

ANEXO VII: ESTUDIO HIDROLÓGICO- HIDRÁULICO

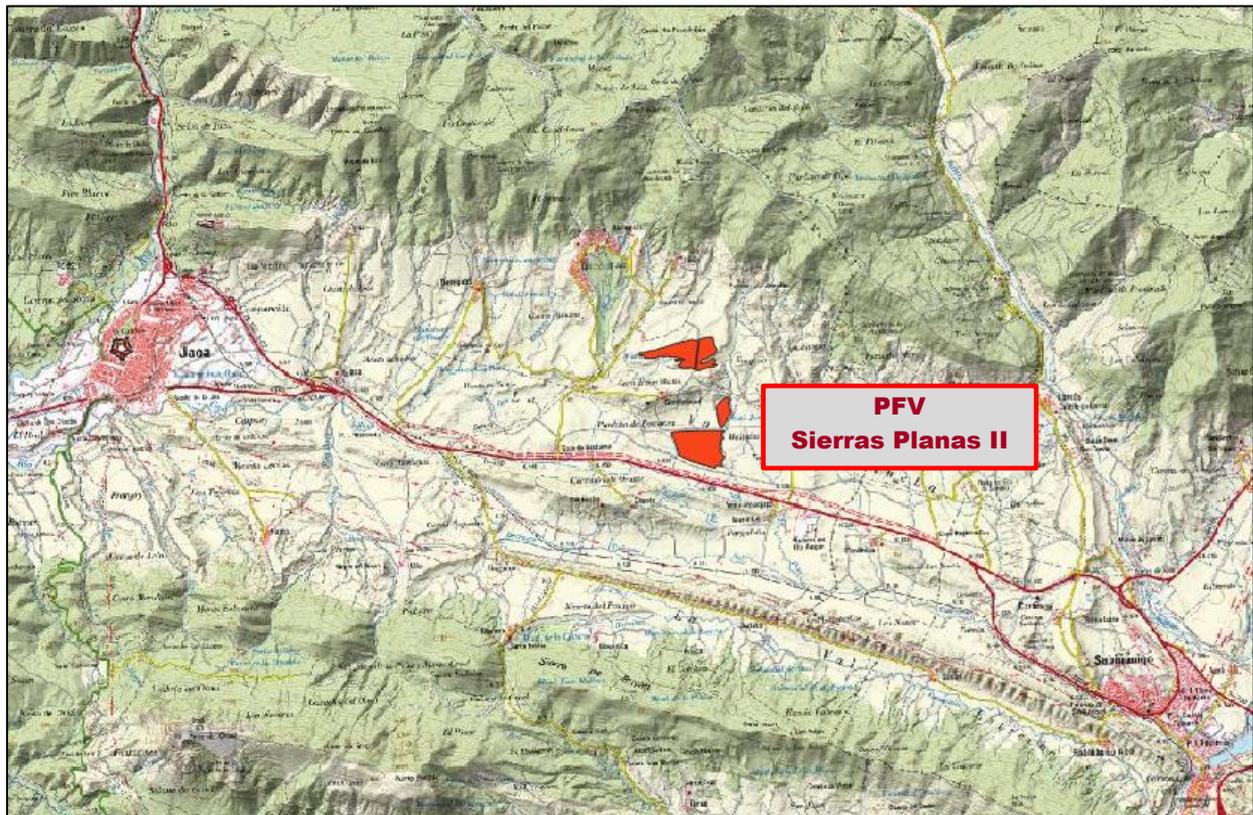
Índice

0 – INTRODUCCIÓN.....	1
1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO	3
1.1 – HIDROGRAFÍA.....	3
1.2 – MÉTODO RACIONAL.....	4
1.2.1 – INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN	4
1.2.1.1 – Intensidad media diaria de precipitación corregida	4
1.2.1.2 – Máxima precipitación diaria	5
1.2.1.3 – Factor de intensidad	10
1.2.1.4 – Determinación de I(T,t).....	11
1.3 – COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	11
1.3.1 – UMBRAL DE ESCORRENTÍA	12
1.3.1.1 - Variación espacial del umbral de escorrentía.....	12
1.3.1.2 - Coeficiente corrector del umbral de escorrentía	15
1.3.1.3 – Determinación de C	15
1.4 – CAUDAL MÁXIMO.....	19
2 – ESTUDIO HIDRÁULICO	20
2.1 - INTRODUCCIÓN.....	20
2.2 – TERRENO NATURAL	20
2.3 – RUGOSIDAD	21
2.4 – MODELO HIDRÁULICO	22
2.4.1 – ÁREAS DE FLUJO 2D	23
2.4.2 – CONDICIONES DE CONTORNO	23
2.4.3 – MÉTODO DE COMPUTACIÓN.....	23
2.5 – AFECCIONES AL D.P.H.	24
2.6 – ZONA DE FLUJO PREFERENTE	24
2.6.1 – VÍA DE INTENSO DESAGÜE.....	24
2.6.2 – ZONAS DE GRAVE RIESGO.....	31
3 – RESUMEN Y CONCLUSIONES	32
APÉNDICE – AFECCIONES AL D.P.H.	33

0 – INTRODUCCIÓN

Se realiza el estudio de las condiciones hidrológicas e hidráulicas concurrentes en la zona donde se proyecta la planta fotovoltaica “Sierras Planas II”, en el término municipal de Jaca (provincia de Huesca).

La zona de estudio se sitúa en el margen norte de la carretera N-300, entre las localidades de Jaca y Sabiñánigo, y es atravesada en sentido norte-sur por un cierto número de barrancos tributarios del río Gállego.



El objeto de esta documentación es determinar las afecciones al Dominio Público Hidráulico y a los respectivos regímenes de corriente que ocasiona la implantación de dicha Planta en los cauces públicos.

Inicialmente se determinan por métodos hidrometeorológicos los caudales de los barrancos afectados por la instalación para los periodos de retorno de 5,100 y 500 años. Este estudio se realiza mediante la aplicación del MÉTODO RACIONAL, definido en la Instrucción de Carreteras, Norma 5.2-IC (Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero).

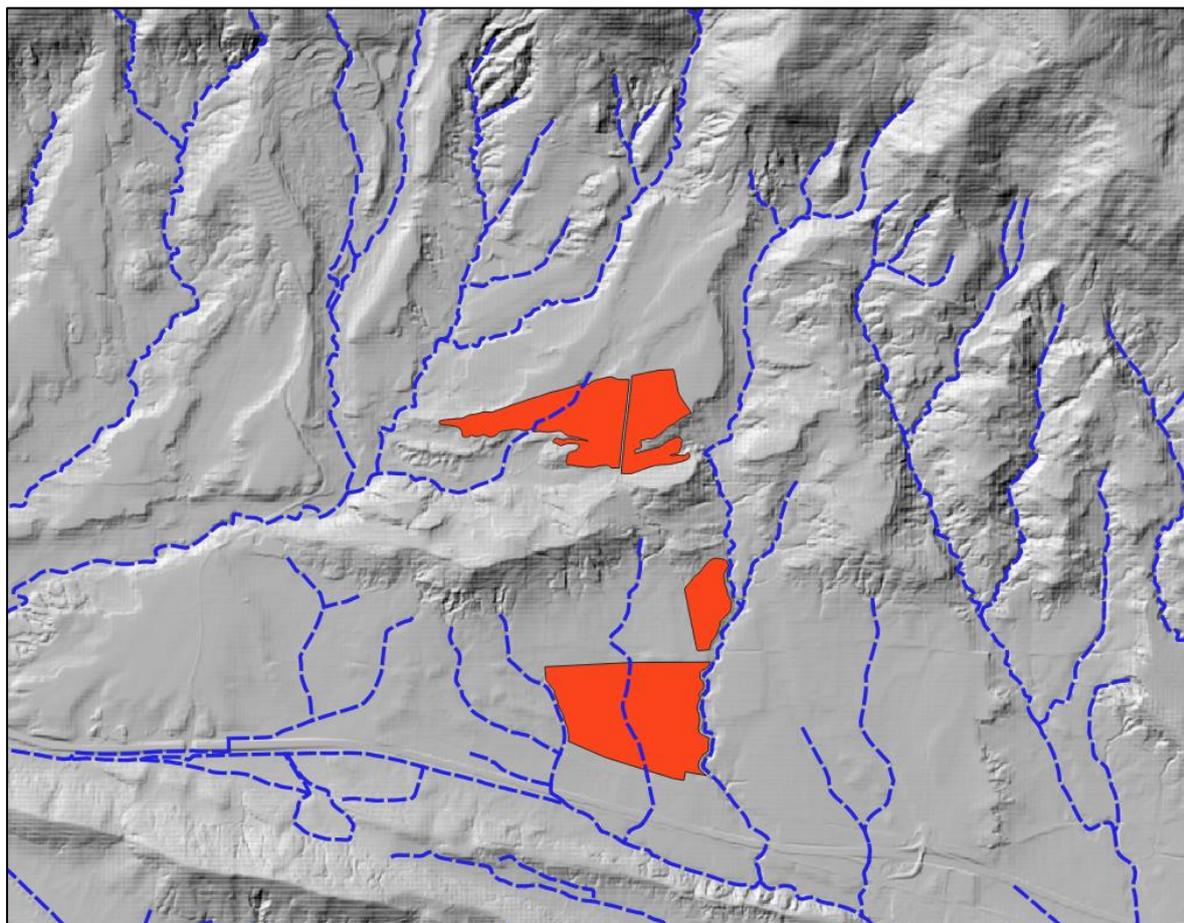
Para el estudio hidrológico se ha empleado el Mapa LIDAR de 1ª Cobertura (2008-2015) obtenido por descarga del IGN. Las hojas empleadas han sido:

Nombre	Tipo	Tamaño
 PNOA_2010_LOTE1_ARA-NORTE_704-4716_ORT-CLA-COL.laz	Archivo LAZ	16,253 KB
 PNOA_2010_LOTE1_ARA-NORTE_706-4716_ORT-CLA-COL.laz	Archivo LAZ	16,674 KB
 PNOA_2010_LOTE1_ARA-NORTE_706-4718_ORT-CLA-COL.laz	Archivo LAZ	23,319 KB
 PNOA_2010_LOTE1_ARA-NORTE_708-4716_ORT-CLA-COL.laz	Archivo LAZ	14,558 KB
 PNOA_2010_LOTE1_ARA-NORTE_708-4718_ORT-CLA-COL.laz	Archivo LAZ	15,256 KB

De estos ficheros .laz, mediante la aplicación LAsTools desde QGIS, se ha obtenido el ráster de elevación del terreno

Con esta información, mediante el conjunto de aplicaciones SAGA en entorno QGIS se ha realizado la delimitación de las cuencas de aporte de los cauces públicos. Asimismo se han generado curvas de nivel con equidistancia 1,00 m para la determinación de las características geométricas de las cuencas.

Su representación en mapa de sombras, incluyendo la red de cauces públicos es:



Y posteriormente se ejecuta el análisis hidráulico de los cauces para los periodos de retorno de estudiados, con obtención de las zonas relativas a la afección en el enclave citado. Se realiza con la aplicación informática HEC-RAS 6.0.Beta.

La superficie natural del terreno utilizada para la simulación del flujo procede del levantamiento topográfico de la zona realizado para el proyecto de la planta fotovoltaica, exportada a formato ASC para su importación directa y empleo en Ras Mapper

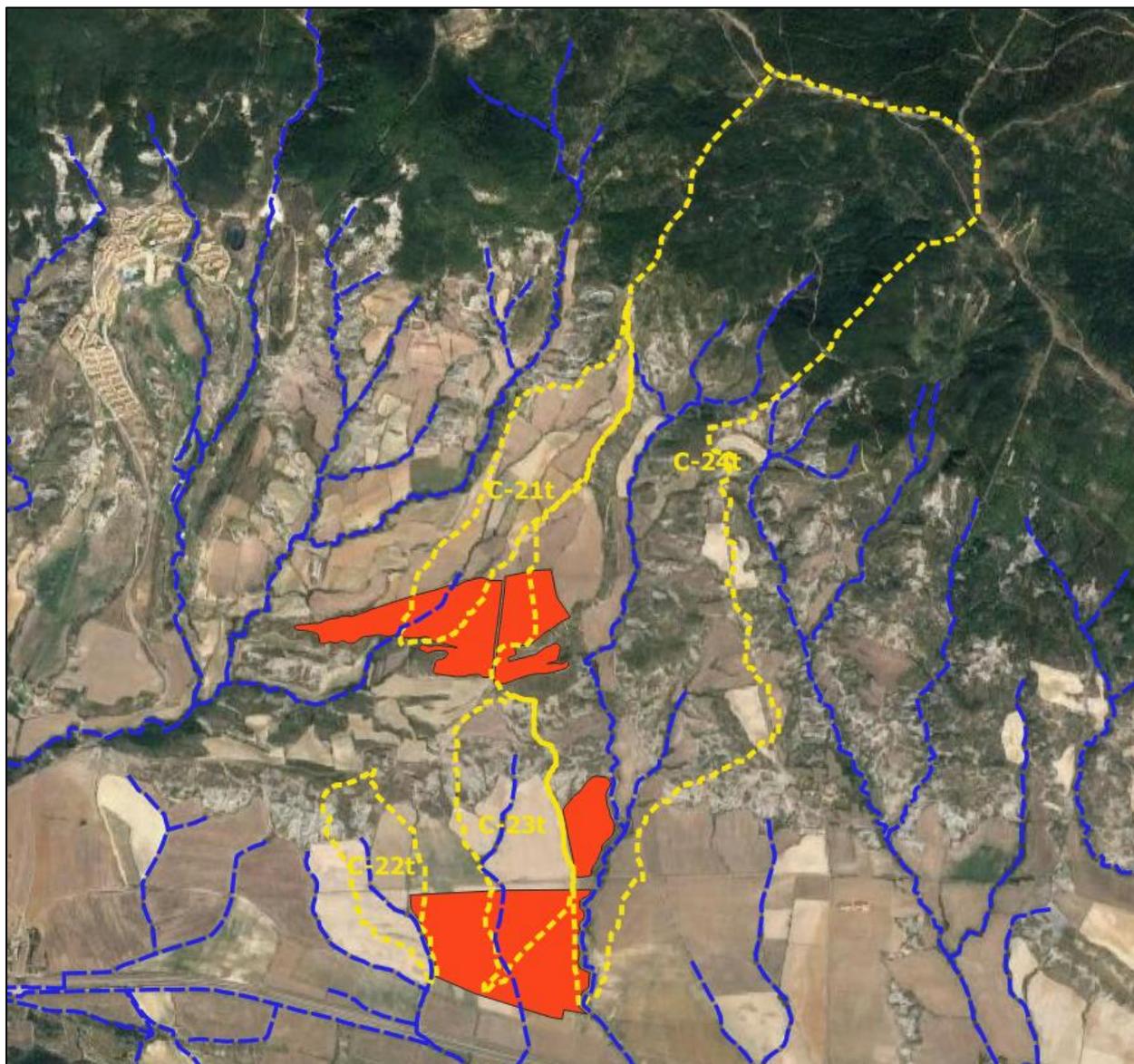
Los resultados vectoriales obtenidos para su tratamiento con aplicaciones CAD proceden de la exportación de los correspondientes *.shp desde Ras Mapper.

La base ortofotográfica de los planos y croquis de planta es de Google Satélite (Web Imagery Layer).

1 – ESTUDIO HIDROLÓGICO

1.1 – HIDROGRAFÍA

Para la definición de las cuencas hidrográficas de los barrancos en estudio se ha utilizado el conjunto de herramientas SAGA desde QGIS. Su representación gráfica, con la situación de los módulos de generación es:



Sus características físicas son:

Cuenca	A (km ²)	Zsup	zinf	L (km)	h (m)	j (m/m)
21t	0,434	1.092,0	931,0	1,8	161,0	0,0889
22t	0,233	978,0	866,0	1,0	112,0	0,1092
23t	0,415	975,0	862,0	1,4	113,0	0,0823
24t	3,101	1.465,0	861,0	4,6	604,0	0,1308

1.2 – MÉTODO RACIONAL

Para el cálculo del caudal aportado a la zona de estudio se sigue el procedimiento descrito en la Instrucción de Carreteras, Norma 5.2-IC/2.016.

El método racional supone la generación de escorrentía en una determinada cuenca a partir de una intensidad de precipitación uniforme en el tiempo sobre toda su superficie. No se tiene en cuenta:

- Aportación de caudales procedentes de otras cuencas o trasvases a ellas.
- Existencia de sumideros, aportaciones o vertidos puntuales, singulares o accidentales de cualquier clase.
- Presencia de lagos, embalses o planas inundables que puedan producir efecto laminador o desviar caudales hacia otras cuencas.
- Caudales que afloren en puntos interiores de la cuenca derivados de su régimen hidrogeológico.

El caudal máximo anual Q_T correspondiente a un periodo de retorno T se calcula mediante la fórmula:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A}{3,6}$$

siendo:

Q_T : Caudal máximo anual correspondiente al periodo de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca; en m^3/s

$I(T, t_c)$: Intensidad de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado T , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración; en mm/h

C : Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie considerada.

A : Área de la cuenca o superficie considerada; en km^2

1.2.1 – INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

La intensidad de precipitación $I(T, t)$ correspondiente a un periodo de retorno T , y a una duración del aguacero t , se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$I(T, t) = I_d \cdot F_{int}$$

siendo:

$I(T, t)$: Intensidad de precipitación correspondiente a un periodo de retorno T y a una duración del aguacero t ; en mm/h

I_d : Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T ; en mm/h

F_{int} : Factor de intensidad

La intensidad de precipitación a considerar en el cálculo del caudal máximo anual para el periodo de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca es la que corresponde a una duración del aguacero igual al tiempo de concentración ($t = t_c$) de dicha cuenca.

1.2.1.1 – Intensidad media diaria de precipitación corregida

La intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente a un determinado periodo de

retorno T se obtiene mediante la fórmula:

$$I_d = \frac{P_d \cdot K_A}{24}$$

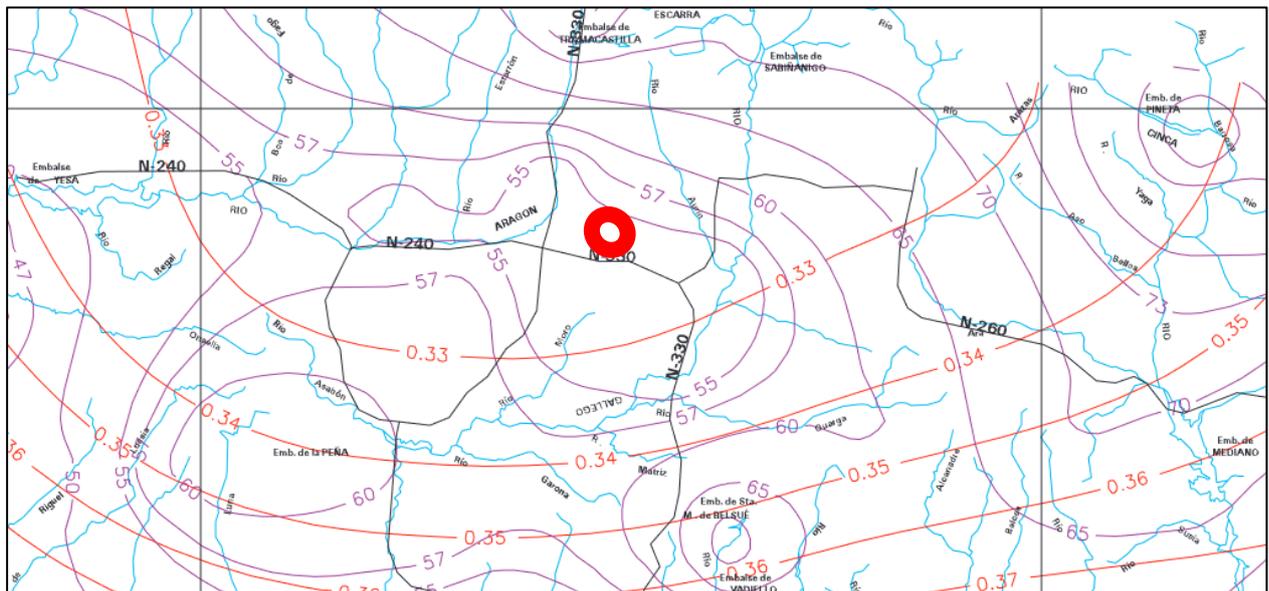
donde:

- Id: Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T
- Pd: Precipitación diaria correspondiente al periodo T
- KA: Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca

1.2.1.2 – Máxima precipitación diaria

La máxima precipitación diaria se obtiene por comparación de los siguientes métodos:

a) Según la Publicación de fecha 1.999 “MÁXIMAS LLUVIAS DIARIAS EN LA ESPAÑA PENINSULAR”, de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (Gráfico adjunto).



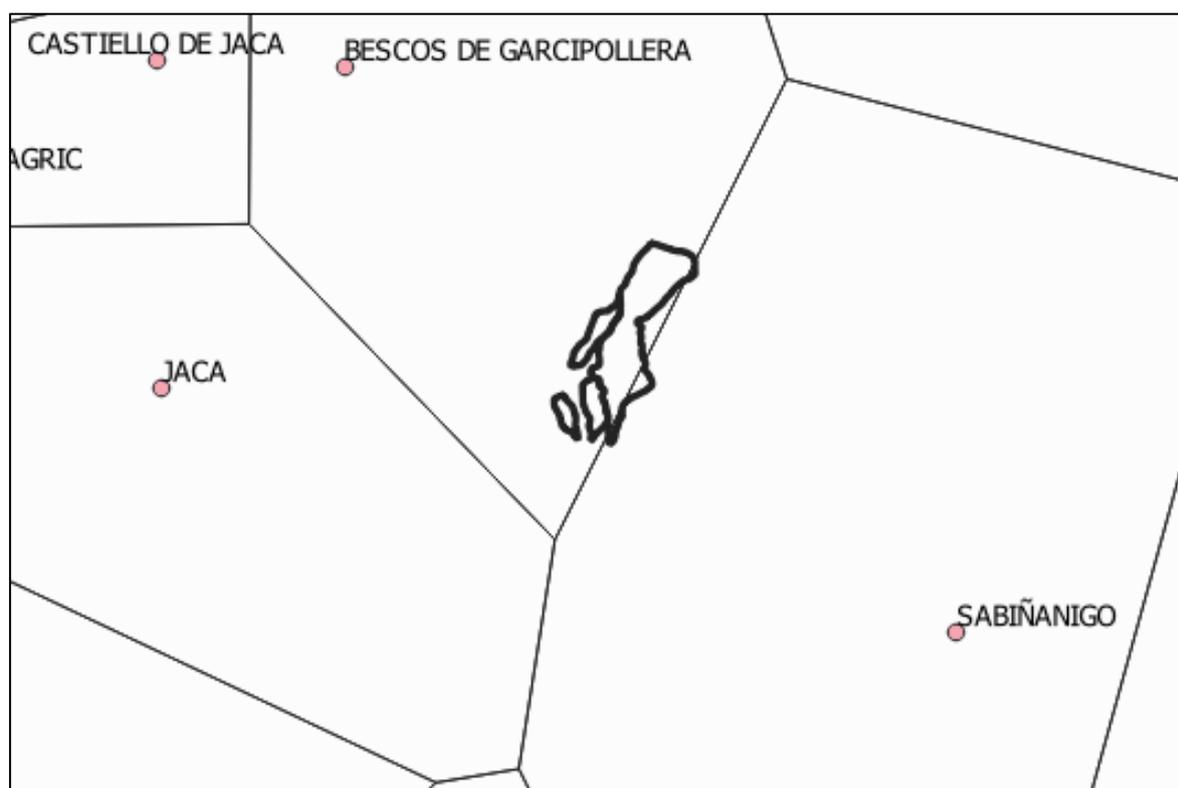
Se ha realizado el cálculo mediante la aplicación informática que acompaña a la publicación una vez corregido el CRS del punto central de las cuencas.

