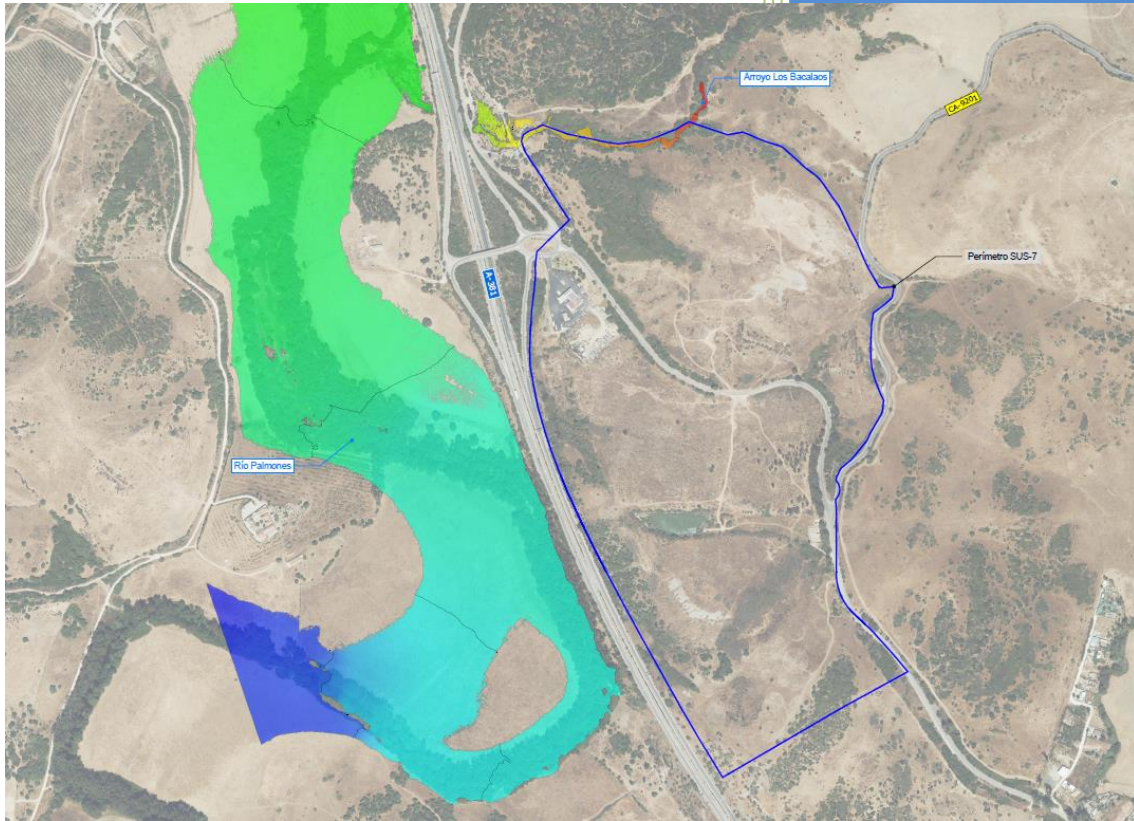


ANEXO 2 ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO



PARA EL DESARROLLO DEL PLAN PARCIAL DE ORDENACIÓN SUS-7
EN LOS BARRIOS, CÁDIZ

PROMOTOR:



AZAHAR GLOBAL CAPITAL, S.L.

AUTOR DEL ESTUDIO:



Antonio Silva Santos

I.C.C.P. Colegiado N° 25.071

OCTUBRE DE 2024

antonio.silvasantos@gmail.com



TABLA DE CONTENIDO

I.	MEMORIA	3
1	ENCARGO	3
2	ANTECEDENTES	3
3	OBJETO DEL ESTUDIO	3
4	SITUACIÓN	4
5	ESTUDIO HIDROLÓGICO	6
5.1	OBJETO	6
5.2	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO	6
5.3	SOFTWARE DE CÁLCULO UTILIZADO.....	6
5.4	DETERMINACIÓN DE LAS CUENCAS VERTIENTES.....	7
5.5	ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO	9
5.5.1	Cálculo de precipitaciones según información REDIAM.....	9
5.5.2	Precipitaciones adoptadas	11
5.5.3	Cálculo de hietogramas en las cuencas vertientes.....	12
5.6	ESTUDIO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	16
5.6.1	Metodología	16
5.6.2	Determinación de la escorrentía en las cuencas en estudio	17
5.7	TRANSFORMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN ESCORRENTÍA	23
5.8	COMPROBACIÓN DE CAUDALES MEDIANTE APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL	27
5.9	CAUDALES DEL RÍO PALMONES	29
6	ESTUDIO HIDRÁULICO	30
6.1	OBJETO	30
6.2	SOFTWARE DE CÁLCULO.....	30
6.3	MODELIZACIÓN DEL TERRENO	30
6.4	ZONAS DE CÁLCULO.....	32
6.5	CONDICIONES DE CONTORNO EN EL MODELO HIDRÁULICO	33
6.6	INFRAESTRUCTURAS SOBRE LOS CAUCES.....	34
6.7	CONDICIONES INICIALES.....	38
6.8	COEFICIENTES DE RUGOSIDAD	38
6.9	RESULTADOS OBTENIDOS.....	41
6.10	PROPUESTA DE DELIMITACIÓN CAUTELAR DEL DPH	45
6.11	CÁLCULO DE LA ZONA DE FLUJO PREFERENTE	48
7	CONCLUSIÓN	57



II.	PLANOS.....	58
1	SITUACIÓN (1 HOJA).....	58
2	EMPLAZAMIENTO (1 HOJA).....	58
3	CUENCA VERTIENTE ARROYO LOS BACALAO (1 HOJA).....	58
4	CALADOS T5 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS).....	58
5	COTAS LÁMINA DE AGUA T5 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS).....	58
6	CALADOS T100 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS).....	58
7	COTAS LÁMINA DE AGUA T100 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS).....	58
8	CALADOS T500 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS).....	58
9	COTAS LÁMINA DE AGUA T500 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS).....	58
10	PROPUESTA DPH Y ZONAS DE PROTECCIÓN (2 HOJAS).....	58
11	ZONA DE FLUJO PREFERENTE (2 HOJAS).....	58



I. MEMORIA

1 ENCARGO

El presente documento ha sido encargado por la sociedad Azahar Global Capital, S.L., con CIF B73047649 y domicilio en Plaza Fuensanta, 2, 11B – Edificio Hispania, 30008, Murcia, al técnico que suscribe, Antonio Silva Santos, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Colegiado Nº25.071.

2 ANTECEDENTES

Para el desarrollo del Plan Parcial de Ordenación SUS-7 de Los Barrios, Cádiz, es necesario determinar el deslinde técnico cautelar, zonas de servidumbre, policía, zonas inundables y zona de flujo preferente asociadas a los cauces de Dominio Público Hidráulico (DPH) que discurren por el área de estudio y sus proximidades.

Según se deriva de los informes emitidos a este sector por la extinta Agencia Andaluza del Agua, por el sector propiamente dicho, discurren dos cauces, que por su longitud, aportación y relevancia geomorfológica no parecen ser de Dominio Público, indicándose en el mismo informe que por la zona norte, el sector limita con el arroyo de Los Bacalaos.

Por otro lado, se indica también que próximo al ámbito se encuentra el río Palmones o de Las Cañas, estando afectada parcialmente la zona de policía.

