

**ANEXO 7. ESTUDIO DE INUNDABILIDAD Y  
DELIMITACIÓN DE DPH**

---

El estudio de inundabilidad y delimitación de dominio público hidráulico del proyecto de depósito controlado de residuos no peligrosos en el T. M. de Fines (Almería) fue redactado en abril de 2024 por el autor Pedro Jesús Pérez Fernández.

El respectivo documento se divide en tres partes:

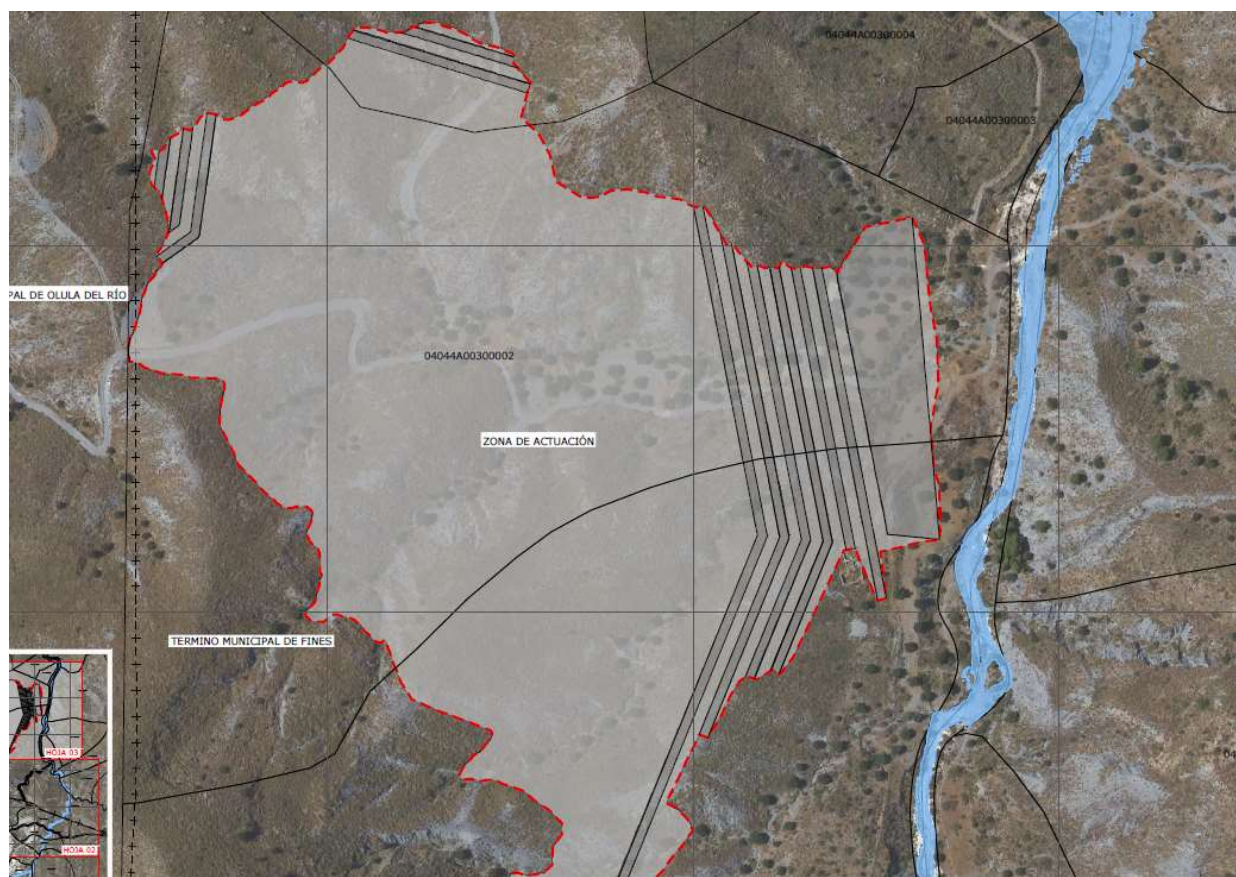
1. **Caracterización climática** de la zona a partir de los datos de la estación meteorológica de Fines.
2. **Cálculo de caudales de avenida** del cauce obstruido por un vertedero ilegal, incluyendo delimitación de cuencas, análisis pluviométrico y estimación de caudales máximos para distintos periodos de retorno.
3. **Cálculo hidráulico** de la Rambla Juan Gómez y su afluente en Macael y Fines, realizado con el software HEC-RAS 2D a partir de los datos y caudales obtenidos previamente.

En él se observa que los límites del nuevo Depósito de Residuos No Peligrosos se encuentran fuera de Dominio Público Hidráulico, la zona de servidumbre y las láminas de inundabilidad asociadas al periodo de retorno de 100, zona de flujo preferente y 500 años.

Se anexa a continuación el referido documento.

DOCUMENTO:

# ESTUDIO DE INUNDABILIDAD Y DELIMITACIÓN DE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO DEL PROYECTO DE DEPÓSITO CONTROLADO DE RESIDUOS NO PELIGROSOS EN EL T. M. DE FINES (ALMERÍA)



FECHA: **ABRIL 2024**

PROMOTOR:



**EFIENERGIA S.L.**

EFIENERGÍA

AUTOR:

**PEDRO JESÚS PÉREZ FERNÁNDEZ**  
Ingeniero Civil



ARIA RECURSOS, INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE S.L

Pza. Vicario Andrés Pérez Molina, 2, 5ºC, 04004 ALMERÍA

Tel.: 673 268 010 • info@iaria.es • www.iaria.es



## ÍNDICE GENERAL

### DOCUMENTO nº1. MEMORIA

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CLIMATOLOGÍA.....</b>	<b>2</b>
2.1. PLUVIOMETRÍA	2
2.2. TERMOMETRÍA	2
2.3. ÍNDICES Y CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS	3
2.3.1. <i>ÍNDICE DE ARIDEZ DE MARTONE</i>	3
2.3.2. <i>ÍNDICE TERMO-PLUVIOMÉTRICO DE DANTIN-REVENGA</i>	4
2.3.3. <i>ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO DE BLAIR</i>	4
2.3.4. <i>ÍNDICE DE TEMPERATURA EFECTIVA DE THORNTHWAITE (<math>I_T</math>)</i>	4
2.3.5. <i>ÍNDICE DE ARIDEZ DE KNOCHE (<math>I_K</math>)</i>	5
2.3.6. <i>ÍNDICE DE ARIDEZ DE LANG</i>	6
2.3.7. <i>CLASIFICACIÓN DE PAPADAKIS</i>	6
2.3.8. <i>CLIMODIAGRAMA DE WALTER-GAUSSSEN</i>	7
2.3.9. <i>DIAGRAMA DE TEMOHETAS</i>	7
<b>3. HIDROLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
3.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA	8
3.2. CÁLCULO DE CAUDALES	10
3.2.1. <i>DEFINICIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS</i>	10
3.2.2. <i>CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO</i>	12
3.2.3. <i>INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN</i>	12
3.2.4. <i>FACTOR DE INTENSIDAD <math>T_{INT}</math></i>	14
3.2.5. <i>COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA</i>	17
3.2.6. <i>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN.</i>	20
3.2.7. <i>CAUDALES EVENTOS EXTREMOS REGIÓN 72 20</i>	20
<b>4. ESTUDIO HIDRÁULICO.....</b>	<b>22</b>
4.1. INTRODUCCIÓN	22
4.2. TOPOGRAFÍA	22
4.3. FUNDAMENTOS DEL MODELO HIDRÁULICO BIDIMANSIONAL	23
4.4. PARÁMETROS DEL MODELO	25
4.4.1. <i>MODELO DIGITAL DEL TERRENO Y MALLADO.</i>	25
4.4.2. <i>ASIGNACIÓN COEFICIENTES RUGOSIDAD</i>	27
4.5. SIMULACIÓN	28
4.6. ZONA DE FLUJO PREFERENTE	29
4.6.1. <i>VÍA DE INTENSO DESAGÜE</i>	29
4.6.2. <i>ZONA DE INUNDACIÓN PELIGROSA</i>	30
4.7. RESULTADOS	30
4.7.1. <i>PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS MCO</i>	31
4.7.2. <i>PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS</i>	32
4.7.3. <i>PERIODO DE RETORNO 500 AÑOS</i>	33
4.7.4. <i>SECCIONES Y CORTES DEL MODELO</i>	34
4.8. CONCLUSIONES	35

### DOCUMENTO nº2. PLANOS

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Temperatura y pluviometría de fines .....	2
Tabla 2: Índice de aridez de Martone. Fuente: Elaboración propia. ....	4
Tabla 3: Índice termo-pluviométrico de Dantin-Revenga. Fuente: Elaboración propia. ....	4
Tabla 4: Índice de temperatura efectiva de Thornwaite ( $I_t$ ). Fuente: Elaboración propia. ....	5
Tabla 5: Índice de aridez Knoche. Fuente: Elaboración propia. ....	5
Tabla 6: Índice de aridez Lang. Fuente: Elaboración propia.....	6
Tabla 7: Clasificación Papadakis. Fuente: Elaboración propia.....	6
Tabla 8: Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T. ....	14
Tabla 9: Tiempo de concentración.....	15
Tabla 10 Coeficiente de flujo difuso ndif. ....	16
Tabla 11: Grupos hidrogeológicos. ....	18
Tabla 12: Caudales Eventos Extremos Región 72.....	21
Tabla 13: Resultado caudales calculados cuenca 1.....	21
Tabla 14: Resultado caudales calculados cuenca 2.....	21
Tabla 15: Valores de los coeficientes de rugosidad de Manning propuestos por Cowan. Fuente: Guía Metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografías de zonas inundables. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.....	28
Tabla 16: View computación log files de cada cálculo por periodo de retorno. ....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Temperaturas medias estación de Fines. Fuente: Elaboración propia.....	2
Figura 2: Climodiagrama de Walter-Gaussen. Fuente: Elaboración propia. ....	7
Figura 3: Diagrama de Temohietas. Fuente: Elaboración propia. ....	8
Figura 4: Caracterización hidrológica e hidrogeológica. Fuente: Elaboración propia. ....	9
Figura 5: Caracterización hidrológica e hidrogeológica. Fuente: Elaboración propia. ....	10
Figura 6: Localización del tramo. Fuente: Elaboración propia, a partir de imágenes topográfico 1:25.000 IGN. ....	11
Figura 7: Localización del tramo. Fuente: Elaboración propia, a partir de aplicación GoogleEarth. ....	11
Figura 8: Mapa de Índice de Torrencialidad ( $I_t/I_d$ ). ....	16
Figura 9: Mapa de usos del suelo SIOSE 2013. ....	18
Figura 10: Mapa de Grupos Hidrológicos del Suelo s/ Norma 5.2-IC "Drenaje Superficial". ....	18
Figura 11: triángulo textura tipos de suelos. ....	19
Figura 12: Regiones consideradas para la caracterización del coeficiente corrector del umbral de escorrentía s/ Norma 5.2-IC "Drenaje Superficial". ....	20
Figura 13: Modelo Digital del Terreno (MDT). ....	22
Figura 14: Vista área 2D y líneas de ruptura añadidas. ....	26
Figura 15: Vista de los usos de suelo del SIOSE.....	28
Figura 16: Diagrama composición Zona Flujo Preferente. ....	29
Figura 17: Izquierda perfil con encroachment calculado, derecha parámetros de cálculo.....	30
Figura 18: Plano de Calados para PR 10 años. ....	31
Figura 19: Plano de Velocidades para PR 10 años.....	31
Figura 20: Plano de Calados para PR 100 años. ....	32
Figura 21: Plano de Velocidades para PR 100 años.....	32
Figura 22: Plano de Calados para PR 500 años. ....	33
Figura 23: Plano de Velocidades para PR 500 años.....	33
Figura 24: Plano de situación de los perfiles longitudinales y transversales.....	34
Figura 25: Perfil longitudinal para los tres periodos de retorno estudiados.....	34
Figura 26: perfiles transversales obtenidos del modelo. ....	35



## Documento nº1. MEMORIA

### 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento consta de tres partes diferenciadas y con objetivos diferentes. La primera parte del documento se centra en la caracterización climática de la zona a partir de los datos disponibles de la Estación meteorológica de Fines.

La segunda parte del documento se centra en el cálculo de los caudales de avenida del cauce natural que se encuentra obstruido totalmente por el vertedero ilegal y que se pretende recuperar. Para ello es necesario realizar una serie de trabajos previos entre los que destacan los siguientes:

- Delimitación y definición de las características físicas de las cuencas interceptadas por el proyecto de ampliación y mejora del sistema general de saneamiento y depuración de Plasencia.
- Recopilación y análisis de datos pluviométricos.
- Cálculo de los caudales máximos correspondientes a los distintos periodos de retorno considerados.

La tercera parte de este documento desarrolla el cálculo hidráulico de la Rambla Juan Gómez y afluente en el término municipal de Macael y Fines, este cálculo se ha realizado mediante software HEC-RAS 2D, mediante los datos aportados y los caudales para eventos extremos calculados en la segunda parte.

## 2. CLIMATOLOGÍA

El término municipal de Fines se enmarca, según datos de la Junta de Andalucía, dentro del clima “Mediterráneo Semi-Continental de inviernos fríos”. Este tipo de clima pertenece al clima Mediterráneo y se caracteriza por ser el más fresco y seco. Corresponde geográficamente al área del surco intrabético, donde la continentalidad, el aislamiento debido a los relieves circundantes y la altitud, determinan la aparición de un clima extremado, en los que las heladas son un acontecimiento frecuente, los veranos calurosos y los inviernos fríos. La estimación media de las variables climáticas que se dan en el ámbito del municipio de Fines la hemos considerado tomando los datos, de las medias mensuales obtenidas desde 1951 a 1992, de la estación meteorológica de Fines, registrados en el Sistema de Información Ambiental de Andalucía (SINAMBA).