Cuenca E

DATOS DE ENTRADA				DATOS DE SALIDA					
X	Y	HUSO	T	longitud	latitud	Pm	Cv	Pt	
708660	4716920	H30	T2	-2727	423433	55	0.3270	51	
708660	4716920	H30	T5	-2727	423433	55	0.3270	66	
708660	4716920	H30	T10	-2727	423433	55	0.3270	77	
708660	4716920	H30	T25	-2727	423433	55	0.3270	93	
708660	4716920	H30	T50	-2727	423433	55	0.3270	105	
708660	4716920	H30	T100	-2727	423433	55	0.3270	117	
708660	4716920	H30	T200	-2727	423433	55	0.3270	130	
708660	4716920	H30	T500	-2727	423433	55	0.3270	149	

b) Ajuste mediante las funciones de distribución Gumbel y SQRT ET-max de las precipitaciones máximas diarias registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes

La asignación de datos se realiza mediante polígonos de Thiessen.



Se considera irrelevante la repercusión de los datos procedentes de la estación “Sabiñánigo”, aplicándose a la totalidad de las cuencas la precipitación correspondiente a “Bescós de Garcipollera”.

La serie histórica de precipitación suministrada por AEMET es:

Ind.	NOMBRE	Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Máx.
9200	BESCOS DE GARC.	1955								42.7	20	31	14	57.1	
9200	BESCOS DE GARC.	1956	17.3	9.5	45	24	40	21	10.2		35	14	27.1		
9200	BESCOS DE GARC.	1957	8.1	40.1	38.1	42.3	43.5	45	9.2	32	16.8	30.1	12.1	18.1	45
9200	BESCOS DE GARC.	1958	22.1	18.1	68.1	26.5	19.2	24.8	19.4	21.9	29.2	18.1	17.6	39.1	68.1
9200	BESCOS DE GARC.	1959	17.3	12.1	36.1	29.4	21.2	35.6	28.1	23.2	66.1	30	50.9	50.4	66.1
9200	BESCOS DE GARC.	1960	48.2	36.9	35.6	0	44.6	22.3	24.6	17.4	24.3	55.2	30.1	22.5	55.2
9200	BESCOS DE GARC.	1961	20.6	14.3	0	20.1	28.3	10.5	13.6	4.3	20.7	249	58.3	20.4	249
9200	BESCOS DE GARC.	1962	29.6	14.3	23.4	16.3	25.4	12.6	4.2	2.5	10.3	26.4	25	20.3	29.6
9200	BESCOS DE GARC.	1963	30.4	20.3	20.3	25.4	5.3	68.2	80.5	47.2	44.6	50.3	26.6	50.3	80.5
9200	BESCOS DE GARC.	1964	12.3	45.2	20.4	80.3	38.1	45.1	25.2	49.3	69.7	40.3	26.3	26.3	80.3
9200	BESCOS DE GARC.	1965	37.4	16.4	28.3	6.5	6.5	13.2	29.2	20.2	48.5	80.2	33	27.1	80.2
9200	BESCOS DE GARC.	1966	52	31.2	2.1	28.2	28.2	29.2	14.1	6.4	35.3	67.2	65.4	18.5	67.2
9200	BESCOS DE GARC.	1967	20.1	23.2	75.4	20.3	30.1	16.3	14	48.1	31.4	61.2	59.5	32.4	75.4
9200	BESCOS DE GARC.	1968	15.3	45.3	13.1	23.4	24.4	20.3	39.1	30.1	16.3	19.1	30.1	45.4	45.4
9200	BESCOS DE GARC.	1969	20.1	20.3	36.2	55.1	38.3	46.6	30.3	0.1	54.2	16.3	40.3	22.6	55.1
9200	BESCOS DE GARC.	1970	46.4	21.1	13.8	8.2	35.3	28.1	10.2	24.5	1.5	38.2	55	6	55
9200	BESCOS DE GARC.	1971	18.6	26	24.6	72.1	35.2	45.2	32.5	51.4	46	15.5	24.2	26.4	72.1
9200	BESCOS DE GARC.	1972	26.4	45.3	16.5	26.5	33.5	23.8	12.9	28.1	39.2	38.1	64.2	40.1	64.2
9200	BESCOS DE GARC.	1973	21.2	16.3	24.1	29.2	50.1	32	19.4	18.7	14.3	25.3	34.8	40.8	50.1
9200	BESCOS DE GARC.	1974	48.4	25.2	49.2	30	28.3	63.2	23.2	34.3	23.5	15.7	34.7	17.6	63.2

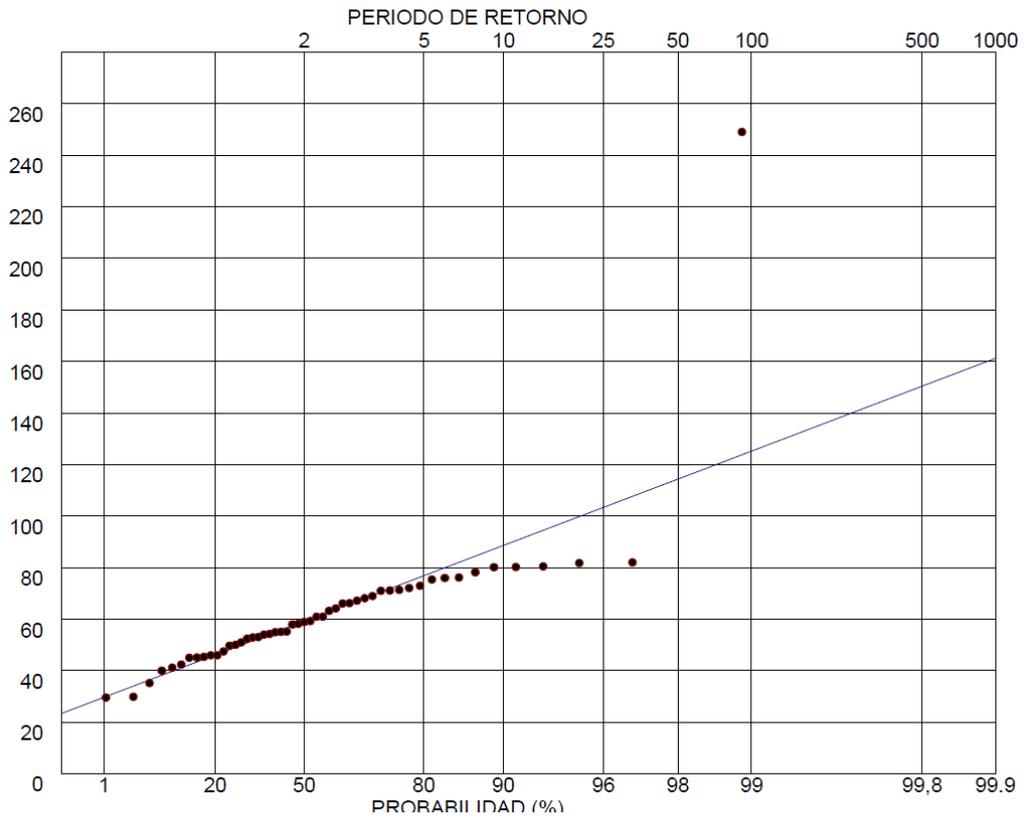
9200	BESCOS DE GARC.	1975	48.2	31.5	35.3	26.1	32.3	13.4	2	53.1	25.5	14.5	38.6	29.3	53.1
9200	BESCOS DE GARC.	1976	20.2	41.2	34.3	25	52	23.5	15.9	30.4	46.8	58	37.3	44.5	58
9200	BESCOS DE GARC.	1977	15.2	22.6	10	12.8	16.2	47.5	30	11.3	6	42.4	12.5	16.4	47.5
9200	BESCOS DE GARC.	1978	41.2	26.3	21.5	18.4	38.2	33.2	26.6	14	8	3.6	6	24	41.2
9200	BESCOS DE GARC.	1979	61.8	47.2	21.5	14.4	82.1	14.6	27.5	8	25	26.1	12.1	16.2	82.1
9200	BESCOS DE GARC.	1980	17.4	16.2	25	41.2	37	16.1	5.2	9	58.2	33.8	42	24.2	58.2
9200	BESCOS DE GARC.	1981	9.2	29.5	36.5	14	39	41.5	7	11.5	22.2	29.5	6	76.2	76.2
9200	BESCOS DE GARC.	1982		17.5	12	12.4	19	25.1	24	48.1	35.5	57	40	38.3	
9200	BESCOS DE GARC.	1983	0	46	13	34	13.2	13	13.1	30.3	0	8.7	39.5	25.5	46
9200	BESCOS DE GARC.	1984	18.6	17.7	31.5	25.2	22.4	22.1	8.6	35.5	16.4	30	78.2	16	78.2
9200	BESCOS DE GARC.	1985	19.5	32.5	16.4	23.8	23	15	20	0	1.5	20	40	15	40
9200	BESCOS DE GARC.	1986	55	23.8	6.5	44.5	22.5	34	26	9	66	31	76	18.6	76
9200	BESCOS DE GARC.	1987	27.2	11.2	20	44.8	12.8	12.5	25.5	17	12.2	52	9	59	59
9200	BESCOS DE GARC.	1988	37	35.7	16.5	45.2	27	32.2	10.5	3.8	20.5	26.5	12.5	10.2	45.2
9200	BESCOS DE GARC.	1989	13	42.4	10.2	18	12.5	5	21	28.4	22.5	27.5	37	16.2	42.4
9200	BESCOS DE GARC.	1990	14.5	32	1.9		20.3	32	20.1	4.5	56	69.5	26.3		
9200	BESCOS DE GARC.	1991	6	20	30	18	8.5	16	7.5	11	49.7	22.5	26	6.5	49.7
9200	BESCOS DE GARC.	1992	7	16	25	25	30.2	27.6	19.5	50	45.7	36	11.2	71.1	71.1
9200	BESCOS DE GARC.	1993	0	1.9	20	50.5	16.5	20	5	22	56.4	18	12.5	61	61
9200	BESCOS DE GARC.	1994	19.5	28	3.5	25.5	18	9	8.5	10	66.2	38.5	50	27	66.2
9200	BESCOS DE GARC.	1995	15.3	21	28	11	22	13.5	5.8	33.2	20	10	32.5	69	69
9200	BESCOS DE GARC.	1996	63.5		25	20.3	40	16	26.5	53.1	32.5	10.5	38	60	
9200	BESCOS DE GARC.	1997	35	26.1	0	21	32.1	35	41	25	23	11.5	46.5	54	54
9200	BESCOS DE GARC.	1998	11.5	14	13.5	19.4	22.8	35.2	16.8	18.8	35.1	8.2	21.6	33.1	35.2
9200	BESCOS DE GARC.	1999	36	9.3	28.4	29.8	26.7	17.8	28.5	20	46	29	28.2	16	46
9200	BESCOS DE GARC.	2000	0	5	19.9	44.7	27.6	81.8	26.1	23.9	22	36.9	69	23	81.8
9200	BESCOS DE GARC.	2001	27.5	26.8		69	26.6	12.8	32.3	18.7	49.9	52	31.2	7.8	
9200	BESCOS DE GARC.	2002	23	71	18.8	33.2	17.5	35.2	16.8	16.4	67.5	31.7	35	29.1	71
9200	BESCOS DE GARC.	2003	29.8	36	33.4	9.6	19.9	16.7	17.5	26	61	41.3	31.4	19.8	61
9200	BESCOS DE GARC.	2004	23.4	23		17	13	11	23.5	15.8	32.2	32.1	16.2	22.8	
9200	BESCOS DE GARC.	2005	25.3		19.5	22	23.5	15.7	18	18	10.3	42.6	14	37.3	
9200	BESCOS DE GARC.	2006	10.6	18	35.2	16.4	25.5	33.6	35.5	42	72.9	20.1	33	19.7	72.9
9200	BESCOS DE GARC.	2007	19	26.6	53	50.7	34.6	19.9	8.5	17	46	13.7	24.9	21.3	53
9200	BESCOS DE GARC.	2008	23.4	19	21.4	41	51	27.9	29.7	16.3	10.2	32.5	27.3	18.5	51
9200	BESCOS DE GARC.	2009	54.3	40.4	24.2	46.4	32.2	27	6.8	30.7	21.9	40.5	43.6	13.8	54.3
9200	BESCOS DE GARC.	2010	35	17.7	23	20.5	20.2	15.5	71.4	26.4	20.3	46.8	26.3	21.9	71.4
9200	BESCOS DE GARC.	2011	29.9	22.1	15.5	10.8	19.1	21.7	10.3	14.9	15.3	25.2	18.1	12	29.9
9200	BESCOS DE GARC.	2012	4.7	8.8	13.3	34	18.6	13.3	21.8	5.3	21.7	215.7		53.5	
9200	BESCOS DE GARC.	2013	55.3		31.2		22.4	62		50.3	34.3		41		
9200	BESCOS DE GARC.	2014	24.1	29.3	52	27	36.5	15.2	25.2	24.5	46.5	29.5	52.5	14.6	52.5
9200	BESCOS DE GARC.	2015			13.8	29.1	5.2		25.1	35.7	27.1	21.5	35.7	2.6	
9200	BESCOS DE GARC.	2016	59.3	32.1	27.9	21.4	22.4	13.7	21.1	1.7	29.1	49	54.5	1.6	59.3
9200	BESCOS DE GARC.	2017	30.6	40.6	31.2	17.1	37.7		23	12.8	14.8	29	13	63.5	
9200	BESCOS DE GARC.	2018	33.1		38.4	32.6	16.8	32.3	6.2	6.6	47.8	43.7	24.8	12.9	
9200	BESCOS DE GARC.	2019	44.3		16.5	31.1	34	28.2		32.4	13.6	55.4	36.4	59.4	
9200	BESCOS DE GARC.	2020	31.5	5.1	32.1	19.4	27.9	19.1	3.5	3.4	37.1	28.1	44.1		
9200	BESCOS DE GARC.	2021	33.1	20.7											

Estación 9200

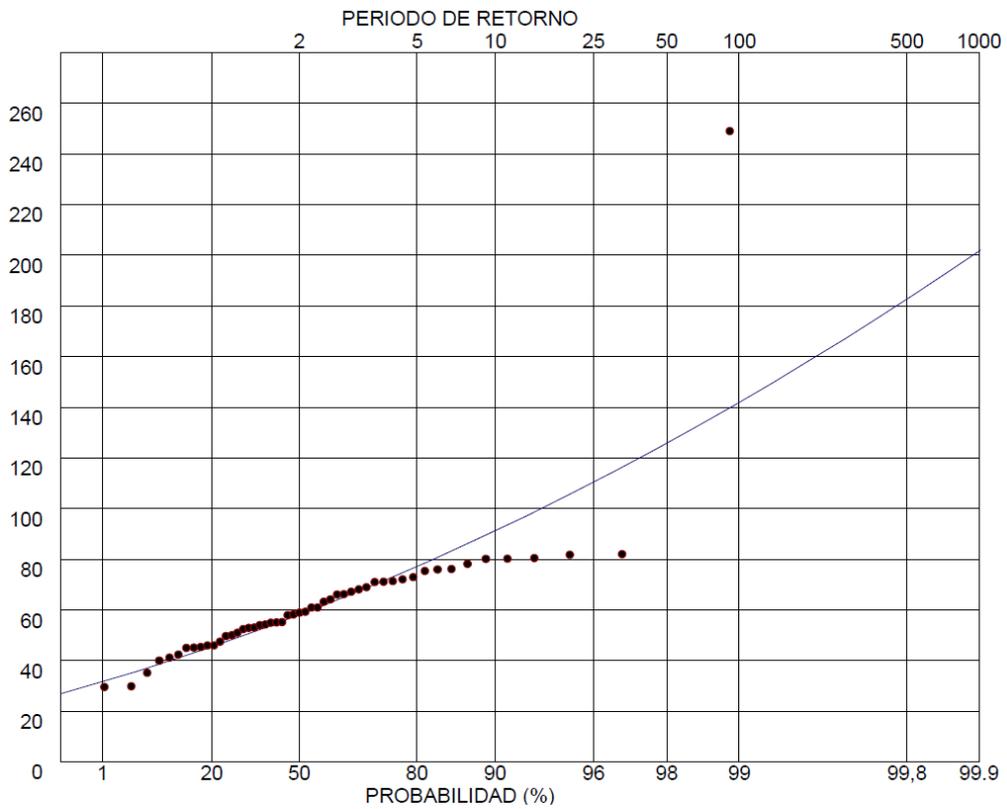
DATOS	ORDENADO	PROBABILIDAD	DATOS	ORDENADO	PROBABILIDAD
45	30	0,011	46	59	0,5
68	30	0,0305	78	59	0,5196
66	35	0,0501	40	61	0,5391
55	40	0,0696	76	61	0,5587
249	41	0,0892	59	63	0,5782
30	42	0,1088	45	64	0,5978
81	45	0,1283	42	66	0,6174
80	45	0,1479	50	66	0,6369
80	45	0,1674	71	67	0,6565
67	46	0,187	61	68	0,6761
75	46	0,2066	66	69	0,6956
45	48	0,2261	69	71	0,7152
55	50	0,2457	54	71	0,7347
55	50	0,2653	35	71	0,7543
72	51	0,2848	46	72	0,7739
64	53	0,3044	82	73	0,7934
50	53	0,3239	71	75	0,813
63	53	0,3435	61	76	0,8326
53	54	0,3631	73	76	0,8521
58	54	0,3826	53	78	0,8717
48	55	0,4022	51	80	0,8912
41	55	0,4218	54	80	0,9108
82	55	0,4413	71	81	0,9304
58	58	0,4609	30	82	0,9499
76	58	0,4804	53	82	0,9695
			59	249	0,9890

FUNCIÓN	T (años)	PROBABILIDAD AD	Pd (mm)	FUNCIÓN	T (años)	PROBABILIDAD AD	Pd (mm)
Gumbel X0 = 53,540 α=15,583	2	0,50000	59	SQRT-Etmáx λ=283,23 β=1,168	2	0,50000	58
	5	0,80000	77		5	0,80000	77
	10	0,90000	89		10	0,90000	91
	25	0,96000	103		25	0,96000	111
	50	0,98000	114		50	0,98000	126
	100	0,99000	125		100	0,99000	142
	200	0,99500	136		200	0,99500	159
	500	0,99800	150		500	0,99800	182
	1000	0,99900	161		1000	0,99900	202
	2000	0,99950	172		2000	0,99950	222
	5000	0,99980	186		5000	0,99980	250
	10000	0,99990	197		10000	0,99990	270
20000	0,99995	208	20000	0,99995	294		

9200 – Función Gumbel- Máxima verosimilitud



9200 – Función SQRT-ETmáx – Máxima verosimilitud



Los resultados, para los periodos de retorno analizados, son:

Periodo de ret. (años)	Est 9200 Gumbel	Est 9200 SQRT	Maxplu	Máx
2	59	58	51	59
5	77	77	66	77
10	89	91	77	91
25	103	111	93	111
50	114	126	105	126
100	125	142	117	142
200	136	159	130	159
500	150	182	149	182

Factor reductor de la precipitación

El factor reductor de la precipitación por área de la cuenca K_A tiene en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda su superficie, y su valor es:

$$\begin{aligned} \text{Si } A < 1 \text{ km}^2 & \quad K_A = 1 \\ \text{Si } A \geq 1 \text{ km}^2 & \quad K_A = 1 - \frac{\log_{10} A}{15} \end{aligned}$$

Siendo A el área de cada cuenca en km^2 .

Cálculo de I_d

El valor de la intensidad media diaria de precipitación corregida, en cada cuenca, es:

Cuenca	A (km^2)	K_A	I_d (mm/h)		
			T = 5 años	T = 100 años	T = 500 años
21t	0,434	1,000	3,208	5,917	7,583
22t	0,233	1,000	3,208	5,917	7,583
23t	0,415	1,000	3,208	5,917	7,583
24t	3,101	0,967	3,103	5,723	7,335

1.2.1.3 – Factor de intensidad

El factor de intensidad introduce la torrencialidad de la lluvia en el área de estudio. En nuestro caso se obtiene según la expresión:

$$F_{int} = F_a = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 \cdot t^{0,1}}$$

Siendo:

Fa: Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_1/I_d).

I_1/I_d : Índice de torrencialidad que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida. Su valor se determina según la figura 2.4 – MAPA DEL ÍNDICE DE TORRENCIALIDAD (I_1/I_d) de la Norma 5.2-IC.

En nuestro caso se tiene $\left(\frac{I_1}{I_d}\right) = 10$

Tiempo de concentración

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, según:

$$t_c = 0,3 \cdot L_c^{0,76} \cdot J_c^{-0,19}$$

Siendo: Tc: Tiempo de concentración en horas
 Lc: Longitud del cauce en km
 Jc: Pendiente media del cauce, en m/m

Cuenca	A (km ²)	Zsup	zinf	L (km)	h (m)	j (m/m)	tc (horas)
21t	0,434	1.092,0	931,0	1,8	161,0	0,0889	0,747
22t	0,233	978,0	866,0	1,0	112,0	0,1092	0,466
23t	0,415	975,0	862,0	1,4	113,0	0,0823	0,614
24t	3,101	1.465,0	861,0	4,6	604,0	0,1308	1,412

1.2.1.4 – Determinación de I(T,t)

Aplicando los valores calculados se obtiene la intensidad de precipitación para periodo de retorno.

Cuenca	tc (horas)	Fint = Fa	Id (mm/h)		
			T = 5 años	T = 100 años	T = 500 años
21t	0,747	1,000	37,941	69,970	89,680
22t	0,466	1,000	49,225	90,779	116,351
23t	0,614	1,000	42,350	78,100	100,099
24t	1,412	0,967	25,291	46,641	59,780

1.3 – COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Es el término que define la parte de la precipitación de intensidad I(T,t) que genera el caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca.