Atendiendo a lo expuesto, para el desarrollo del plan parcial objeto de este documento, se estudiarán los dos cauces, es decir, el arroyo “Los Bacalaos”, y el río “Palmones o de Las Cañas”.

3 OBJETO DEL ESTUDIO

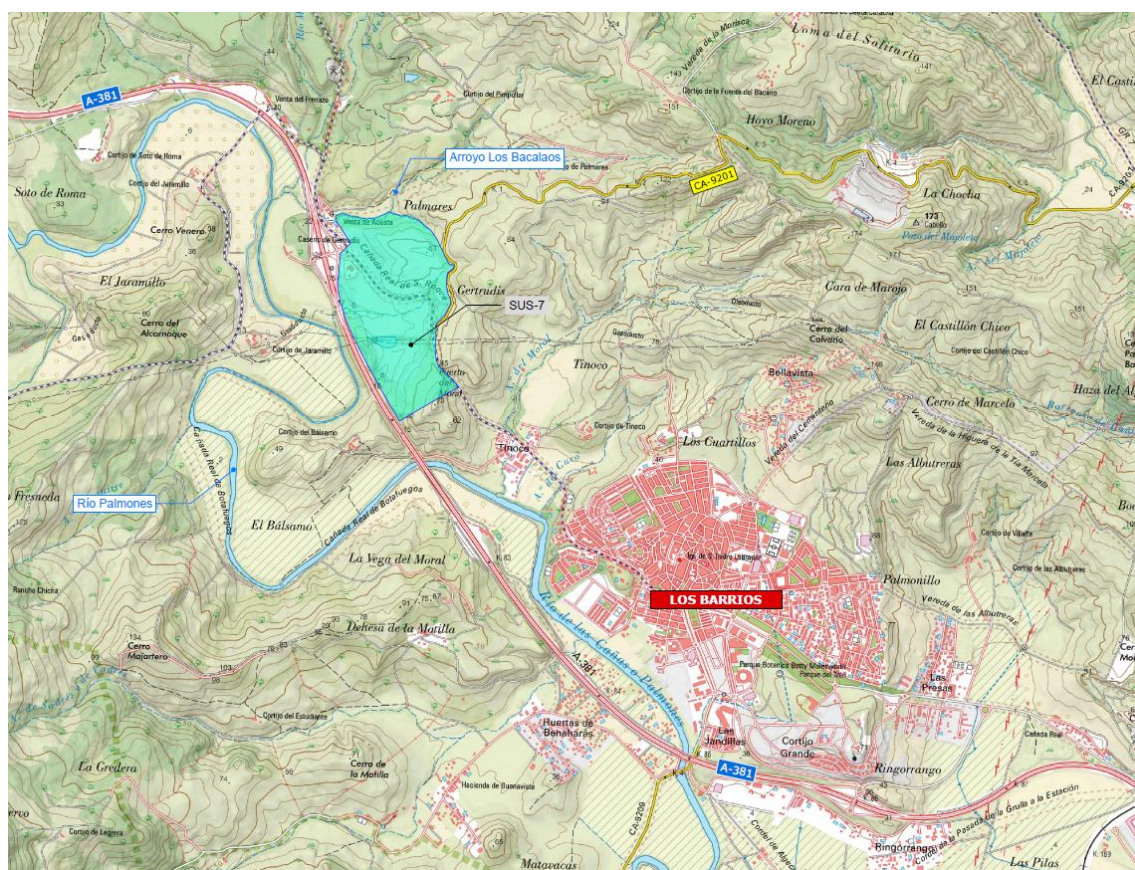
El objeto del presente estudio es determinar los siguientes aspectos del arroyo de Los Bacalaos y del río Palmones:

- Propuesta de deslinde técnico cautelar del Dominio Público Hidráulico (DPH)
- Zona de Servidumbre y Zona de Policía de cauces.
- Zona inundable, asociada a la avenida de 500 años de periodo de retorno.
- Zona de flujo preferente (ZFP)



4 SITUACIÓN

El sector SUS-7, se encuentra en el término municipal de Los Barrios, en la provincia de Cádiz, situado junto a la autovía A-381, a unos 1,5 Km al noroeste del núcleo urbano de Los Barrios, en el paraje conocido como Las Gertrudis.



Localización del ámbito de estudio

Por la zona norte del sector, discurre el arroyo “Los Bacalaos”, el cuál es afluente del río Palmones por su margen izquierda. La conexión de este arroyo con el río, se realiza tras el sector, previo paso por las obras de drenaje transversal de la autovía A-381 y de la vía de servicio de esta carretera.

En la figura siguiente, se muestra el ámbito del sector sobre ortofotografía aérea, indicándose la ubicación de los cauces objeto de estudio.



Emplazamiento del sector SUS-7 sobre ortofotografía PNOA



5 ESTUDIO HIDROLÓGICO

5.1 OBJETO

El objeto del estudio hidrológico es determinar los caudales de avenidas asociadas al Arroyo Los Bacalao para los periodos de retorno de 5, 100 y 500 años.

Los caudales del río Palmones se toman directamente de los utilizados por la propia administración hidráulica andaluza para el estudio de la ARPSI del río Palmones.

5.2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Para el estudio de caudales y dado que en la cuenca no se dispone de series de datos foronómicos adecuados para determinar directamente el caudal, se han calculado las precipitaciones de la zona y posteriormente se ha procedido a la transformación de precipitación en escorrentía mediante un modelo de simulación de cuencas.

El procedimiento que se ha seguido ha sido el siguiente:

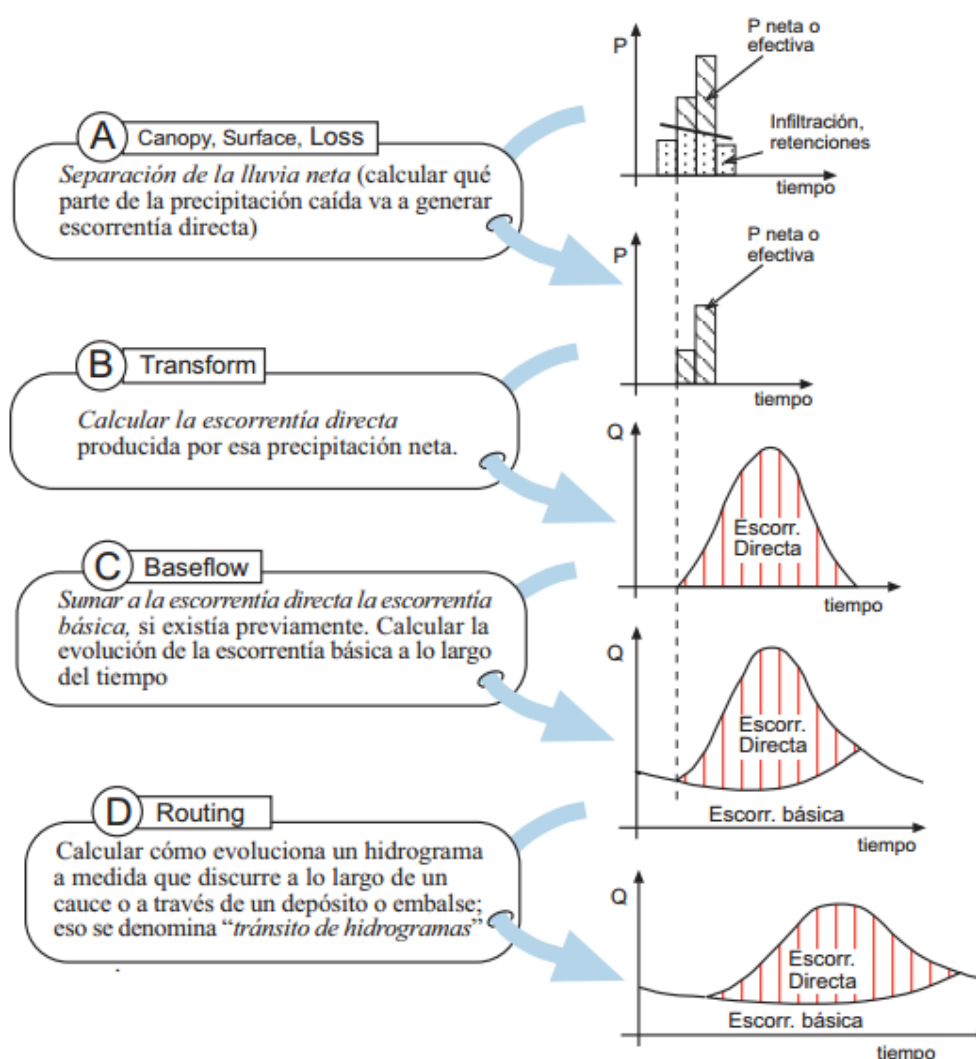
- Determinación de la cuenca y subcuencas vertientes.
- Estudio pluviométrico de la cuenca de aportación.
- Estudio de la escorrentía superficial.
- Transformación de la precipitación en escorrentía.
- Cálculo de hidrogramas de avenida.

