

ANEJO Nº 2: ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LA ACEQUIA SANTA MARINA

TITULO I	OBJETIVO	2
TITULO II	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DE APORTACIÓN.....	2
TITULO III	ESTUDIO HIDROLÓGICO. SITUACIÓN ACTUAL	4
III.1	CÁLCULO DE CAUDALES.....	4
TITULO IV	ESTUDIO HIDRÁULICO	12
IV.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO. SITUACIÓN ACTUAL.....	12
IV.2	CRECIDA PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS. SITUACIÓN ACTUAL.....	13
TITULO V	CONCLUSIONES	15

APENDICE 1: CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE AVENIDA

APÉNDICE 2: SALIDAS DEL PROGRAMA HEC-RAS. TABLAS Y SECCIONES

ANEJO Nº 2: ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LA ACEQUIA SANTA MARINA

TITULO I OBJETIVO

Según la información remitida por la Confederación Hidrográfica del Duero, ninguno de los dos sectores se encuentra dentro de la zona de policía de ningunos de los cauces de la zona.

No obstante, debido a la ubicación limítrofe de la Acequia Santa Marina con respecto al Sector S-11, se tendrá en consideración la superficie inundada para un período de retorno de 100 años de este arroyo, de modo que se puedan definir las bandas de protección perimetrales, o la elevación de las parcelas y los viarios para proteger las edificaciones de las posibles inundaciones.

TITULO II DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DE APORTACIÓN

La cuenca de recogida dla acequia Santa Marina en Benavente se encuentra fraccionada en varias subcuencas menores que van vertiendo en los diferentes desagües del Canal del Esla.

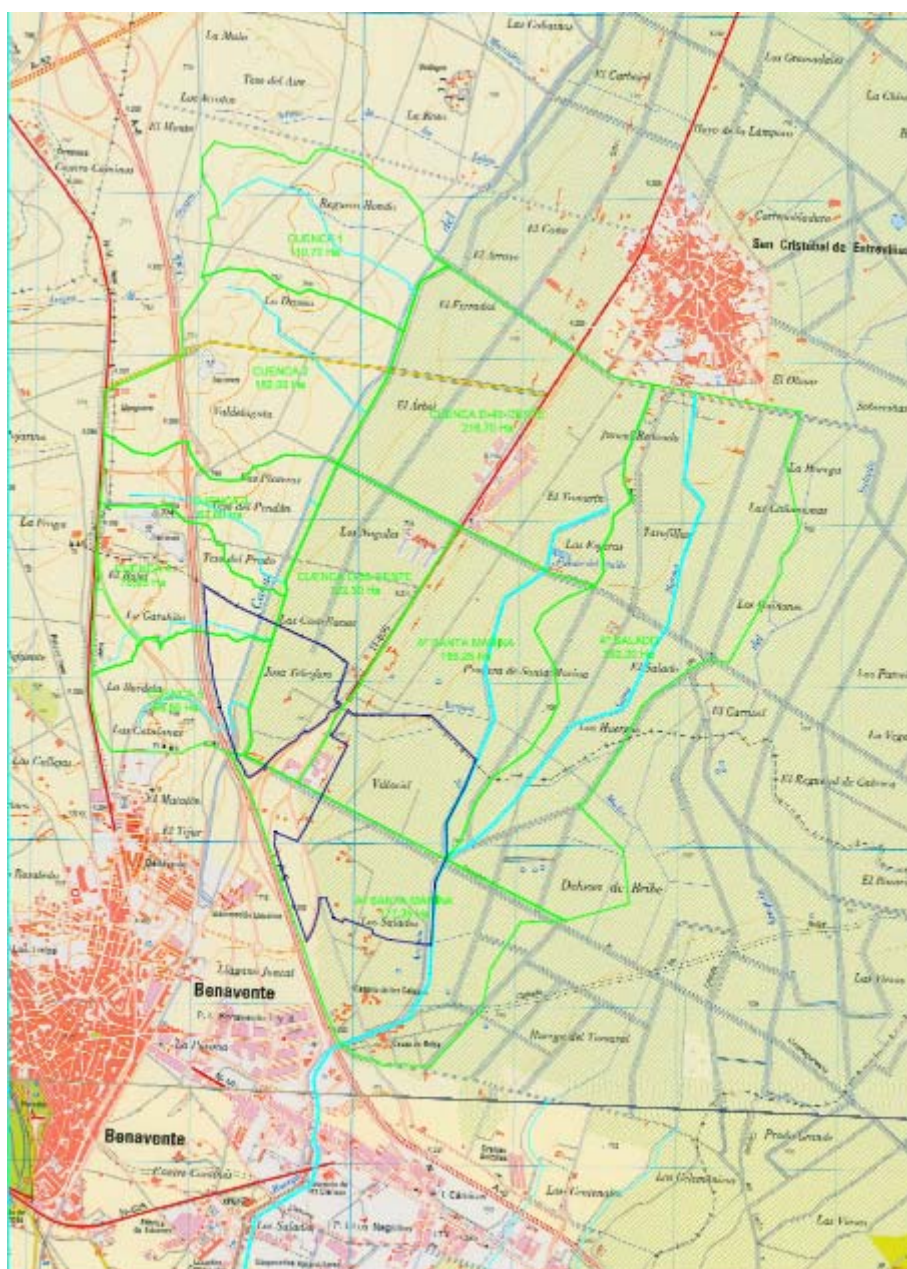
Predominan en la cuenca de recogida los cultivos de regadío, excepto en la zona oeste, próxima a la Autovía, en la que existen zonas de pasto o cultivos de secano.