Se obtiene según:

$$\text{Si } P_d \cdot K_A > P_0 \quad C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1\right) \left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11\right)^2}$$

$$\text{Si } P_d \cdot K_A \leq P_0 \quad C = 0$$

siendo:

- C: Coeficiente de escorrentía
- Pd: Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T , en mm
- KA: Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca
- P0: Umbral de escorrentía, en mm

Asumiendo la variación espacial del coeficiente de escorrentía según el uso del suelo, se realiza el cálculo de este coeficiente teniendo en cuenta las diferentes áreas parciales.

1.3.1 – UMBRAL DE ESCORRENTÍA

Representa la precipitación mínima que debe caer sobre la cuenca para que se inicie la generación de escorrentía.

Se obtiene por la fórmula:

$$P_0 = P_0^i \cdot \beta$$

- siendo; P_0^i : Valor inicial del umbral de escorrentía, en mm
- β : Coeficiente reductor del umbral de escorrentía

1.3.1.1 - Variación espacial del umbral de escorrentía

Para la determinación de P_0^i se establece correspondencia con los relacionados en la tabla 2.3 de la norma 5.2-IC/2.016, cuyo valor depende de los siguientes criterios referidos al terreno:

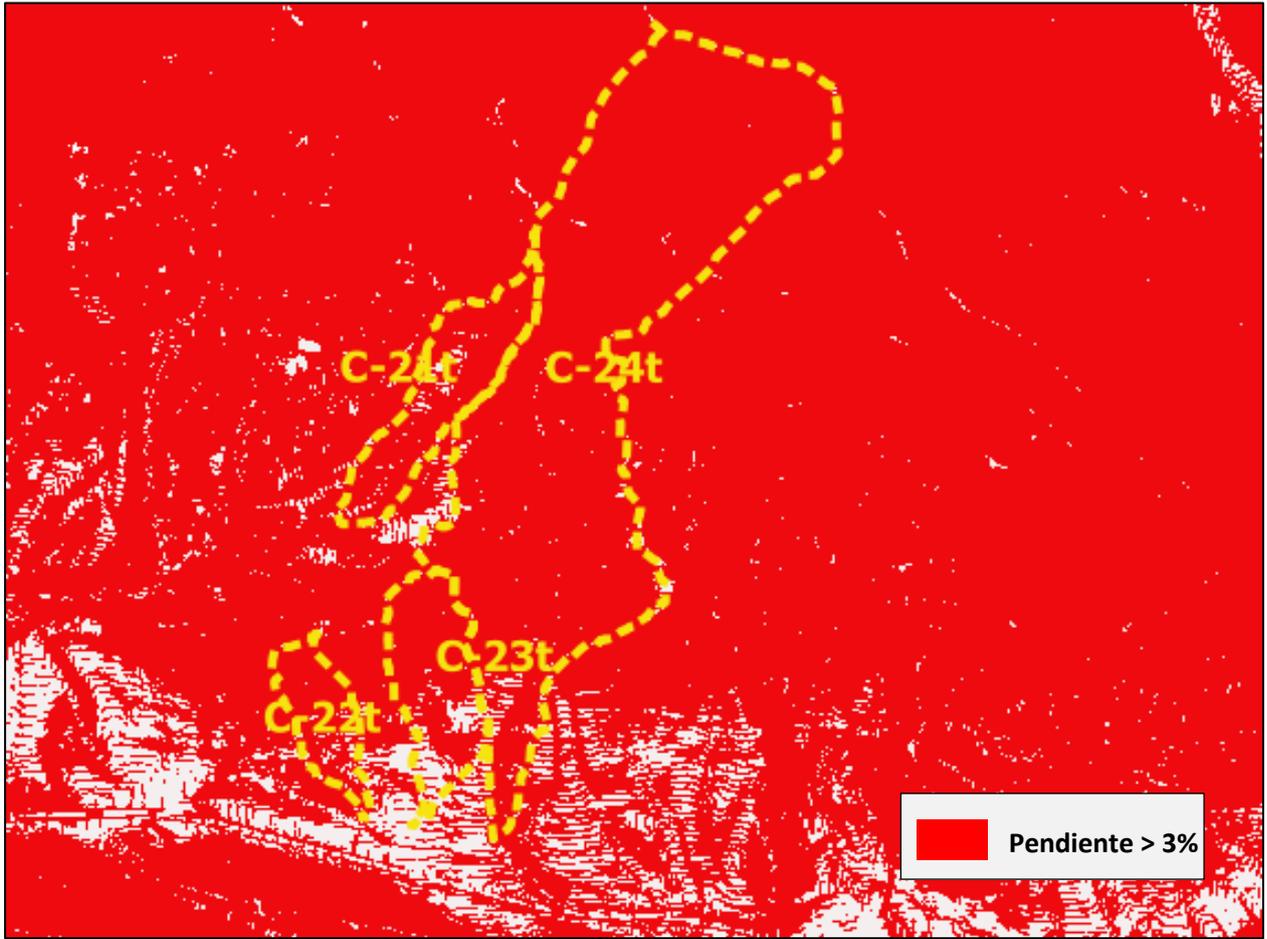
- Pendiente del terreno
- Grupo hidrológico de suelo
- Uso

Pendiente del terreno

La pendiente del terreno natural se obtiene del modelo digital de elevaciones procesado con la herramienta de análisis raster de la aplicación QGIS.

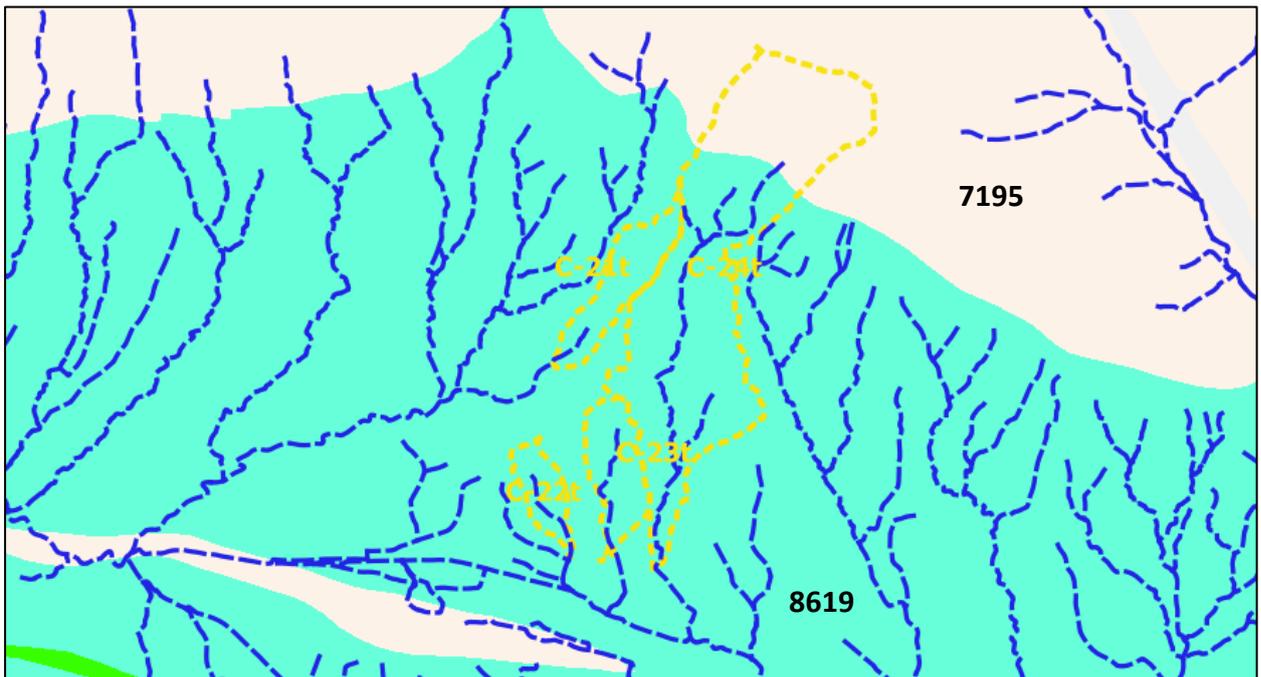
En términos generales, la pendiente del terreno es inferior al 3% en las zonas urbanizadas.

Se representa a continuación la imagen de la cuenca hidrográfica, coloreando en rojo las zonas en que la pendiente es superior al 3%, como dato de entrada en la citada tabla.



Grupo hidrológico de suelo

Se procede a determinar el grupo hidrológico de suelo a partir del Mapa Litoestratigráfico obtenido desde del servicio WMS del IGME.



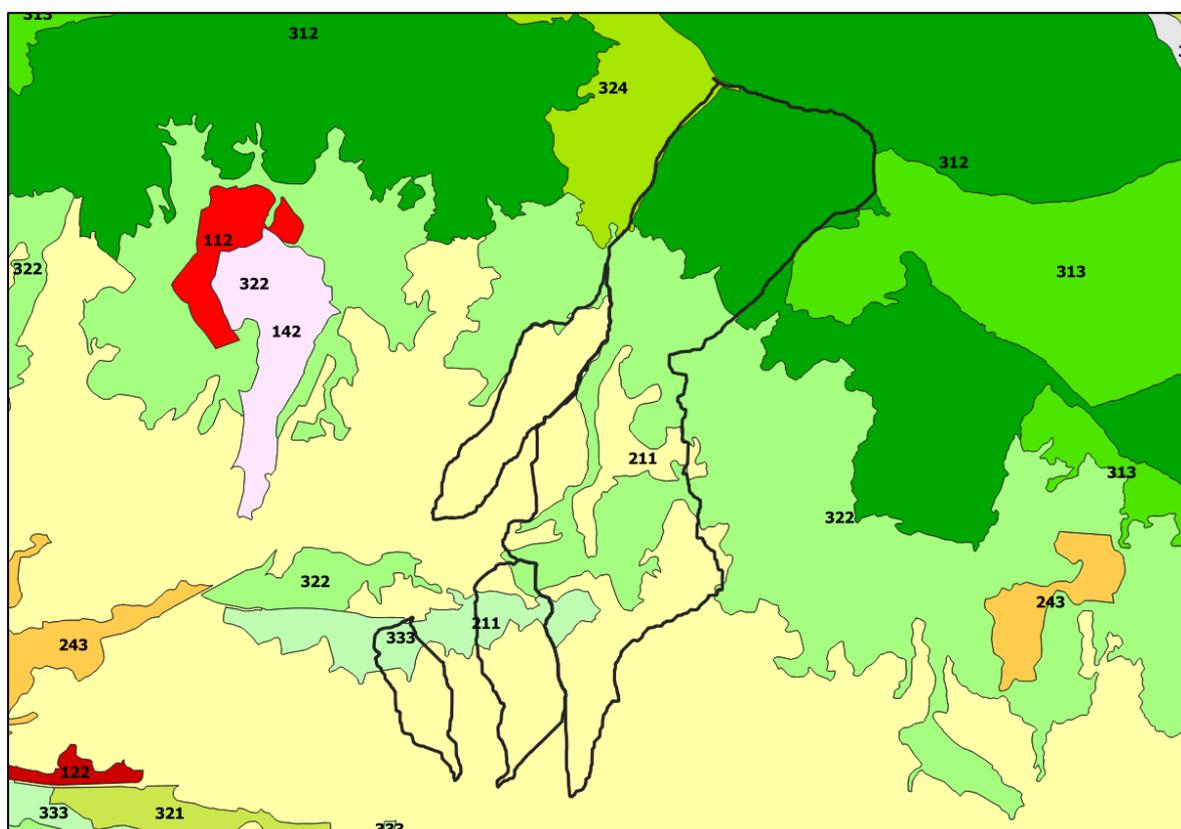
La leyenda correspondiente es:

Id	Descripción litológica	Era	Sistema	Serie	Permeabilidad
8619	Margas y margocalizas	CENOZOICO	PALEÓGENO	EOCENO	BAJA
7195	Lutitas y areniscas (Flysch)	CENOZOICO	PALEÓGENO	PALEOCENO-EOCENO	MUY BAJA

Se homogeneiza a Grupo Hidrológico de Suelo C el total del suelo natural de la superficie.

Uso del suelo

Los usos de suelo en el interior de las cuencas se han obtenido del mapa de ocupación del suelo Corine Land Cover.



Los usos definidos en la leyenda incluidos en las cuencas hidrográficas son:

- 211 – Tierras de labor en seco
- 312 – Bosques de coníferas
- 322 - Landas y matorrales
- 333 – Espacios con vegetación escasa

Se determina el valor inicial del umbral de escorrentía estableciendo la correspondencia con la tabla 2.3 de la Norma 5.2-IC en función de la distribución de uso en cada recinto de los definidos en el mapa CLC, resultando para cada cuenca:

Cuenca	Cod CLC	Cod 5.2-IC	A (km ²)	j (%)	Grupo	Poi (mm)
21t	211	21100	0,422	>3	C	12,00
	322	32200	0,012		C	22,00
22t	211	21100	0,140	>3	C	12,00
	333	33300	0,083	>3	C	8,00
23t	211	21100	0,230	>3	C	12,00
	211	21100	0,084	<3	C	14,00
	322	32200	0,024		C	22,00
	333	33300	0,077	>3	C	8,00
24t	211	21100	0,930	>3	C	12,00
	312	31200	1,081		C	31,00
	322	32200	1,052		C	22,00
	333	33300	0,038	>3	C	8,00

1.3.1.2 - Coeficiente corrector del umbral de escorrentía

La formulación del método racional efectuada en los epígrafes precedentes 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

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

siendo: β^{PM} : Coeficiente corrector del umbral de escorrentía
 β_m : Valor medio de la región, del coef corrector del umbral de escorrentía.
 F_T : Factor función del periodo de retorno T

El presente estudio se localiza en la región 92.

Los valores de calibración a aplicar en esta región son:

Región	Valor medio β_m	Periodo de retorno T,(años) / F_T		
		5	100	500
92	1,450	0 940	1,00	1,00

Aplicando los coeficientes se obtiene el valor del umbral de escorrentía en los usos de cada cuenca.

1.3.1.3 – Determinación de C

Se realiza a continuación el cálculo del coeficiente de escorrentía de cada uso y el ponderado de cada cuenca para los periodos de retorno de 5, 100 y 500 años.

Periodo de retorno T = 5 años

Cuenca 21t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
21100	0,422	1,000	12	16,356	0,416	0,176
32200	0,012	1,000	22	29,986	0,218	0,003
Cenca21t – T = 5 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	0,178		0,434		0,411	

Cuenca 22t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
21100	0,140	1,000	12	16,356	0,416	0,058
33300	0,083	1,000	8	10,904	0,559	0,046
Cenca 22t – T = 5 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	0,105		0,223		0,469	

Cuenca 23t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
21100	0,230	1,000	12	16,356	0,416	0,096
21100	0,084	1,000	14	19,082	0,363	0,030
32200	0,024	1,000	22	29,986	0,218	0,005
33300	0,077	1,000	8	10,904	0,559	0,043
Cenca 23t – T = 5 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	0,174		0,415		0,420	

Cuenca 24t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
211	0,930	1,000	12	16,356	0,416	0,387
312	1,081	0,998	31	42,253	0,124	0,134
322	1,052	0,999	22	29,986	0,217	0,229
333	0,038	1,000	8	10,904	0,559	0,021
Cenca 24t – T = 5 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	0,771		3,101		0,249	

Periodo de retorno T = 100 años

Cuenca 21t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
21100	0,422	1,000	12	17,400	0,608	0,256
32200	0,012	1,000	22	31,900	0,397	0,005
Cenca 21t – T = 100 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	0,261		0,434		0,602	

Cuenca 22t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
21100	0,140	1,000	12	17,400	0,608	0,085
33300	0,083	1,000	8	11,600	0,733	0,061
Cenca 22t – T = 100 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	0,146		0,223		0,655	

Cuenca 23t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
21100	0,230	1,000	12	17,400	0,608	0,140
21100	0,084	1,000	14	20,300	0,555	0,047
32200	0,024	1,000	22	31,900	0,397	0,010
33300	0,077	1,000	8	11,600	0,733	0,056
Cenca 23t – T = 100 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	0,252		0,415		0,608	

Cuenca 24t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
211	0,930	1,000	12	17,400	0,608	0,565
312	1,081	0,998	31	44,950	0,281	0,304
322	1,052	0,999	22	31,900	0,396	0,417
333	0,038	1,000	8	11,600	0,733	0,028
Cenca 24t – T = 100 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	1,314		3,101		0,424	

Periodo de retorno T = 500 años

Cuenca 21t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
21100	0,422	1,000	12	17,400	0,687	0,290
32200	0,012	1,000	22	31,900	0,484	0,006
Cenca 21t – T = 500 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	0,296		0,434		0,682	

Cuenca 22t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
21100	0,140	1,000	12	17,400	0,687	0,096
33300	0,083	1,000	8	11,600	0,798	0,066
Cenca 22t – T = 500 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	0,162		0,223		0,728	

Cuenca 23t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
21100	0,230	1,000	12	17,400	0,687	0,158
21100	0,084	1,000	14	20,300	0,639	0,054
32200	0,024	1,000	22	31,900	0,484	0,012
33300	0,077	1,000	8	11,600	0,798	0,061
Cenca 23t – T = 500 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	0,285		0,415		0,686	

Cuenca 24t						
Código	A (km ²)	KA	Poi	Po	C	Ci x Ai
211	0,930	1,000	12	17,400	0,687	0,639
312	1,081	0,998	31	44,950	0,363	0,393
322	1,052	0,999	22	31,900	0,483	0,509
333	0,038	1,000	8	11,600	0,798	0,030
Cenca 24t – T = 500 años	$\sum Ci \times Ai$		A (km ²)		C	
	1,571		3,101		0,507	

1.4 – CAUDAL MÁXIMO

La hipótesis descrita para el cálculo de caudal sólo es aceptable en cuencas que sean suficientemente homogéneas, tanto respecto de la variación espacial de la precipitación como del coeficiente de escorrentía.

En el caso de cuencas de pequeño tamaño, la causa de heterogeneidad se debe a la variación espacial del coeficiente de escorrentía.

Por otra parte, la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación se resuelve en el Método Racional mediante la incorporación del coeficiente K_t , que se expresa:

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

siendo:

K_t : Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación

T_c : Tiempo de concentración de la cuenca, en horas

Por tanto, la expresión del Método Racional a aplicar es:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot K_t}{3,6} \cdot \sum [C_i \cdot A_i]$$

Los caudales pico para cada periodo de retorno son:

Periodo de ret	CUENCA	A (km ²)	K_t	I (T,t) (mm/h)	$\sum C_i \times A_i$	Q (m ³ /s)
T = 5 años	21t	0,434	1,047	37,941	0,178	1,968
	22t	0,233	1,027	49,225	0,105	1,469
	23t	0,415	1,037	42,350	0,174	2,129
	24t	3,101	1,099	25,291	0,771	5,951

Periodo de ret	CUENCA	A (km ²)	K_t	I (T,t) (mm/h)	$\sum C_i \times A_i$	Q (m ³ /s)
T = 100 años	21t	0,434	1,047	69,970	0,261	5,317
	22t	0,233	1,027	90,779	0,146	3,779
	23t	0,415	1,037	78,100	0,252	5,681
	24t	3,101	1,099	46,641	1,314	18,708

Periodo de ret	CUENCA	A (km ²)	K_t	I (T,t) (mm/h)	$\sum C_i \times A_i$	Q (m ³ /s)
T = 500 años	21t	0,434	1,047	89,680	0,296	7,718
	22t	0,233	1,027	116,351	0,162	5,391
	23t	0,415	1,037	100,099	0,285	8,214
	24t	3,101	1,099	59,780	1,571	28,671

2 – ESTUDIO HIDRÁULICO

2.1 - INTRODUCCIÓN

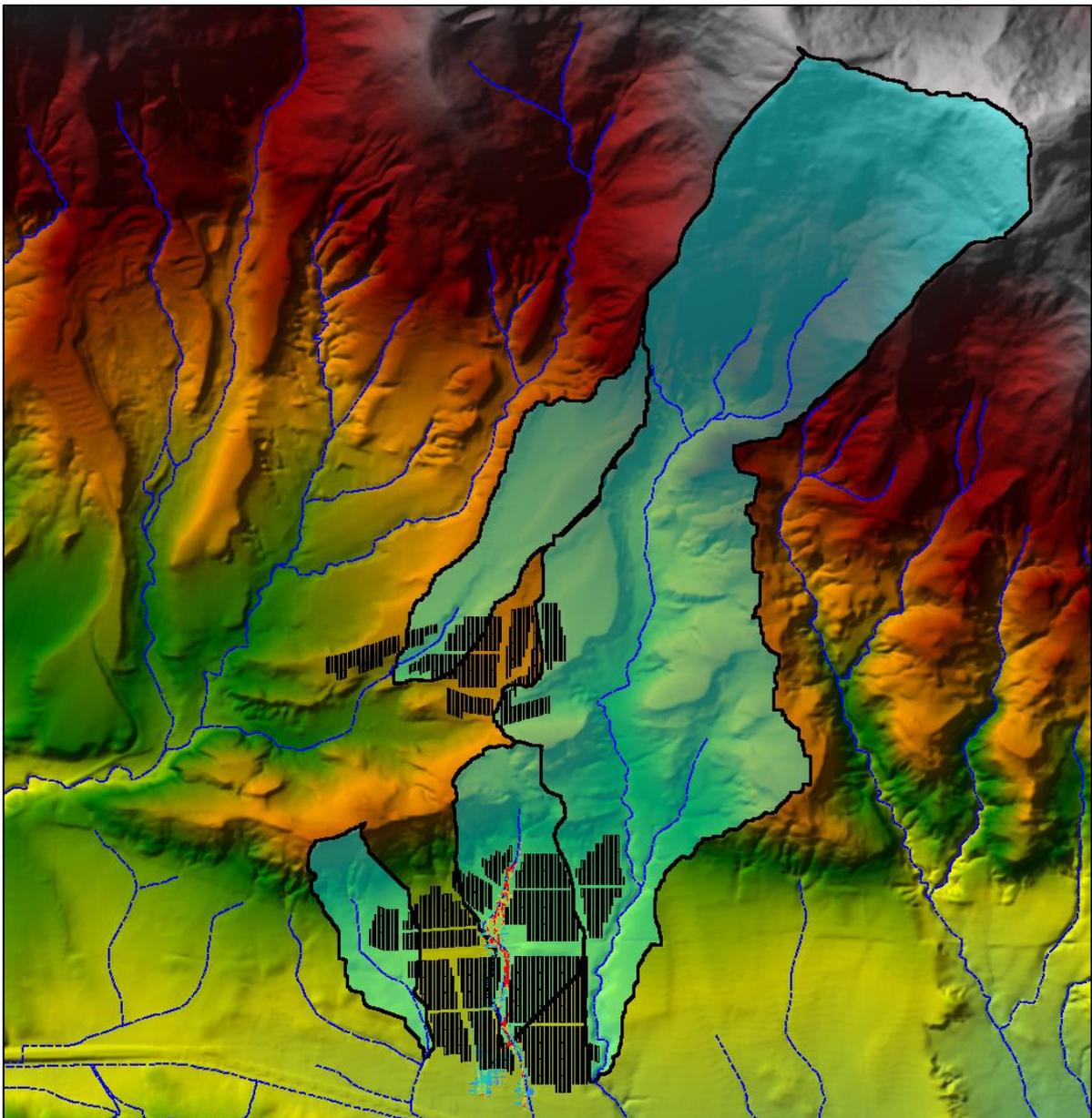
Se realiza el análisis la zona afectada con obtención de las llanuras de inundación para los periodos de retorno de 5, 100 y 500 años.