En los siguientes epígrafes se desarrollan cada uno de los puntos anteriores.

5.3 SOFTWARE DE CÁLCULO UTILIZADO

Para el cálculo de los hidrogramas de avenidas asociados a cada cuenca vertiente, se ha utilizado el software Hec-Hms: Hydrologic Engineering Center (HEC), Hydrologic Modeling System (HMS), que es un modelo hidrológico de eventos desarrollado por el US Army Corp of Enginners de los Estados Unidos. Las fases de trabajo de este modelo pueden esquematizarse como se muestra a continuación.

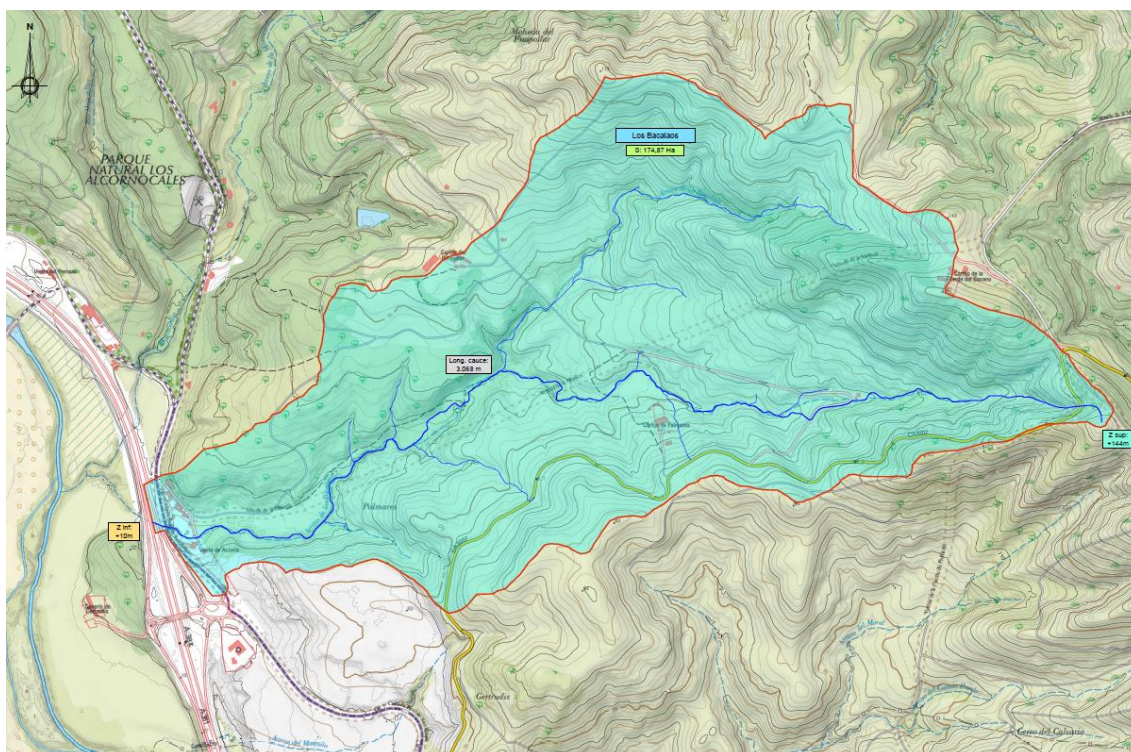
HMS permite establecer varias subcuencas, y realiza el trabajo de las tres primeras fases (A, B y C) para cada subcuenca, calculando la última fase (D) para cada tránsito a lo largo de un cauce (la evolución del hidrograma que, generado en una subcuenca, circula por otra distinta). En el punto final suma todos los caudales generados y transitados a lo largo del recorrido y nos proporciona de forma analítica y gráfica el hidrograma en varios puntos de la cuenca.



5.4 DETERMINACIÓN DE LAS CUENCAS VERTIENTES

Para la determinación de la cuenca y subcuencas vertientes, se ha utilizado de base los modelos digitales del IGN, procedente de vuelos LiDAR, determinando las áreas asociadas a cada cauce mediante aplicaciones SIG. A partir del modelo digital del terreno y haciendo uso de la aplicación HEC-GeoHMS, aplicación SIG del HEC-HMS, se ha trazado el perímetro de las cuencas vertientes. Estas cuencas se han revisado posteriormente y corregido para adaptarla a la realidad física del ámbito que los programas de cálculo no contemplan, como efectos de obras de pasos de carreteras, y otros elementos similares.

La cuenca vertiente del arroyo Los Bacalaos, dado su tamaño, se ha considerado como una única cuenca, cuyo trazado es el que se muestra en la figura siguiente, aunque para mayor detalle, se recomienda consultar los planos del presente documento.



Cuenca vertiente del arroyo Los Bacalao hasta el ámbito de estudio

Una vez conocidas las subcuencas que forma la cuenca principal, se han determinado los parámetros geométricos necesarios para realizar el cálculo hidrológico posterior, tales como superficies, longitudes de cauces, desniveles,... calculando el tiempo de concentración de cada cuenca mediante la fórmula de Témez, que se expone a continuación.

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

Donde:

- T_c : Tiempo de concentración de la cuenca, en horas.
- L: Longitud del cauce principal en Km.
- J: Pendiente media del curso principal (m/m).