En el plano de cultivos adjunto, la zona de regadío corresponde con la zona marcada en color verde, mientras que la zona de secano se identifica con color marrón.

En las inmediaciones de inferior de la Acequia Santa Marina bajo el camino de Castrogonzalo y del Desagüe D-53, y previamente a éste paso inferior, la acequia Santa Marina recibe el caudal del arroyo Salado.

La longitud del Arroyo Salado desde su nacimiento, delimitado por el Desagüe D-47, al sur de San Cristóbal de Entreviñas, hasta su desembocadura en la acequia Santa Marina es de 3.580 m, y tiene una superficie de recogida de 292,20 Ha.

La longitud total de la acequia Santa Marina, desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Esla es de unos 10.500 m, aunque el presente estudio hidrológico se centrará únicamente en el tramo comprendido entre el nacimiento y el paso del río bajo la Autovía A-6, con una longitud total de unos 4.100 m y una superficie total de recogida de 841,90 Ha, considerando las diferentes subcuencas que vierten en la acequia Santa Marina.



Delimitación de Cuencas Vertientes en Mapa Topográfico. Situación actual



Delimitación de Cuencas Vertientes en Mapa de Cultivos. Situación actual

TITULO III ESTUDIO HIDROLÓGICO. SITUACIÓN ACTUAL

III.1 CÁLCULO DE CAUDALES

Para conocer el caudal de aportación de cada uno de los arroyos que desembocan en la acequia Santa Marina, y del arroyo Salado se aplica el método racional.

Mediante dicho método se obtiene el caudal punta correspondiente al periodo de retorno considerado. La expresión que ofrece el resultado es la siguiente:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3,6} \times K$$

Siendo:

$Q(m^3/s)$ = caudal punta correspondiente a un período de retorno T

$I(mm/h)$ = máxima intensidad media en el intervalo de duración T_c , para el mismo período de retorno(T)

$A(km^2)$ = superficie de la cuenca

C= coeficiente de escorrentía

K= coeficiente de uniformidad

Los datos de cada una de las subcuencas que vierten en la acequia Santa Marina y que se han utilizado para el cálculo son los siguientes

	Sup (km ²)	Long. (m)	Pendiente (%)
Cuenca 1	1,107	1.590	3,0189
Cuenca 2	1,520	1.240	4,0726
Cuenca D-49	2,167	2.210	0,2398
Acequia Santa Marina	1,853	2.000	0,2500
Arroyo Salado	2,922	3.580	0,2011

Según la Instrucción de carreteras 5.2-IC de drenaje superficial las características del suelo de la cuenca es del tipo B. Las tablas 2.1 y 2.2 de la citada instrucción recogen los valores la relación entre cultivo, tipo de suelo y umbral de escorrentía como se indica en la página siguiente:

El umbral de escorrentía para las subcuencas 1 y 2 con predominio de cultivos de secano de la cuenca se toma $P_0=20$ mm, para las cuencas restantes, con predominio de cultivos de regadío se toma $P_0=25$ mm

Tabla 2.2
Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía

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

Tabla 2.1
Continuación
Estimación inicial del umbral de escorrentía
Po (mm)

