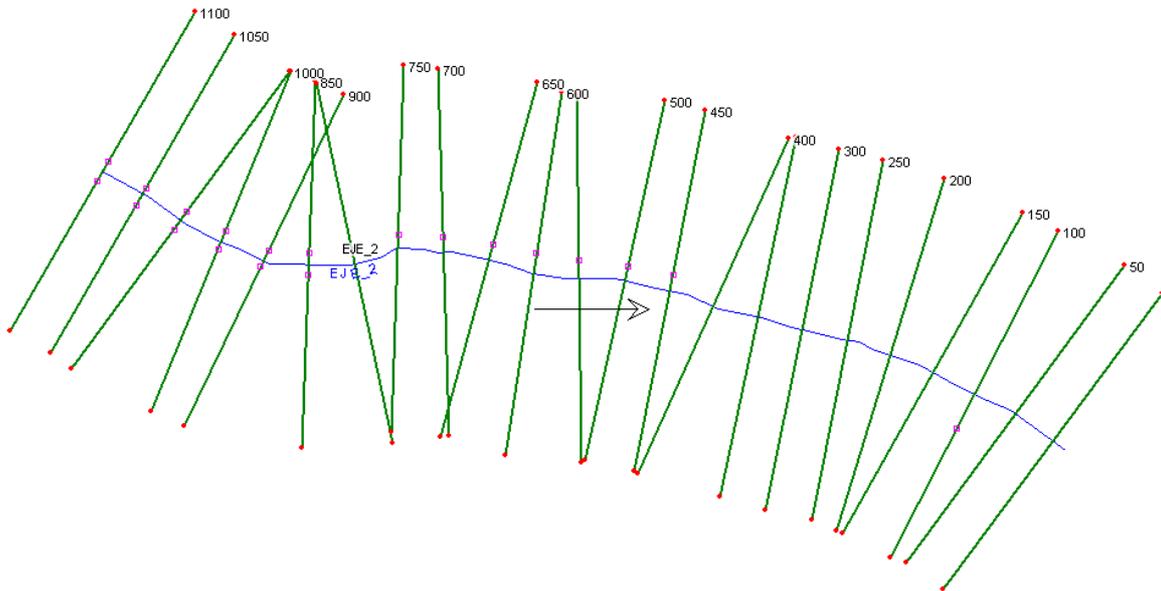
El estudio hidráulico, según se ha indicado en el apartado 3, se ha realizado utilizando el programa de modelización HEC-RAS Versión 3.1.3. (River Analysis System), desarrollado por el Hidrologic Engineering Center de Estados Unidos (US Army Corps of Engineers). Este programa emplea un modelo matemático que permite realizar el análisis del flujo unidimensionalmente variable en lámina libre. Para su utilización se han definido una serie de secciones transversales que representan una discretización del tramo a analizar y se ha modelizado un flujo utilizando un caudal de avenida de 10, 100 y 500 años de período de retorno.

A partir de las características geométricas e hidráulicas de la sección del cauce estudiado, el programa informático determina por aplicación de la fórmula de Manning, las velocidades y calados correspondientes a los caudales que se hayan considerado.

Se han realizado secciones en el cauce de la rambla cada 50 m, medidos en el eje, y se ha comprobado la existencia de infraestructuras que pudieran interceptar la red natural de drenaje para tenerlas en cuenta en su caso. En el caso que nos ocupa no existe ninguna infraestructura en el cauce.

Tras la modelización del flujo con HEC-RAS, se obtienen para cada período de retorno estudiado, una serie de perfiles transversales en los que se refleja el calado de la lámina de agua y por tanto la zona inundada, y la velocidad.

- Secciones transversales al cauce. Rambla de Villalba. -



5.1.- Base teórica del programa HEC-RAS

La finalidad de HEC-RAS, es el cálculo del perfil de la lámina libre del agua en canales naturales o artificiales, para flujo gradualmente variado en régimen estacionario. Se puede calcular perfiles en régimen lento o rápido y permite considerar los efectos que ciertas obstrucciones como puentes, alcantarillas, u otras estructuras puedan interferir en el flujo.