Cuenca	Superficie Ha	Superficie (Km ²)	L. Cauce más largo (m)	Z aguas arriba (m)	Z aguas abajo (m)	Pendiente media	Tc (h)
Los Bacalao	174.87	1.749	3 068	144.00	10.00	0.04368	1.27

Parámetros fisiográficos y tiempo de concentración en la cuenca objeto de estudio

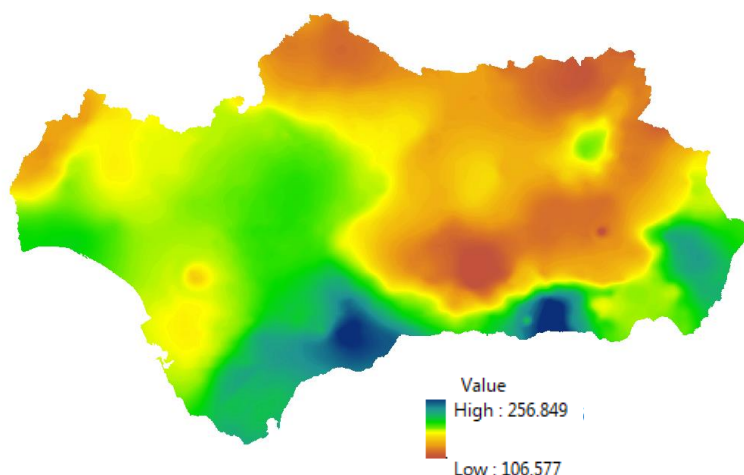


5.5 ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO

El objeto del estudio pluviométrico es determinar el valor de las precipitaciones máximas diarias correspondientes a los distintos periodos de retorno en estudio. Para ello se han empleado los mapas de precipitaciones de la REDIAM (Red de Información Ambiental de Andalucía), pues se trata de datos oficiales de la propia administración autonómica, siendo a fecha de redacción del presente documento, la información pluviométrica oficial más realista y actualizada.

5.5.1 Cálculo de precipitaciones según información REDIAM

Los mapas de precipitaciones máximas diarias se han generado partiendo de las series históricas de 2.324 estaciones meteorológicas repartidas por Andalucía, con información comprendida entre los años 1984 y 2004. A continuación se muestra el mapa relativo a periodo de retorno de 500 años.

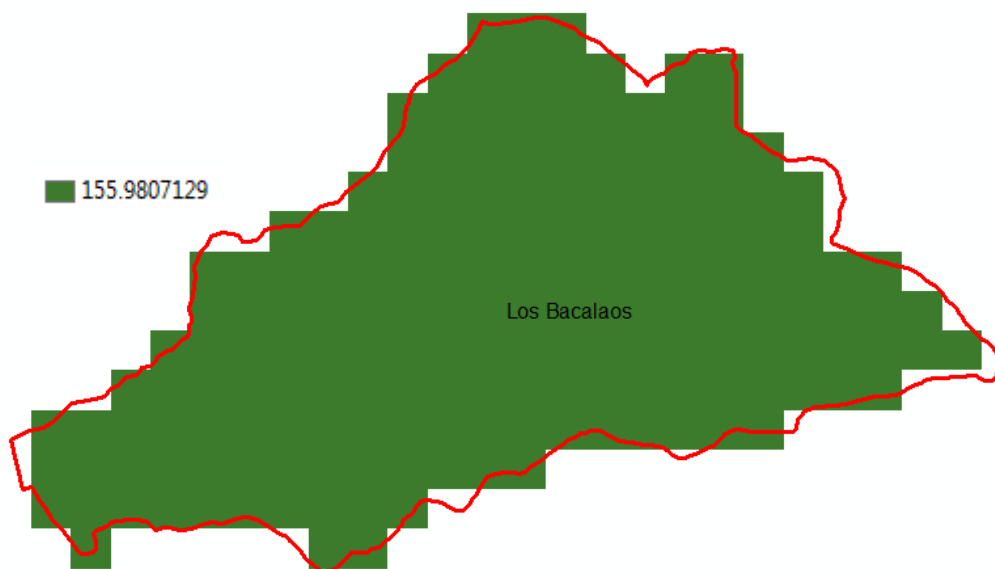


Precipitaciones máximas diarias asociadas al periodo de retorno de 500 años según REDIAM

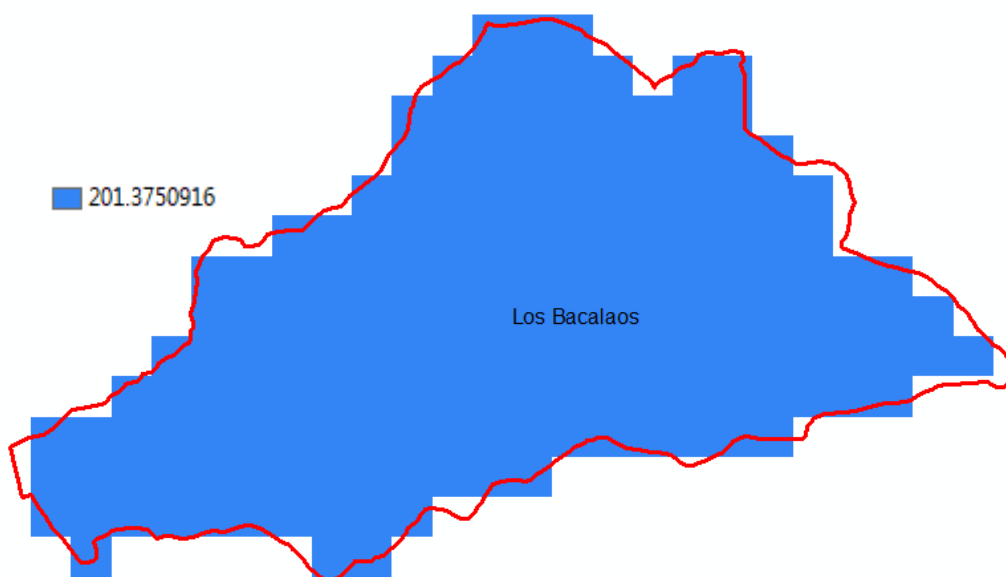
El valor de P_d para los periodos de retorno de la cuenca en estudio, se obtienen mediante aplicaciones SIG, determinando mediante herramientas de estadística zonal, los valores medios de la precipitación en el área, los cuales se muestran a continuación para cada una de las cuencas en estudio.



Precipitación máxima diaria en subcuencas para T 5 años según REDIAM



Precipitación máxima diaria en subcuencas para T 100 años según REDIAM



Precipitación máxima diaria en subcuencas para T 500 años según REDIAM

5.5.2 Precipitaciones adoptadas

Para tener en cuenta que una precipitación con probabilidad de ocurrencia determinada no tiene por qué producirse al mismo tiempo en toda la cuenca, sobre todo cuando se trata de cuencas de gran extensión, es usual emplear un coeficiente minorador denominado “*factor de simultaneidad de tormentas*”. Este factor puede estimarse a partir de un análisis de aguaceros históricos de elevada intensidad, o bien empleando la formulación de Témez recogida en la publicación "Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas" del CEDEX.

$$K_A = 1 - \frac{\text{Log}A}{15}$$

Siendo K_A el coeficiente de simultaneidad de tormentas, y A el área total de la cuenca de aportación en Km^2 . Esta fórmula es válida para superficies mayores a 1 Km^2 , y en caso contrario, el valor de K_A toma el valor 1. En el caso que nos ocupa, la superficie total de la cuenca vertiente es de $1,75 \text{ Km}^2$, por lo que el coeficiente toma un valor de 0,9838, lo que supondría que la precipitación corregida ascendería según el periodo de retorno considerado a:

- P corregida T5 años: 82,65 mm/día.
- P corregida T100 años: 153,45 mm/día.
- P corregida T500 años: 198,11 mm/día.



En el caso que nos ocupa, no consideraremos el factor de simultaneidad de tormentas, dejando el cálculo del lado de la seguridad. De este modo, las precipitaciones de cálculo serán las siguientes:

- P cálculo T5 años: 84,01 mm/día.
- P cálculo T100 años: 155,98 mm/día.
- P cálculo T500 años: 201,38 mm/día.