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	GRUPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	< 3	R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	< 3	R/N	47	25	16	13
Praderas	≥ 3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
	< 3	Pobre	58	25	12	7
		Media	*	35	17	10
Plantaciones regulares aprovechamiento forestal	≥ 3	Buena	*	*	22	14
		Muy buena	*	*	25	16
	< 3	Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14
	< 3	Buena	*	42	22	15
		Muy buena	*	50	25	16
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.).	≥ 3	Pobre	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	*	34	22	16
		Espesa	*	47	31	23
	< 3	Muy espesa	*	65	43	33

Según el mapa de isocurvas de la fig.2.2 de la citada instrucción, la relación $I_i/I_d=10$, donde I_d es la intensidad media diaria e I_i la intensidad media horaria para un período de retorno T



Con los datos anteriores se procede al cálculo del caudal para el periodo de retorno T 100.

Aplicación del método racional para el periodo de retorno T 100.

Los datos pluviométricos necesarios para la determinación de los caudales de cálculo se han obtenido a partir del programa editado por el Ministerio de Fomento que acompaña al "Mapa para el cálculo de máximas precipitaciones diarias en la España Peninsular". El algoritmo que utiliza calcula la precipitación máxima diaria introduciendo las coordenadas del punto y el periodo de retorno para el que se quiere obtener.

Las coordenadas UTM aproximadas de un punto céntrico del Sector son las siguientes:

$$X= 279.635$$

$$Y= 4.655.312$$

$$Z= 711,28$$

El periodo de retorno adoptado para la determinación de la superficie de inundable es de 100 años.

Sistema de Coordenadas

UTM (Huso 30)

UTM X	<input type="text" value="279635"/>	m		P media	35	mm/día
UTM Y	<input type="text" value="4655312"/>	m		Cv	0.3580	
Periodo de Retorno (T)	<input type="text" value="100"/>	años		P t	78	mm/día

Calculado con 279.635 4.655.312 H30 T100

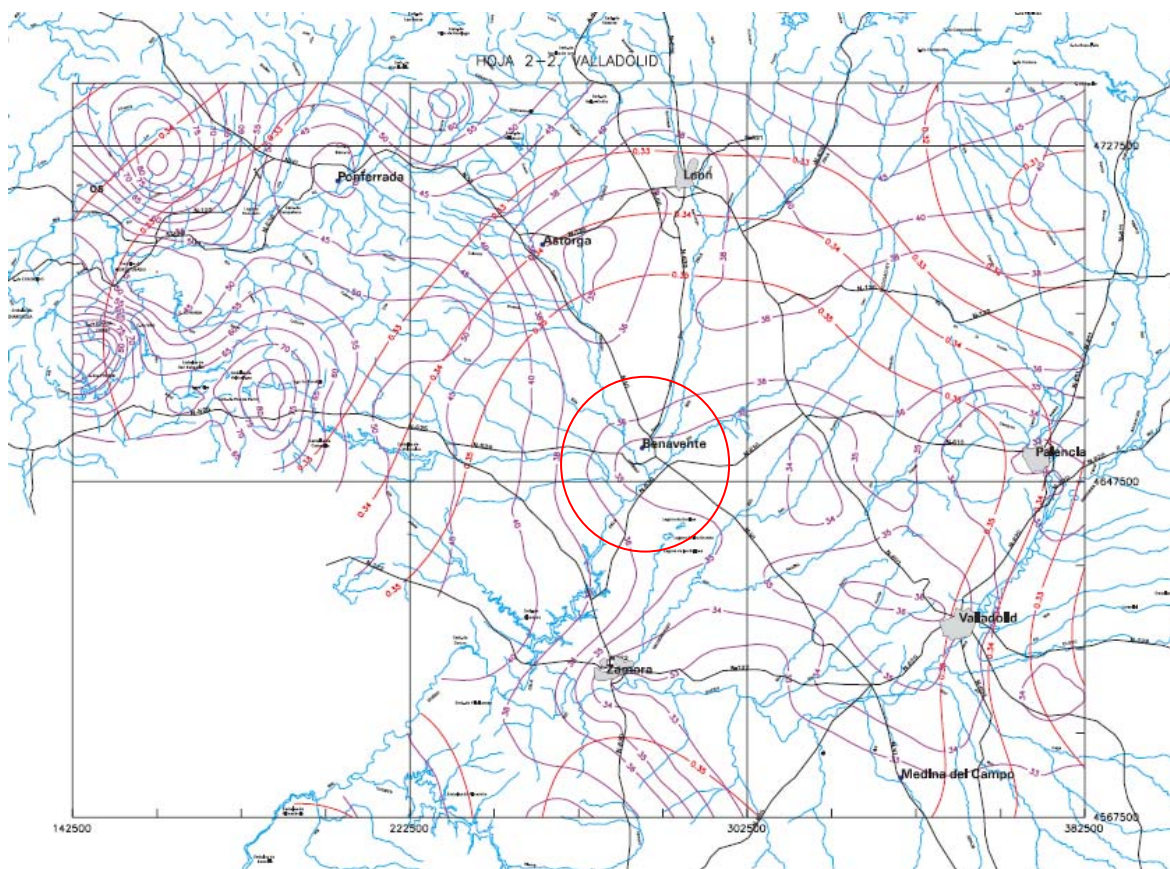
De acuerdo a los resultados anteriores:

Coefficiente de variación: $C_v = 0,358$

El valor medio de las precipitaciones máximas diarias en el punto de las anteriores coordenadas es el siguiente:

$P = 35,0 \text{ mm/día}$

A continuación se incluye un extracto del citado mapa en el que se ha resaltado la zona de proyecto:



Multiplicando este dato medio por los cuantiles regionales correspondientes a la zona, se obtiene el valor de la precipitación diaria máxima previsible para el periodo de retorno T 100.

El valor $K_t=2,26$ se obtiene interpolando, para T 100, entre los valor para $C_v= 0,35$ y $C_v= 0,36$.

C_v	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

La precipitación máxima diaria corregida sería $P_{\text{máx}} = K_t \times P_d = 79,14 \text{ mm/día}$.

El tiempo de concentración de la lluvia es un parámetro que depende de las características de la cuenca de recogida, según la expresión siguiente:

$$T_c = 0,3 \times (L/i^{1/4})^{0,76}$$

Donde:

T_c (h): tiempo de concentración

L (km): longitud del curso principal

i (m/m): pendiente media del curso principal

	Long. (m)	Pendiente (%)	T_c (h)
Cuenca 1	1.590	3,0189	0,83
Cuenca 2	1.240	4,0726	0,65
Cuenca D-49	2.210	0,2398	1,72
Acequia Santa Marina	2.000	0,2500	1,59
Arroyo Salado	3.580	0,2011	2,57

A la cuenca de la Acequia Santa Marina se incorporará el caudal de avenida de las subcuencas 1, 3 y D-49, por lo que las características de la Cuenca dla acequia Santa Marina, utilizadas para la modelización del cálculo son las siguientes:

	Sup. (km²)	Long. (m)	Pendiente (%)	T_c (h)
Acequia Santa Marina	6,647	6.210	1,0660	2,85
Arroyo Salado	2,922	3.580	0,2011	2,57

La intensidad media de precipitación I_t (mm/h), viene dada por la expresión:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_l}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1} - t^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

donde:

I_t (mm/h) es la intensidad media de la precipitación en el intervalo de duración $t=T_c$.

I_d es la intensidad media diaria

I_h la intensidad media horaria para un período de retorno T

El coeficiente de escorrentía C se obtiene de la siguiente expresión:

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

donde:

P_d (mm)= es la lluvia diaria.

P_0 = es el umbral de escorrentía.

Se obtienen para cada una de las subcuencas vertientes los siguientes datos

	T_c (h)	I_t (mm/h)	C
Acequia Santa Marina	2,85	16,39	0,306
Arroyo Salado	2,57	19,74	0,272

Por tanto el caudal punta para un período de retorno de 100 años para cada una de las cuencas aplicando los datos es:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3,6} \times K$$

	Q (m ³ /s)
Acequia Santa Marina	11,18
Arroyo Salado	4,71

La tabla con los datos de entrada y los parámetros de cálculo se encuentra en el apéndice nº 1 "Cálculo de caudales"

TITULO IV ESTUDIO HIDRÁULICO

IV.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO. SITUACIÓN ACTUAL

Para modelizar el Acequia Santa Marina y su intersección con el arroyo Salado desde unos 1000 m aguas arriba del límite del Término Municipal Benavente, hasta el paso de la Acequia Santa Marina bajo la Autovía A-6 se parte de una serie de perfiles transversales del cauce y las bancadas laterales.