### 2.1. PLUVIOMETRÍA

Por lo general, las precipitaciones anuales rondan los 400 mm. Las precipitaciones máximas se registran en los meses de primavera y otoño y las de mayor intensidad y torrencialidad en octubre. La sequía estival no se considera absoluta ya que se registran algunas lluvias en los meses de julio y agosto. También se dan ocasionalmente precipitaciones en forma de nieve en invierno.

### 2.2. TERMOMETRÍA

Las temperaturas medias anuales son menos elevadas que en el clima Mediterráneo ya que son del orden de los 16°C, pero caracterizan las altas temperaturas de los meses estivales las cuales rondan los 25°C. Esto es lo que hace que el clima Mediterráneo Continental sea más extremo. Los inviernos son fríos, los termómetros oscilan entre los 8 y 9°C, y las heladas suelen ser frecuentes.

Los factores macroclimáticos y latitudinales contribuyen a una alta cuota de insolación, entorno a las 3000 horas de sol anuales. Los vientos predominantes en la zona son: vientos del Este, Sur y Sureste

Tabla 1: Temperatura y pluviometría de fines.

Estación meteorológica	Altura							Serie				
Fines	475 m.							1951		1992		
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA	9.5	10.6	11.5	13.9	17.1	20.5	24.5	24.4	21.2	16.2	13.2	9.9
PLUVIOMETRÍA	30.4	22.6	31.7	57.9	44	28.6	7.7	6.8	18.03	54.8	40.3	40.6

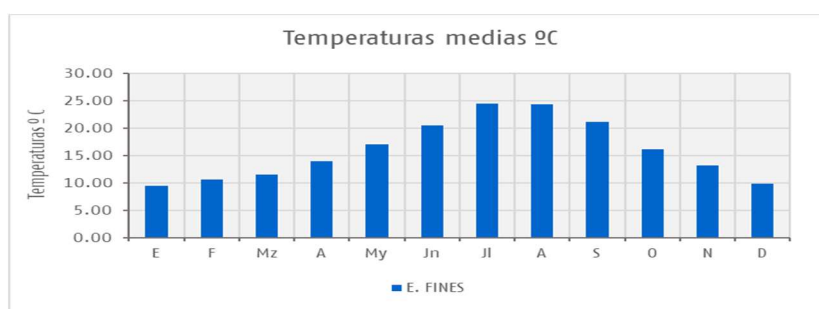


Figura 1: Temperaturas medias estación de Fines. Fuente: Elaboración propia.

## 2.3. ÍNDICES Y CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS

Para definir la región climática delimitada por el entorno de la obra proyectada es preciso, primeramente, clasificar el clima de la zona afectada. Esta clasificación se realiza en función de sus caracteres básicos: temperatura, viento, humedad, precipitación, etc., considerados aisladamente o combinados. Estas combinaciones conducen a índices climáticos más o menos complejos, cuyos valores son utilizados como base para establecer tipos climáticos. Los valores utilizados para realizar la clasificación climática serán los obtenidos de la media aritmética de las variables pluviométricas consideradas en la estación meteorológica de Amurrio (Instituto), y los datos termométricos obtenidos del Atlas climático de la Península y Baleares de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

A partir de los datos termopluiométricos se obtienen los distintos “ÍNDICES CLIMÁTICOS”, que sirven de base para clasificar o caracterizar climatológica y agroclimáticamente la zona del estudio y que son:

- Índices de aridez de Martonne
- Índice termopluiométrico de Dantin-Revenga
- Índice pluviométrico de Blair
- Índice de temperatura efectiva de Thornthwaite
- Índice de Knoche
- Factor pluviométrico de Lang
- Clasificación de Papadakis
- Diagrama ombrotérmico de Walter-Gausson
- Diagrama de Termohietas

A continuación, se han calculado cada uno de los índices.

### 2.3.1. Índice De Aridez De Martone

Este índice viene expresado por:

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Donde:

*I* = Índice de aridez anual

*P* = Precipitación media anual en mm.

*T* = Temperatura media anual en °C.

Con arreglo a este índice de aridez, Martonne distingue:

- *I* = 0 – 5           Desierto
- *I* = 5 – 10        Semidesierto (estepa desértica con posibilidad de cultivos de regadío)
- *I* = 10 – 20       Semiárido tipo mediterráneo (zonas de transición, con escorrentías temporales)
- *I* = 20 – 30       Subhúmedo (cultivos de secano, cereales y olivares)
- *I* = 30 – 60       Húmedo (prados y bosques)
- *I* > 60            Perhúmedo (vegetación tropical)

De los datos anteriores obtenemos que:

Tabla 2: Índice de aridez de Martone. Fuente: Elaboración propia.

Estación	P (mm)	T (°C)	I	COMENTARIOS
E. FINES	365.43	16.04	14.03	Semiárido tipo mediterráneo (zonas de transición, con escorrentías temporales)

### 2.3.2. Índice termo-pluviométrico de Dantin-Revenga

Se define con la fórmula siguiente:

$$I = \frac{100 \cdot T}{P}$$

Donde:

$I$  = Índice termopluiométrico.

$P$  = Precipitación media anual en mm.

$T$  = Temperatura media anual en °C.

Este índice establece también una clasificación climática según los rangos que se resumen a continuación en:

- $I_{tp} = 0-2$            Clima húmedo
- $I_{tp} = 2-3$            Clima semiárido
- $I_{tp} = 3-6$            Clima árido
- $I_{tp} > 6$             Clima subdesértico

A continuación, se aplica a la estación más próxima a las obras:

Tabla 3: Índice termo-pluviométrico de Dantin-Revenga. Fuente: Elaboración propia.

Estación	P (mm)	T (°C)	I	COMENTARIOS
E. FINES	365.43	16.04	4.39	Clima árido

### 2.3.3. Índice pluviométrico de Blair

El índice pluviométrico de Blair clasifica el clima en función de la precipitación media anual (en mm):

- Árido; con escasas precipitaciones, menores a 250 mm anuales.
- Semiárido; con precipitaciones ligeras, entre 250 y 500 mm anuales.
- Subhúmedo; con precipitaciones moderadas, de entre 500 y 1.000 mm.
- Húmedo; con fuertes precipitaciones entre 1.000 y 2.000 mm.
- Muy Húmedo; con precipitaciones muy elevadas, >2000 mm.

Por tanto, para una precipitación media de 680.54 mm se obtiene un **Clima Semiárido**.

### 2.3.4. Índice de Temperatura Efectiva de Thornthwaite ( $I_T$ )

Se trata de un índice térmico expresado con la siguiente fórmula:

$$I_T = 5,4 \cdot T$$

Donde:

$T =$  Temperatura media anual en  $^{\circ}C$ .

Para los distintos valores de  $I_t$ , Thornthwaite califica al clima y la vegetación de la zona según:

- $I_t > 125$  Macrotermal (floresta tropical)
- $I_t = 65 - 125$  Mesotermal (floresta media)
- $I_t = 30 - 65$  Microtermal (floresta microtermal)
- $I_t = 15 - 30$  Taiga (floresta de coníferas)
- $I_t = 0 - 15$  Tundra (tundra-musgo)
- $I_t = 0$  Nieve

De los datos anteriores obtenemos que:

Tabla 4: Índice de temperatura efectiva de Thornwaite ( $I_t$ ). Fuente: Elaboración propia.

Estación	T ( $^{\circ}C$ )	$I_t$	COMENTARIOS
E. FINES	16.04	86.63	Mesotermal (floresta media)

### 2.3.5. Índice de Aridez de Knoche ( $I_k$ )

Este índice termopluviométrico introduce un nuevo parámetro que considera el número medio de días de lluvia en el año.

La fórmula empleada es la siguiente:

$$I_k = \frac{n \cdot P}{100 \cdot (T + 10)}$$

Donde:

$n =$  número medio de días de lluvia en el año.

$P =$  Precipitación media anual en mm.

$T =$  Temperatura media anual en  $^{\circ}C$ .

La aridez se clasifica en función de los siguientes valores:

- $I_k = 0-25$  Extrema
- $I_k = 25-50$  Severa
- $I_k = 50-75$  Normal
- $I_k = 75-100$  Moderada
- $I_k > 100$  Pequeña

Con un valor de  $n= 85,40$  de días de lluvia, se obtiene el siguiente índice de aridez:

Tabla 5: Índice de aridez Knoche. Fuente: Elaboración propia.

Estación	P (mm)	T ( $^{\circ}C$ )	n	$I_k$	COMENTARIOS
E. FINES	365.43	16.04	85.40	11.98	Extrema

### 2.3.6. Índice de Aridez de Lang

Este índice se define como el cociente entre la lluvia anual y la temperatura media anual. De acuerdo con los valores de dicho índice, Lang distingue las siguientes zonas:

- $I_L = 0-20$                       Desierto
- $I_L = 20-40$                      Árida
- $I_L = 40-60$                      Húmeda de estepas y sabanas
- $I_L = 60-100$                     Húmeda de bosques ralos
- $I_L = 100-160$                   Húmeda de bosques densos
- $I_L > 160$                         Hiperhúmeda de prados y tundras

La fórmula empleada es la siguiente:

$$IL = \frac{P}{T} = \frac{\text{Lluvia anual (mm)}}{\text{Temperatura media anual (°C)}}$$

Donde:

$P =$  Precipitación media anual en mm.

$T =$  Temperatura media anual en °C.

De los datos anteriores obtenemos que:

Tabla 6: Índice de aridez Lang. Fuente: Elaboración propia.

Estación	P (mm)	T (°C)	$I_L$	COMENTARIOS
E. FINES	365.43	16.04	22.78	Árida

### 2.3.7. Clasificación de Papadakis

La clasificación climática de Papadakis debe considerarse como una característica agroecológica a nivel macroclimático, ya que en estos niveles intervienen de forma clave factores tales como la topografía o el relieve. Esta clasificación utiliza variables climáticas basadas en valores extremos, que se consideran más representativos y restrictivos para estimar las respuestas óptimas de los distintos cultivos.

Se trata pues de una clasificación habitual destinada a la caracterización agroclimática, y los umbrales que se fijan para caracterizar los tipos climáticos, responden a los límites naturales de determinados cultivos. La clasificación de Papadakis permite definir los tipos de invierno y de verano, y los regímenes térmicos y de humedad, así como los grupos climáticos.

Los parámetros que utiliza la clasificación de Papadakis se obtienen del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. A partir de estos datos se obtiene el clima de la zona según el citado autor:

Tabla 7: Clasificación Papadakis. Fuente: Elaboración propia.

Tipos	Fuentes de Ebro	Clasificación de Papadakis
Tipo de invierno	Ci (Citrus)	Mediterráneo marítimo
Tipo de verano	O (Oryza)	
Régimen térmico	MA (Marítimo cálido)	
Régimen de humedad	ME (Mediterráneo seco)	

### 2.3.8. Climodiagrama de Walter-Gausson

Los climodiagramas constituyen otra forma habitual de representar el clima de una región, para contrastar y establecer similitudes climáticas entre localidades y zonas. Para los objetivos perseguidos en este estudio se va a determinar los climodiagramas de Walter-Gausson (Diagrama ombrotérmico).

En ellos se reflejan los datos de temperatura y precipitación medios mensuales. Se elige una escala de precipitaciones en mm, doble que la de temperaturas en grados centígrados (2 mm de precipitación equivalen a 1 °C de temperatura según la hipótesis de Gausson).

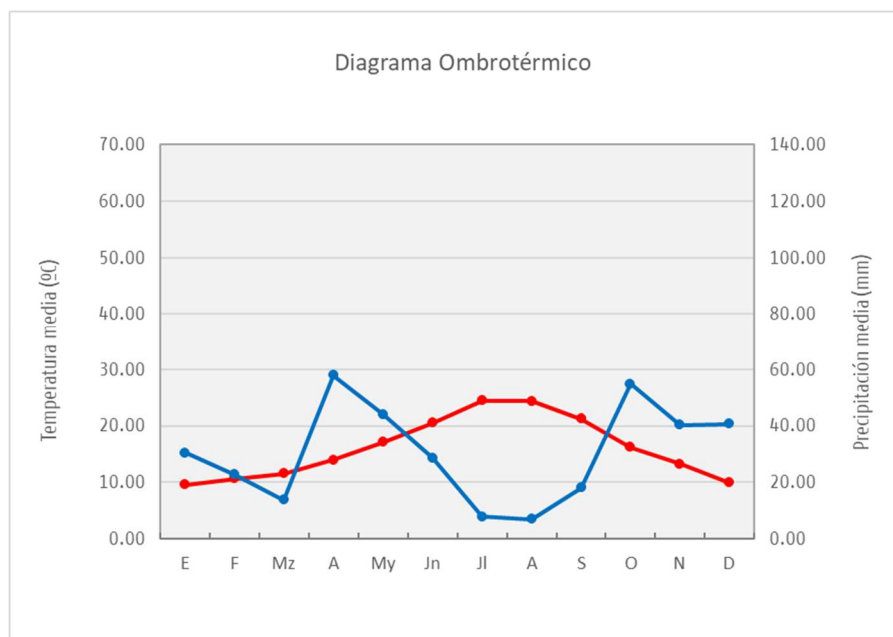


Figura 2: Climodiagrama de Walter-Gausson. Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.9. Diagrama de Temohietas

Este tipo de diagramas ofrece una visión inmediata del clima en un lugar. Se construye tomando un sistema de coordenadas cartesianas cuyos ejes representan las temperaturas y las precipitaciones medias mensuales. Los doce puntos obtenidos, correspondientes a cada uno de los meses se unen mediante una poligonal cerrada que permite observar la variación de estas variables a lo largo del año.