El procedimiento básico de cálculo está basado en la solución de la ecuación de la continuidad de la energía unidimensional y evalúa las pérdidas de energía producidas por fricción mediante la ecuación de Manning. El método de resolución adoptado, se conoce como Stándar Step Méthod.

Las principales hipótesis asumidas por HEC-RAS son las siguientes:

- Flujo estacionario; por lo que no hay variación del calado o la velocidad con el tiempo.
- Flujo gradualmente variado; lo que conduce a una distribución hidrostática de presiones.
- Unidimensional; la única componente de la velocidad es la dirección del flujo.

$$h_e = L \cdot Sf + C \cdot \left(\frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} \right)$$

- Las pendientes deben ser pequeñas (<10%). El calado vertical representa la altura de presión.
- Los contornos son rígidos, no admitiéndose erosión o sedimentación en el cauce.

5.1.1.- Ecuación básica de cálculo

La ecuación básica de cálculo, es la de conservación de energía entre dos secciones S1 y S2 de un flujo unidimensional:

$$Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} + h_e$$

Donde para cada sección transversal;

- Zi: Elevación del fondo de la sección transversal respecto a una cota de referencia

- Yi: calado del agua en la sección transversal

- ai: Coeficiente de energía, que tiene en cuenta la distribución no uniforme de velocidades en esa sección.

- Vi: velocidad media del flujo en la sección

-g: Aceleración de la gravedad

-he: Pérdida de energía entre las secciones 1 y 2.

5.1.2.- Cálculos de conductividad

La hipótesis fundamental de HEC-RAS es que la pérdida de altura por fricción en una sección es la misma que tendría un flujo uniforme que tuviese la misma velocidad y radio hidráulico que los correspondientes a esa sección. Esta hipótesis permite aceptar la fórmula de Manning de flujo uniforme para evaluar la pendiente de fricción en una sección transversal del cauce.

La determinación de la conductividad real y del coeficiente de velocidad en una sección transversal, requiere subdividir el flujo en unidades en las cuales la velocidad esté uniformemente distribuida. El método utilizado en HEC-RAS consiste en subdividir cada sección en diferentes zonas, limitadas por los puntos donde el valor del coeficiente de Manning cambia de valor. Se aplican las fórmulas siguientes:

$$Q = K \cdot Sf^{1/2}$$

Siendo:

Q; caudal

K; capacidad o conductividad que responde a la fórmula:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot Rh^{2/3}$$

Siendo;

n; coeficiente de rugosidad de Manning

A; sección transversal

Rh; radio hidráulico

5.1.3.- Cálculos de rugosidad

El problema de la rugosidad del lecho y las márgenes de un río depende de la manera de afrontarlo o más bien de las diferentes fases que se pueden representar en la determinación de dicha rugosidad. Se pueden distinguir varios aspectos:

- Determinación del tipo de coeficiente de rugosidad que se va a utilizar en los cálculos por medio del coeficiente de Manning o bien por medio de la rugosidad equivalente, k.
- Selección de un coeficiente adecuado de rugosidad n, dentro de una zona determinada.
- Estudio de zonas particulares del cauce, tales como áreas inefectivas o bloques.

La evaluación de la pendiente de fricción media en el tramo, a partir de los valores existentes en las dos secciones que lo limitan, admite varias opciones (media aritmética, geométrica o armónica), pero la opción usada es la media entre conductividades:

$$Sf = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

El método de resolución, es el Standard Step Method, que utiliza aproximaciones sucesivas para determinar la elevación de la lámina de agua (Y1+Z1) en la sección siguiente teniendo como datos el caudal Q y la elevación en la sección anterior (Y2+Z2).

El cálculo del perfil comienza en una sección transversal con una determinada condición inicial y continúa hacia aguas arriba en el caso del régimen lento.

El modelo HEC-RAS, no permite localizar directamente la posición de un cambio de régimen de lento a rápido o viceversa. Cuando en el cálculo paso a paso, se produce un cambio de régimen, el modelo recomienza los cálculos con el régimen crítico. Por

tanto, el perfil calculado estará siempre por encima del calado crítico en el caso del régimen lento y por debajo, en caso de régimen rápido.