En el apéndice nº2 "Planos" se indican los perfiles adoptados para modelizar cada uno de los ríos.

La denominación de los perfiles va desde el perfil nº590 hasta el perfil nº500 en el arroyo Salado, desde el perfil nº190 hasta el perfil nº100 en el arroyo San Marina aguas arriba de la desembocadura del arroyo Salado, y desde el perfil nº96 hasta el perfil nº10 en el Acequia Santa Marina aguas debajo de la desembocadura del arroyo Salado.

El perfil nº100 señala la intersección del arroyo Salado con el Acequia Santa Marina.

El perfil nº95 modeliza la obra de paso actual del Desagüe D-53 y del camino de Castrogonzalo sobre la acequia Santa Marina.

Estos perfiles se introducen en un modelo con el programa HEC-RAS y se ensayan para los caudales correspondientes a los diferentes periodos de retorno.

Las condiciones de contorno aplicadas para modelización de los ríos son las siguientes:

- 1) Pendientes del río.
 - Pendiente del arroyo Salado aguas arriba del perfil 590; $i = 0,088 \%$
 - Pendiente de la Acequia Santa Marina aguas arriba de la sección 190; $i = 0,070 \%$
 - Pendiente de la Acequia Santa Marina aguas abajo de la sección 10; $i = 0,14 \%$
- 2) Coeficientes de rugosidad de Manning
 - Coeficiente de rozamiento de Manning en el cauce del río: Se toma el valor de coeficiente de rozamiento de Manning $n = 0,350$ en el cauce porque aunque el trazado es sensiblemente recto y no tiene curvas pronunciadas, la vegetación en el cauce es

bastante abundante. En los perfiles 94, 95 y 96, que modelizan la obra de paso se han supuesto u coeficiente de Manning de 0,030

- Rozamiento en bancadas: Se toma un valor de coeficiente de rozamiento de Manning $n=0,035$ en las bancadas, al considerar las parcelas adyacentes al cauce de cultivos de regadío.

IV.2 CRECIDA PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS. SITUACIÓN ACTUAL

Para la situación de un período de retorno de 100 años se introduce en el modelo matemático Hec-Ras los caudales obtenidos en los apartados anteriores de 4,71 m³/s para el arroyo Salado, de 11,18 m³/s para el Acequia Santa Marina aguas arriba de la intersección y 5,89 m³/s aguas abajo de la intersección, se arrojan los siguientes resultados:

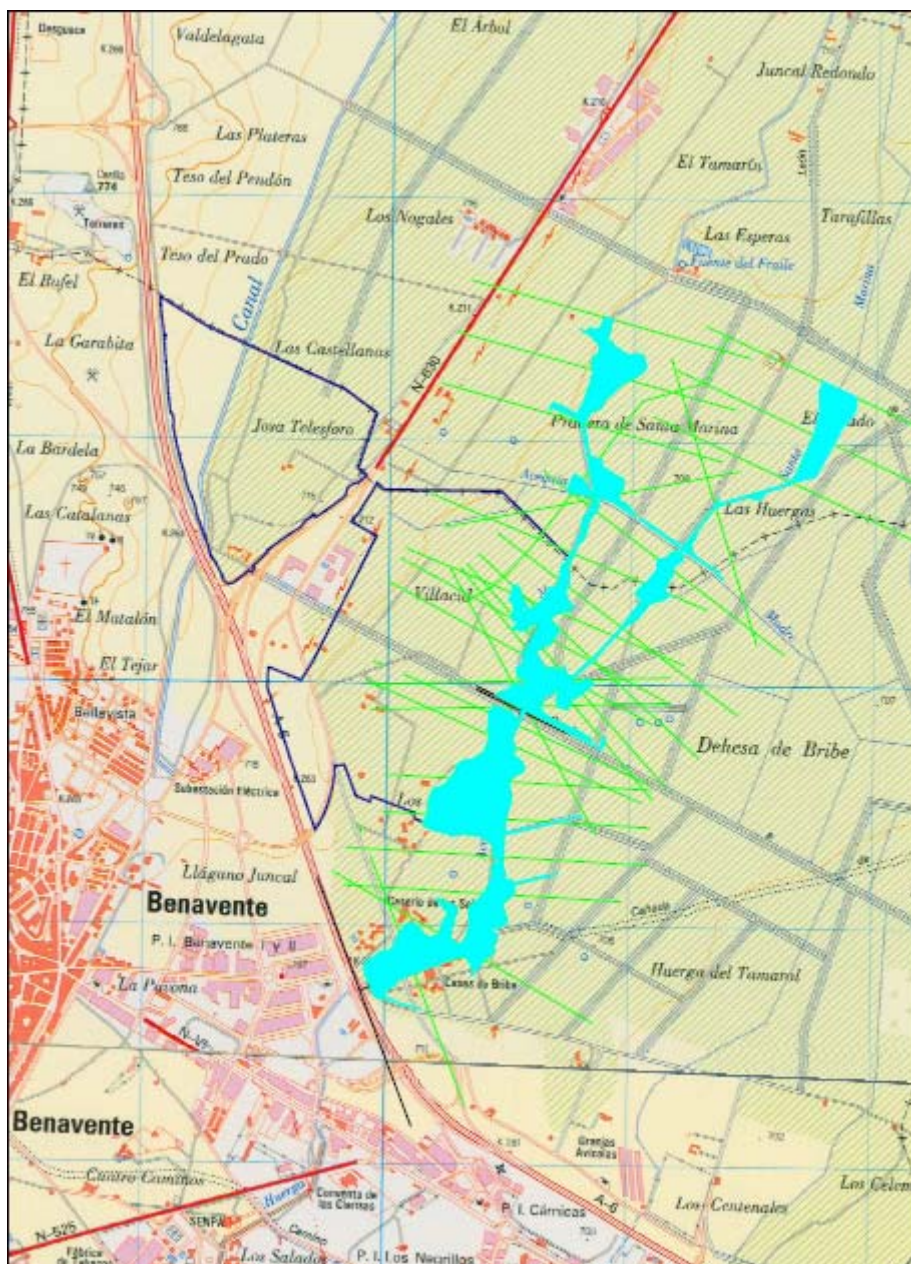
a) Análisis en régimen lento

HEC-RAS Plan: Plan 05 Profile: T100

River	Reach	River Sta	Q Total (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Santa Marina	1	190	11.18	705.00	707.37	707.14	707.40	0.001710	0.84	18.06	66.54	0.34
Santa Marina	1	180	11.18	705.64	707.16	706.66	707.16	0.000704	0.50	46.84	384.49	0.22
Santa Marina	1	170	11.18	705.63	706.63		706.77	0.008398	1.70	6.59	12.36	0.74
Santa Marina	1	160	11.18	705.35	706.44	706.00	706.44	0.000330	0.36	39.51	102.50	0.15
Santa Marina	1	150	11.18	704.84	705.86	705.86	706.16	0.015329	2.44	4.58	7.48	1.00
Santa Marina	1	140	11.18	704.57	705.74	705.26	705.74	0.000076	0.23	82.95	218.29	0.08
Santa Marina	1	130	11.18	704.33	705.72	705.30	705.72	0.000224	0.38	46.93	121.07	0.13
Santa Marina	1	120	11.18	704.00	705.72	705.16	705.72	0.000016	0.11	161.64	362.13	0.04
Santa Marina	1	110	11.18	704.00	705.72	705.22	705.72	0.000038	0.17	98.49	193.76	0.05
Santa Marina	1	105	11.18	703.68	705.67	704.78	705.70	0.000769	0.88	17.36	55.87	0.25
Santa Marina	2	100	15.89	703.68	705.63	704.98	705.70	0.001201	1.26	15.78	26.10	0.36
Santa Marina	2	96	15.89	703.55	705.67	704.40	705.68	0.000077	0.41	71.88	141.51	0.10
Santa Marina	2	95	Bridge									
Santa Marina	2	94	15.89	703.50	705.48		705.49	0.000196	0.61	47.09	120.23	0.15
Santa Marina	2	90	15.89	703.44	705.44	704.73	705.47	0.001058	0.80	26.93	78.99	0.28
Santa Marina	2	80	15.89	703.37	705.33		705.36	0.001577	0.86	26.26	105.72	0.33
Santa Marina	2	70	15.89	703.23	705.10		705.12	0.001466	0.76	38.65	258.29	0.31
Santa Marina	2	60	15.89	703.00	705.00	704.28	705.01	0.000404	0.50	63.56	319.57	0.17
Santa Marina	2	50	15.89	703.00	704.67		704.84	0.004835	1.82	8.74	9.29	0.60
Santa Marina	2	40	15.89	703.00	704.71	704.18	704.71	0.000172	0.32	62.54	120.10	0.11
Santa Marina	2	30	15.89	702.73	704.67		704.67	0.000159	0.35	69.56	175.02	0.11
Santa Marina	2	20	15.89	702.44	704.52	703.59	704.58	0.001202	1.08	14.71	11.67	0.31
Santa Marina	2	10	15.89	702.31	704.25	704.05	704.26	0.001401	0.62	31.56	110.56	0.29
Salado	1	590	4.71	706.88	708.19	707.49	708.20	0.000360	0.49	18.12	125.44	0.16
Salado	1	580	4.71	706.79	708.09	707.45	708.10	0.000607	0.47	18.15	148.31	0.20
Salado	1	570	4.71	706.59	707.80	707.42	707.86	0.002496	1.03	4.59	7.13	0.41
Salado	1	560	4.71	705.87	706.89		706.95	0.002924	1.09	4.34	6.95	0.44
Salado	1	550	4.71	705.22	706.52	706.25	706.53	0.000725	0.52	12.65	42.01	0.21
Salado	1	540	4.71	705.00	706.14	705.60	706.19	0.001670	1.01	5.51	18.36	0.33
Salado	1	530	4.71	704.66	705.65	705.39	705.74	0.004218	1.30	3.61	5.64	0.52
Salado	1	520	4.71	704.07	705.71	704.82	705.71	0.000009	0.08	103.30	288.49	0.03
Salado	1	510	4.71	704.07	705.71	705.03	705.71	0.000002	0.03	155.54	213.30	0.01
Salado	1	500	4.71	703.68	705.70	704.38	705.71	0.000028	0.16	35.51	44.73	0.05