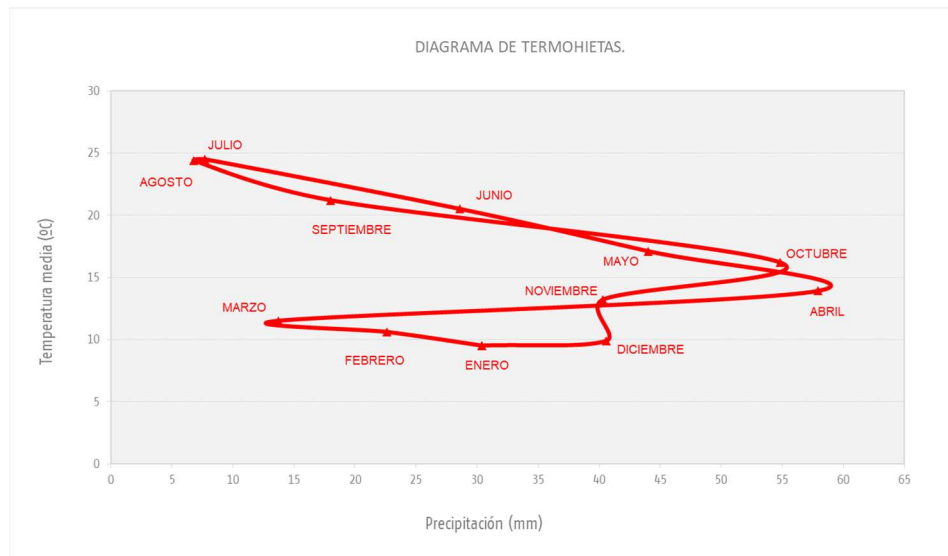


Figura 3: Diagrama de Temohietas. Fuente: Elaboración propia.

El climograma muestra un clima preferentemente templado suave; ya que no se superan valores de 20°C de media en la época estival y las temperaturas mínimas no bajan de 5°C, además se manifiesta una precipitación anual total moderada de 680 mm, que se presenta en dos épocas muy diferenciadas, primavera (especialmente en mayo) y en los meses noviembre, diciembre y enero, las menores probabilidades de precipitación se producen en los meses de verano especialmente en julio.

### 3. HIDROLOGÍA

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

El término municipal de Fines se encuentra en la Cuenca Hidrográfica del Sur de España. Constituye, junto con el resto de los municipios lindantes al río Almanzora, el subsistema meridional de la Cuenca del Almanzora. Casi todos los materiales nevado-filábrides y alpujárrides, desde el punto de vista hidrogeológico, constituyen un conjunto impermeable, con sectores semipermeables. Sin embargo, los materiales carbonatados por su gran fisuración presentan una permeabilidad excelente.

El río Almanzora, naciendo en el Paraje de Alcóntar, constituye la arteria fluvial principal de la zona. Con un trazado casi E-O y una longitud de más de 80 km., se encuentra encajado en su curso alto y medio por las Sierras de las Estancias al norte y Los Filabres al sur, mientras que en su parte baja, después de cortar la Sierra de Almagro alcanza el mar por la franja costera del levante almeriense. Se distinguen dos ramblas que atraviesan la zona que nos ocupa. En ellas fluyen los arroyos del Marchal y del Baile, desde la Sierra de los Filabres hasta sus faldas donde confluyen con el arroyo de Macael, cercano al núcleo principal de Fines. Esto conlleva a un aumento de caudal desde las barranqueras de la Sierra hasta su desembocadura al río Almanzora. Por otro lado, se encuentra el Río Laroya que confluye directamente con el Río Almanzora.

Los acuíferos carbonatados del subsistema meridional de la Cuenca del Almanzora se corresponden con los materiales carbonatados de las series alpujárrides y nevadofilábrides, correspondientes a los de la Sierra de las Estancias en la margen izquierda del río y los de la vertiente norte de la Sierra de los Filabres en el margen derecho. Como consecuencia de su historial tectónico-erosivo estos materiales carbonatados se presentan en estructuras complejas, generalmente de cabalgamiento y fallas inversas, y con escasa continuidad lo que,

unido a su accidentada topografía, origina una gran heterogeneidad hidrogeológica en el conjunto de los mismos, con superposiciones y compartimentaciones de acuíferos con funcionamiento independiente. La mayor parte de las ocasiones se trata de acuíferos libres, con buenas características hidráulicas, debido a que presentan zonas donde predominan micasquitos, filitas, etc. que por su baja permeabilidad impiden el paso del agua. En general se recargan por infiltración de lluvia útil (16-22 hm<sup>3</sup>/año) directamente de la precipitación (un 70%) y desde las escorrentías que alcanzan sus afloramientos (30%). Los retornos son siempre poco significativos. Aún se mantiene el régimen natural de funcionamiento, así pues, se descargan en manantiales o galerías, por transferencias laterales subterráneas, o por algunos aluviales que los atraviesan. Sus reservas pueden superar los 100 hm<sup>3</sup>. Los niveles piezométricos de estos acuíferos son elevados, especialmente en las bandas de mármoles de Macael, porque existe buena conexión hidráulica con los ríos, tanto es así que en esta zona se realizan los sondeos de abastecimiento para los municipios de su entorno: Fines y Olula del Río se abastecen del sondeo del Canformal, con un caudal de 30 l/s. El propio Finesl capta sus aguas de dos sondeos principales: uno es el sondeo de los Moros, situado al norte del núcleo urbano y otro el sondeo del Sacristán, cercano a la Rambla de Macael. Estos acuíferos carbonatados presentan facies bicarbonatada cálcica y/o cálcico magnésica, ocasionalmente sulfatadas pueden presentar conductividades de has 1,5 mS/cm. Como se ha visto, por la presencia de sondeos en la zona, son aceptables para uso humano y para regadío. Son muy vulnerables a la contaminación por su condición de fisurados, aunque por su escasa presencia de focos en la superficie el riesgo se considera escaso.



Figura 4: Caracterización hidrológica e hidrogeológica. Fuente: Elaboración propia.

El municipio de Fines corresponderá al Subsistema Macael-Líjar. Corresponde a otro conjunto de afloramientos carbonatados de la Sierra de Filabres entre las localidades de Macael, al Noroeste, y Líjar, al Sureste. En conjunto tiene una superficie permeable de 20 km<sup>2</sup>. La precipitación media es de unos 350 mm/año. Los materiales permeables son mármoles del Complejo Nevado-Filábride y calizas y dolomías triásicas del Complejo Ballabona-Cucharón, superpuestas y cabalgantes sobre aquéllos. La potencia llega a alcanzar 150 m. Se ha dividido en 3 pequeñas unidades que a su vez se fragmentan y subdividen en otras menores. Existe (1985) un único sondeo de explotación; las galerías, más numerosas, permiten extraer caudales de unos 20 l/s por término medio. En cualquier caso, la recarga no parece superar 4 o 5 hm<sup>3</sup>/año de los que la cuarta parte puede ser infiltración de escorrentía superficial. La descarga se hace por manantiales y galerías. Las galerías y bombeos han modificado la descarga de forma que la mayor parte de ésta se hace subterráneamente. Las aguas, de buena calidad, presentan residuo seco generalmente inferior a 1 g/l.

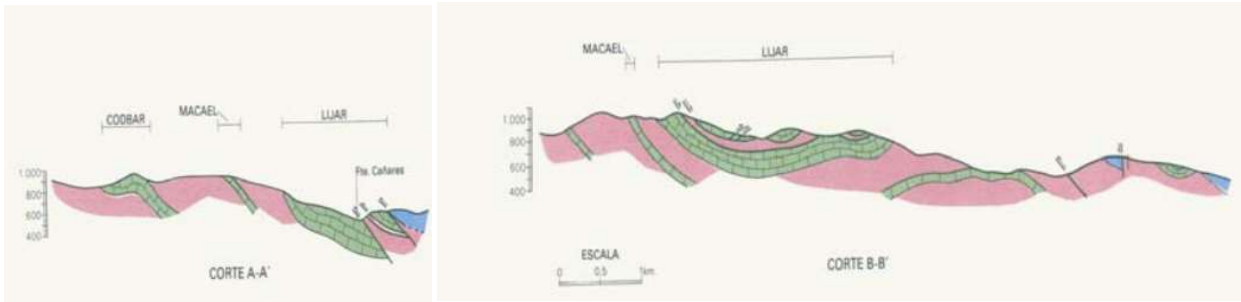


Figura 5: Caracterización hidrológica e hidrogeológica. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. CÁLCULO DE CAUDALES

El objetivo de esta parte del estudio es el cálculo de caudales generados por los eventos extremos de la cuenca de aporte del tramo objeto de estudio. Para lograr este objetivo, se ha llevado a cabo la metodología que se describe a continuación:

1.- Definición de la cuenca hidrológica.

2.- Cálculo del coeficiente de escorrentía en cada división homogénea de la cuenca. Se efectúa a partir de la determinación de las siguientes características:

- Pendientes del terreno.
- Usos de la tierra (vegetal o mineral) según los criterios recogidos en la instrucción de drenaje 5.2-IC.
- Grupos de suelo, también según la instrucción de drenaje.

3.- Cálculo de la precipitación de diseño,  $I_t$ , expresada en mm/h.

4.- Cálculo de los Caudales de referencia para cada una de las cuencas definidas y según los criterios de la Norma 5.2-IC "Drenaje Superficial", aprobada mediante Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero y publicada en el jueves 10 de marzo de 2016, en el Boletín Oficial del Estado.

#### 3.2.1. Definición de las Cuencas Hidrográficas

Para la determinación de las cuencas hidrológicas se ha empleado la cartografía a escala 1:1.000 disponible a partir de los archivos LIDAR del Instituto Geográfico Nacional., el MDT02 del Instituto Geográfico Nacional y la cartografía digital escala 1:25000 del Instituto Geográfico Nacional.

Se definen las cuencas hidrológicas como el lugar geométrico de los puntos que, en caso de un aguacero, vierten sus aguas en el punto situado en la cota más baja de la cuenca, que actúa como un sumidero.

La delimitación de las cuencas principales se ha realizado mediante programas GIS y CAD, a través de los cuales se ha determinado el desnivel máximo de la cuenca y la longitud del cauce principal. A partir de estos datos se ha podido determinar el tiempo de concentración de cada la cuenca.

A continuación, se adjunta una imagen de la localización del tramo objeto de estudio.

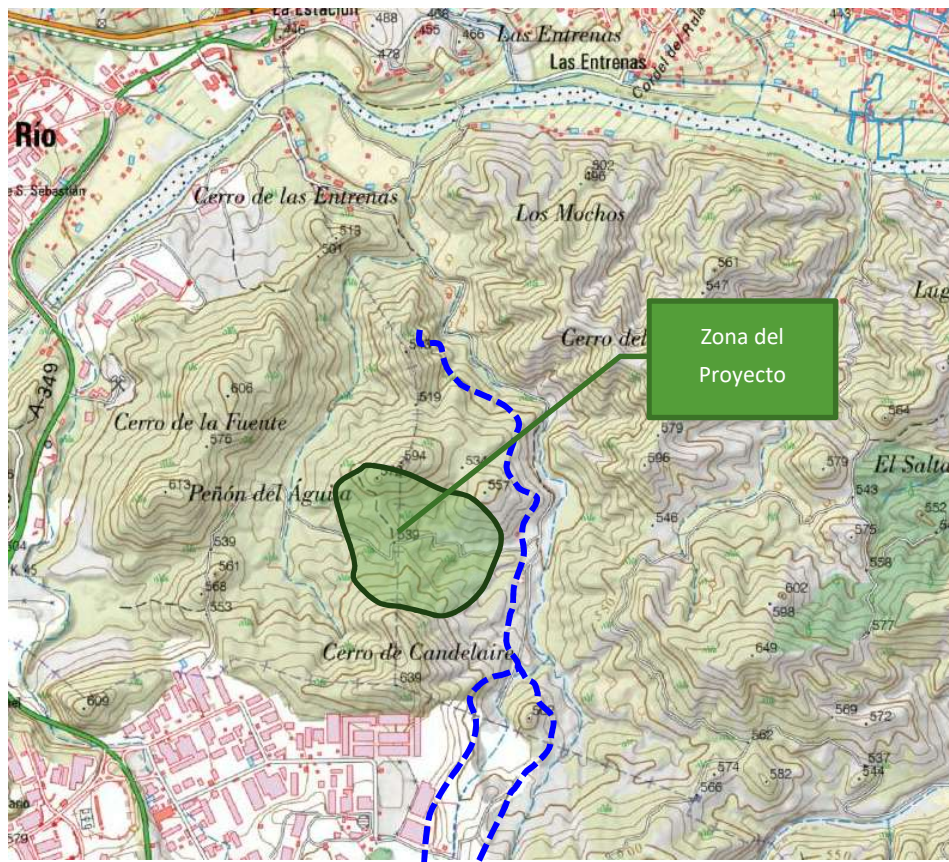


Figura 6: Localización del tramo. Fuente: Elaboración propia, a partir de imágenes topográfico 1:25.000 IGN.

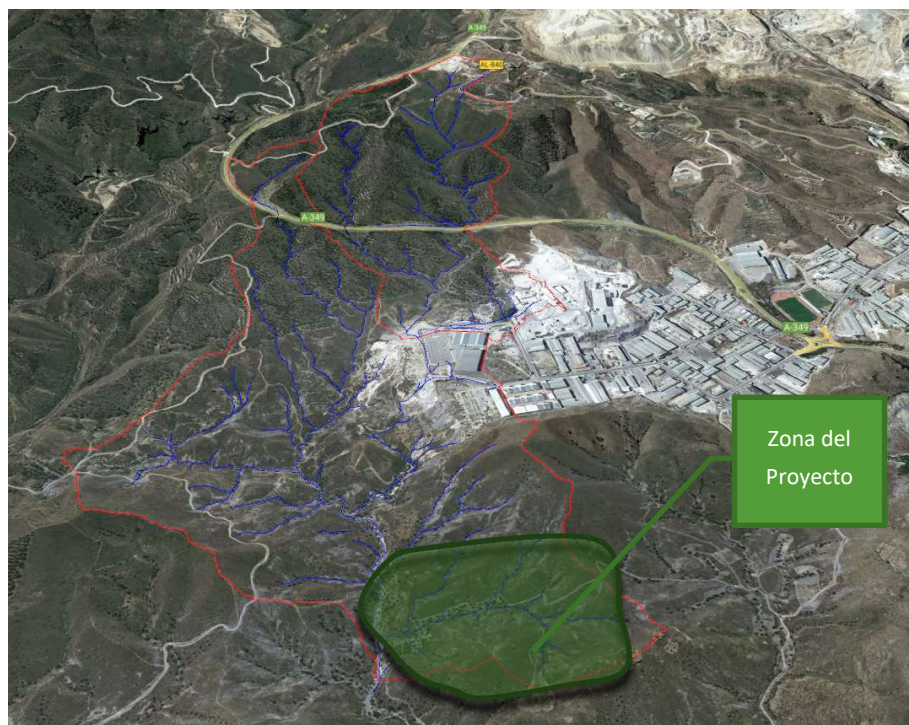


Figura 7: Localización del tramo. Fuente: Elaboración propia, a partir de aplicación GoogleEarth.