5.5.3 Cálculo de hietogramas en las cuencas vertientes

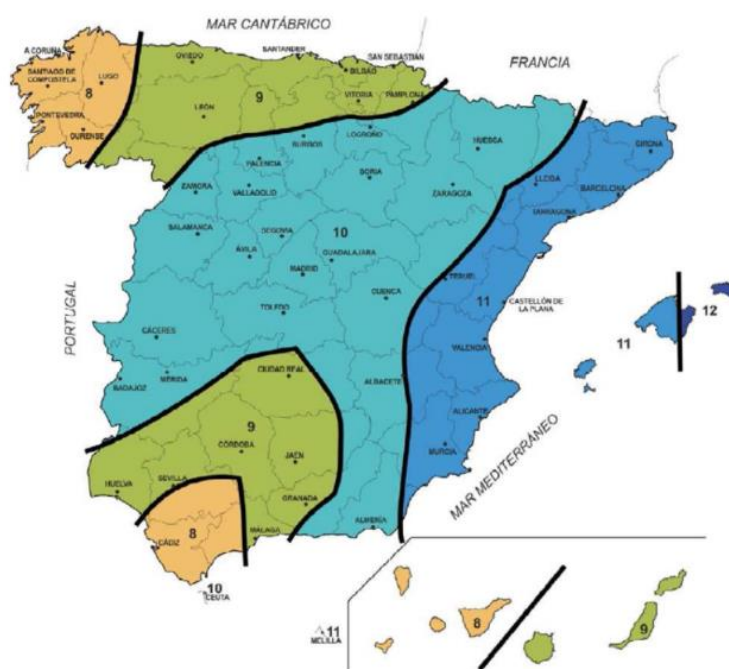
Para poder obtener los hidrogramas asociados a cada subcuenca es necesario realizar previamente una distribución temporal de la lluvia, y para ello se han realizado los hietogramas de cada cuenca. Para realizar estos hietogramas es necesario establecer una duración total de lluvia, los intervalos de tiempo de igual intensidad, y un método para la distribución de las intensidades a lo largo de la tormenta.

Estableceremos un patrón temporal de lluvia mediante hietograma sintético desarrollado a partir de las curvas IDF de Témez, distribuyendo los valores de lluvia mediante el método de los bloques alternos.

Para fijar la duración de la tormenta se tendrán en cuenta las recomendaciones que en todo caso instan a tomar tiempos de duración de tormenta superiores al T_c , de forma que toda la cuenca aporte en un instante dado caudal al punto de drenaje. Por otro lado, tal como se expone en el documento *“Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas”* del CEDEX, en ausencia de datos específicos de duración de chubascos, es recomendable el empleo de tormentas con duración del orden de 24 horas dado el carácter diario de la mayor parte de los registros pluviométricos. De este modo, se ha considerado para los cálculos una lluvia de 24 horas de duración.

Para componer las ordenadas del hietograma de diseño que expresa la distribución temporal de las intensidades de lluvia en el transcurso de la tormenta, es necesario conocer previamente las características de las lluvias en la región, pero a falta de información pluviográfica fiable se ha optado por trabajar con intensidades de lluvia calculadas según el procedimiento expuesto en la Instrucción de drenaje de carreteras.

La relación $I1/I_d$ se obtiene del mapa de la figura 2.2. de dicha Instrucción. En nuestro caso, esta relación es de 8 tal como se deduce de la figura.



Relación I1/Id (Instrucción 5.2 I.C)

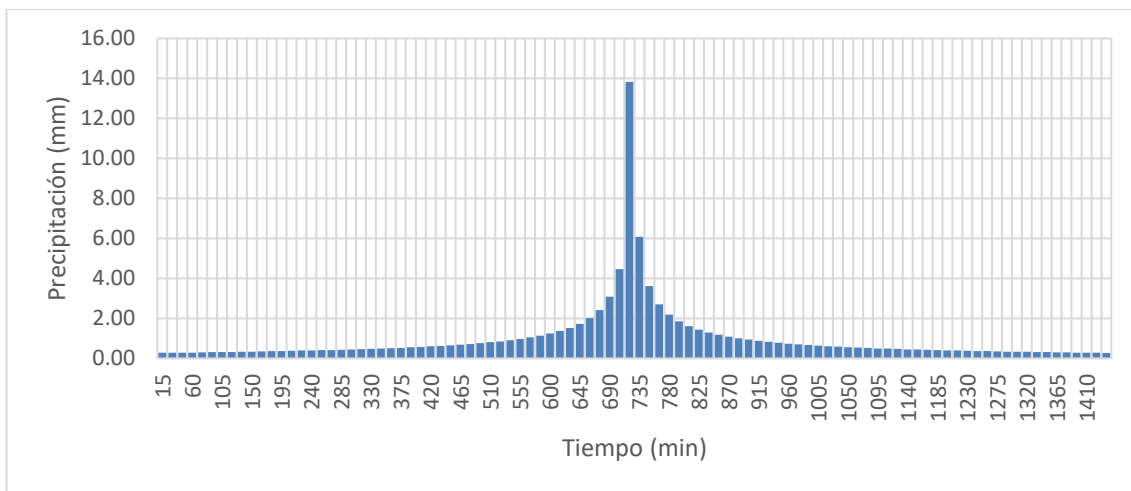
El incremento de tiempo a considerar en la discretización de las lluvias está relacionado con el tiempo de respuesta de la cuenca y según las “Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas” del CEDEX, son suficientes valores inferiores a $0,2 \cdot T_c$ en el caso de emplear el método de hidrograma unitario. En el caso que nos ocupa, la cuenca es relativamente tiene un tiempo de concentración total de 1,27 horas, por lo que el intervalo de tiempo para la cuenca se situaría en unos 15 minutos aproximadamente.

Una vez conocida la duración de la tormenta y el intervalo de tiempo para el cálculo se procede al diseño de los hietogramas asociados a cada periodo de retorno, empleando para ello el método de los bloques alternos y determinando la intensidad de precipitación mediante la fórmula de intensidad de lluvia propuesta en la instrucción de drenaje 5.2 IC.

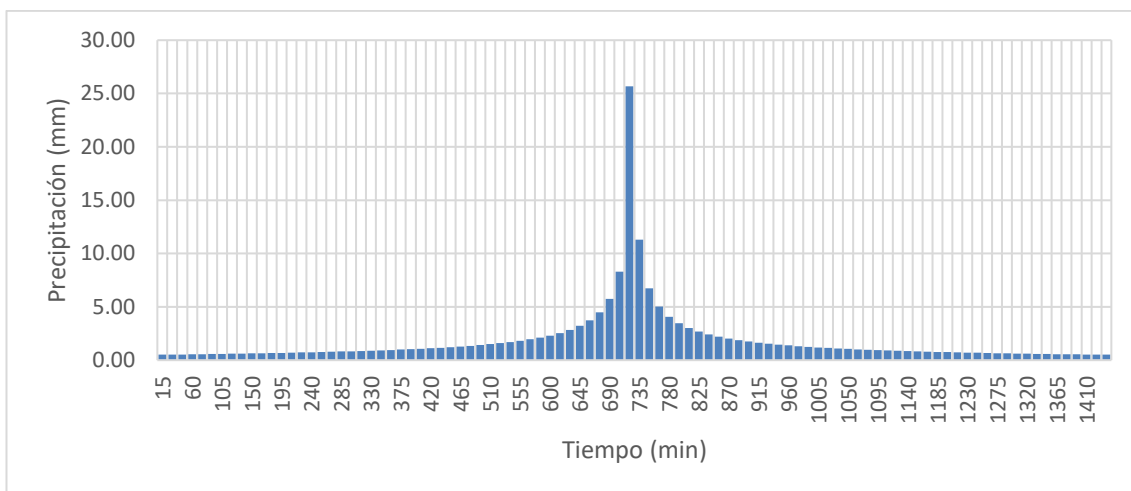
$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\left(\frac{28^{0,1} - t^{0,1}}{28^{0,1} - 1} \right)}, \text{ siendo:}$$

- I_t , la intensidad del aguacero a considerar
- I_d , la intensidad de precipitación diaria
- t , la duración del aguacero.