La energía específica se define como:

$$H = Y + \alpha \cdot \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Y por tanto el calado crítico:

$$Y_c = H \text{ min} - \alpha \cdot \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Su cálculo se realiza mediante un proceso iterativo de búsqueda con interpolación parabólica, suponiendo calados y calculando sus correspondientes energías específicas. Este método, permite considerar la distribución no uniforme de la sección transversal.

5.2.- Datos de partida para el cálculo con HEC-RAS y resultados

5.2.1.- Geometría del cauce

El cálculo de los perfiles de la lámina de agua, requiere los datos geométricos de las secciones del terreno, transversales al flujo. Estas secciones, son necesarias en puntos representativos del cauce tales como; inicio y final de la zona de estudio, puntos especiales (estrechamientos bruscos si los hubiera), y cambios en el cauce (de pendiente, rugosidad y sección, si los hubiese).

Se ha partido de una serie de perfiles transversales lo suficientemente extensa (distanciados 50 m como máximo) para permitir una perfecta definición geométrica del tramo del cauce donde se sitúa la zona de actuación, así como 150 m aguas arriba y ampliación hasta el mar aguas abajo. En los planos adjuntos se representan dichos perfiles.

Las secciones, se han definido mediante parejas de valores, correspondientes a las coordenadas de sus puntos característicos. Para cada punto se define su altura y su distancia horizontal, desde un cero arbitrario situado en un punto de cada perfil (normalmente se sitúa dentro del cauce en el eje).

La cota (Y), en este caso sí es absoluta, puesto que se han referenciado todos los puntos que fueron tomados en el levantamiento topográfico realizado a coordenadas UTM-ED50.

Para la obtención de la cartografía altimétrica se ha utilizado un levantamiento topográfico de la zona del cauce y las márgenes, en las que se han realizados

levantamiento de secciones transversales, para más tarde ser cotejadas y ampliadas con un vuelo 1:500. El levantamiento se ha realizado con un GPS diferencial de precisión centimétrico en coordenadas UTM ED-50.

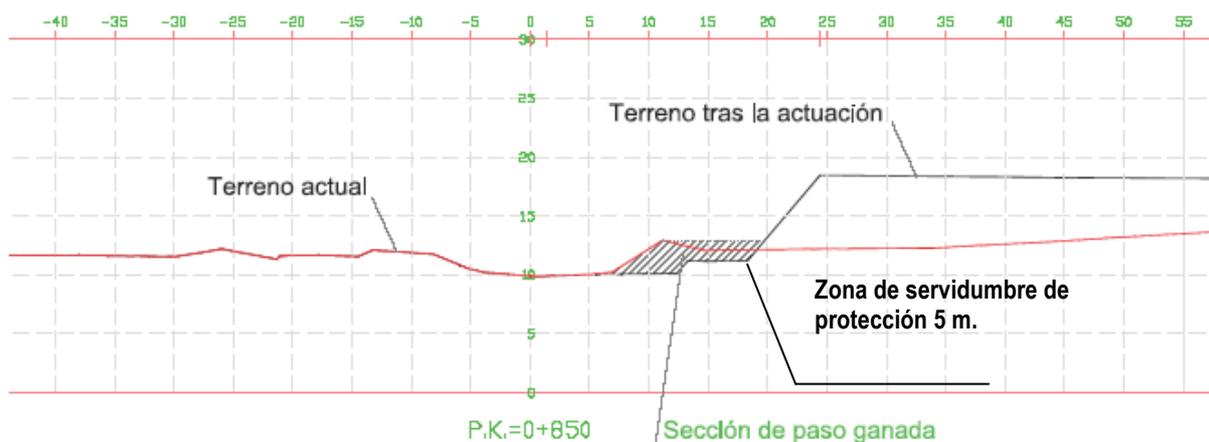
5.2.2.- Propuesta de ampliación del cauce

Una vez modelizada con HEC-RAS la sección actual de la rambla (cauce morfológico), se comprueba que se producen desbordamientos a partir de caudales superiores a 130 m³/s, que es un caudal inferior al de T500 y superior al de T100, por lo que al levantar taludes a 5 metros del margen morfológico derecho de la rambla, se producirán sobreelevaciones en los desbordamientos en la margen izquierda.