El análisis se realiza por simulación bidimensional de los cauces mediante la aplicación informática HEC-RAS 6.0 Beta.

Como terreno en la simulación hidráulica (RasMapper Terrain) se ha empleado un fichero ráster procedente de levantamiento topográfico de la zona.

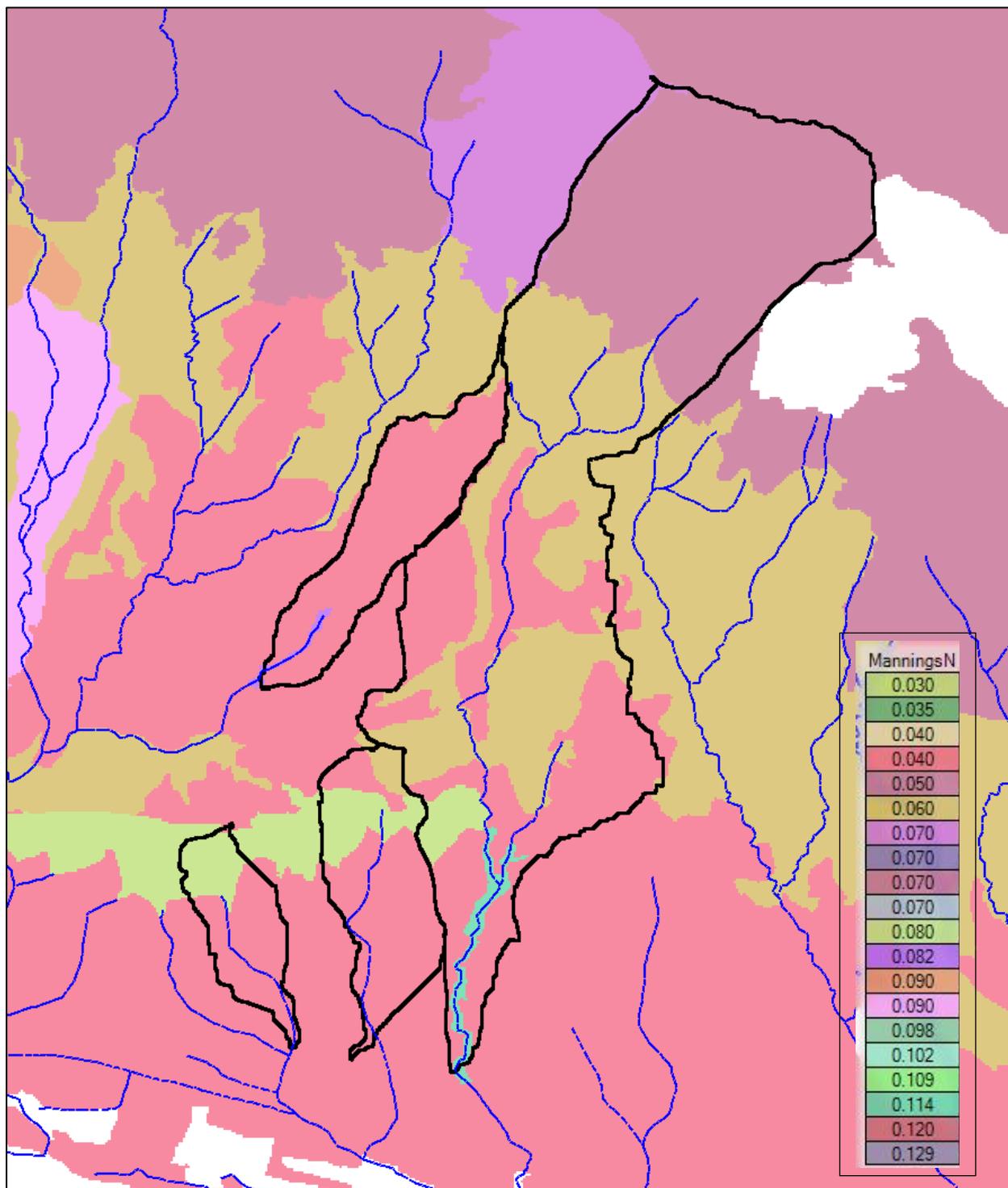
2.2 – TERRENO NATURAL

Se representa a continuación el modelo de terreno importado a RasMapper desde QGIS, con la red de cauces públicos.



2.3 – RUGOSIDAD

Se han definido las distintas regiones de rugosidad, incluidas en RasMapper y asociadas a la geometría de la simulación. Su representación es:



La rugosidad de los cauces se ha calculado según el método de Cowan:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m$$

Donde n es el coeficiente de rugosidad de Manning

- n_0 es la rugosidad debida a las paredes
- n_1 es la rugosidad debida al grado de irregularidad
- n_2 es la rugosidad debida a las variaciones de la sección transversal
- n_3 es la rugosidad debida al efecto de las obstrucciones
- n_4 es la rugosidad debida a la presencia de vegetación
- m es la rugosidad debida a la sinuosidad.

Los valores aplicados, en función de sus características físicas (Tabla 1 del Anexo VI de la Guía metodológica para el desarrollo del SNCZI). son:

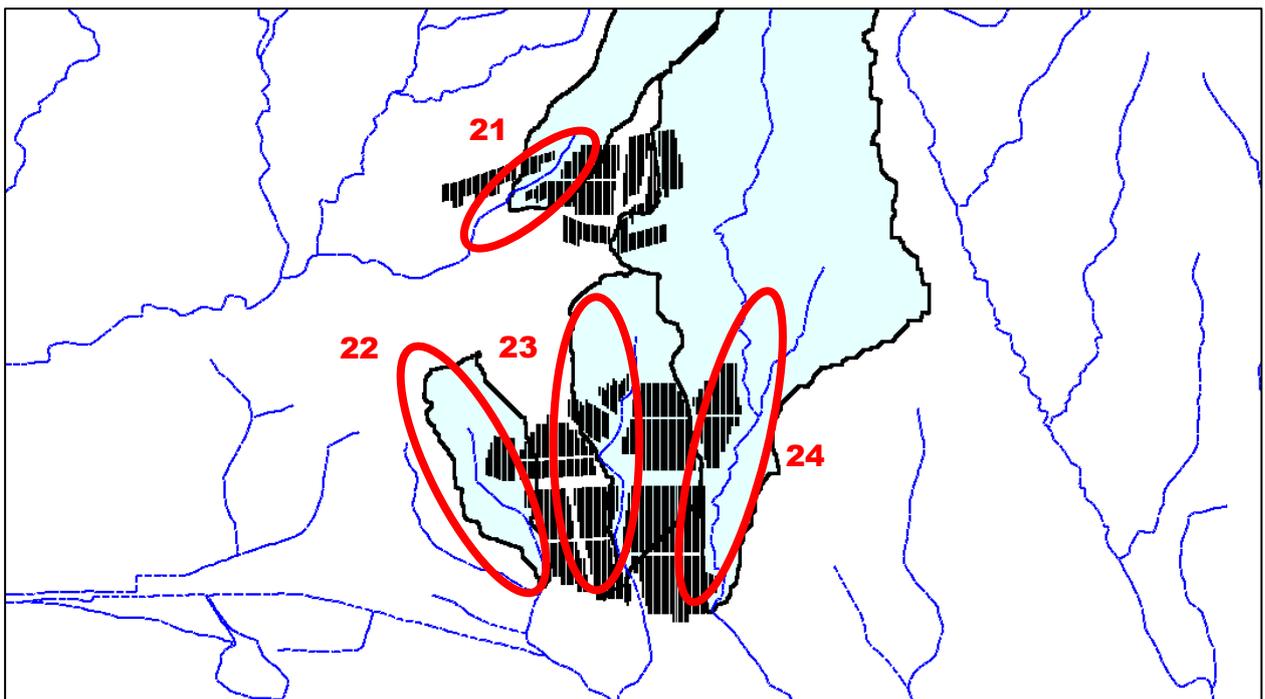
Cauce	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4	m	n
21t	0,020	0,010	0,012	0,020	0,020	1,000	0,082
26t	0,020	0,020	0,015	0,020	0,020	1,200	0,114

En márgenes se ha adoptado el valor indicado en la Tabla 1 del Anexo V de la citada publicación:

Código CLC	Uso	Cof de Manning (n)
211	Tierras de labor en secano	0,04
312	Bosques de coníferas	0,07
322	Landas y matorrales	0,06
333	Espacios con vegetación escasa	0,03

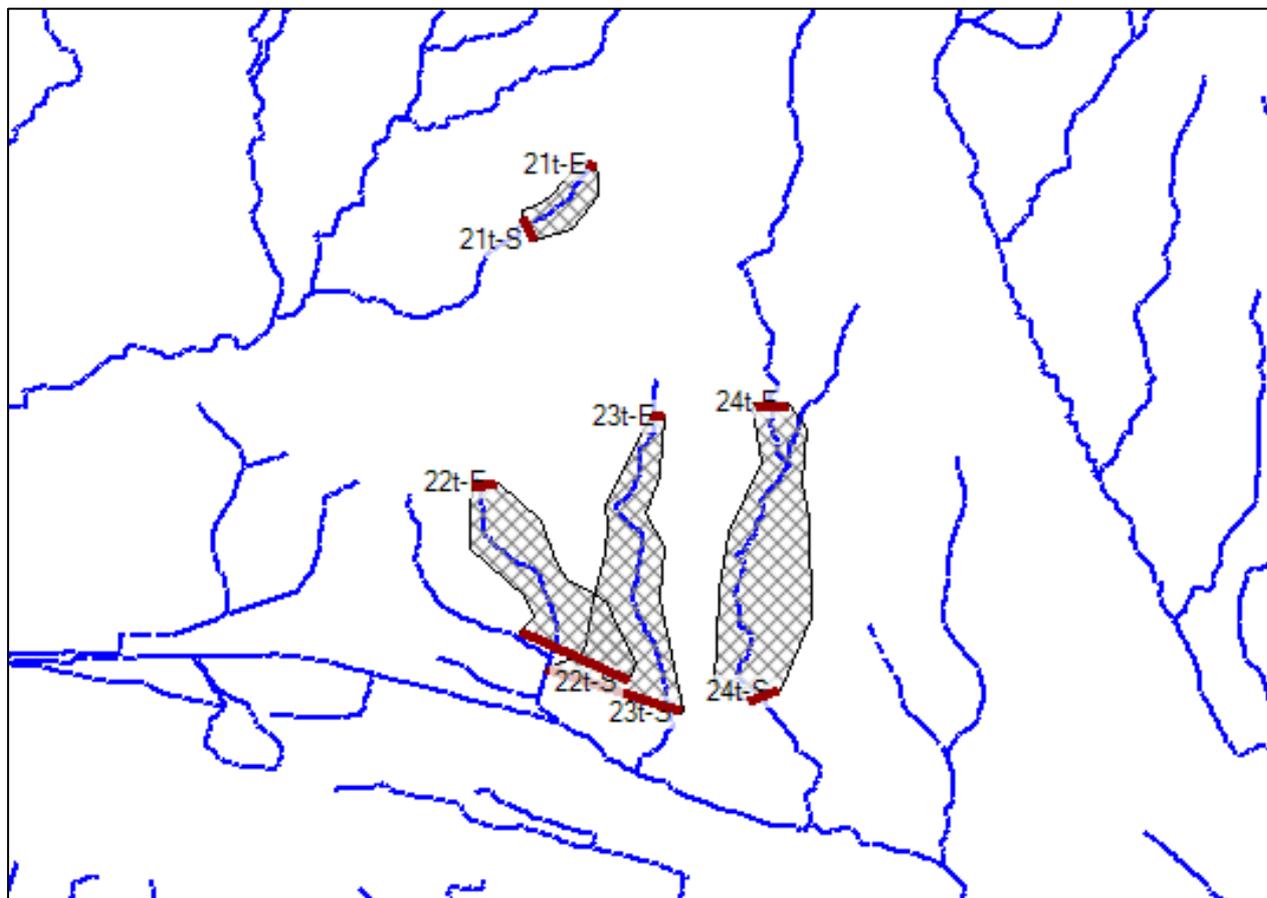
2.4 – MODELO HIDRÁULICO

Se realiza la simulación fluvial de los cauces públicos en los tramos adyacentes a la implantación de placas proyectada. Su representación esquemática es:



2.4.1 – ÁREAS DE FLUJO 2D

Se establece una malla no estructurada en cada simulación con las siguientes características:



Cuenca	Área (m ²)	Perímetro (m)	Celdas (m x m)	Celdas (ud)	Salida (m/m)
21t	44.449,28	890,489	5 x 5	3.246	0,060
22t	176.270,791	2.140,924	5 x 5	7.333	0,022
23t	286.508,881	2.759,158	5 x 5	11.845	0,021
24t	280.263,504	2.581,417	5 x 5	11.591	0,024

2.4.2 – CONDICIONES DE CONTORNO

Como condiciones de contorno en cada simulación se establecen las siguientes:

- Entrada de caudal – Hidrograma SCS, obtenido a partir del tiempo de concentración y el caudal pico calculado
- Salida de caudal – Calado normal con la pendiente indicada

2.4.3 – MÉTODO DE COMPUTACIÓN

La configuración del Plan de análisis bidimensional en régimen variable para todas las simulaciones realizadas es:

- Método: Conjunto de ecuaciones de onda difusiva
- Intervalo de computación $\Delta T = 1$ segundo
- Intervalo de salida de mapeo = 1 minuto
- Intervalo de salida de hidrograma = 10 minutos

2.5 – AFECCIONES AL D.P.H.

Realizadas las simulaciones hidráulicas con las características indicadas, en el Apéndice “AFECCIONES AL D.P.H.” se realiza la representación de las llanuras de inundación de los tramos en estudio, con expresión los límites para los periodos de retorno de 5, 100 y 500 años.

Asimismo, en el mismo Apéndice, se presentan la información necesaria para determinar la incidencia en el régimen de corrientes de la planta proyectada sobre los tramos de cauce público analizados.

Es decir, de su relación con las respectivas zonas de flujo preferente.

2.6 – ZONA DE FLUJO PREFERENTE

La zona de flujo preferente es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas.

2.6.1 – VÍA DE INTENSO DESAGÜE

Se entiende por vía de intenso desagüe la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. La sobreelevación anterior podrá, a criterio del organismo de cuenca, reducirse hasta 0,1 m cuando el incremento de la inundación pueda producir graves perjuicios o aumentarse hasta 0,5 m en zonas rurales o cuando el incremento de la inundación produzca daños reducidos.

Se analizan los tramos en que alguno de los criterios de delimitación de la zona de flujo preferente resulta afectado por la instalación proyectada.

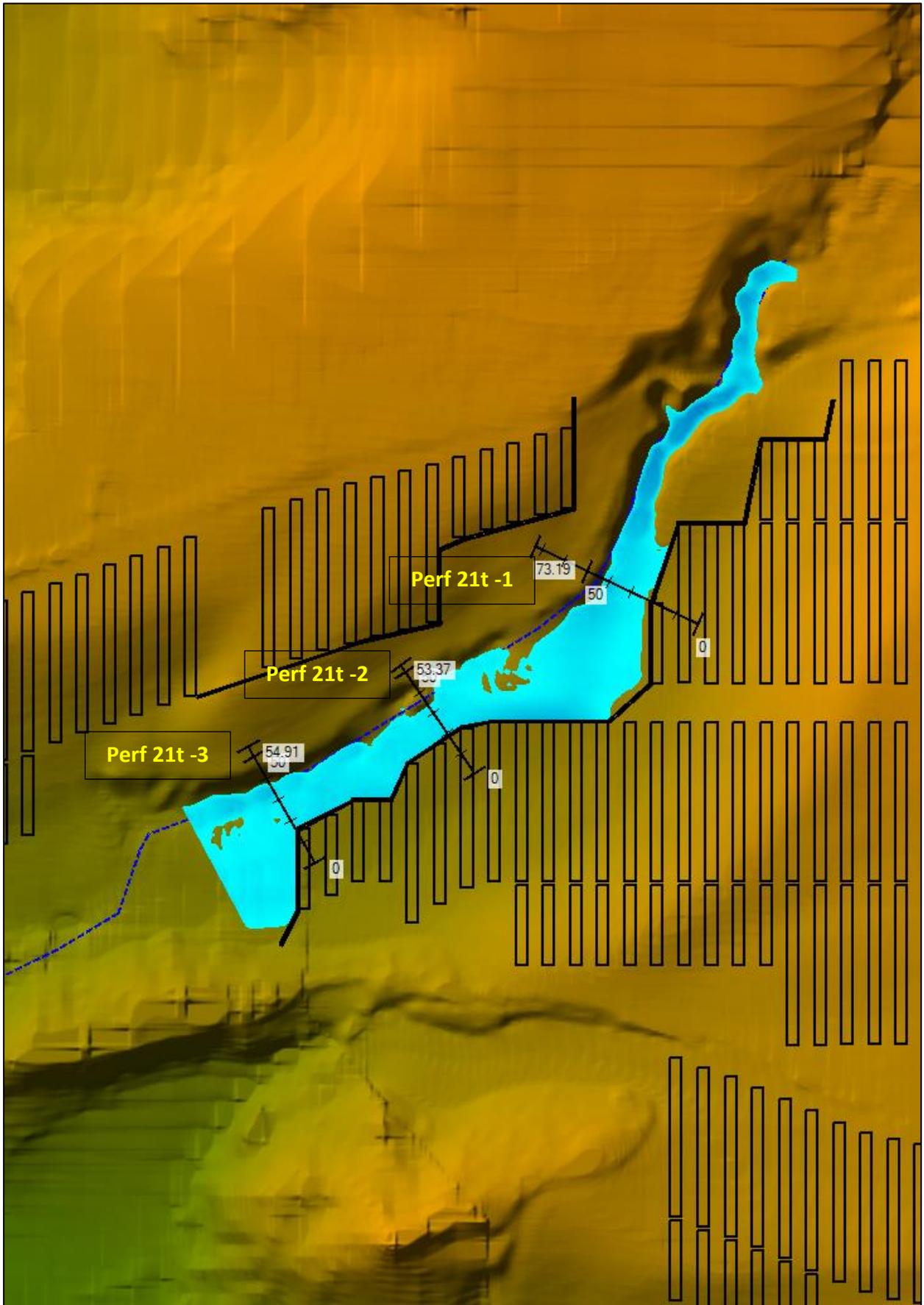
De la observación de las imágenes presentadas en el Apéndice, se extrae que se produce afección a los tramos 21,22 y 23 y 26 en la avenida de 100 años.

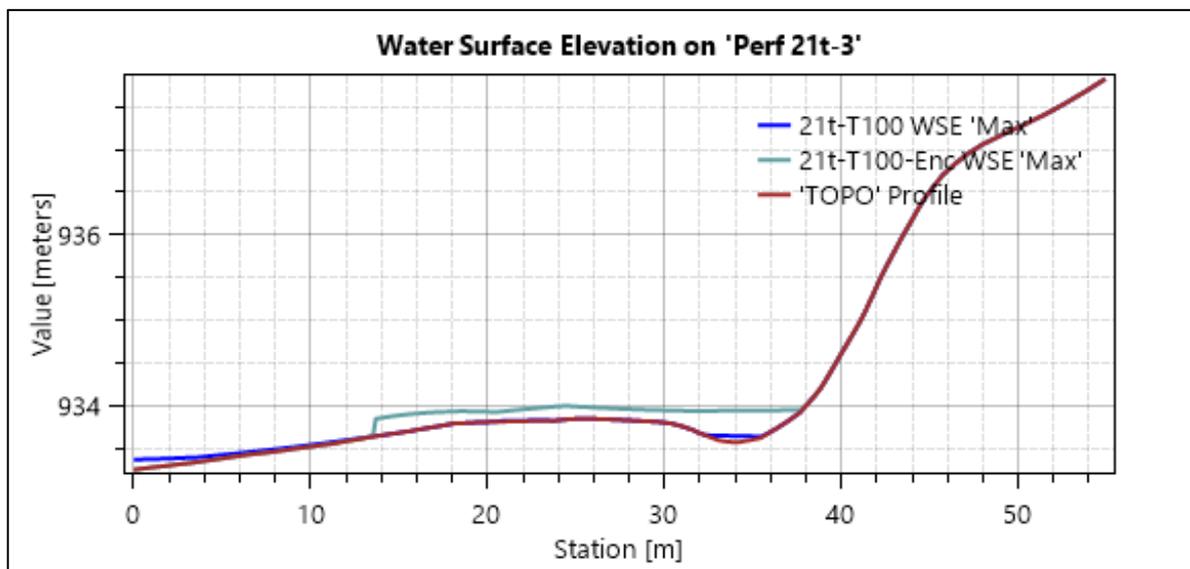
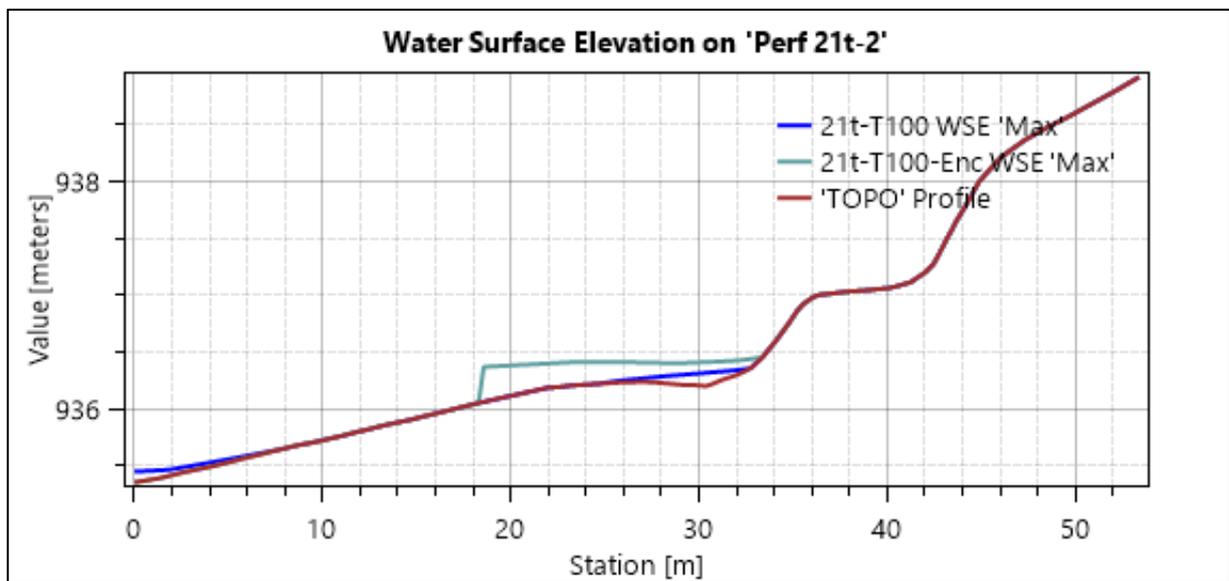
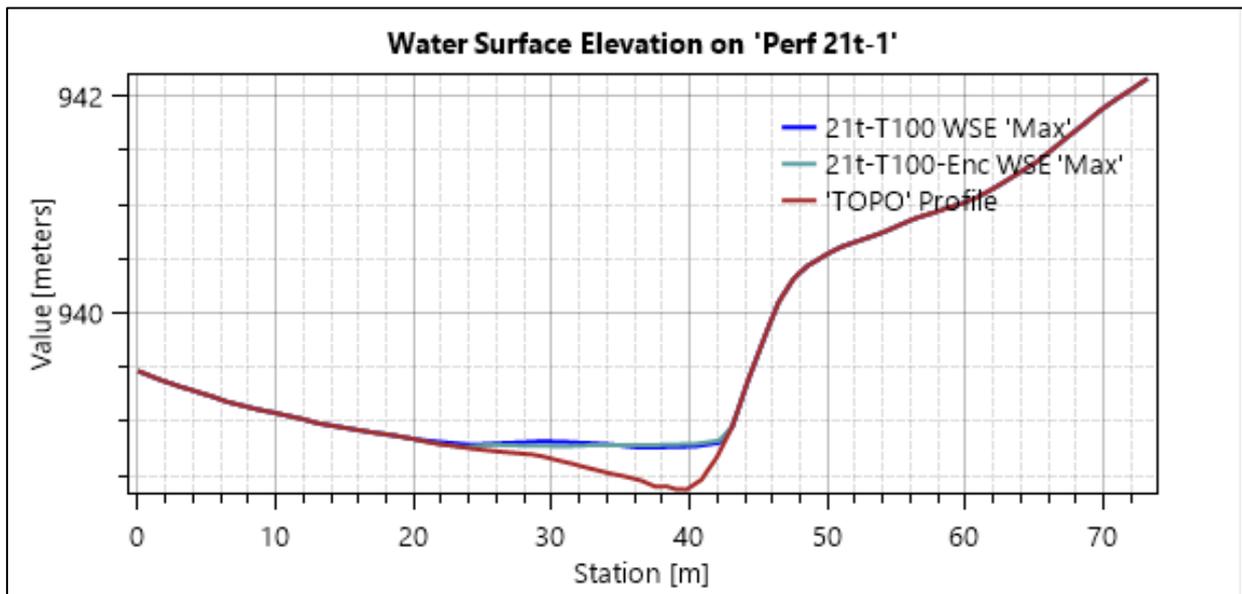
Se procede, pues, a determinar si la instalación proyectada afecta a la vía de intenso desagüe de estos tramos.