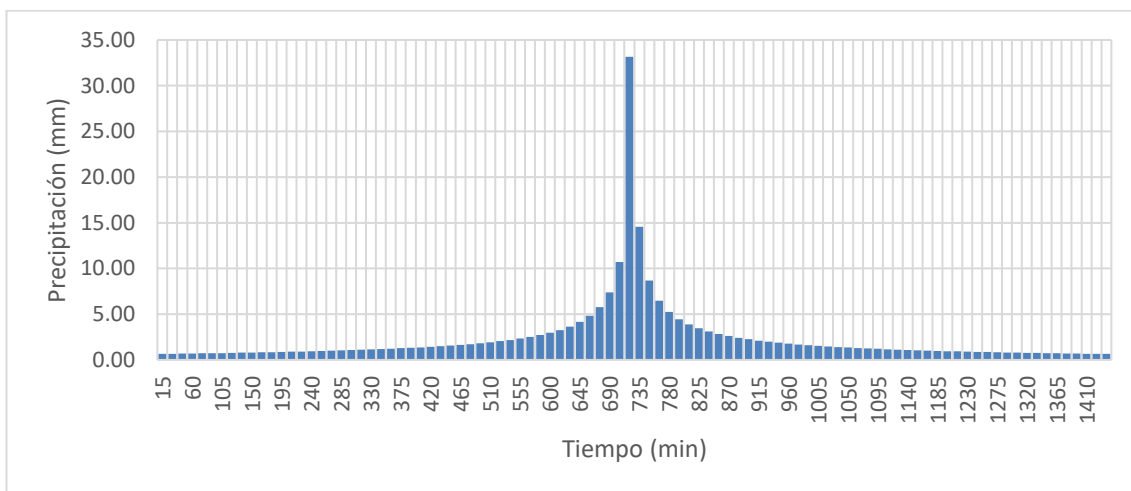
Para realizar el cálculo se ha utilizado el software “*Bloques SWMM*” del FLUMEN.



Hietograma de lluvia para T5 años



Hietograma de lluvia para T100 años



Hietograma de lluvia para T500 años



Δt (min)	Precipitación subcuencas estudio (mm)		
	T 5 años	T 100 años	T 500 años
15	0.28	0.51	0.66
30	0.28	0.52	0.68
45	0.29	0.53	0.69
60	0.29	0.55	0.70
75	0.30	0.56	0.72
90	0.31	0.57	0.74
105	0.31	0.58	0.75
120	0.32	0.60	0.77
135	0.33	0.61	0.79
150	0.34	0.63	0.81
165	0.35	0.64	0.83
180	0.36	0.66	0.85
195	0.37	0.68	0.88
210	0.38	0.70	0.90
225	0.39	0.72	0.92
240	0.40	0.74	0.95
255	0.41	0.76	0.98
270	0.42	0.78	1.01
285	0.43	0.81	1.04
300	0.45	0.83	1.07
315	0.46	0.86	1.11
330	0.48	0.89	1.15
345	0.49	0.92	1.19
360	0.51	0.95	1.23
375	0.53	0.99	1.28
390	0.55	1.03	1.33
405	0.58	1.07	1.38
420	0.60	1.11	1.44
435	0.63	1.16	1.50
450	0.66	1.22	1.57
465	0.69	1.28	1.65
480	0.72	1.34	1.73
495	0.76	1.41	1.83
510	0.81	1.50	1.93
525	0.85	1.59	2.05
540	0.91	1.69	2.18
555	0.97	1.81	2.34
570	1.05	1.95	2.51
585	1.14	2.11	2.72
600	1.24	2.30	2.97
615	1.37	2.54	3.27
630	1.52	2.83	3.65
645	1.73	3.21	4.15
660	2.01	3.73	4.82
675	2.42	4.49	5.79
690	3.08	5.73	7.39
705	4.47	8.30	10.71
720	13.83	25.67	33.15
735	6.08	11.30	14.58
750	3.62	6.73	8.69

Δt (min)	Precipitación subcuencas estudio (mm)		
	T 5 años	T 100 años	T 500 años
765	2.70	5.02	6.48
780	2.19	4.07	5.25
795	1.86	3.45	4.45
810	1.62	3.01	3.88
825	1.44	2.67	3.45
840	1.30	2.41	3.11
855	1.18	2.20	2.84
870	1.09	2.02	2.61
885	1.01	1.88	2.42
900	0.94	1.75	2.26
915	0.88	1.64	2.11
930	0.83	1.54	1.99
945	0.78	1.45	1.88
960	0.74	1.38	1.78
975	0.70	1.31	1.69
990	0.67	1.25	1.61
1005	0.64	1.19	1.54
1020	0.61	1.14	1.47
1035	0.59	1.09	1.41
1050	0.56	1.05	1.35
1065	0.54	1.01	1.30
1080	0.52	0.97	1.25
1095	0.50	0.94	1.21
1110	0.49	0.90	1.17
1125	0.47	0.87	1.13
1140	0.45	0.84	1.09
1155	0.44	0.82	1.06
1170	0.43	0.79	1.02
1185	0.41	0.77	0.99
1200	0.40	0.75	0.96
1215	0.39	0.73	0.94
1230	0.38	0.71	0.91
1245	0.37	0.69	0.89
1260	0.36	0.67	0.86
1275	0.35	0.65	0.84
1290	0.34	0.64	0.82
1305	0.33	0.62	0.80
1320	0.33	0.61	0.78
1335	0.32	0.59	0.76
1350	0.31	0.58	0.75
1365	0.30	0.56	0.73
1380	0.30	0.55	0.71
1395	0.29	0.54	0.70
1410	0.28	0.53	0.68
1425	0.28	0.52	0.67
1440	0.27	0.51	0.65



5.6 ESTUDIO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

No toda la lluvia que genera una tormenta contribuye a la formación del caudal que se pretende obtener en un estudio hidrológico, parte es retenida en superficie, almacenada en depresiones o reinfiltrada; es lo que se denominan abstracciones hidrológicas. El funcionamiento de modelos de generación de escorrentía está caracterizado por la existencia de zonas de generación y zonas de reinfiltración.

5.6.1 Metodología

Para simular las pérdidas hídricas y convertir la tormenta bruta en tormenta neta o efectiva se ha seleccionado el modelo de infiltración del Soil Conservation Service (SCS) por su mayor operatividad. El modelo del SCS es el más extendido y experimentado de los modelos empíricos y su principal ventaja radica en su gran adaptabilidad a la modelación distribuida y simplicidad al dar un procedimiento estandarizado para la asignación de los parámetros a partir de las características del terreno.

Este método propone una clasificación de los llamados complejos hidrológicos suelo-vegetación, a los que se asigna una capacidad de infiltración o mejor dicho un comportamiento ante la precipitación. Esta característica condicionada además tanto por los antecedentes de humedad como por la capacidad de infiltración viene representada por un valor numérico denominado número de curva (CN). Los antecedentes de humedad varían entre condición I (suelo seco) a condición III (suelo húmedo), siendo la condición II la representativa de un grado de humedad normal o intermedio del suelo.