Esto, nos lleva a proponer la ampliación del cauce actual hacia nuestra finca, aún a costa de perder algo de terreno del peticionario, para así tener una sección tal que no produzcan desbordamientos ni con los caudales de una avenida de período de retorno 500 años.

En esta ampliación que se propone, se deja una franja de 5 metros como zona de servidumbre de paso, que quedará dentro del cauce, pero elevada de forma que no sea inundada por la avenida de 10 años.

Estas secciones modificadas se pueden ver en los planos adjuntos, en las que se enfrentan en un mismo perfil la sección actual junto con la sección propuesta ampliada. A continuación se refleja a modo de ejemplo una sección concreta.



5.2.3.- Valor del coeficiente “n” de Manning

La selección de un apropiado valor para el coeficiente de rugosidad de Manning es fundamental para los cálculos, pues la solución que se va a obtener en la lámina de agua es muy sensible al valor asignado a la rugosidad.

El valor n, es muy variable y depende de un gran número de factores, entre los que se incluyen la aspereza superficial, la vegetación, irregularidad del canal, erosiones y depósitos de sedimentos, temperatura, etc.

En general se puede calibrar el valor de la rugosidad en aquellas zonas donde se puedan obtener datos de las cotas de agua reales y observadas; en aquellas zonas donde esto no sea posible, se pueden utilizar los valores suministrados por la bibliografía existente sobre este tema.

Existe una gran variedad de factores que pueden hacer variar el valor de la rugosidad. Estos valores se recogen en la siguiente tabla y están tomados del Decreto número 258/2007 de 13 de julio, por el que se establece el contenido y procedimiento de los estudios de inundabilidad en el ámbito del Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia.

Para el estudio, se ha empleado un valor n, de Manning de 0,04 y 0,045 tanto para el canal como para los márgenes y zona inundable, correspondiente a terrenos naturales con vegetación y con escasa vegetación según los tramos y un 0,035 en tramos puntuales de ausencia total de vegetación.

-Valores del coeficiente de rugosidad de “Manning” en función el tipo de superficie tomados del Decreto 258/2007-

Tipo de superficie	Mínimo	Habitual	Máximo
En el cauce			
Terreno excavado sin vegetación	0,021	0,023	0,028
Terreno excavado con gravas sin vegetación	0,022	0,025	0,030
Terreno excavado con vegetación escasa (malezas)	0,024	0,028	0,033
Terreno excavado pedregoso y con malezas	0,027	0,032	0,040
Terreno excavado sin mantenimiento y matorrales densos	0,045	0,065	0,110
Excavado en roca	0,030	0,032	0,045
Hormigón	0,013	0,016	0,018
Escollera colocada	0,019	0,022	0,026
Escollera sin colocar	0,022	0,032	0,038
Gaviones	0,020	0,027	0,035
Revegetado artificial	0,027	0,038	0,500
Terreno natural sin vegetación	0,025	0,031	0,035
Terreno natural con vegetación escasa	0,035	0,043	0,050
Terreno natural pedregoso y con malezas	0,045	0,053	0,060
Terreno natural sin mantenimiento y matorrales densos	0,075	0,100	0,140
En el llano de inundación			
Calles	0,012	0,020	0,030
Pastizales	0,028	0,031	0,042
Parcela agrícola sin cultivar	0,020	0,026	0,040
Cultivos de huerta	0,025	0,035	0,045
Cultivos arbóreos	0,030	0,040	0,060
Vegetación pobre	0,035	0,040	0,060
Vegetación densa	0,045	0,070	0,110
Vegetación densa y arbolado	0,080	0,135	0,250

5.2.4.- Cálculos hidráulicos. Datos de partida

- **Datos geométricos:** se han introducido en el programa los datos geométricos del cauce mediante secciones cada 50 m en toda la longitud afectada por la finca objeto de actuación, más dos secciones aguas arriba (100 m) y la ampliación aguas abajo hasta el mar.