En la primera figura se aprecia en color azul la red hidrográfica de estudio, en naranja el desvío previsto y en rojo el tramo del cauce soterrado por el vertedero ilegal. En la segunda imagen se muestra el vertedero ilegal en verde.

### 3.2.2. Cálculo de Caudales de Diseño

En este apartado, se determinarán los caudales siguiendo el Método Racional para aquellas cuencas con una superficie menor de 50 km<sup>2</sup> sin datos de caudales máximos en la aplicación informática CAUMAX.

Este método supone la generación de escorrentía en una determinada cuenca a partir de una intensidad de precipitación uniforme en el tiempo, sobre toda su superficie.

Siguiendo el método racional, el caudal máximo anual QT, correspondiente a un periodo de retorno T, se calcula mediante la fórmula:

$$Q_t = \frac{I(T, t_c) \times C \times A \times K_t}{3,6}$$

Donde:

**QT [m<sup>3</sup>/s]** Caudal máximo anual correspondiente al periodo de retorno T, en el punto de desagüe de la cuenca.

**I(T, t<sub>c</sub>) [mm/h]** Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno considerado T, para una duración de aguacero igual al tiempo de concentración t<sub>c</sub>.

**C [adimensional]** Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie considerada.

**A [km<sup>2</sup>]** Área de la cuenca o superficie considerada.

**K<sub>t</sub> [adimensional]** Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

No obstante, en el caso más general de cuencas heterogéneas, se resuelve el cálculo de caudales mediante la división del área total, en áreas parciales de superficie Ai, que puedan considerarse homogéneas respecto a los factores influyentes en la formulación del Método Racional. En el caso estudiado en el presente Documento, la causa de la heterogeneidad se debe a la variación espacial de coeficiente de escorrentía, quedando la fórmula anteriormente indicada, sustituida por la siguiente:

$$Q_t = \frac{K_T}{3,6} \times I(T, t_c) \times \sum_{i=1}^n [C_i \times A_i]$$

### 3.2.3. Intensidad de Precipitación

La intensidad de precipitación I (T, t<sub>c</sub>) correspondiente a un periodo de retorno T, y a una duración de aguacero t, a emplear en la estimación de caudales por el Método Racional, se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$I(T, t_c) = I_d \times F_{int}$$

Donde:

**I (T, t<sub>c</sub>) [mm/h]** Intensidad de precipitación correspondiente a un periodo de retorno T Y a una duración de aguacero t<sub>c</sub>.

**I<sub>d</sub> [mm/h]** Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T.

**Fint [adimensional]** Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T.

Por tanto, para determinar la intensidad de precipitación I (T, tc), es necesario determinar la intensidad media diaria de precipitación corregida (Id).

La intensidad media diaria de precipitación corregida (Id) correspondiente al periodo de retorno T, se obtiene mediante la fórmula:

$$Id = \frac{Pd \times Ka}{24}$$

Donde:

**Id [mm/h]** Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T.

**Pd [mm]** Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T.

**KA [adimensional]** Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca, que tiene en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda la superficie. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Si } A < 1 \text{ km}^2 & \quad Ka = 1 \\ \text{Si } A \geq 1 \text{ km}^2 & \quad Ka = 1 - \frac{\text{Log}A}{15} \end{aligned}$$

Siendo A, el área total de la cuenca en km<sup>2</sup>.

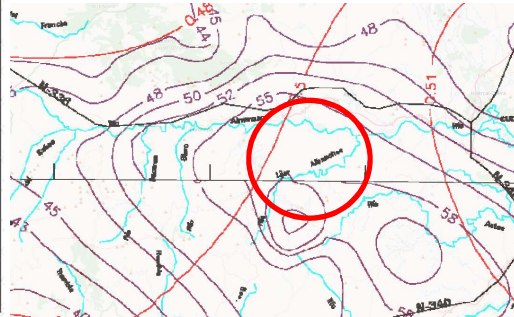
Para la determinación de la precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T, Pd se adopta el mayor de los valores de los obtenidos a partir de:

- Datos publicados por la Dirección General de Carreteras (publicación Máximas Lluvias en la España Peninsular).
- Estudio estadístico de las series de precipitaciones diarias máximas anuales, medidas en los pluviómetros existentes en la cuenca, o próximos a ella. En el ajuste estadístico de las series de precipitaciones máximas registrada en cada pluviómetro, la función de distribución extrema más apropiada a los datos de la zona, considerando al menos las funciones Gumbel y SQRT ET-max.

A efectos de la Norma 5.2-IC, para la aplicación del método racional se toma como precipitación diaria Pd, la correspondiente al valor medio en la superficie de la cuenca, que se obtiene, mediante la interpolación espacial de los valores obtenidos en cada uno de los pluviómetros considerados. A continuación, se muestran las Pd adoptadas:

Tabla 8: Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T.

C <sub>r</sub>	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860



Cuenca	Pd (mm)
	T10
Rambla San Juan	88.55

### 3.2.4. Factor de Intensidad T<sub>INT</sub>

El factor de intensidad introduce la torrencialidad de la lluvia en el área de estudio y depende de:

- La duración del aguacero  $t$
- El periodo de retorno  $T$ , si se dispone de curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF) aceptadas por la Dirección General de Carreteras, en un pluviógrafo situado en el entorno de la zona de estudio que pueda considerarse representativo.

Se tomará el mayor valor de los obtenidos de entre los que se indican a continuación:

$$F_{int} = \max(F_a, F_b)$$

Donde:

<b>F<sub>int</sub> [adimensional]</b>	Factor de intensidad.
<b>F<sub>a</sub> [adimensional]</b>	Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I <sub>1</sub> / I <sub>d</sub> )
<b>F<sub>b</sub> [adimensional]</b>	Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo.

Dado que no se disponen de curvas IDF aceptadas por la Dirección General de Carreteras, el valor a aplicar será el F<sub>a</sub> obtenido a partir del índice de torrencialidad.

#### a) Tiempo de concentración

El tiempo de concentración ( $t_c$ ), es el tiempo mínimo necesario desde el comienzo del aguacero para que

toda la superficie de la cuenca esté aportando escorrentía en el punto de desagüe. Se obtiene calculando el tiempo de recorrido más largo desde cualquier punto de la cuenca hasta el punto de desagüe, mediante la siguiente formulación:

$$tc = 0,3 \times Lc^{0,76} \times Jc^{-0,19}$$

Donde:

<b><i>tc [horas]</i></b>	Tiempo de concentración
<b><i>Lc [km]</i></b>	Longitud del cauce
<b><i>Jc [adimensional]</i></b>	Pendiente media del cauce

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos:

Tabla 9: Tiempo de concentración.

CUENCA	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )	COTAS (m)		DESNIVEL (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE (m/m)	Tc (h)
		MÁXIMA	MÍNIMA				
Rambla San Juan	0.73	805	577	228	1870	0.1214	0.830
Innominado	1.98	805	493	312	3430	0.0894	1.324

En aquellas cuencas de pequeño tamaño en las que el tiempo de recorrido en flujo es difuso sobre el terreno sea apreciable respecto al tiempo de recorrido total no será de aplicación la fórmula anterior, debiendo aplicarse las indicaciones que se proporcionan en la Norma 5.2-IC para cuencas secundarias. Según los criterios establecidos se considera que se produce esta circunstancia cuando el tiempo de concentración calculado mediante la fórmula anterior sea inferior a  $tc \leq 0,25$  h.

Por tanto, en las cuencas consideradas de pequeño tamaño, en las que el tiempo de concentración es inferior a 0,25 h, no es válida la aplicación de la formulación anterior, siendo necesario determinar el tiempo de concentración dividiendo el recorrido de la escorrentía en tramos de características homogéneas inferiores a 300 m de longitud y sumando tiempos de concentración parciales, mediante la siguiente formulación:

$$tc^* = \sum t_{dif}$$

$$t_{dif} = 2 \times L_{dif}^{0,408} \times N_{dif}^{0,312} \times J_{dif}^{-0,209}$$

Donde:

<b><i>tdif [minutos]</i></b>	Tiempo de concentración en flujo difuso sobre el terreno.
<b><i>nd [adimensional]</i></b>	Coficiente de flujo difuso (s/ tabla 2.1 de la Norma 5.2-IC)
<b><i>Ldif [m]</i></b>	Longitud de recorrido en flujo difuso.
<b><i>Jdif [adimensional]</i></b>	Pendiente media.

Los valores del coeficiente de flujo difuso  $n_{dif}$  indicados en la Norma 5.2-IC “Drenaje Superficial” se reproducen en la siguiente figura:

Tabla 10 Coeficiente de flujo difuso  $n_{dif}$ .

Cobertura del terreno		$n_{dif}$
Pavimentado o revestido		0,015
No pavimentado ni revestido	Sin vegetación	0,050
	Con vegetación escasa	0,120
	Con vegetación media	0,320
	Con vegetación densa	1,000

b) Obtención de  $F_a$

El factor de intensidad  $F_a$  se obtiene según la siguiente expresión:

$$F_a = \left( \frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 0,5287 \times t^{0,1}}$$

Donde:

$I_1/I_d$  [adimensional]

Índice de torrencialidad, representado en la figura 2.4 de la Norma 5.2- IC “Drenaje Superficial”, que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida. Su valor se determina en función de la zona geográfica.

$t$  [horas]

Duración del aguacero, para la obtención del factor  $F_a$  se particulariza la expresión para un tiempo de duración del aguacero igual al tiempo de concentración ( $t = t_c$ ).

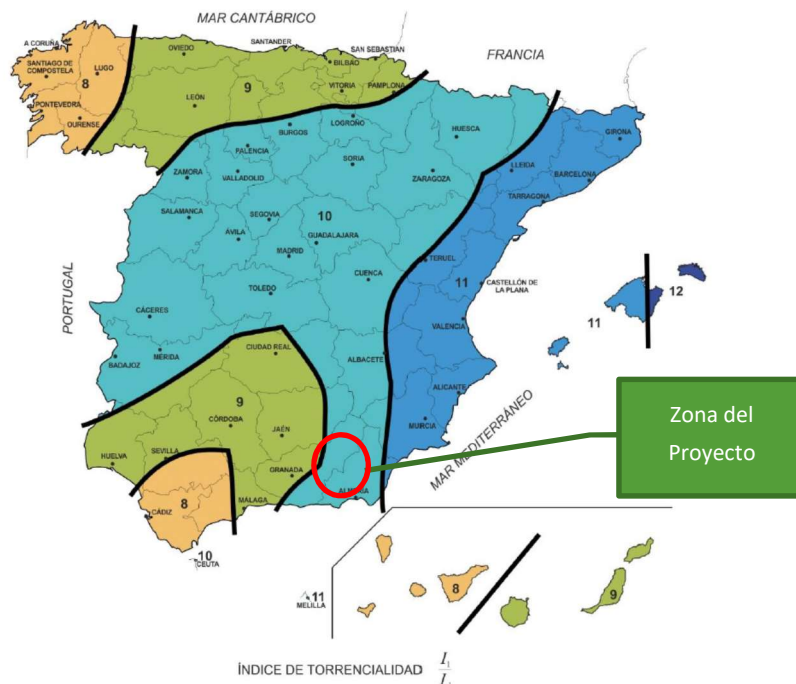


Figura 8: Mapa de Índice de Torrencialidad ( $I_1/I_d$ ).

### 3.2.5. Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía  $C$ , define la parte de la precipitación de intensidad  $I$  ( $T,tc$ ) que genera el caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca. El coeficiente de escorrentía  $C$ , se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Si } Pd \times KA > PO & \quad C = \frac{\left[ \left( \frac{Pd \times Ka}{Po} - 1 \right) * \left( \frac{Pd \times Ka}{Po} + 23 \right) \right]}{\left( \frac{Pd \times Ka}{Po} + 11 \right)^2} \\ \text{Si } Pd \times KA \leq PO & \quad C = 0 \end{aligned}$$

Donde:

<b><math>C</math> [adimensional]</b>	Coeficiente de escorrentía
<b><math>Pd</math> [mm]</b>	Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno $T$ considerado.
<b><math>Ka</math> [adimensional]</b>	Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca
<b><math>Po</math> [mm]</b>	Umbral de escorrentía

#### a) Umbral de escorrentía $Po$

Representa la precipitación mínima que debe caer sobre la cuenca para que se inicie la generación de escorrentía. Se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$Po = Po^i \times \beta$$

Donde:

<b><math>Po</math> [mm]</b>	Umbral de escorrentía
<b><math>Po^i</math> [mm]</b>	Valor inicial del umbral de escorrentía
<b><math>\beta</math> [adimensional]</b>	Coeficiente corrector del umbral de escorrentía

El valor del umbral de escorrentía  $Po^i$  se obtiene de la información disponible de los usos del suelo, así se ha consultado la información SIOSE del año 2013, realizada a partir de ortointerpretación de imágenes de satélite. Esta información se obtiene a través de la página web del Instituto Geográfico Nacional.

Así pues, se ha procedido a cruzar la información de los usos del suelo de la zona de estudio con cada una de las cuencas, obteniendo como resultado el siguiente mapa de usos a escala 1:10.000 para los diferentes usos del suelo.

#### b) Grupos hidrológicos de suelo a efectos de determinación del valor inicial del umbral de escorrentía.

Para la determinación de los valores del umbral de escorrentía es necesario definir el grupo hidrológico del suelo donde se localizan las cuencas interceptadas, según la figura 2.7., Mapas de grupo hidrológicos del suelo, que se incluye a continuación, la zona de actuación se sitúa en el **Grupo B**: Con infiltración buena.