El SCS asume la existencia de un umbral de escorrentía (P_0), por debajo del cual las precipitaciones no provocan escorrentía. Este valor actúa como una intercepción inicial antes de evaluar que parte de ésta escurre superficialmente y que parte es retenida. La relación descrita queda en función de un único parámetro (P_0), que debe ser estimado correctamente pues la escorrentía depende en exclusiva de él. Para conocer el valor de P_0 en función del número de curva (CN), el SCS propuso la relación empírica siguiente.

$$P_0 = \frac{5000}{CN} - 50$$

En este modelo la capacidad de abstracción de un suelo y por lo tanto de generación de escorrentía depende de los mismos factores que afectan a la infiltración. Entre estos factores el método del SCS distingue cuatro (FERRER POLO, 1993):

1. Tipo de suelo: Según su potencial de generación de escorrentía o lo que es lo mismo su capacidad de infiltración. Distinguiendo 4 tipos de sustrato litológico de mayor a menor permeabilidad (A, B, C y D).



2. Tipo de uso del terreno: Dependiendo de que introduzcan modificaciones a la capacidad de infiltración intrínseca del terreno por sellado o impermeabilización, como el caso de las zonas pavimentadas, o la mejoren como los suelos forestales y agrarios.

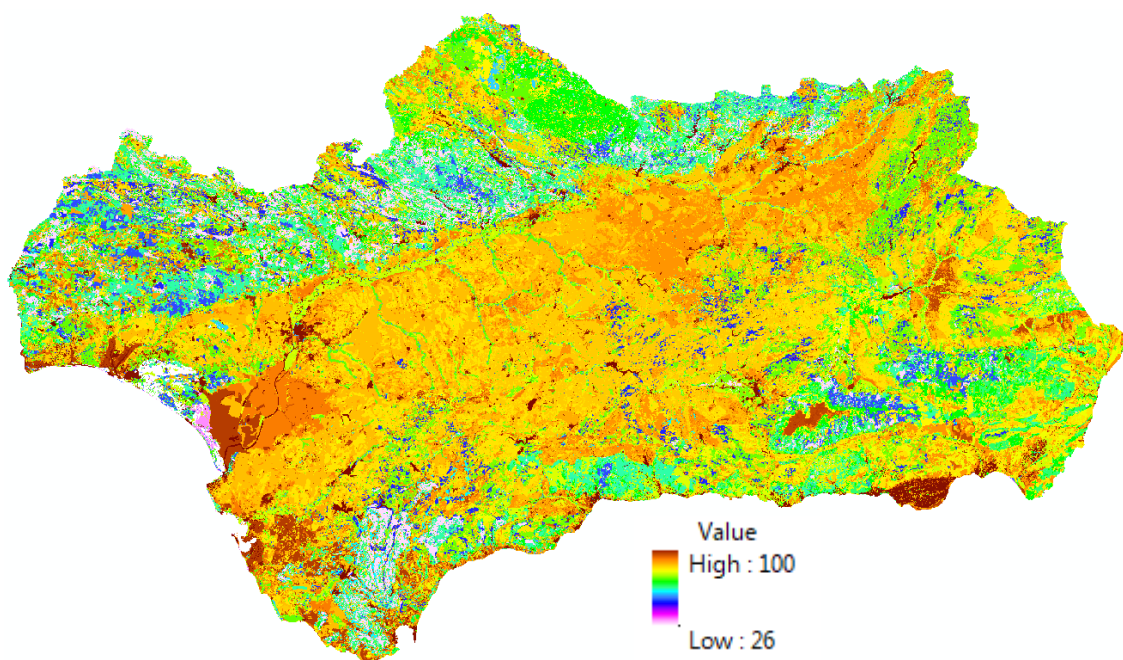
3. Pendiente del terreno y características topográficas: Distingue entre terrenos llanos, por debajo del 3% de desnivel, y terrenos en pendiente por encima del 3%.

4. Contenido inicial de humedad: Normalmente el umbral de escorrentía (P_0 y el CN equivalente) obtenido siguiendo la metodología anterior es ponderado por un coeficiente corrector (TÉMEZ, 1978).

El método del S.C.S. (Soil Conservation Service) es ampliamente utilizado por su facilidad para estimar sus parámetros a partir de datos edafológicos y de vegetación. En el caso español, es especialmente interesante puesto que en él está basada la actual norma de drenaje de carreteras (Instrucción 5.2-I.C.).

5.6.2 Determinación de la escorrentía en las cuencas en estudio

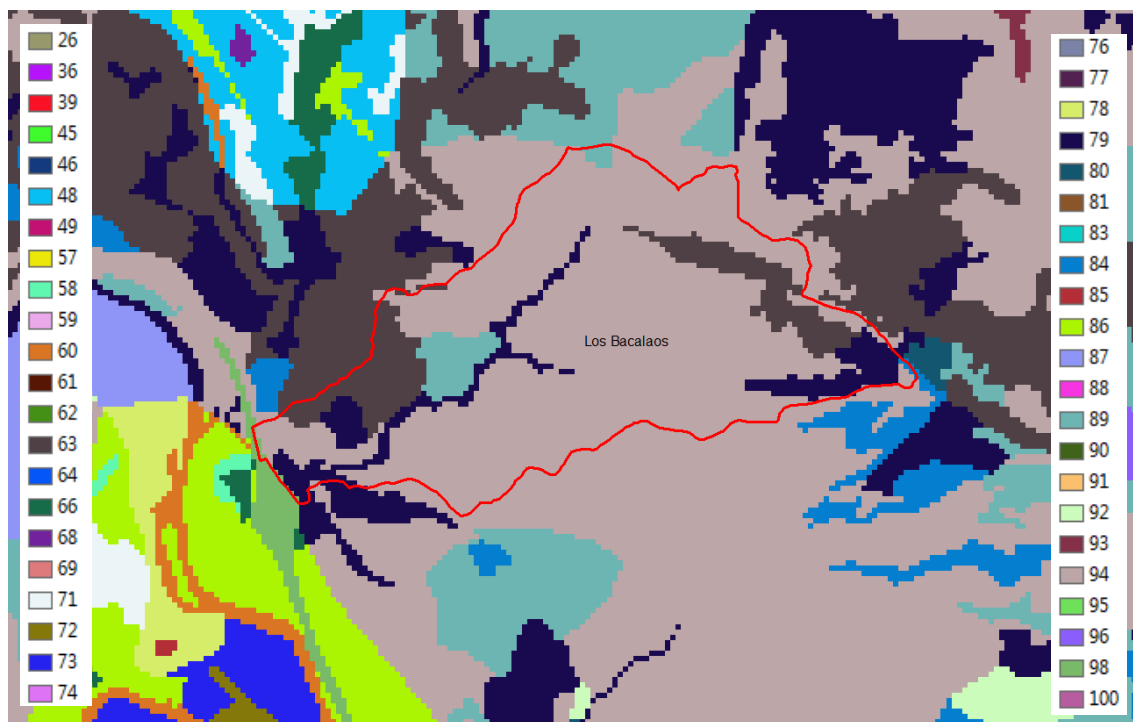
Para la determinación de la escorrentía superficial se ha utilizado el mapa de “número de curva” con tamaño de pixel de 20 x 20 m, elaborado por la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), para antecedentes de humedad II, es decir, AMC II, que es como establece la Ley de Aguas de Andalucía, que se deben realizar los cálculos. Este mapa abarca todo el territorio Andaluz, y es el que se presenta en la figura siguiente.