Para ello se establecen en ambos tramos una serie de límites de invasión del cauce (encroachment), definidos por el perímetro de las placas, y se realiza la simulación de estos tramos con la nueva geometría del cauce invadido.

Y mediante de una serie de perfiles transversales a los cauces, con indicación de la superficie del agua en la situación de terreno natural y tras el encroachment, se analiza la diferencia de la superficie del flujo en ambas situaciones

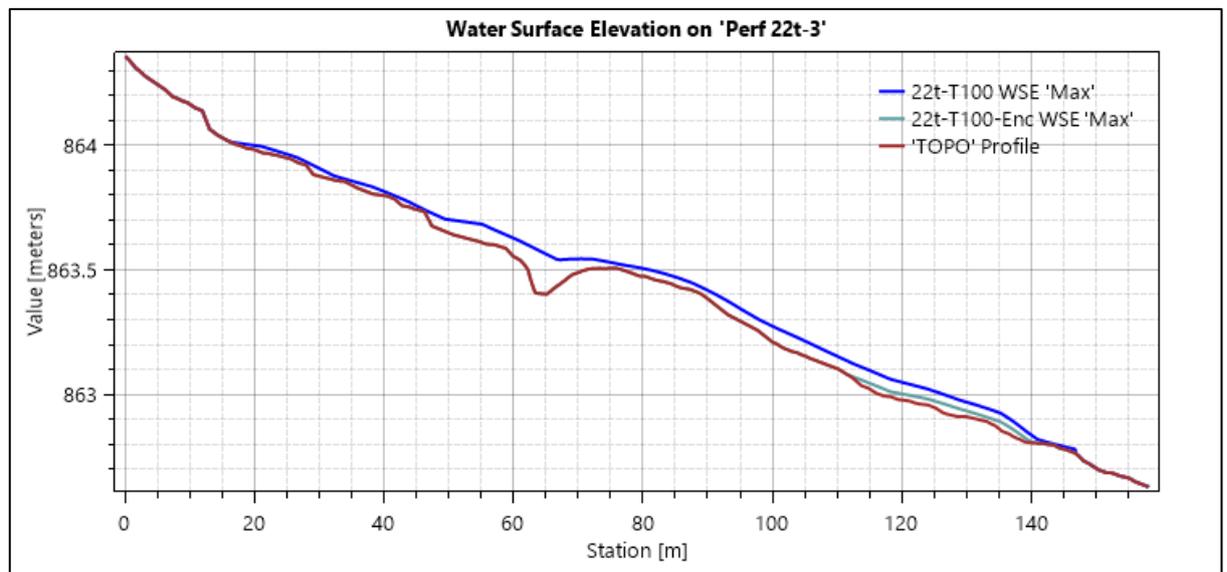
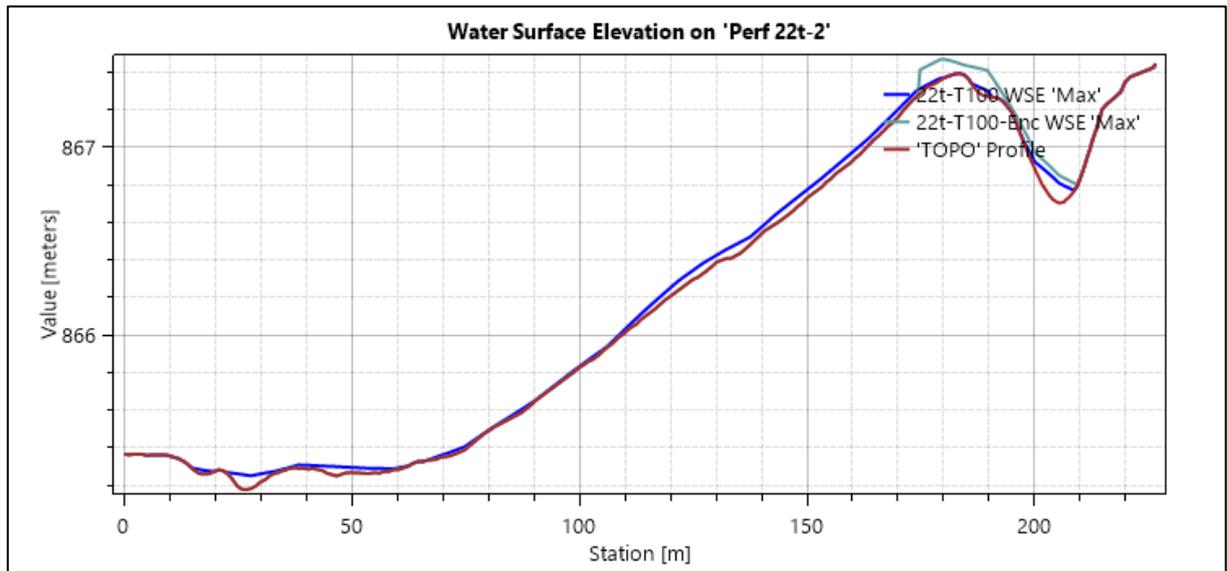
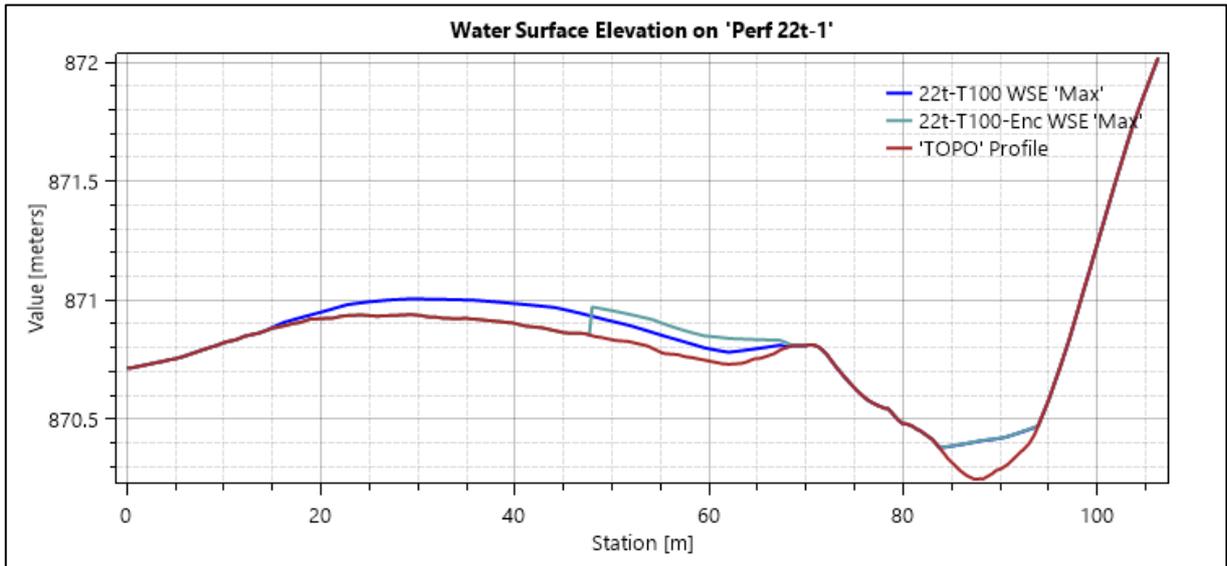
Tramo 21



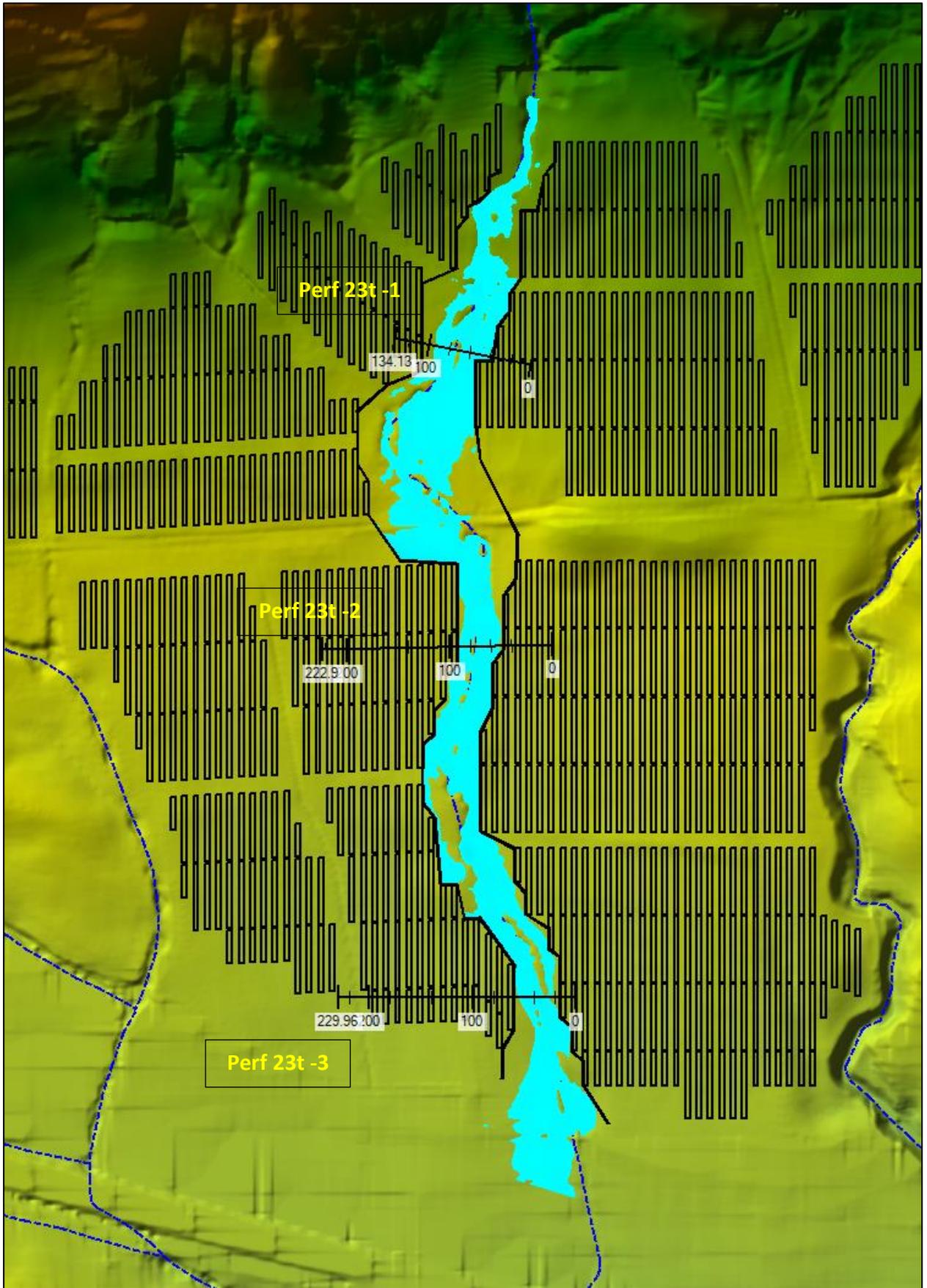


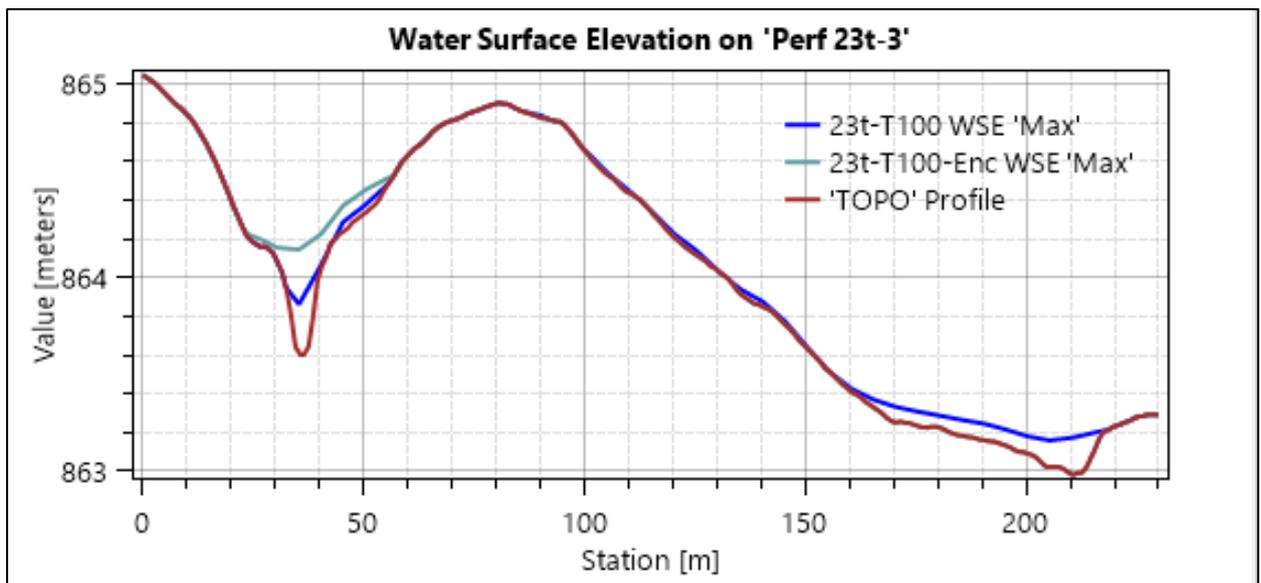
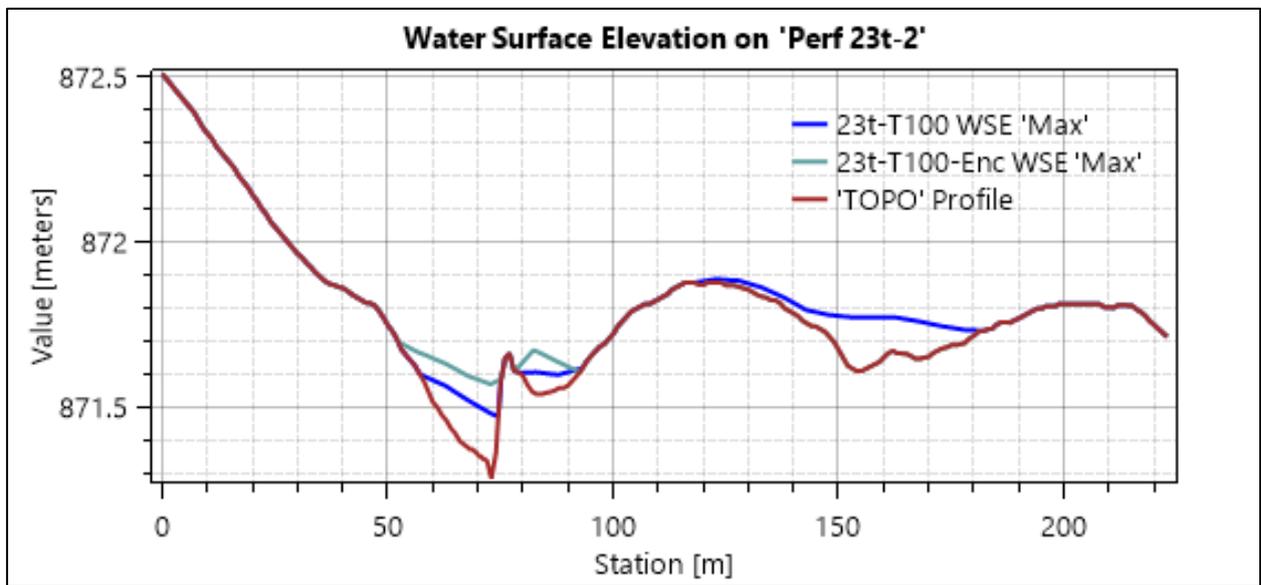
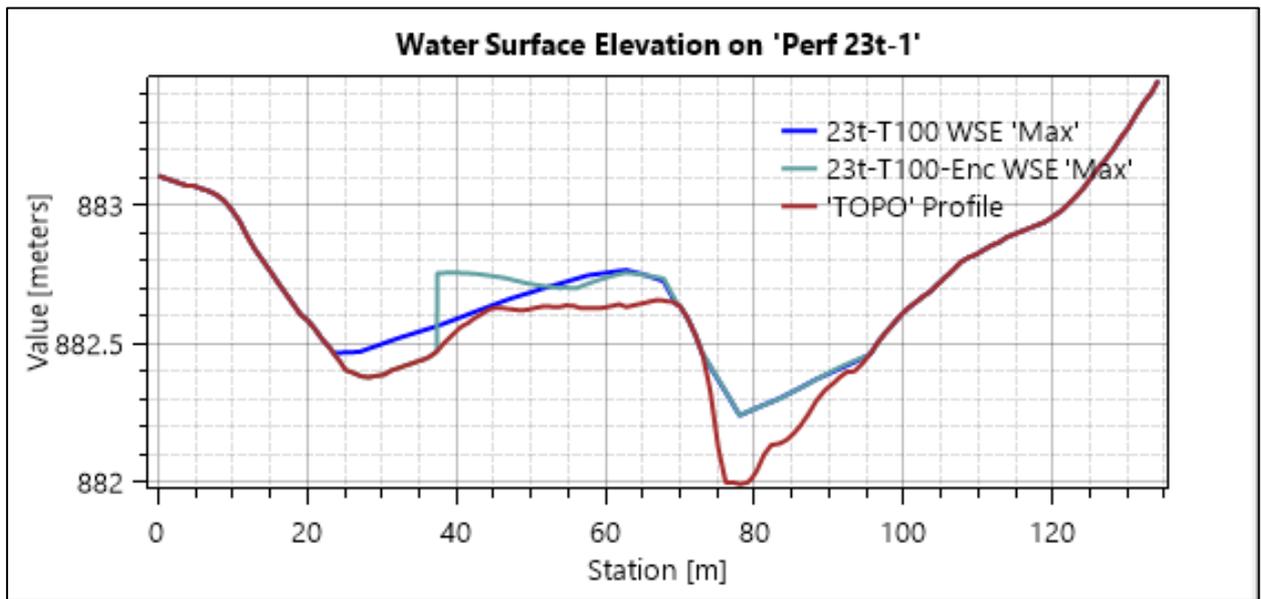
Tramo 22





Tramo 23





2.6.2 – ZONAS DE GRAVE RIESGO

A efectos de la delimitación de la zona de flujo preferente se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

- a) Que el calado sea superior a 1 m.
- b) Que la velocidad sea superior a 1 m/s.
- c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s.

Para determinar la ZFP de los tramos analizados, en el Apéndice “AFEECIONES AL D.P.H se presentan las imágenes ráster del flujo para la avenida de 100 años en las que superpone la planta proyectada con los modelos de calado, velocidad y producto de calado por velocidad, categorizados según los umbrales que definen los límites.

3 – RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se realiza el ESTUDIO HIDROLÓGICO de los tramos de cauce público afectados por la instalación de la planta fotovoltaica Sierras Planas II, en la provincia de Huesca.

La zona de estudio se sitúa en el margen norte de la carretera N-300, entre las localidades de Jaca y Sabiñánigo, y es atravesada en sentido norte-sur por un cierto número de barrancos tributarios del río Gállego.

Se estudian un total de 5 tramos de cauce, realizándose el cálculo del caudal máximo para los periodos de retorno de 5, 100 y 500 años por métodos hidrometeorológicos, para lo que se emplea el Método Racional según el procedimiento descrito en la Instrucción de Carreteras, Norma 5.2-IC.

El ESTUDIO HIDRÁULICO subsiguiente consiste en el análisis de la escorrentía para los periodos de retorno indicados, desarrollados con el programa HEC-RAS 6.0 Beta a partir de los máximos caudales calculados y resto de condiciones de contorno que se describen en los epígrafes correspondientes.