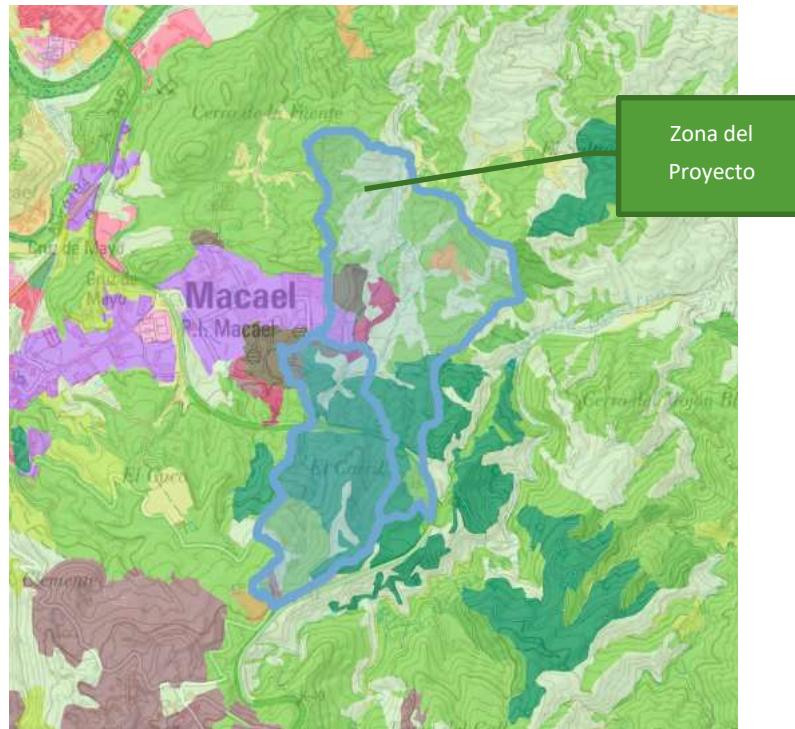


Figura 9: Mapa de usos del suelo SIOSE 2013.

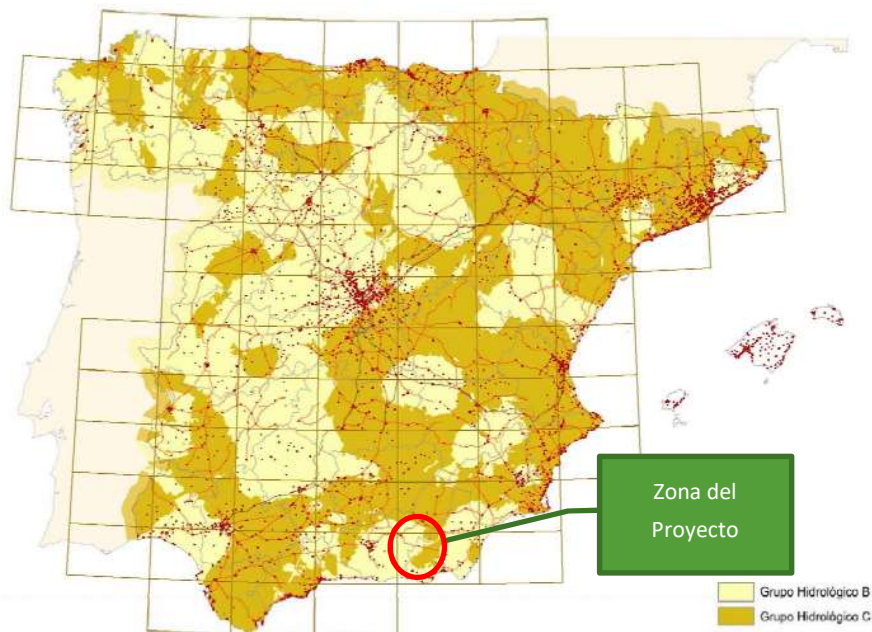


Figura 10: Mapa de Grupos Hidrológicos del Suelo s/ Norma 5.2-IC "Drenaje Superficial".

Tabla 11: Grupos hidrogeológicos.

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.

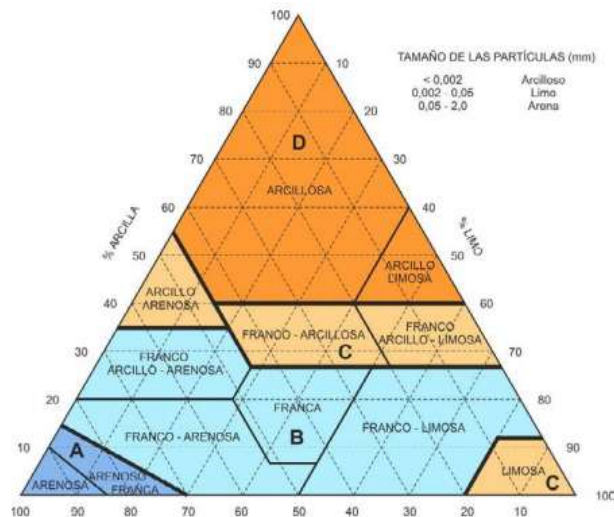


Figura 11: triángulo textura tipos de suelos .

c) Coefficiente corrector del Umbral de escorrentía

La formulación del método racional efectuada requiere una calibración con datos reales de las cuencas, que se introduce en el método a través de un coeficiente corrector del umbral de escorrentía  $\beta$ .

Siguiendo lo indicado en la Norma 5.2-IC “Drenaje superficial”, se procederá de la siguiente manera:

- Drenaje transversal de vías de servicio, ramales, accesos a instalaciones, y edificaciones auxiliares de la carretera (siempre que el funcionamiento hidráulico de estas obras no afecte a la carretera principal) y drenaje de plataforma y márgenes: Se debe aplicar el producto del valor medio de la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía por un factor dependiente del periodo de retorno T:

$$\beta^{PM} = \beta_m \times F_T$$

- Drenaje transversal de la carretera (puentes y obras de drenaje transversal): producto del valor medio de la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía corregido por el valor correspondiente al intervalo de confianza del 50%, por un factor dependiente del período de retorno T considerado para el caudal de proyecto, es decir:

$$\beta^{DT} = (\beta_m - \Delta_{50}) \times F_T$$

Donde:

$\beta_{PM}$ [mm]	Coefficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje de plataforma y márgenes, o drenaje transversal de vías auxiliares.
$\beta_{DT}$ [mm]	Coefficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje transversal de la carretera
$\beta_m$ [adimensional]	Valor medio en la región, coeficiente corrector del umbral de escorrentía
$F_T$ [adimensional]	Factor función del periodo de retorno T
$\Delta_{50}$ [adimensional]	Desviación respecto al valor medio



Figura 12: Regiones consideradas para la caracterización del coeficiente corrector del umbral de escorrentía s/ Norma 5.2-IC "Drenaje Superficial".

En la zona de estudio de este Documento se sitúa en la Región 72.

### 3.2.6. Coeficiente de Uniformidad en la Distribución Temporal de la Precipitación.

El coeficiente  $K_T$  tiene en cuenta la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación, obteniéndose a través de la siguiente expresión:

$$K_T = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

Donde:

$K_T$  [adimensional]      Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.  
 $t_c$  [horas]                      Tiempo de concentración de la cuenca

### 3.2.7. Caudales Eventos Extremos Región 72

Mediante las formula empírica presente en el 5.2 IC y los valores para la región 72, se procede al cálculo de los caudales para eventos extremos.

$$Q_T = \varphi \cdot Q_{10}^2$$

Donde:

- $Q_T$  (m<sup>3</sup>/s) Caudal máximo anual correspondiente al período de retorno T, en el punto de desagüe de la cuenca.
- $Q_{10}$  (m<sup>3</sup>/s) Caudal máximo anual correspondiente al período de retorno de diez años en el punto de desagüe de la cuenca, calculado mediante el método racional (apartado Salvo justificación del proyecto, el valor del coeficiente corrector del umbral de escorrentía a adoptar en el cálculo se debe

corresponder con el valor medio EP recogido en la tabla 2.5, sin efectuar correcciones asociadas al nivel de confianza del ajuste estadístico utilizado.

- $\phi$  (adimensional) Coeficiente propio de la región y del período de retorno considerado (tabla 2.6)
- $\lambda$  (adimensional) Exponente propio de la región y del período de retorno considerado (tabla 2.6)

Tabla 12: Caudales Eventos Extremos Región 72.

Región 72

Periodo de retorno, T (años)	50	100	200	500
$\phi$	3,0	4,0	7,6	13,3
$\lambda$	1,08	1,18	1,13	1,08

RESULTADOS:

Tabla 13: Resultado caudales calculados cuenca 1.

DATOS INICIALES CUENCA 1	
Localización	Rambla San Juan
A	0.73 km <sup>2</sup>
P <sub>0</sub> <sup>1</sup>	30.84 mm
Tipo Flujo Cuenca	3 Flujo Comb. Tc+Tdif
<b>Cálculo Flujo difuso</b>	
Ldif	136 m
Cota max dif	805 m
Cota min dif	787.77 m
Jcdif	0.1267 m/m
ndif	0.0500
Cobertura del terreno	No pavimentado ni revestido (Sin vegetación)
Tdif	0.1496 horas
<b>Cálculo del cauce</b>	
Lc	1.87 km
Lc-Ldif	1.7340 km
Cota máxima	788 m
Cota de desagüe	577 m
Jc	0.1214 m/m

Factores	U/M	CAUDAL DE DISEÑO					
		2 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS	500 AÑOS
P <sub>df</sub>	mm	48.68	71.34	88.55	-	-	-
K <sub>A</sub>	adi.	1.00	1.00	1.00	-	-	-
I <sub>d</sub>	mm/h	2.03	2.97	3.69	-	-	-
I <sub>1</sub> / I <sub>d</sub>	adi.	10.50	10.50	10.50	-	-	-
F <sub>a</sub>	adi.	11.72	11.72	11.72	-	-	-
F <sub>b</sub>	adi.	-	-	-	-	-	-
F <sub>int</sub>	adi.	11.72	11.72	11.72	-	-	-
I(T,t <sub>c</sub> )	mm/h	23.77	34.83	43.23	-	-	-
Región		72	72	72	-	-	-
$\beta$	adi.	2.10	2.10	2.10	-	-	-
F <sub>f</sub>	adi.	0.67	0.86	1	-	-	-
A50	adi.	0.3	0.3	0.3	-	-	-
P <sub>0</sub>	mm	37.19	47.74	55.51	-	-	-
C	adi.	0.05	0.08	0.09	-	-	-
A	km <sup>2</sup>	0.73	0.73	0.73	-	-	-
t <sub>c</sub>	horas	0.830	0.830	0.830	-	-	-
K <sub>f</sub>	adi.	1.054	1.054	1.054	-	-	-
Q <sub>f</sub>	m <sup>3</sup> /s	0.25	0.58	0.86	2.54	3.34	11.27

Tabla 14: Resultado caudales calculados cuenca 2.

DATOS INICIALES CUENCA 2	
Localización	Cauce Inominado
A	1.98 km <sup>2</sup>
P <sub>0</sub> <sup>1</sup>	25.89 mm
Tipo Flujo Cuenca	3 Flujo Comb. Tc+Tdif
<b>Cálculo Flujo difuso</b>	
Ldif	136 m
Cota max dif	805 m
Cota min dif	787.77 m
Jcdif	0.1267 m/m
ndif	0.0500
Cobertura del terreno	No pavimentado ni revestido (Sin vegetación)
Tdif	0.1496 horas
<b>Cálculo del cauce</b>	
Lc	3.43 km
Lc-Ldif	3.2940 km
Cota máxima	788 m
Cota de desagüe	493 m
Jc	0.0894 m/m

Factores	U/M	CAUDAL DE DISEÑO					
		2 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS	500 AÑOS
P <sub>df</sub>	mm	48.68	71.34	88.55	-	-	-
K <sub>A</sub>	adi.	0.98	0.98	0.98	-	-	-
I <sub>d</sub>	mm/h	1.99	2.91	3.62	-	-	-
I <sub>1</sub> / I <sub>d</sub>	adi.	10.50	10.50	10.50	-	-	-
F <sub>a</sub>	adi.	8.86	8.86	8.86	-	-	-
F <sub>b</sub>	adi.	-	-	-	-	-	-
F <sub>int</sub>	adi.	8.86	8.86	8.86	-	-	-
I(T,t <sub>c</sub> )	mm/h	17.62	25.83	32.06	-	-	-
Región		72	72	72	-	-	-
$\beta$	adi.	2.10	2.10	2.10	-	-	-
F <sub>f</sub>	adi.	0.67	0.86	1	-	-	-
A50	adi.	0.3	0.3	0.3	-	-	-
P <sub>0</sub>	mm	31.22	40.08	46.60	-	-	-
C	adi.	0.08	0.11	0.13	-	-	-
A	km <sup>2</sup>	1.98	1.98	1.98	-	-	-
t <sub>c</sub>	horas	1.324	1.324	1.324	-	-	-
K <sub>f</sub>	adi.	1.092	1.092	1.092	-	-	-
Q <sub>f</sub>	m <sup>3</sup> /s	0.87	1.76	2.49	5.50	8.41	24.38

## 4. ESTUDIO HIDRÁULICO

### 4.1. INTRODUCCIÓN

El presente apartado tiene por objeto el cálculo hidráulico de la solución propuesta de la zona objeto de estudio, que serán simuladas para verificar su validez.

### 4.2. TOPOGRAFÍA

En el presente apartado se describirán las fuentes recopiladas para generación del Modelo Digital del Terreno (MDT) que se empleó para la simulación hidráulica.

Uno de los elementos más importantes que definen y caracterizan los modelos hidráulicos es sin duda alguna la topografía o geometría de modelo, puesto que es la representación del espacio y entorno del estudio hidráulico.