En total, se han introducido 23 secciones transversales correspondientes a una longitud total de 1100 metros correspondientes a 100 metros aguas arriba del inicio de la rambla en la finca objeto de actuación, toda la rambla a su paso por la finca y hasta su desembocadura en el mar.

- El cálculo hidráulico se ha realizado aplicando la ecuación de Manning, habiendo considerado un **coeficiente de rugosidad** para el cauce y para

las zonas adyacentes de entre 0,040 y 0,045, en función de la presencia de vegetación, que aunque en su mayor parte el cauce se encuentra libre de vegetación existe algún tramo central en el que sí se observa alguna (ver fotos en anejo III). De forma puntual se ha tomado 0,035 para tramos exentos de vegetación y con muy buena superficie.

En el anejo 2 se muestran las fotografías del cauce.

- Se ha introducido el **caudal máximo de avenida** en régimen permanente, correspondiente a períodos de retorno de 500, 100 y 10 años:

$$Q (500) = 153,97 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q (100) = 94,26 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q (10) = 36,29 \text{ m}^3/\text{s}$$

- En cuanto a las **condiciones de contorno** se han establecido las siguientes:

Aguas arriba, se ha adoptado una profundidad normal correspondiente a la pendiente del cauce que es de aguas abajo del cauce, que es de 1,2%.

Aguas abajo, se adopta una sobreelevación conocida de 1,4 m sobre el nivel del mar tal y como indica el Decreto 258/2007 que para el litoral al sur de Cabo Palos es de 1,4 m

- En cuanto a las **pérdidas de energía por cambios de sección** (contracciones y expansiones), y aunque éstas no se han observado, a excepción de la llanura de inundación junto a la playa, se toman los valores de la 5.2.- del anexo técnico del Decreto 258/2007, que se adjunta a continuación. Así se toman las contracciones como no bruscas y también no bruscas para las expansiones, habiendo aplicado los valores: K_e 0,3 y k_c 0,06 y 0,1

Tabla 5.2. Valores de los coeficientes de pérdidas de energía por cambio de sección.

Tipo de flujo	Expansiones (K_e)			Contracciones (K_c)	
	Bruscas	No bruscas	Suaves	Bruscas	No bruscas
Subcrítico	0,85	0,5	0,3	0,1	0,06
Supercrítico	1,1	0,7	0,45	0,15	0,09

- Las simulaciones se han realizado para un régimen mixto dado que el tramo se observan flujos supercríticos y subcríticos.

5.2.5.- Resultados obtenidos

- Simulación hidráulica para T = 10 años.

En el anejo 1 se pueden observar las secciones y la altura de agua para el período de retorno de 10 años y un caudal de avenida de 35,69 m³/s. La velocidad media oscila en torno 2,5 m/s en el tramo aguas arriba hasta el perfil 200 donde disminuye mucho por acercarse a la desembocadura ampliándose la llanura de inundación.

Con este caudal **no se inunda** la zona de servidumbre de paso de 5 metros. Ver secciones de HEC-RAS o las llanuras de inundación en planos.

- Simulación hidráulica para T = 100 años.

En el anejo 1 se pueden observar las secciones y la altura de agua para el período de retorno de 100 años y un caudal de avenida de 94,23 m³/s. La velocidad media oscila en torno 3,4-3,6 m/s en el tramo aguas arriba hasta el perfil 200 donde disminuye mucho por acercarse a la desembocadura ampliándose la llanura de inundación.

Ver la zona de inundación en los planos adjuntos. Con este caudal **no se desborda la rambla** fuera del cauce morfológico.

- Simulación hidráulica para T = 500 años.

En el anejo 1 se pueden observar las secciones y la altura de agua para el período de retorno de 500 años y un caudal de avenida de 153,97 m³/s. La velocidad media oscila en torno 3,8 m/s llegando en alguna sección a los 4,80 m/s en el tramo aguas arriba hasta el perfil 100 donde disminuye mucho por acercarse a la desembocadura ampliándose la llanura de inundación.

Ver la zona de inundación en los planos adjuntos. Con este caudal **no se desborda la rambla** fuera del cauce morfológico.