Como resultado del estudio se extrae la siguiente afección a los tramos estudiados:

- Tramos 21, 22 y 23

En los tres tramos de afección, la instalación de placas se proyecta en el interior de la llanura de inundación de la avenida de 100 años, resultando que, además, en el caso de los tramos 21 y 23, se detectan zonas en las que la velocidad del flujo es superior a 1,0 m/s

En todos los casos, esta situación se produce exteriormente al trazado del cauce, por desbordamiento y con importante dispersión del caudal

En los tres casos, la implantación de placas proyectada es exterior a las respectivas vías de intenso desagüe.

- Tramo 24

La instalación se proyecta exterior a la llanura de inundación de la avenida de 100 años.

oo0oo

De lo expuesto se concluye que no existe afección al Dominio Público Hidráulico.

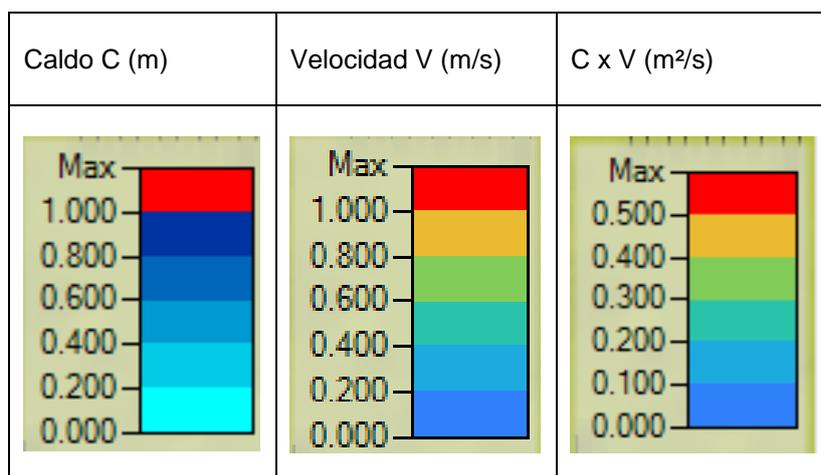
APÉNDICE
AFECCIONES AL D.P.H.

Apéndice – Afecciones al D.P.H.

Se representan a continuación los hidrogramas de entrada aplicados como condiciones de contorno de los tramos analizados con los respectivos caudales de avenida.

Asimismo, los resultados de las simulaciones realizadas, consistentes en imágenes ráster de calado, velocidad y producto de calado por velocidad, de cada una para el periodo de retorno de 100 años.

La simbología empleada es:

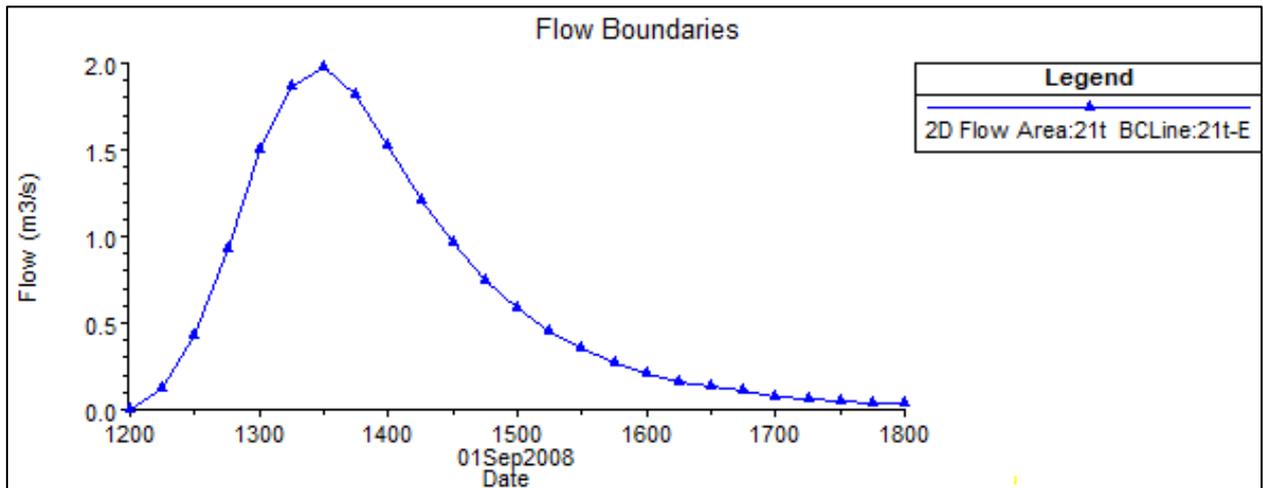


En el ráster de calado, además, se realiza la representación de las llanuras de inundación con el siguiente código de colores en los límites;

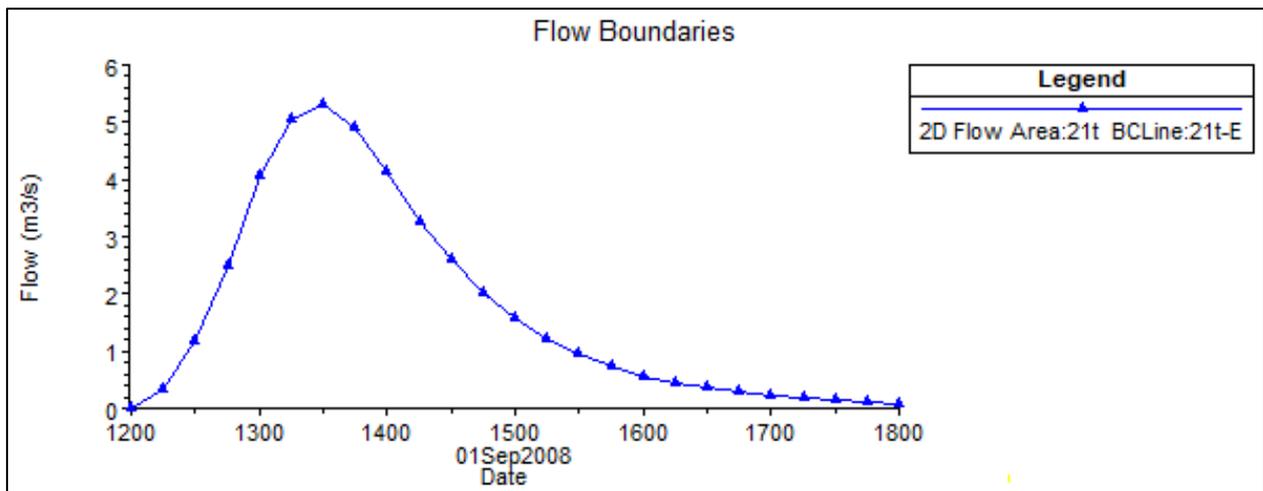
- Verde – T = 5 años
- Azul – T = 100 años
- Rojo – T = 500 años

Tramo 21

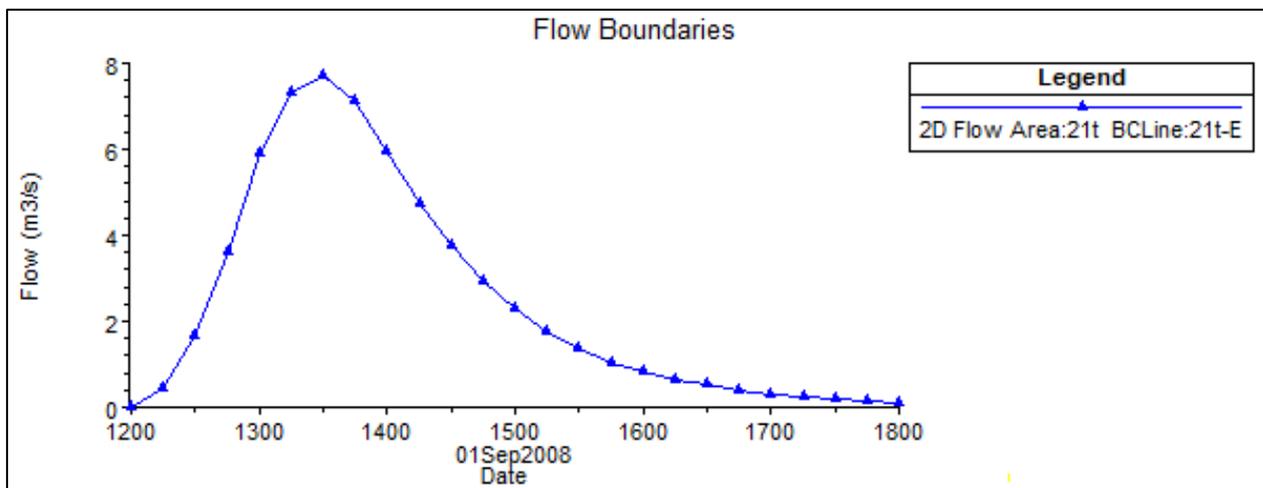
T = 5 años



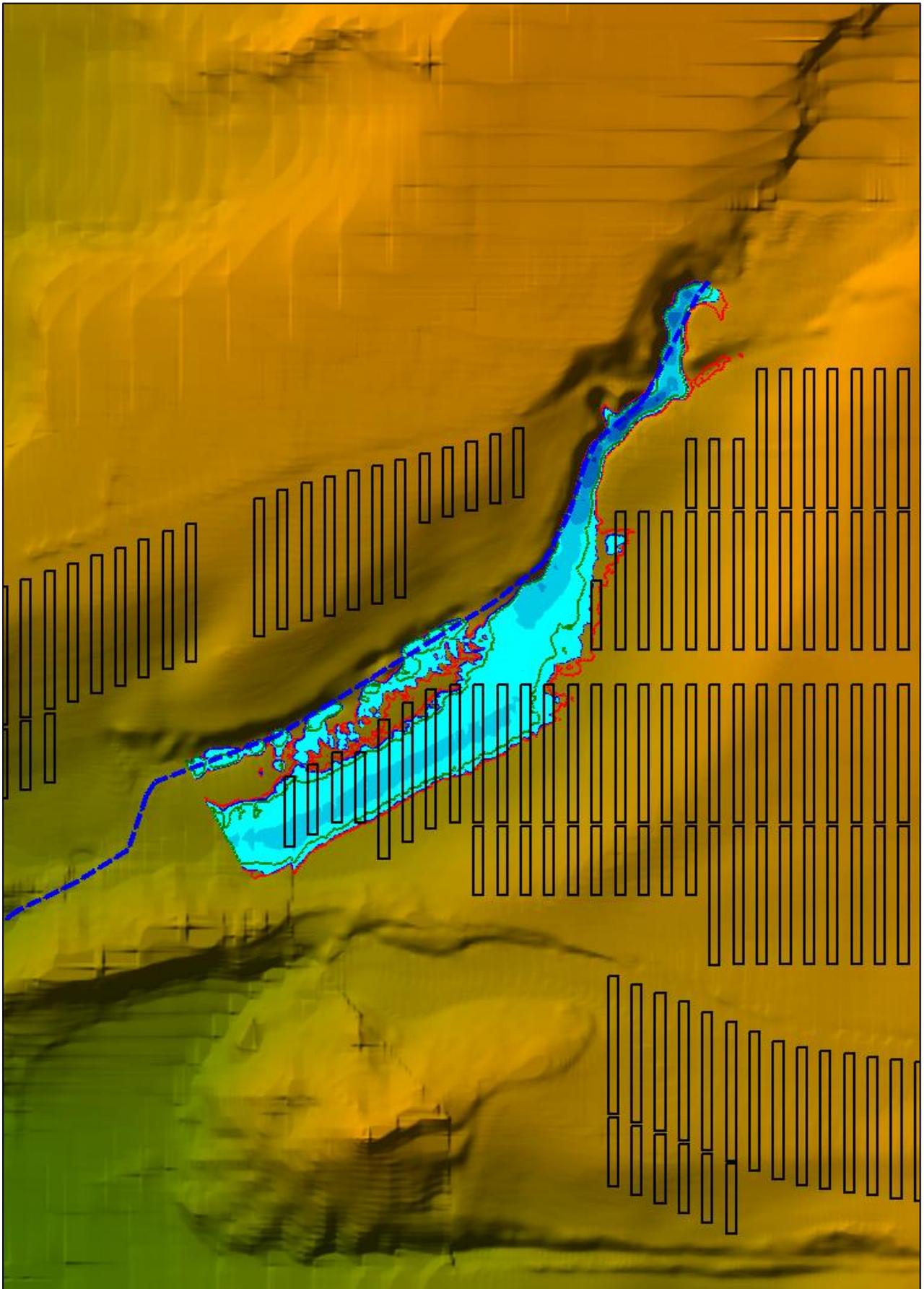
T = 100 años



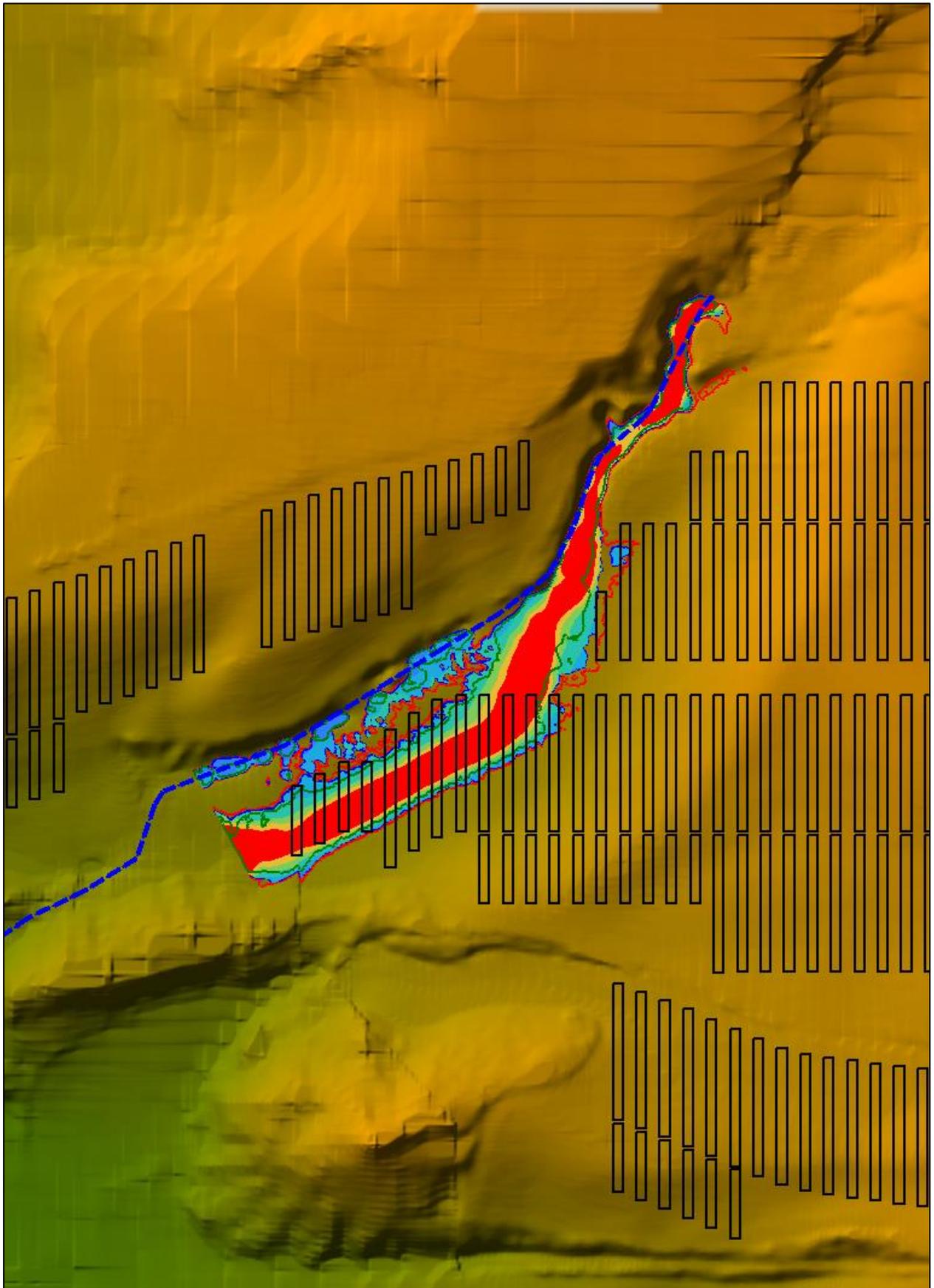
T = 500 años



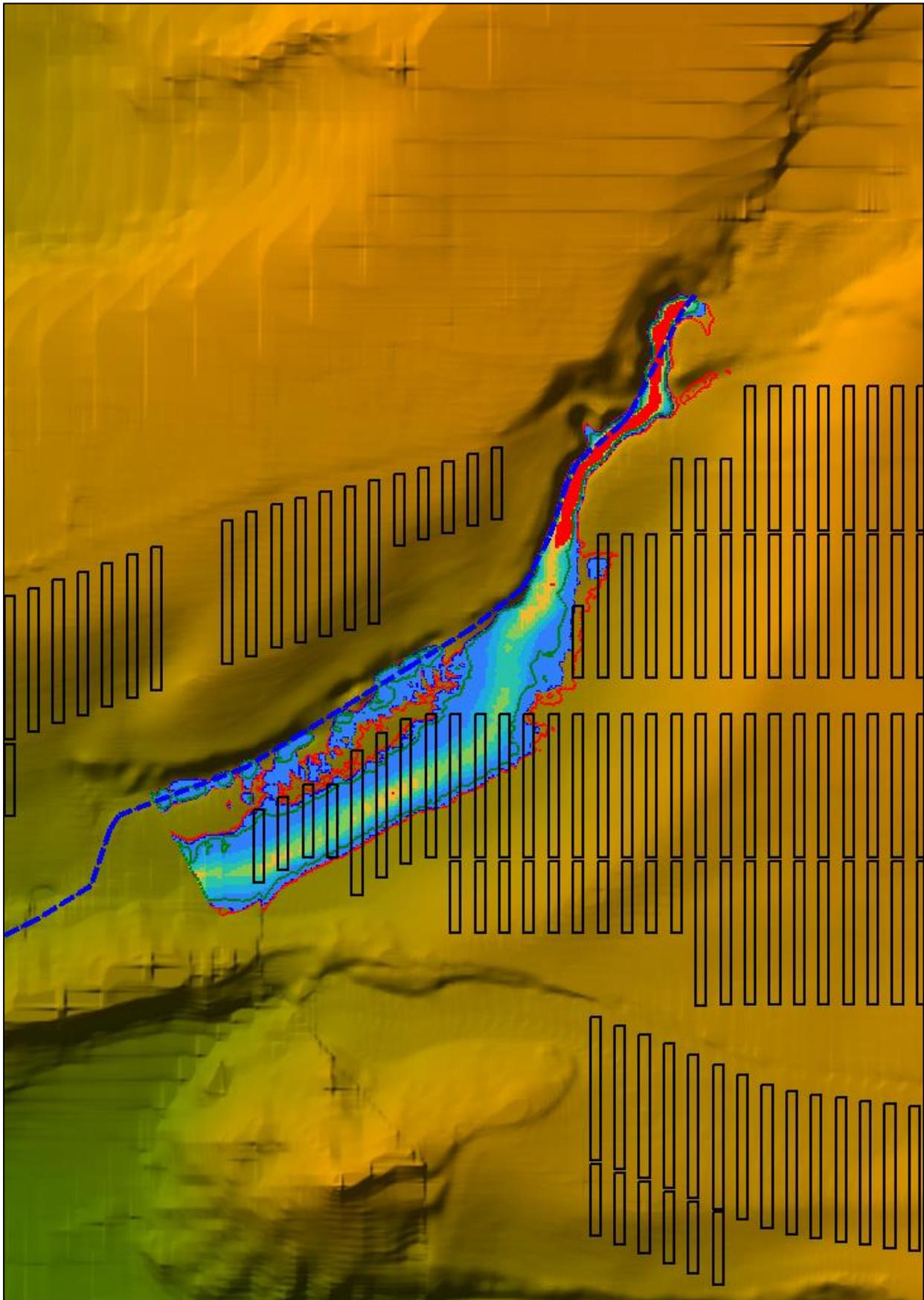
21 - CALADO (m)



21 - VELOCIDAD (m/s)

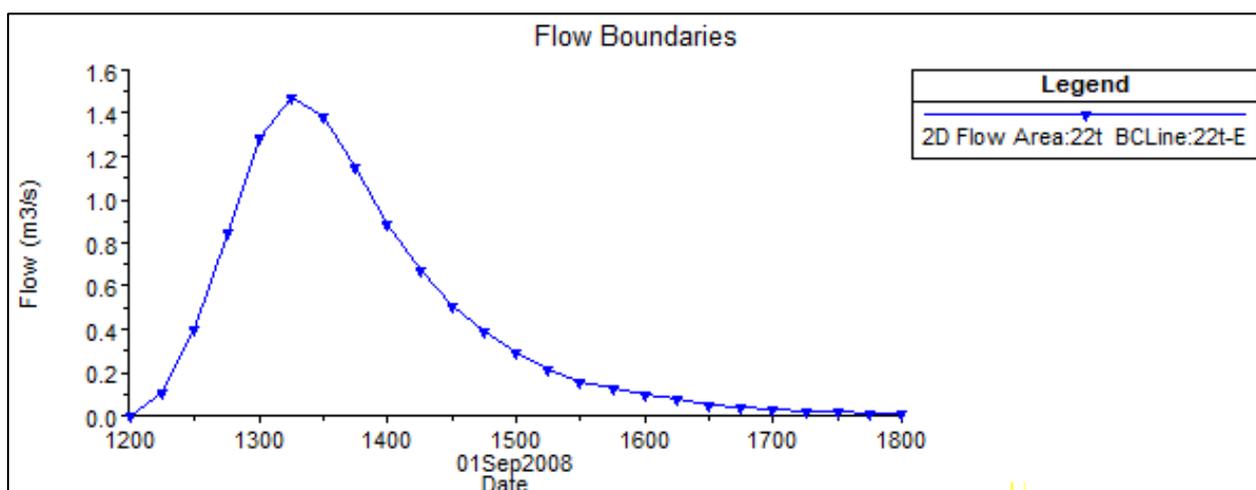


21 - CALADO x VELOCIDAD (m²/s)