Para el presente estudio se ha dispuesto de un Modelo Digital del Terreno a partir de la información disponible del Instituto Geográfico Nacional. Se trata de la información altimétrica de la nube de puntos LIDAR con cuadrícula 2x2 km, una densidad de puntos LIDAR de 0,5 puntos/m<sup>2</sup> y un tamaño de pixel de 0,25 metros. La fecha de realización de la altimetría para la zona de Estudio es 2020, por lo que refleja fielmente la situación existente a día de hoy con objeto de realizar una simulación con las condiciones existentes actuales. Los archivos seleccionados son:

- PNOA-2014-AND-SE-562-4132-ORT-CLA-RBG.LAZ-2020
- PNOA-2014-AND-SE-562-4134-ORT-CLA-RGB.LAZ-2020
- PNOA-2014-AND-SE-564-4132-ORT-CLA-RGB.LAZ-2020
- PNOA-2014-AND-SE-564-4134-ORT-CLA-RGB.LAZ-2020

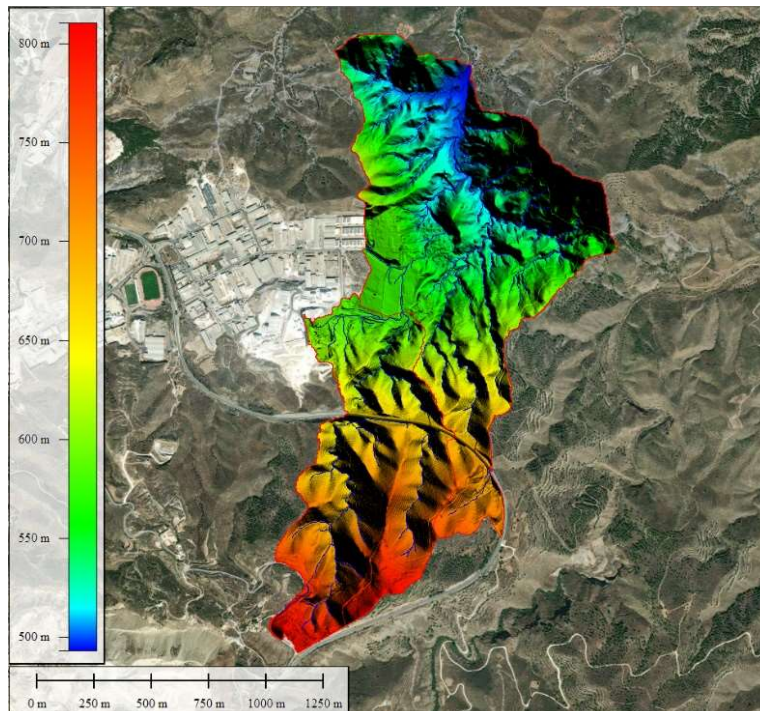


Figura 13: Modelo Digital del Terreno (MDT).

### 4.3. FUNDAMENTOS DEL MODELO HIDRÁULICO BIDIMANSIONAL

Nota: Realizado conforme a la Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, editada por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino

La modelización hidráulica tiene como finalidad obtener los valores de calados y velocidades en cualquier punto de la zona a estudiar, para la avenida de interés (en el presente caso, la simulación se realiza para los periodos de retorno de 100 y 500 años).

El flujo de un fluido isótropo viene gobernado por las ecuaciones de NavierStokes, que se obtienen a partir de la aplicación a dicho fluido de las ecuaciones de conservación de la masa y de conservación de la cantidad de movimiento. La integración vertical de las ecuaciones de Navier-Stokes para un fluido sometido a la presión atmosférica y bajo las hipótesis de distribución hidrostática de presiones y pendiente de fondo reducida da lugar a las ecuaciones de Saint-Venant o ecuaciones del flujo en lámina libre. Estas ecuaciones tienen carácter bidimensional y la forma más común de escribirlas es en su forma no conservativa, dando lugar al sistema de ecuaciones formado por la ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} = -g \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau_{0x} + \tau_{sx}}{\rho h} + fv + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} = -g \frac{\partial z}{\partial y} - \frac{\tau_{0y} + \tau_{sy}}{\rho h} + fu + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy})$$

Donde:

- h es el calado o altura alcanzada por la lámina de agua
- u y v son las componentes de la velocidad
- t es el tiempo
- x e y son las componentes espaciales en dos dimensiones
- g es la aceleración de la gravedad
- z es la cota del lecho
- $\tau_{0y}$  y  $\tau_{0x}$  son las tensiones tangenciales en el fondo y en la superficie
- $\rho$  es la densidad del fluido
- f es la aceleración de Coriolis
- T es la turbulencia

En las ecuaciones de la cantidad de movimiento, el término de la variación de la velocidad (u,v) con el tiempo es la aceleración local, mientras que la variación del campo de velocidades en el espacio es la aceleración convectiva. Bajo la hipótesis de distribución hidrostática de presiones y pequeña pendiente del terreno, el término debido a las fuerzas gravitatorias es el correspondiente a:

$$g \frac{\partial}{\partial x, y} (h + z)$$

Y se puede descomponer en la suma del gradiente del calado y de la pendiente del lecho (S<sub>0</sub>). El término de la tensión tangencial en el fondo viene dado por:

$$\frac{\tau_0}{\rho h} = g S_f$$

Siendo S<sub>f</sub> ~ uv la pendiente motriz, que se expresa según una ecuación de rugosidad. En general, y en ausencia de un modelo de turbulencia, lo habitual es que la pendiente motriz suele absorber las tensiones del fondo y las debidas a las de la turbulencia. El término  $\tau_0 / \rho h$  se debe a las tensiones tangenciales en la superficie debidas al viento. El término f (u,v) es la aceleración de Coriolis, dada por el coeficiente  $f=2w \text{sen}(\lambda)$ , donde w es la velocidad angular de la tierra, y  $\lambda$  la latitud. No se ha considerado en la presente modelización, pues su contribución es despreciable en un modelo fluvial como el del Estudio.

Por último, los dos últimos sumandos de las ecuaciones de cantidad de movimiento se deben a la turbulencia, y suelen expresarse en función del coeficiente de viscosidad turbulenta (o de remolino) y de la aceleración convectiva. En general, la modelización de la turbulencia en un esquema bidimensional supone el ajuste de parámetros adicionales que requieren calibración, por lo que habitualmente suele incluirse este efecto en el debido a la rugosidad. En la presente modelización no se ha incluido, por no ser usual su inclusión en modelos fluviales de esta índole.

Considerando despreciables los términos de fricción en la superficie y de Coriolis, así como la turbulencia, las ecuaciones de cantidad de movimiento se pueden escribir según las siguientes ecuaciones, que es la manera más sencilla de modelizar el flujo en lámina libre en dos dimensiones, y en la que se basa el programa de cálculo que se va a utilizar, HEC RAS, versión 6.3.1.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g(S_{0x} - S_{fx})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} = g(S_{0y} - S_{fy})$$

Donde:

- S<sub>0</sub> es la pendiente del lecho
- S<sub>f</sub> es la pendiente motriz

El modelo bidimensional resuelve las ecuaciones de Saint-Venant en los nodos de una malla de cálculo generada a partir de la topografía. El modelo es capaz de resolver las situaciones de cambio de régimen hidráulico.

El caso de estudio se ha abordado con un modelo 2D puro, si bien la componente prioritaria es la de una dimensión, se ha procedido a calcular con un modelo bidimensional para obtener resultados fieles en la zona de la confluencia de los dos cauces y observar el movimiento en las áreas inefectivas que existen.

La simulación se realiza mediante un régimen variable, utilizando los hidrogramas calculados del apartado de hidrología.

El problema de realizar una modelización en régimen variable estriba en la inestabilidad numérica en el tiempo, por lo que hay que ajustar el paso del tiempo según el número de Courant, el cual relaciona el dominio de dependencia de un punto en el esquema explícito con el dominio de dependencia de la ecuación diferencial, que en un esquema bidimensional se define como:

$$C \leq \max_{i,j} \left( \frac{|\sqrt{u^2 + v^2 + c}| \Delta t}{l_{i,j}} \right) \leq \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Con lo cual, el intervalo temporal debe quedar limitado de la siguiente manera:

$$\Delta t \leq \min_{i,j} \left( \frac{\frac{l_{i,j}}{\sqrt{2}}}{|\sqrt{u^2 + v^2 + c}|} \right)$$

Donde  $l_{i,j}$  es la longitud del lado  $i$  del elemento  $j$  y el término del denominador representa la velocidad de transmisión de la información. Como se observa, el paso del tiempo de cálculo es proporcional a la resolución espacial. **Por tanto, a mayor resolución espacial, menor intervalo de tiempo requerido y, por tanto, mayor será el tiempo de la simulación.**

#### 4.4. PARÁMETROS DEL MODELO

##### 4.4.1. Modelo Digital del Terreno y Mallado.

En los modelos bidimensionales, el cálculo de las variables hidráulicas se realiza en los elementos de una malla de cálculo que se debe confeccionar a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT). Cuanto mayor sea la definición de dicha malla, menor será el error cometido en el cálculo de los niveles y velocidades debido a la topografía. El inconveniente que se plantea en la modelización bidimensional, como se ha comentado en el apartado anterior, es que la relación entre el aumento de resolución y el aumento del tiempo de cálculo es mucho mayor que en el caso de la modelización unidimensional. A mayor detalle de la malla, mayor número de elementos y, por tanto, mayor tiempo de cálculo.

En este sentido, hay que tener en cuenta que, para que un modelo bidimensional tenga buenas características de convergencia, **el número de Courant debe ser menor o igual a 1.**

La cartografía utilizada contiene la información altimétrica de la nube de puntos LIDAR con un tamaño de pixel variable en función de la fuente (0,25 m para el MDT del IGN). A partir de esta información, se creó un fichero RASTER con un tamaño de celda de 0.1 m que fue incorporado a HEC RAS.

Se ha realizado un mallado estructurado con un tamaño de celda de 5 m x 5 m de lado, al que se le añadió líneas de ruptura de los cauces, de un tamaño de 5 metros de lado, con el objeto de definir mejor la orografía de los elementos singulares de las márgenes. Para optimizar la malla y que sea de la máxima eficiencia se ha ajustado la malla a los límites de las láminas de inundación con un buffer de 10 metros.

Y el modelo dispone de un total de 15296 celdas, siendo la superficie de la celda máxima 8.16 m<sup>2</sup> y la superficie de la celda mínima 0.99 m<sup>2</sup>, la media de superficie de las celdas es de 4.29 m<sup>2</sup>.



Figura 14: Vista área 2D y líneas de ruptura añadidas.

Se ha procedido a calcular el paso de tiempo necesario para asegurar la estabilidad de la simulación y obtener unos resultados robustos, este cálculo se ha realizado a partir de la formulación de Courant y respetando que el valor de la variable sea igual a 1 o menor.

Paso de tiempo 0.2 segundos

Donde:

- C número de Courant próximo a 1.
- V velocidad del flujo m/s
- L Lado min de las celdas =1
- $\Delta t$  tiempo de paso o cálculo = 0.2 segundos

Así pues, el modelo será estable siempre y cuando la velocidad en la celda sea inferior a 10 m/s, han revisado los resultados para verificar que no se supera dicha velocidad y el modelo es estable.

#### 4.4.2. Asignación Coeficientes Rugosidad

Para estimar el número de Manning se expone el método de Cowan, abalado por el Soil Conservation Soil. Este método se basa en la estimación de un valor inicial de la rugosidad y su posterior modificación, según unos valores correctores, para obtener un valor final de la rugosidad. Este método expresa la rugosidad como:

Donde:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

- n es el coeficiente de rugosidad de Manning
- $n_0$  es la rugosidad debida a los materiales del cauce
- $n_1$  es la rugosidad debida al grado de irregularidad del cauce a lo largo del tiempo
- $n_2$  es la rugosidad debida a las variaciones de la sección transversal del cauce a lo largo del tramo
- $n_3$  es la rugosidad debida al efecto de las obstrucciones a lo largo del tramo
- $n_4$  es la rugosidad debida a la presencia de vegetación en el tramo
- m es la rugosidad debida a la sinuosidad (meandros) del tramo.

Para la estimación inicial se ha partido del plano temático de SIOSE, para determinar el uso del suelo y la tipología, a su vez estos datos se han contrastado en campo.

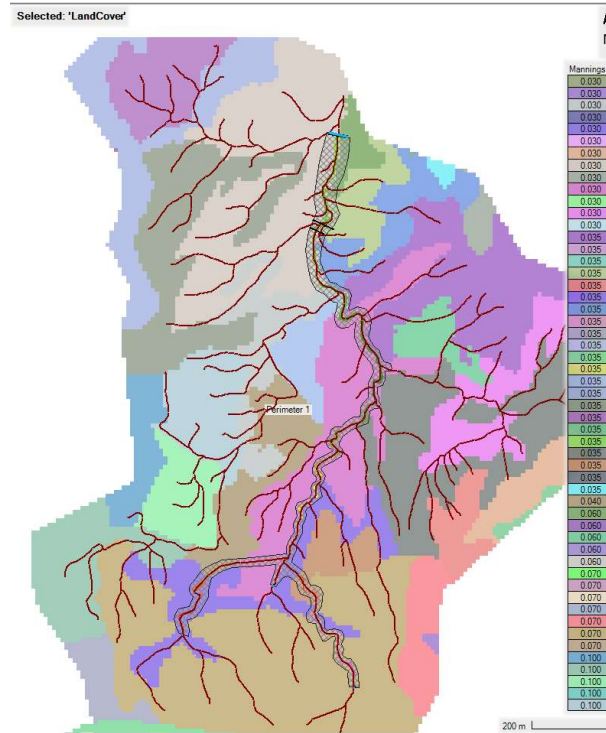


Figura 15: Vista de los usos de suelo del SIOSE.