b) Comentarios a las tablas:

- El análisis se ha realizado en primer lugar régimen lento. Debido al valor en la columna Froude Chl no supera el valor de 1,00 en ningún perfil (en el perfil 150 alcanza el valor $Fr=1,00$), se aceptan como válidos los resultados.
- El Acequia Santa Marina delimita con el área el futuro Polígono Industrial entre los perfiles 150 y 50.
- La cota de la lámina de agua entre los perfiles 150, comienzo del Polígono Industrial, y el perfil 96, obra de fábrica, oscila entre las cotas 705,86 y 705,67. La escasa variación de cota de la lámina de agua hace presagiar que la obra de fábrica supone un obstáculo al caudal de avenida, si bien el cauce no llega a rebasar superiormente la obra de fábrica.
- La cota de la lámina de agua entre los perfiles 94, aguas abajo de la obra de fábrica, y 50, aguas abajo del límite del Polígono Industrial, oscila entre las cotas 705,48 y 704,67.
- En el plano siguiente se aprecia la superficie de inundación para un período de retorno de 100 años, apreciando que para la situación actual se inunda parcialmente la superficie destinada al Polígono Industrial.



Superficie de inundación para T=100 años de la Acequia Santa Marina y Arroyo Salado

TITULO V CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados que ofrece la modelización del estudio de inundabilidad de la Acequia Santa Marina se llega a las siguientes conclusiones:

- 1) El estudio hidrológico-hidráulico de la situación inicial concluye parte de la superficie del Sector Industrial están dentro de la zona de inundación para el caudal de avenida de periodo de retorno T 100.
- 2) La obra de fábrica del desagüe D-53 y del camino de Castrogonzalo suponen un obstáculo al caudal de avenida de 100 años, si bien la lámina de agua no supera el nivel superior de la obra de fábrica, produciéndose un remanso de la lámina aguas arriba de la obra de fábrica.
- 3) En la zona del Polígono correspondiente al Sector S-11 aguas arriba de la obra de paso del Desagüe D-53, se deberán crear motas o bandas perimetrales de protección en la zona verde perimetral hasta la cota 706,00 m, evitando de ese modo la inundación de la parcela.
- 4) En la zona del Polígono situada aguas abajo deberá dejarse una banda de protección en la zona verde que oscile entre las cotas 705,60 y 704,80 m evitando de ese modo la inundación de este Sector.

APENDICE 1: CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE AVENIDA

APÉNDICE 2: SALIDAS DEL PROGRAMA HEC-RAS. TABLAS Y SECCIONES