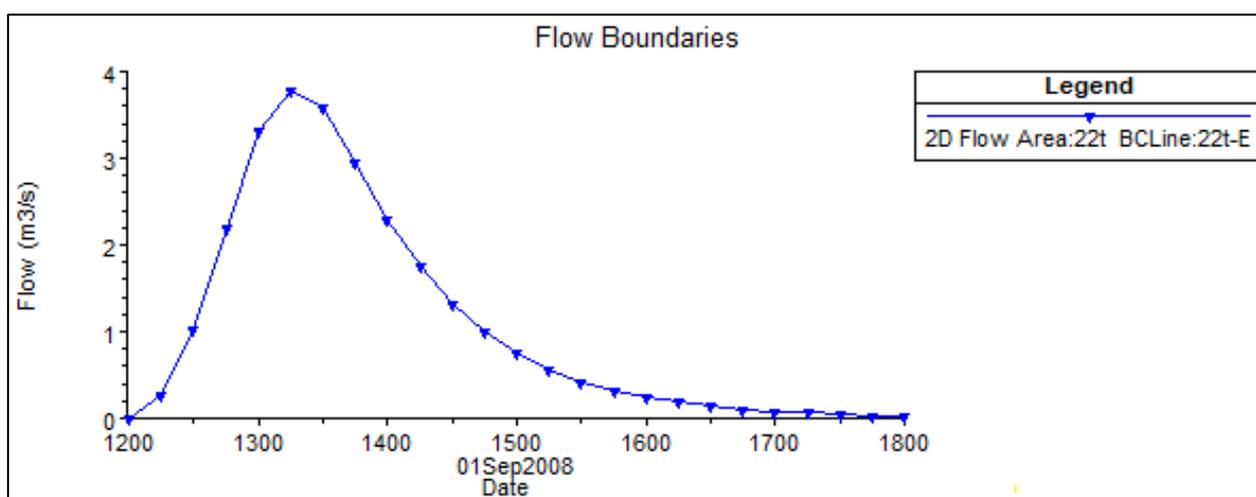


Tramo 22

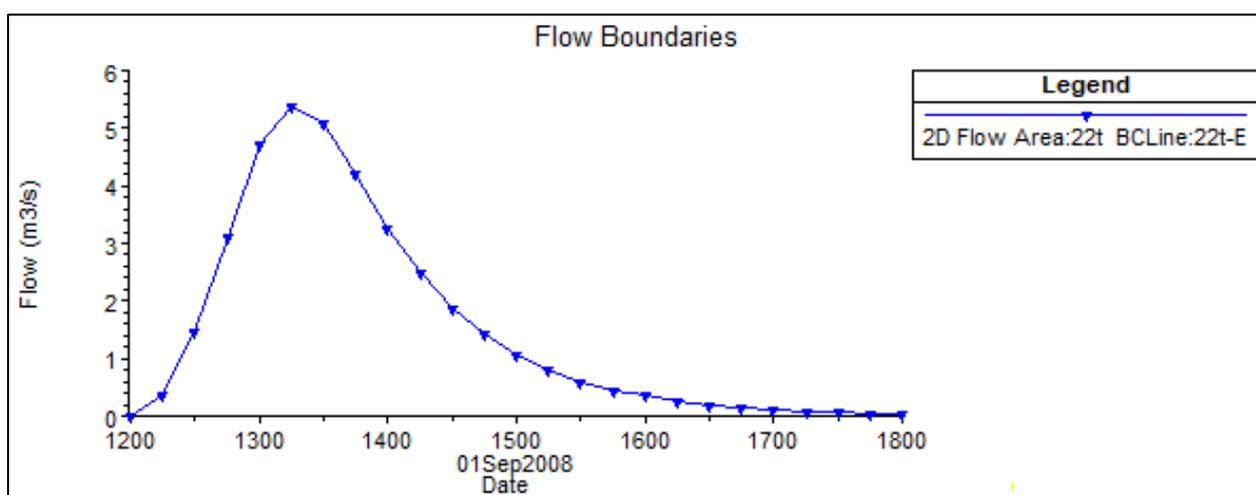
T = 5 años



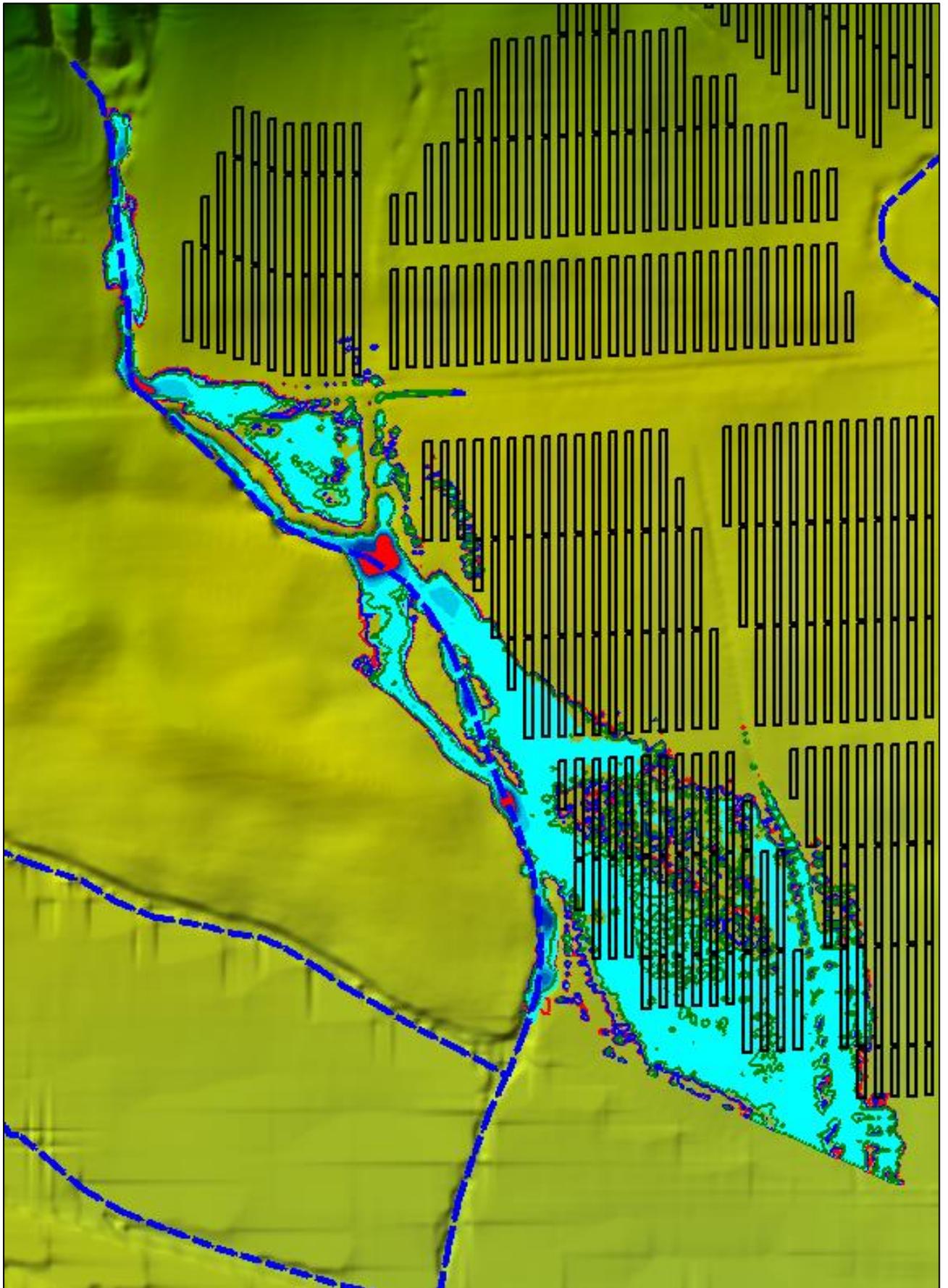
T = 100 años



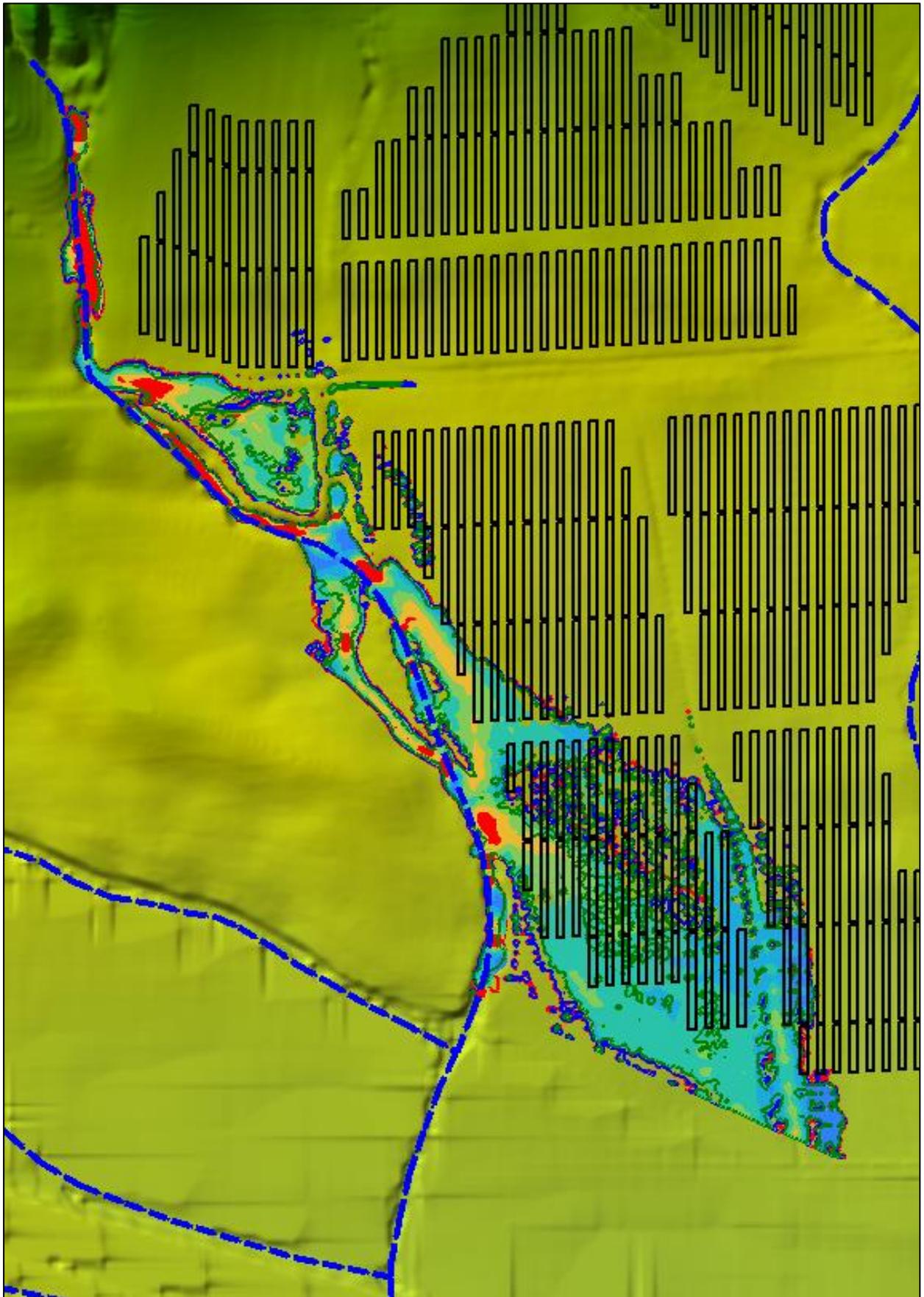
T = 500 años



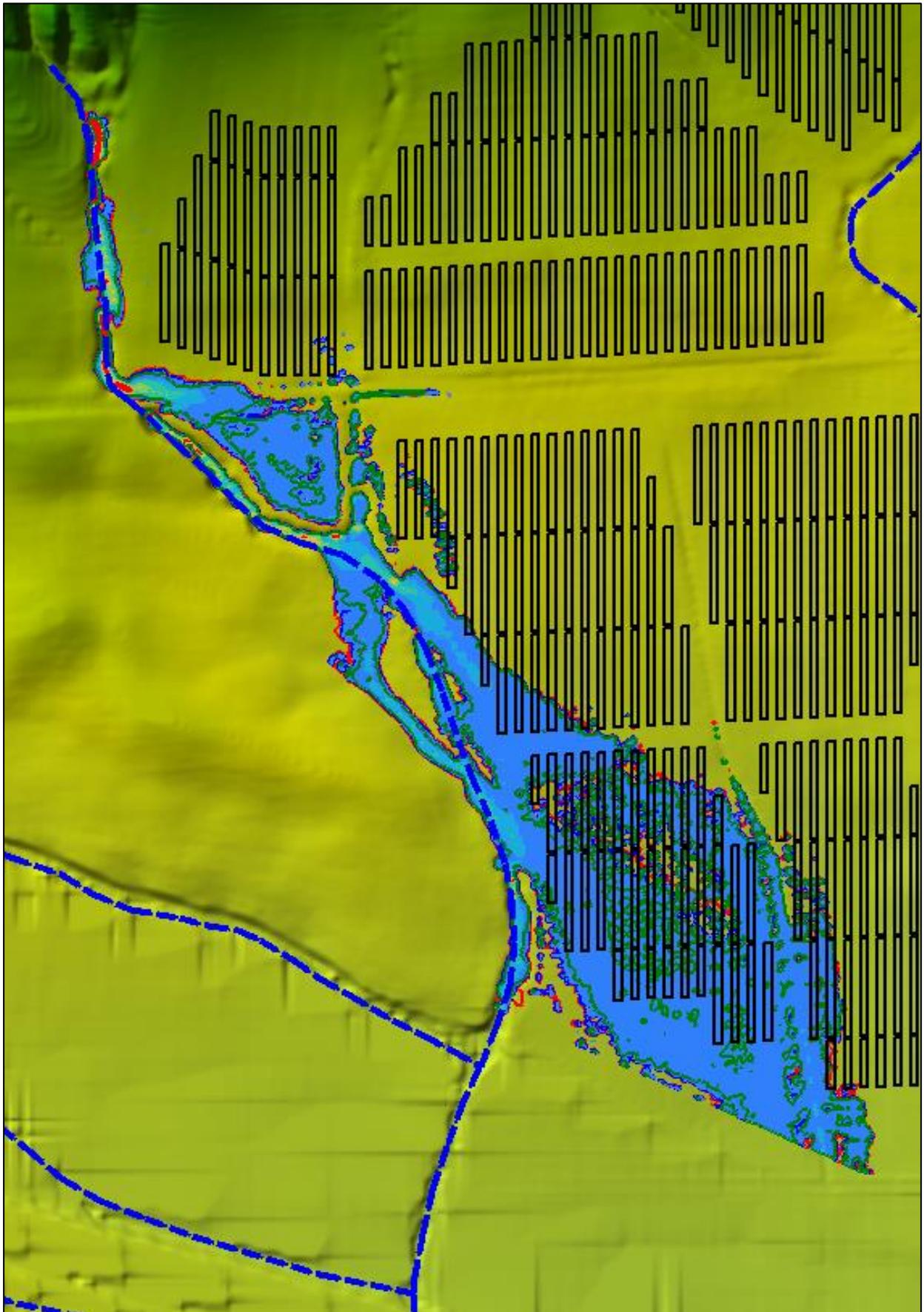
22 - CALADO (m)



22 - VELOCIDAD (m/s)

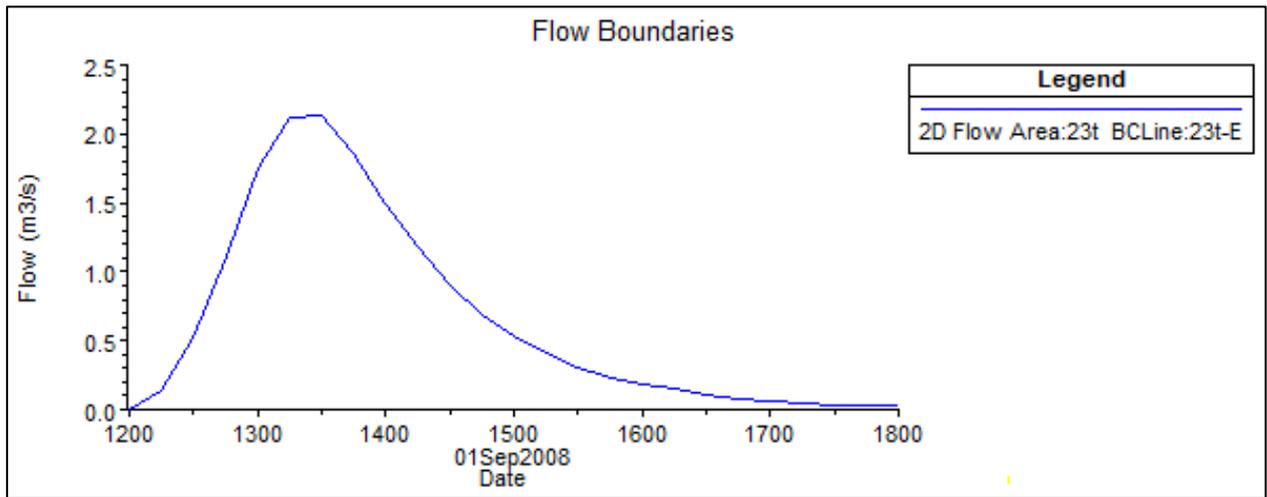


22 - CALADO x VELOCIDAD (m²/s)