Tabla 15: Valores de los coeficientes de rugosidad de Manning propuestos por Cowan. Fuente: Guía Metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografías de zonas inundables. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

CONDICION DEL CAUCE		VALORES
MATERIAL CONSIDERADO	Tierra	0.030
	Roca portada	0.025
	Grava fina	0.024
	Grava gruesa	0.028
GRADO DE IRREGULARIDAD	Liso	0.000
	Menor	0.005
	Moderado	0.010
	Severo	0.020
VARIACIONES DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL CAUCE	Gradual	0.000
	Ocasionalmente alternante	0.005
	Frecuentemente alternante	0.010-0.015
EFECTO RELATIVO DE OBSTRUCCIONES	despreciable	0.000
	Menor	0.010-0.015
	Apreciable	0.020-0.030
	Severo	0.040-0.060
VEGETACION	Baja	0.005-0.010
	Media	0.010-0.020
	Alta	0.025-0.050
	Muy alta	0.050-0.100
CANTIDAD DE MEANDROS	Menor	1
	Apreciable	1.150
	severa	1.300

Tras el análisis se ha procedido a la asignación de valor los diferentes valores de manning según las tablas de la “Guía Metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografías de zonas inundables. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino”, generando un raster de LandCover a partir de los datos del SIOSE y se ha asociado a la malla.

#### 4.5. SIMULACIÓN

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la simulación del estado actual para los caudales de periodo de retorno de 10 años para definir el dominio Público Hidráulico, el de 100 años para definir la Zona de Flujo Preferente y 500 años para definir la zona de inundación.

A continuación, se muestran los view computación log files de cada cálculo por periodo de retorno.

Tabla 16: View computación log files de cada cálculo por periodo de retorno.

Plan: 'T10' (macaelp04)	Plan: 'T100' (macaelp06)	Plan: 'T500' (macaelp05)																																				
Simulation started at: 21ene2024 09:26:59 PM	Simulation started at: 21ene2024 10:03:51 PM	Simulation started at: 21ene2024 10:11:48 PM																																				
Writing Geometry... Perimeter 1: Mesh property tables are current. Completed Writing Geometry	Writing Geometry... Perimeter 1: Mesh property tables are current. Completed Writing Geometry	Writing Geometry... Perimeter 1: Mesh property tables are current. Completed Writing Geometry																																				
<b>Geometric Preprocessor HEC-RAS 6.3.1 October 2022</b>	<b>Geometric Preprocessor HEC-RAS 6.3.1 October 2022</b>	<b>Geometric Preprocessor HEC-RAS 6.3.1 October 2022</b>																																				
Finished Processing Geometry	Finished Processing Geometry	Finished Processing Geometry																																				
Writing Event Conditions ... Completed Writing Event Condition Data	Writing Event Conditions ... Completed Writing Event Condition Data	Writing Event Conditions ... Completed Writing Event Condition Data																																				
<b>Performing Unsteady Flow Simulation HEC-RAS 6.3.1 October 2022</b>	<b>Performing Unsteady Flow Simulation HEC-RAS 6.3.1 October 2022</b>	<b>Performing Unsteady Flow Simulation HEC-RAS 6.3.1 October 2022</b>																																				
<b>Unsteady Input Summary:</b> 2D Unsteady Diffusion Wave Equation Set (fastest)	<b>Unsteady Input Summary:</b> 2D Unsteady Diffusion Wave Equation Set (fastest)	<b>Unsteady Input Summary:</b> 2D Unsteady Diffusion Wave Equation Set (fastest)																																				
Overall Volume Accounting Error in 1000 m <sup>3</sup> : 0.000171 Overall Volume Accounting Error as percentage: 0.000635 Please review "Computational Log File" output for volume accounting details	Overall Volume Accounting Error in 1000 m <sup>3</sup> : 0.009560 Overall Volume Accounting Error as percentage: 0.01053 Please review "Computational Log File" output for volume accounting details	Overall Volume Accounting Error in 1000 m <sup>3</sup> : 0.04653 Overall Volume Accounting Error as percentage: 0.01768 Please review "Computational Log File" output for volume accounting details																																				
<b>Writing Results to DSS</b>	<b>Writing Results to DSS</b>	<b>Writing Results to DSS</b>																																				
<b>Finished Unsteady Flow Simulation</b>	<b>Finished Unsteady Flow Simulation</b>	<b>Finished Unsteady Flow Simulation</b>																																				
1D Post Process Skipped (simulation is all 2D)	1D Post Process Skipped (simulation is all 2D)	1D Post Process Skipped (simulation is all 2D)																																				
<b>Computations Summary</b>	<b>Computations Summary</b>	<b>Computations Summary</b>																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Computation Task</th> <th>Time(hh:mm:ss)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Completing Geometry</td> <td>&lt;1</td> </tr> <tr> <td>Preprocessing Geometry</td> <td>&lt;1</td> </tr> <tr> <td>Completing Event Conditions</td> <td>&lt;1</td> </tr> <tr> <td>Unsteady Flow Computations</td> <td>9:04</td> </tr> <tr> <td>Complete Process</td> <td>9:05</td> </tr> </tbody> </table>	Computation Task	Time(hh:mm:ss)	Completing Geometry	<1	Preprocessing Geometry	<1	Completing Event Conditions	<1	Unsteady Flow Computations	9:04	Complete Process	9:05	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Computation Task</th> <th>Time(hh:mm:ss)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Completing Geometry</td> <td>&lt;1</td> </tr> <tr> <td>Preprocessing Geometry</td> <td>&lt;1</td> </tr> <tr> <td>Completing Event Conditions</td> <td>&lt;1</td> </tr> <tr> <td>Unsteady Flow Computations</td> <td>6:47</td> </tr> <tr> <td>Complete Process</td> <td>6:48</td> </tr> </tbody> </table>	Computation Task	Time(hh:mm:ss)	Completing Geometry	<1	Preprocessing Geometry	<1	Completing Event Conditions	<1	Unsteady Flow Computations	6:47	Complete Process	6:48	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Computation Task</th> <th>Time(hh:mm:ss)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Completing Geometry</td> <td>&lt;1</td> </tr> <tr> <td>Preprocessing Geometry</td> <td>&lt;1</td> </tr> <tr> <td>Completing Event Conditions</td> <td>&lt;1</td> </tr> <tr> <td>Unsteady Flow Computations</td> <td>8:45</td> </tr> <tr> <td>Complete Process</td> <td>8:46</td> </tr> </tbody> </table>	Computation Task	Time(hh:mm:ss)	Completing Geometry	<1	Preprocessing Geometry	<1	Completing Event Conditions	<1	Unsteady Flow Computations	8:45	Complete Process	8:46
Computation Task	Time(hh:mm:ss)																																					
Completing Geometry	<1																																					
Preprocessing Geometry	<1																																					
Completing Event Conditions	<1																																					
Unsteady Flow Computations	9:04																																					
Complete Process	9:05																																					
Computation Task	Time(hh:mm:ss)																																					
Completing Geometry	<1																																					
Preprocessing Geometry	<1																																					
Completing Event Conditions	<1																																					
Unsteady Flow Computations	6:47																																					
Complete Process	6:48																																					
Computation Task	Time(hh:mm:ss)																																					
Completing Geometry	<1																																					
Preprocessing Geometry	<1																																					
Completing Event Conditions	<1																																					
Unsteady Flow Computations	8:45																																					
Complete Process	8:46																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Computation Speed</th> <th>Simulation/Runtime</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Unsteady Flow Computations</td> <td>19.9x</td> </tr> <tr> <td>Complete Process</td> <td>19.8x</td> </tr> </tbody> </table>	Computation Speed	Simulation/Runtime	Unsteady Flow Computations	19.9x	Complete Process	19.8x	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Computation Speed</th> <th>Simulation/Runtime</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Unsteady Flow Computations</td> <td>26.5x</td> </tr> <tr> <td>Complete Process</td> <td>26.4x</td> </tr> </tbody> </table>	Computation Speed	Simulation/Runtime	Unsteady Flow Computations	26.5x	Complete Process	26.4x	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Computation Speed</th> <th>Simulation/Runtime</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Unsteady Flow Computations</td> <td>20.6x</td> </tr> <tr> <td>Complete Process</td> <td>20.5x</td> </tr> </tbody> </table>	Computation Speed	Simulation/Runtime	Unsteady Flow Computations	20.6x	Complete Process	20.5x																		
Computation Speed	Simulation/Runtime																																					
Unsteady Flow Computations	19.9x																																					
Complete Process	19.8x																																					
Computation Speed	Simulation/Runtime																																					
Unsteady Flow Computations	26.5x																																					
Complete Process	26.4x																																					
Computation Speed	Simulation/Runtime																																					
Unsteady Flow Computations	20.6x																																					
Complete Process	20.5x																																					

#### 4.6. ZONA DE FLUJO PREFERENTE

La Zona de Flujo Preferente (ZFP) a la cual hace alusión el Real Decreto 9/2008 de 11 de enero, y definida con anterioridad viene a ser el resultado de superponer dos zonas o superficies hidráulicas, como son la Vía de Intenso Desagüe (VID) y la Zona de inundación peligrosa (ZIP) o también llamada zona de graves daños, todo ello referido a las condiciones hidráulicas estimadas para el período de retorno de la T100.



Figura 16: Diagrama composición Zona Flujo Preferente.

##### 4.6.1. Vía de Intenso Desagüe

Se entiende por Vía de Intenso Desagüe (VID) la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de período de retorno sin producir una sobreelevación mayor de 0,3, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida, considerando toda la llanura de inundación existente.

Para su obtención, se ha empleado el módulo implementado en HEC-RAS (llamado encroachment o "encauzamiento"). Así, mediante el método 4 de encroachment, a partir de la llanura de inundación T100, se realiza un "estrechamiento" de la misma hasta obtener la elevación objetivo de 0.3 m.

Los resultados se muestran en las imágenes siguientes, donde se muestra la extensión de la llanura T100 de

forma libre (sin VID) y acotada a la VID:

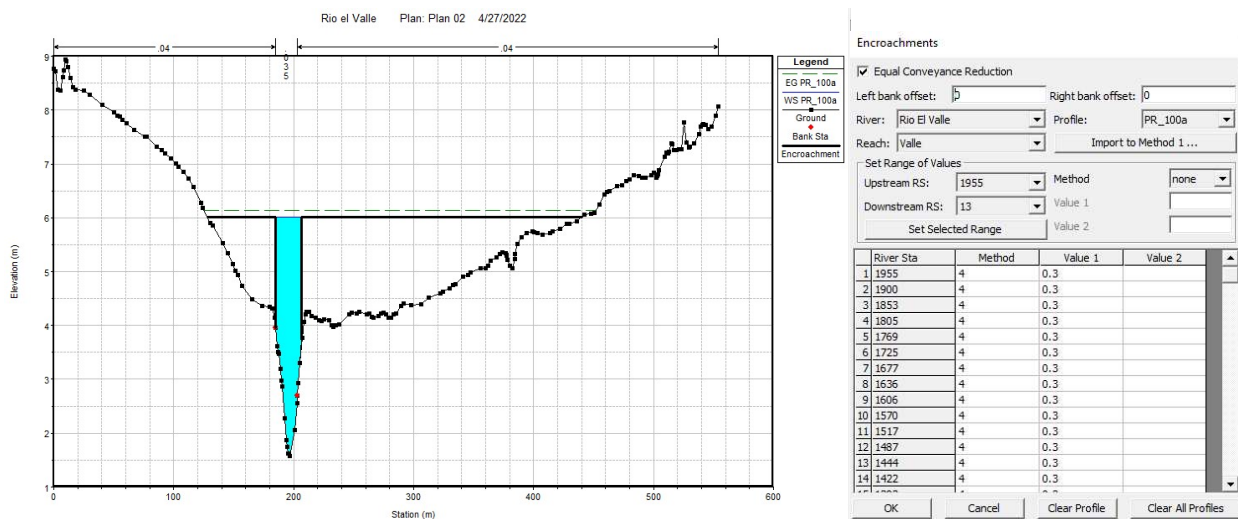


Figura 17: Izquierda perfil con encroachment calculado, derecha parámetros de cálculo.

#### 4.6.2. Zona de Inundación Peligrosa

De acuerdo con los criterios establecidos en el Real Decreto, la Zona de Inundación Peligrosa o Zona de Graves Daños, viene dado cuando se cumple alguno de los siguientes criterios:

- Llanura de inundación T100. Calados > 1 m
- Llanura de inundación T100. Velocidad > 1m/s
- Producto de ambas > 0,5 m<sup>2</sup>/s

Así, los resultados obtenidos son los siguientes:

#### 4.7. Resultados

A continuación, se muestran imágenes de los calados y velocidades para cada periodo de retorno.