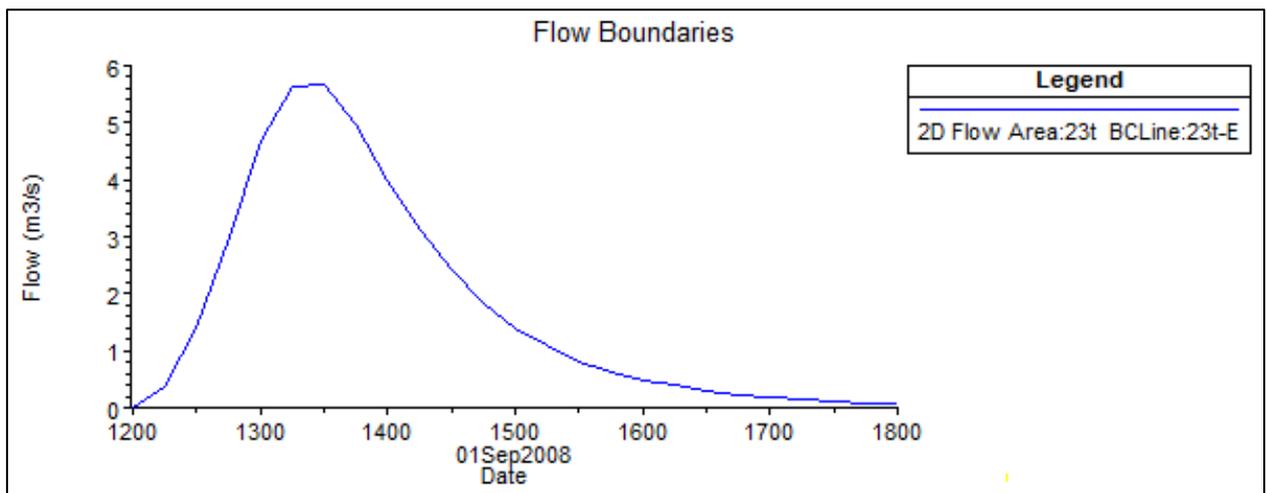


Tramo 23

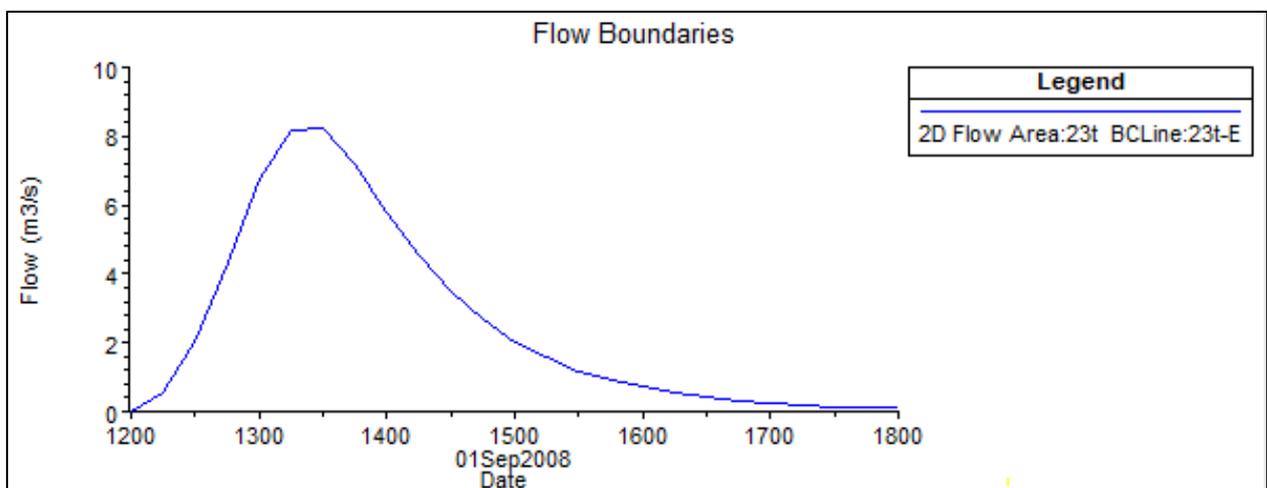
T = 5 años



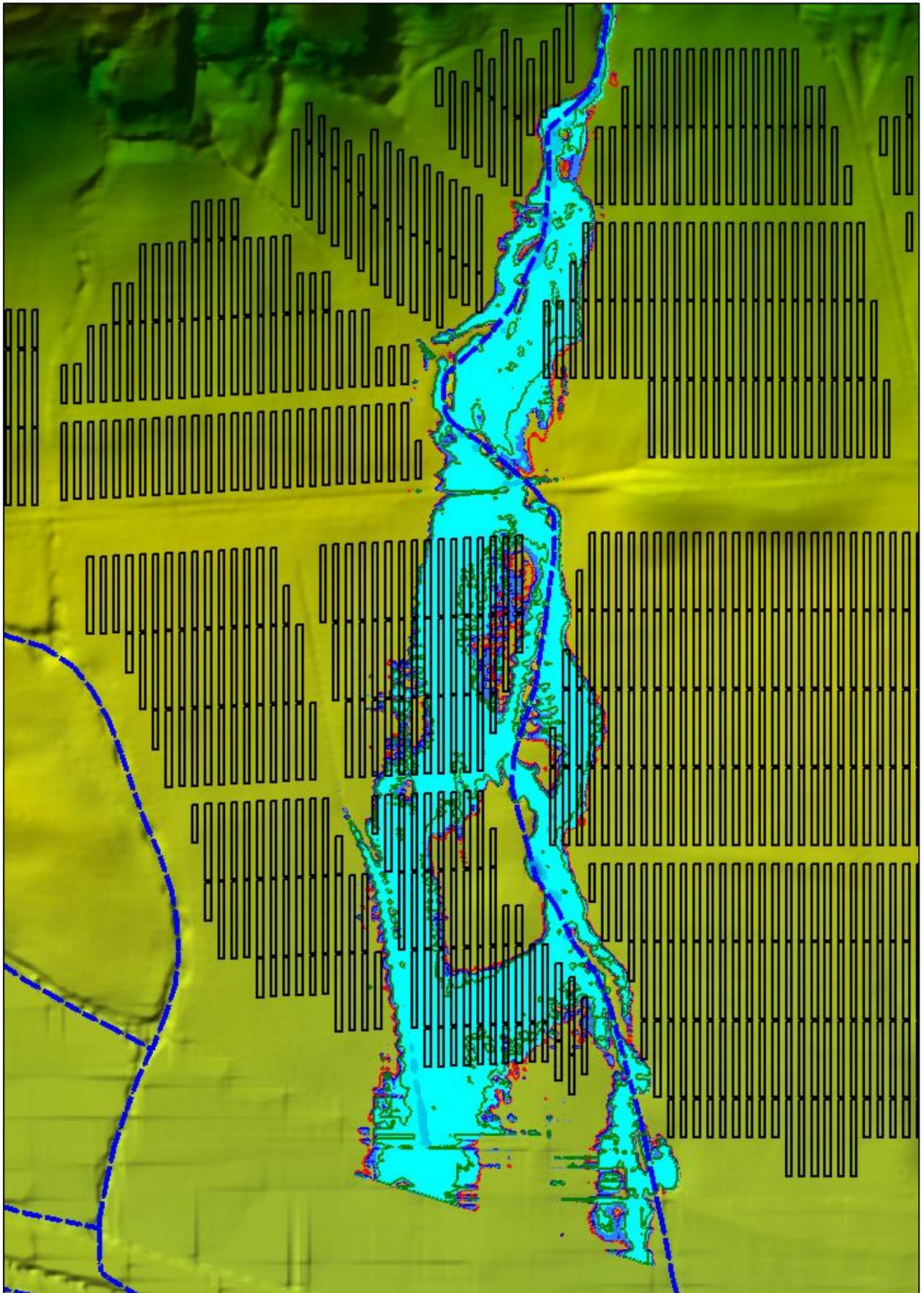
T = 100 años



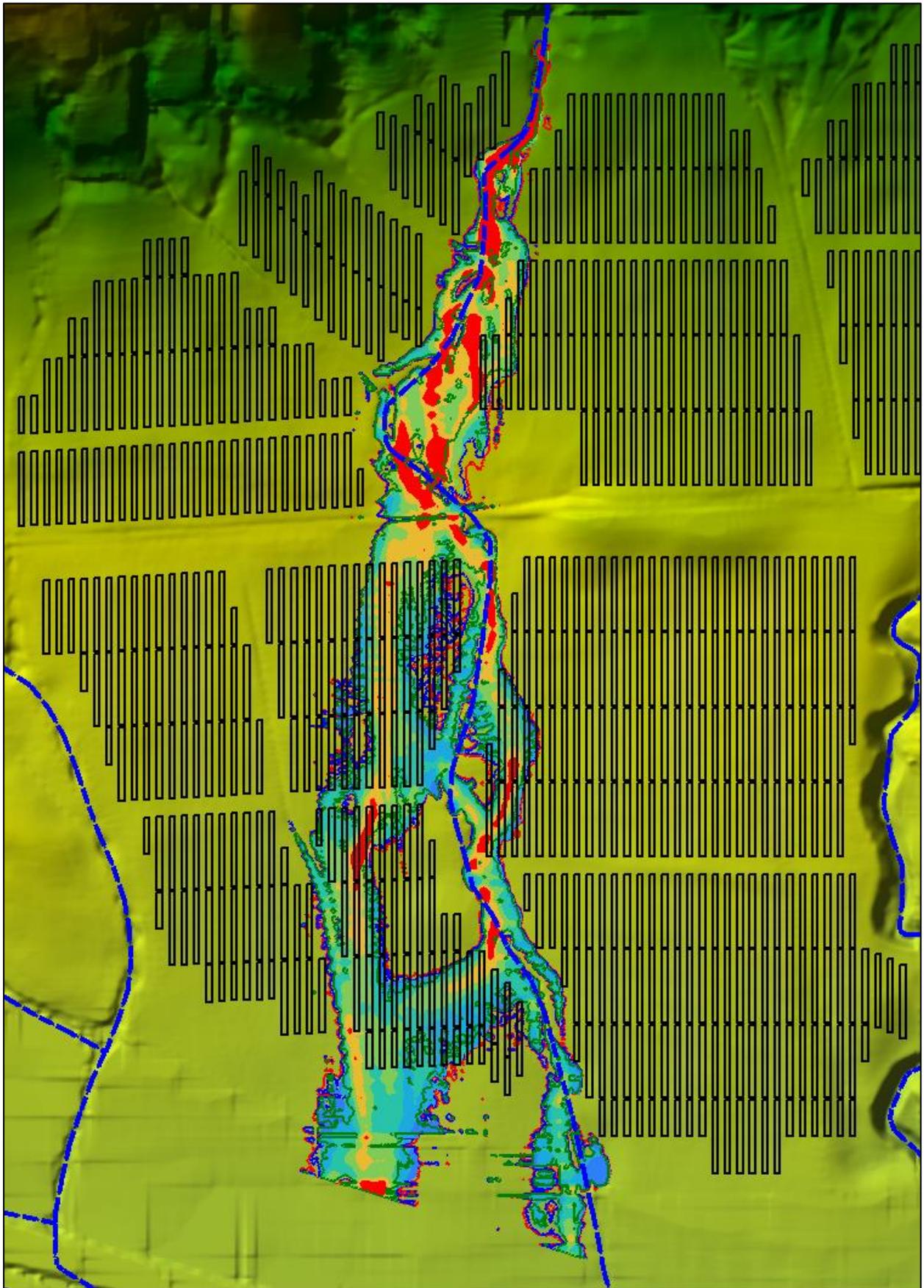
T = 500 años



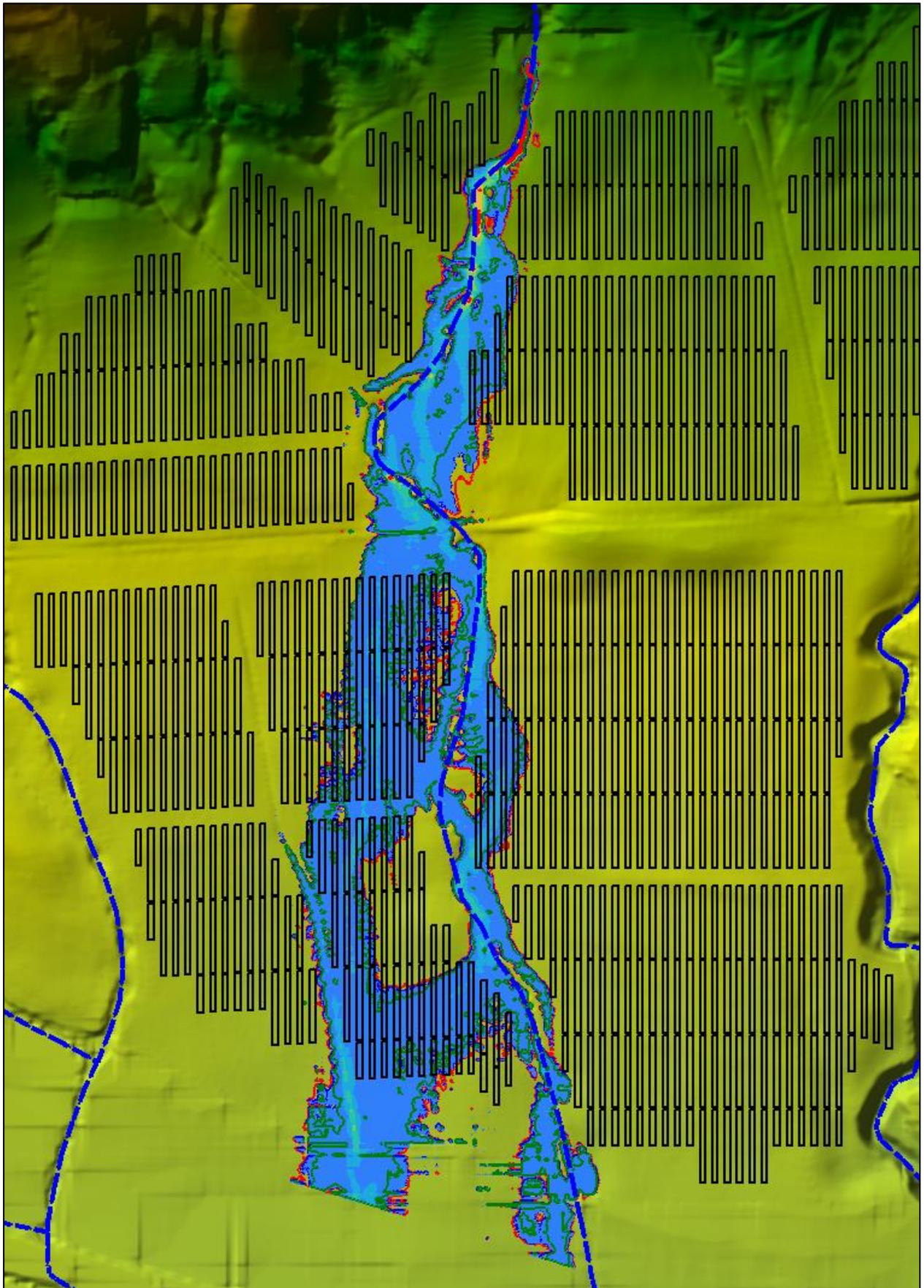
23 - CALADO (m)



23 - VELOCIDAD (m/s)

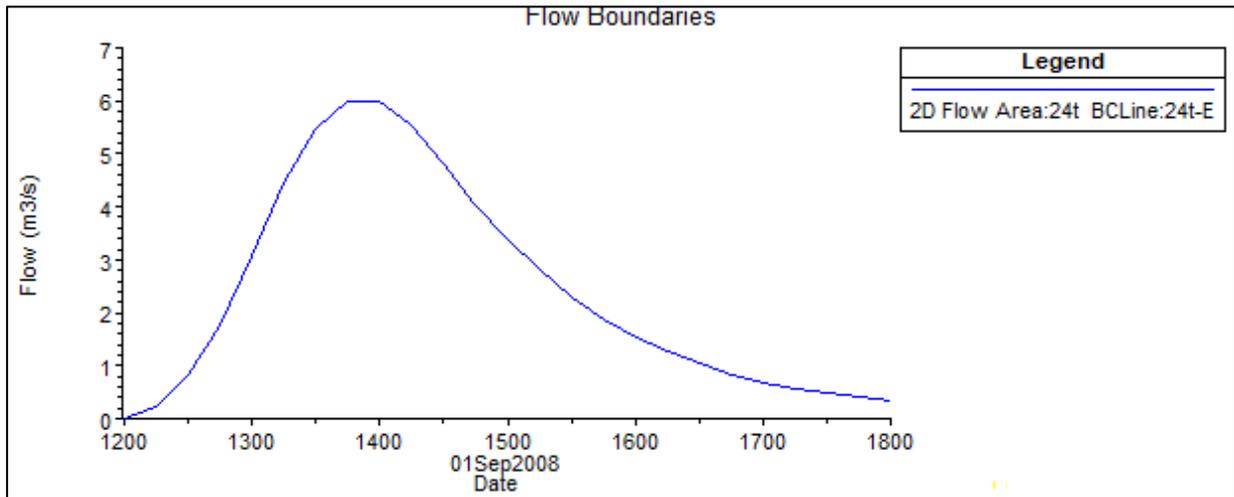


23 - CALADO x VELOCIDAD (m²/s)

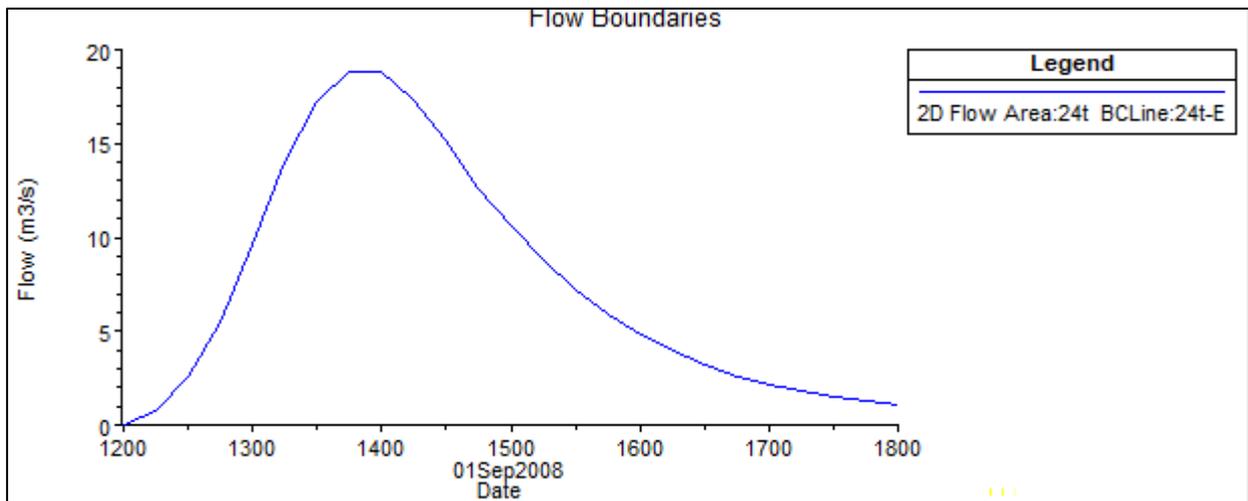


Tramo 24

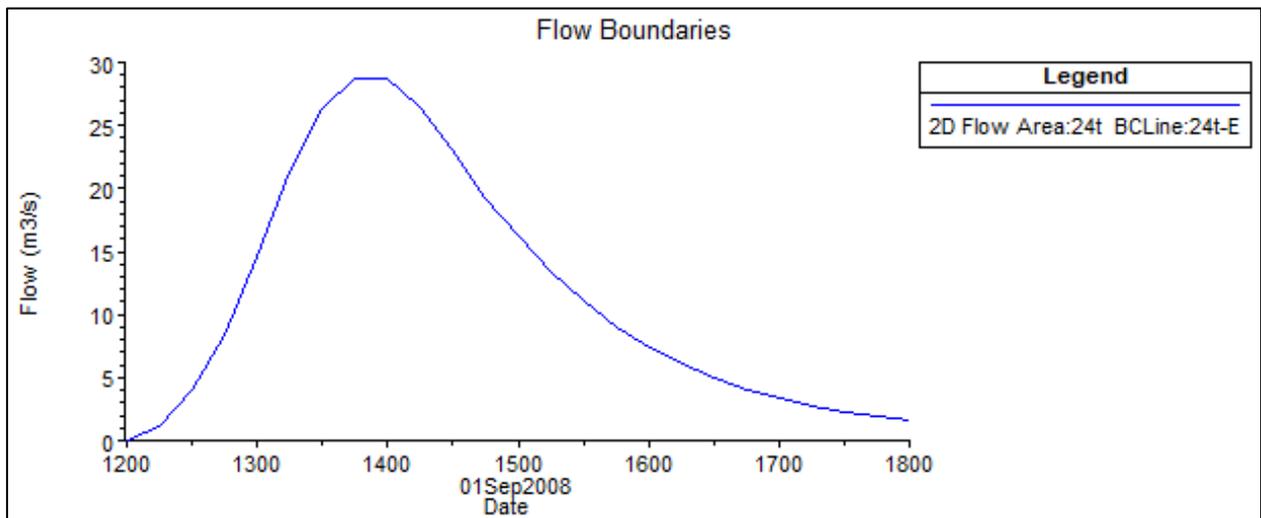
T = 5 años

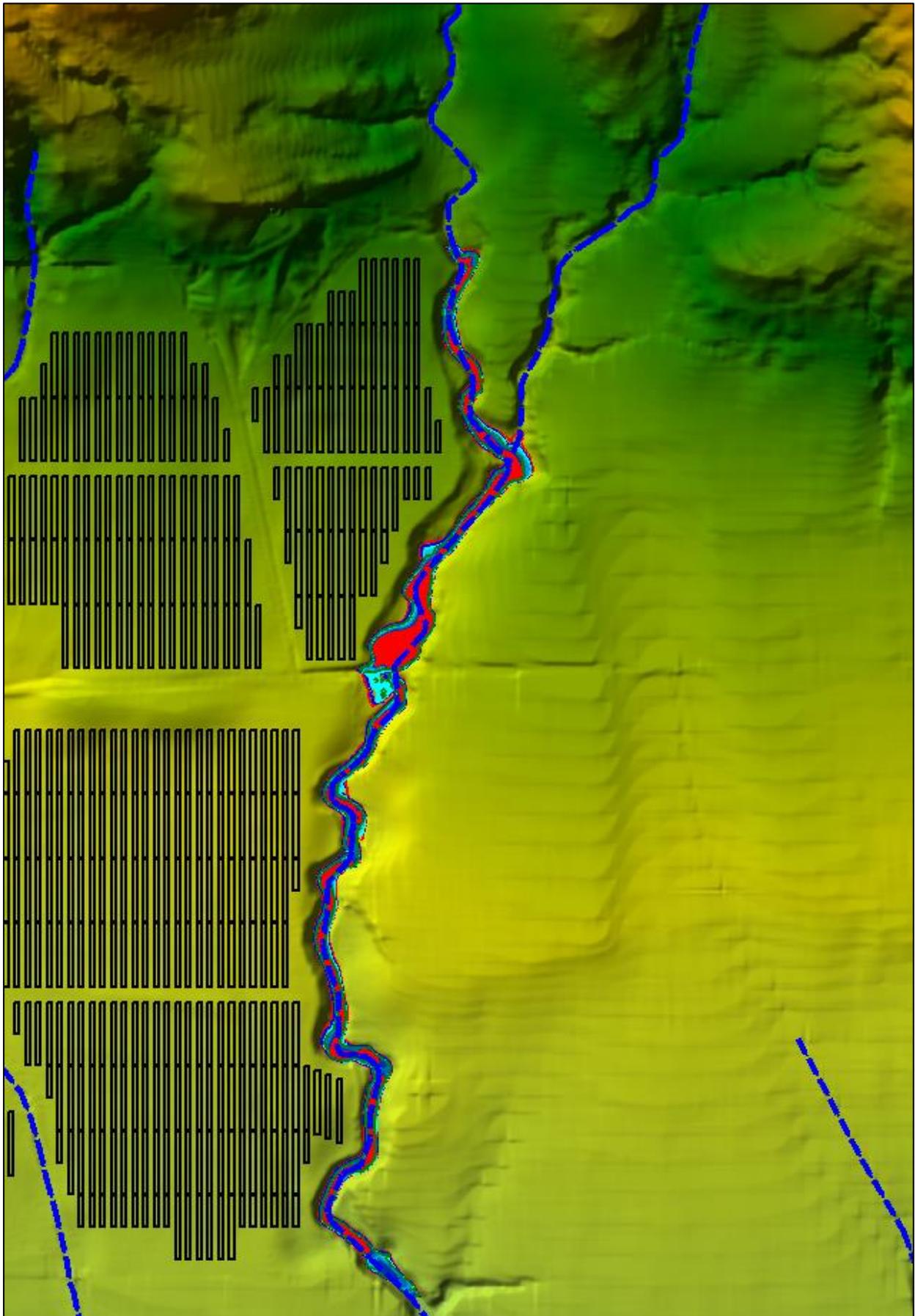


T = 100 años

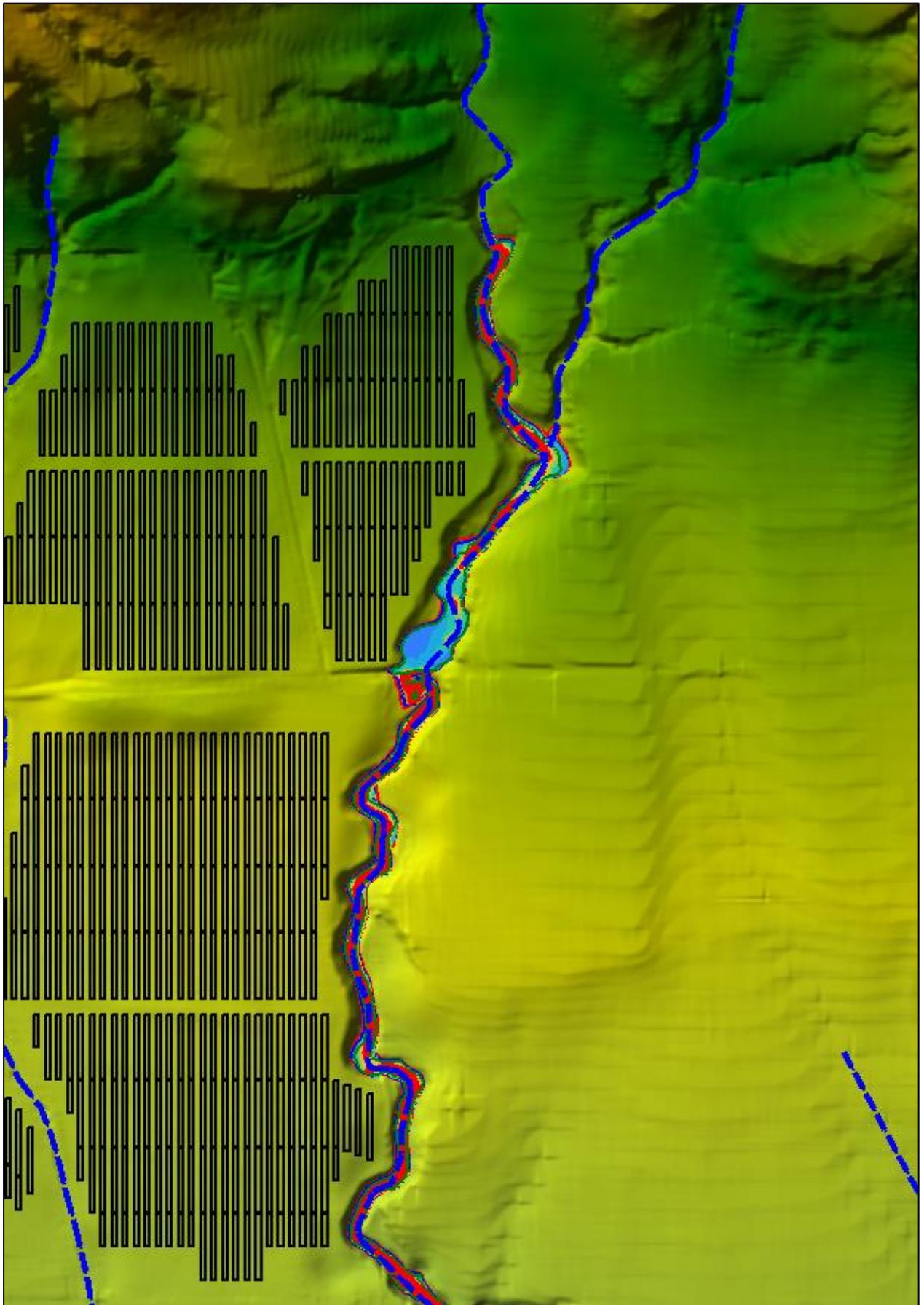


T = 500 años





24 - VELOCIDAD (m/s)



24 - CALADO x VELOCIDAD (m²/s)