#### 4.7.1. Periodo de Retorno 10 Años MCO

##### Calados:

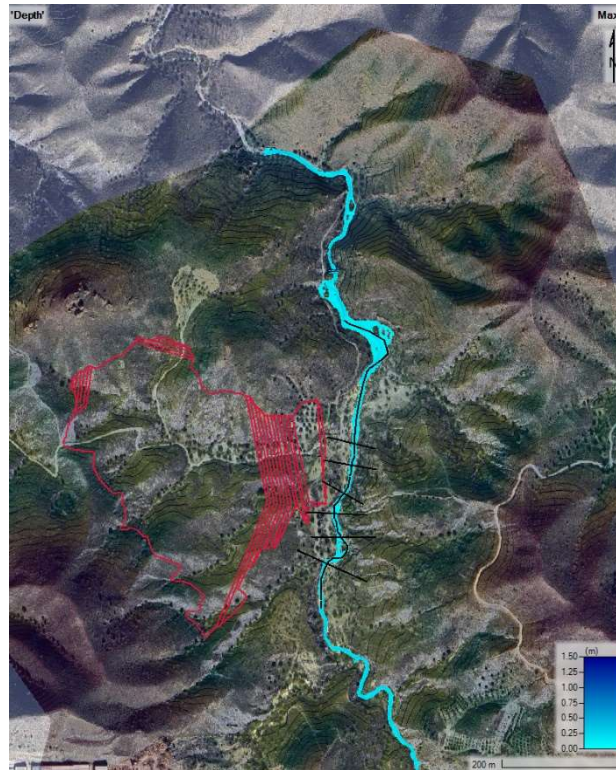


Figura 18: Plano de Calados para PR 10 años

##### Velocidades



Figura 19: Plano de Velocidades para PR 10 años

#### 4.7.2. Periodo de Retorno 100 Años

##### Calados:



Figura 20: Plano de Calados para PR 100 años

##### Velocidades

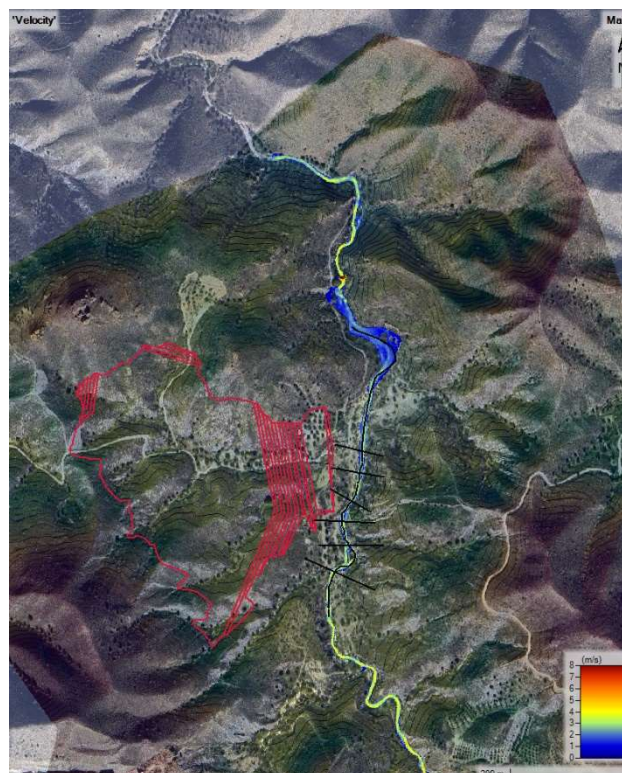


Figura 21: Plano de Velocidades para PR 100 años.

### 4.7.3. Periodo de Retorno 500 Años

#### Calados



Figura 22: Plano de Calados para PR 500 años

#### Velocidades

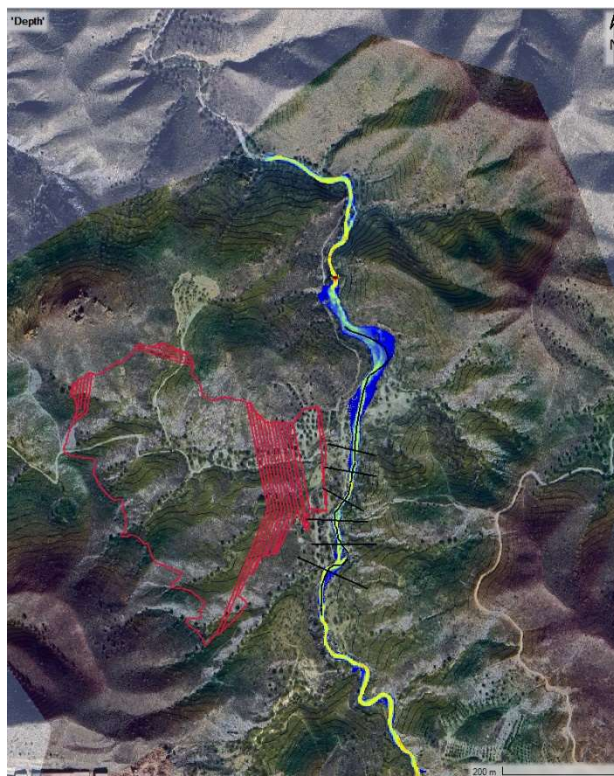


Figura 23: Plano de Velocidades para PR 500 años

#### 4.7.4. Secciones y Cortes del Modelo

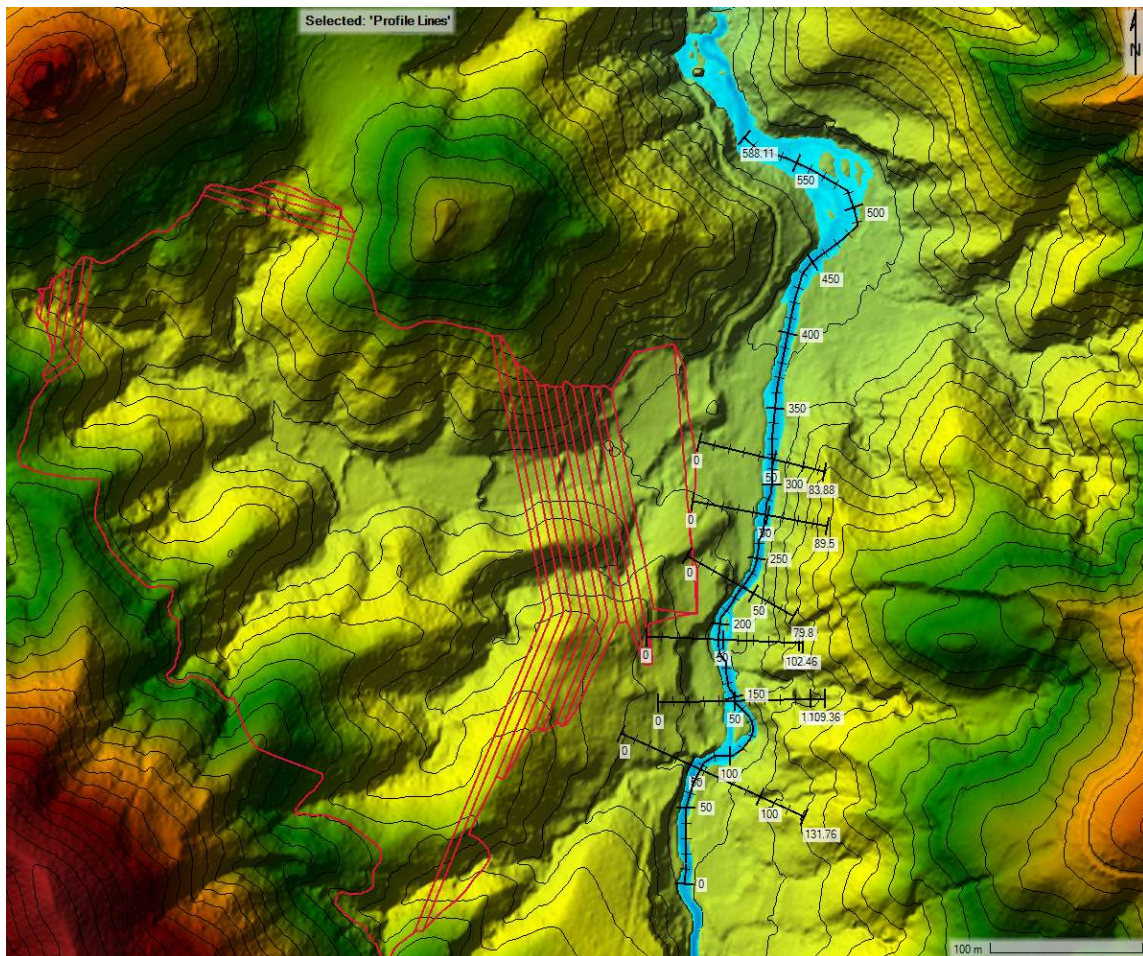


Figura 24: Plano de situación de los perfiles longitudinales y transversales.

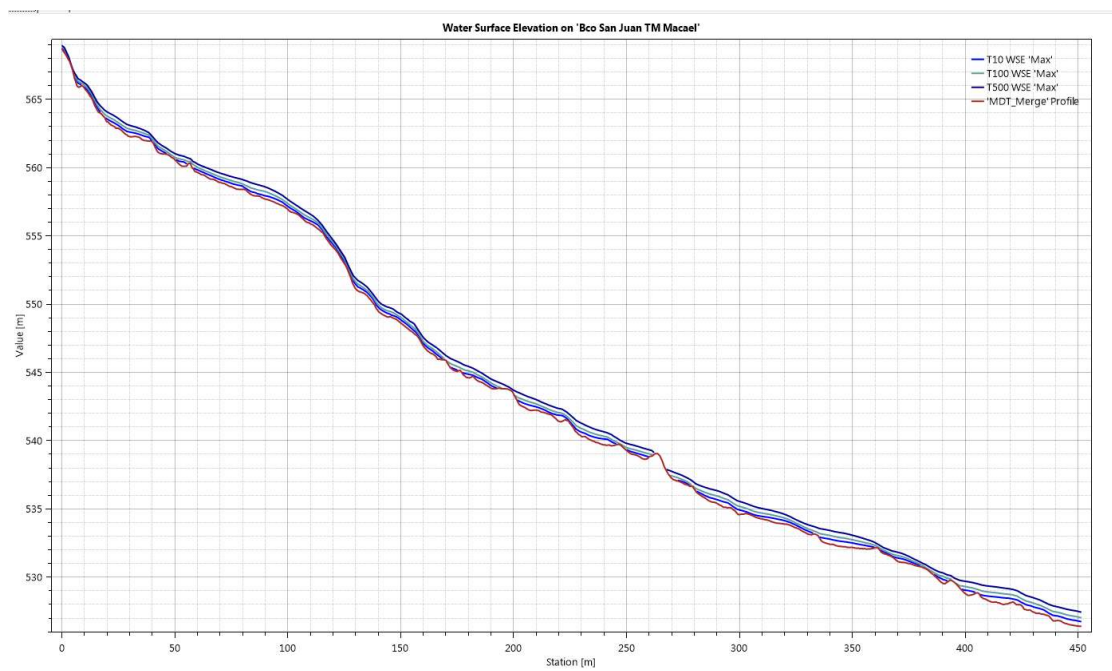


Figura 25: Perfil longitudinal para los tres periodos de retorno estudiados.

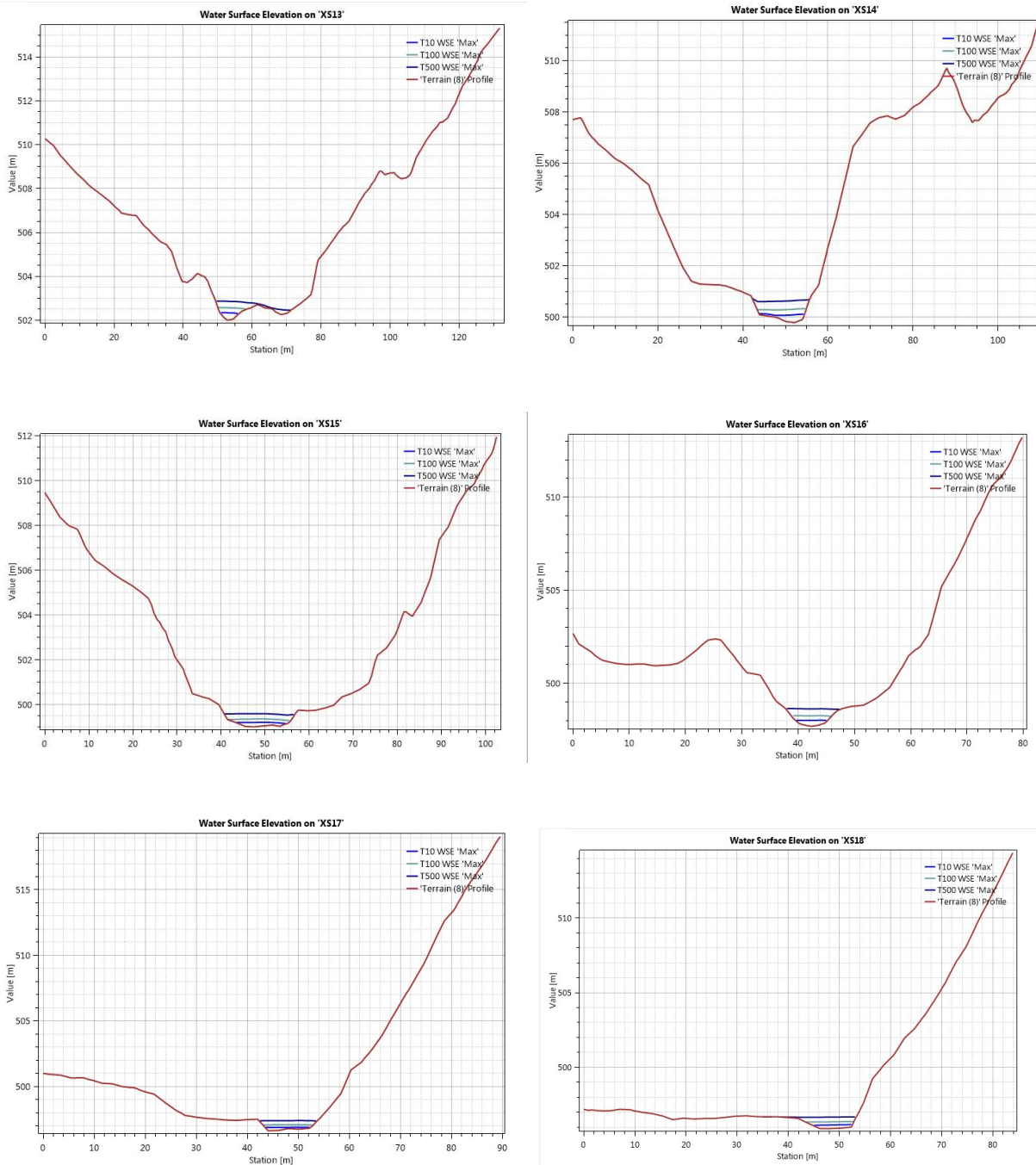


Figura 26: perfiles transversales obtenidos del modelo.

#### 4.8. Conclusiones

Tras analizar los resultados se observa que los límites del nuevo Depósito de Residuos No peligrosos se encuentran fuera de Dominio Público Hidráulico, la zona de servidumbre y las láminas de inundabilidad asociadas al periodo de retorno de 100, zona de flujo preferente y 500 años.

Almería, abril de 2024

Pedro Jesús Pérez Fernández  
 Ingeniero Civil - Col. 9.654