Número de Curva según REDIAM para antecedente II de humedad (AMC II)

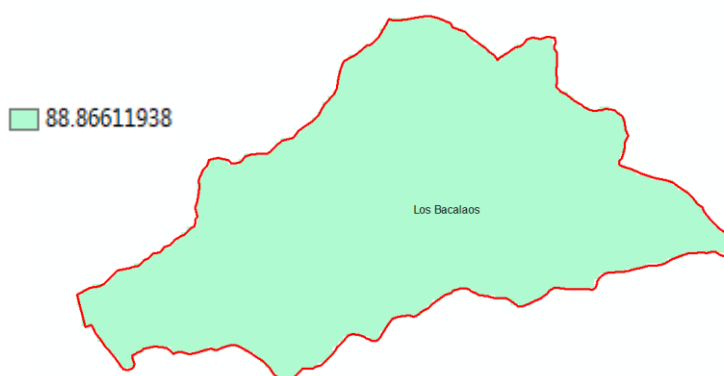


En el ámbito de estudio, los valores de número de curva de la REDIAM son los que se indican a continuación. Para determinar el valor medio del número de curva en cada subcuenca, se ha realizado mediante aplicaciones SIG la estadística zonal de cada una de ellas, obteniendo los valores ponderados que también se adjuntan.



Valor de número de curva REDIAM en la cuenca objeto de estudio

Haciendo nuevamente de la estadística zonal, obtenemos el valor de número de curva de la cuenca completa, que es el que se muestra a continuación.



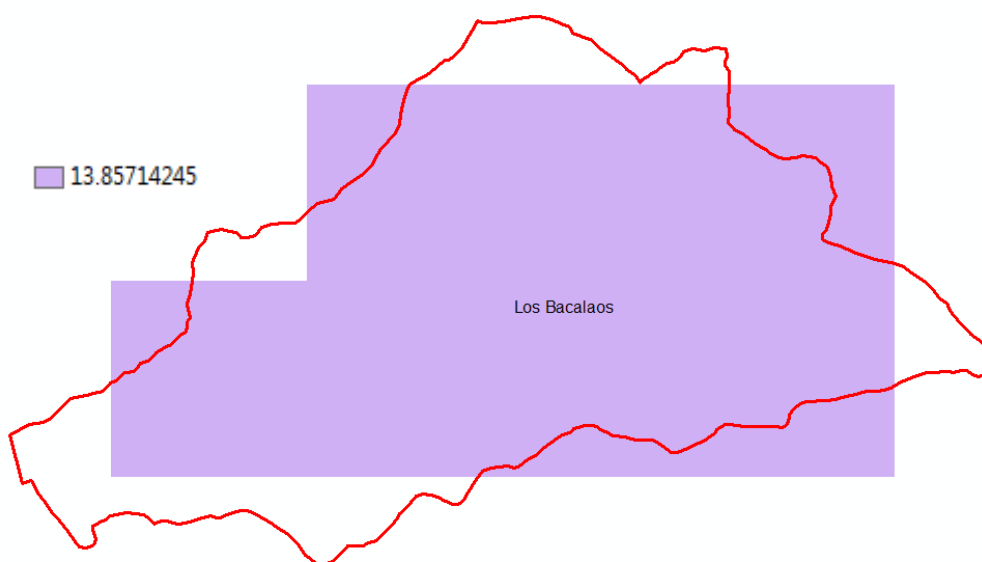
Número de curva REDIAM de la cuenca en estudio



El número de curva obtenido por este método, supone un umbral de escorrentía de 6,26 mm, valor que a tenor de la experiencia se considera demasiado bajo, pues se trata de una cuenca totalmente rural y el umbral de escorrentía obtenido es el normalmente utilizado para zonas con tejido urbano discontinuo, urbanizaciones, estructura urbana abierta, urbanizaciones exentas o ajardinadas, etcétera, para el grupo de suelos más impermeable.

Para analizar este valor, se ha determinado también la escorrentía mediante los mapas publicados por el Ministerio, capa de uso recomendado en la publicación “*Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables*”. Se trata de una capa SIG del umbral de escorrentía (mm) en condiciones de humedad media del suelo para el método racional modificado, obtenido a partir de los usos del suelo del CORINE LAND COVER 2000 y de acuerdo con la metodología expuesta en la Publicación “*Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección*” Editado por el CEDEX 2003, 346 p. , ISBN: 84-7790-389-1 , NIPO: 163-03-013-6, adaptada a la clasificación de usos del suelo del CLC – 2000.

Tras aplicar las herramientas de estadística zonal de las aplicaciones SIG, obtenemos un umbral de escorrentía de 13,86 mm, valor muy diferente proporcionalmente al obtenido mediante los mapas de la REDIAM.



Umbral de escorrentía (P0) según Ministerio



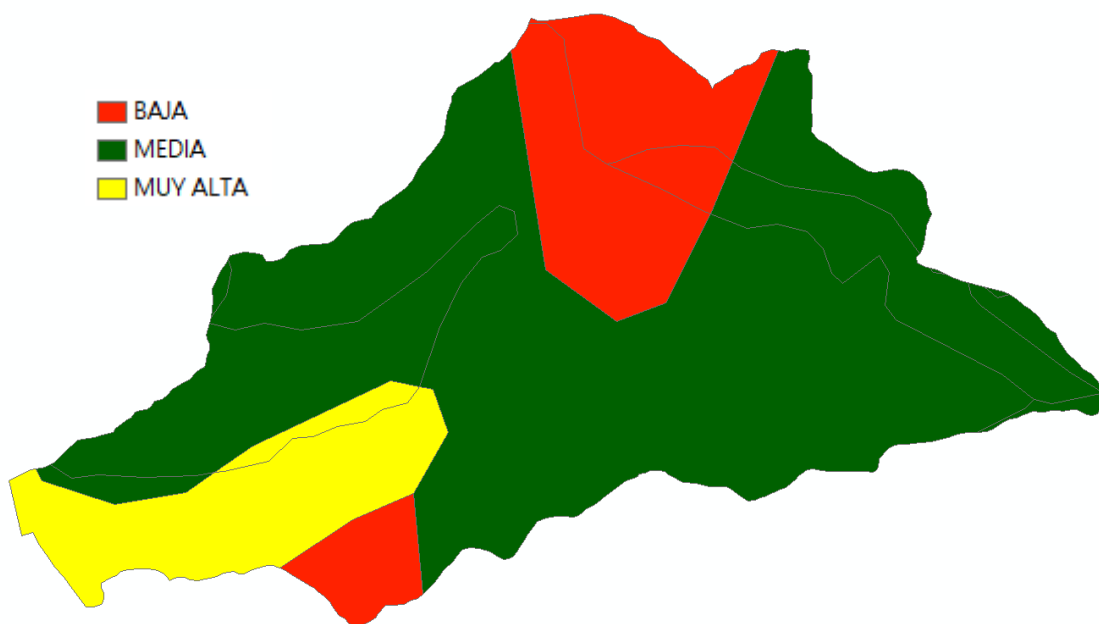
Debido a la incertidumbre generada por las diferencias de umbral de escorrentía obtenidos entre los mapas de la REDIAM, y los mapas del Ministerio, se realiza un estudio pormenorizado de la cuenca en base a los mapas de permeabilidades del IGN, y a los usos del suelo de la zona.

Para ello, determinaremos el umbral de escorrentía haciendo uso del Anejo II de la Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables.

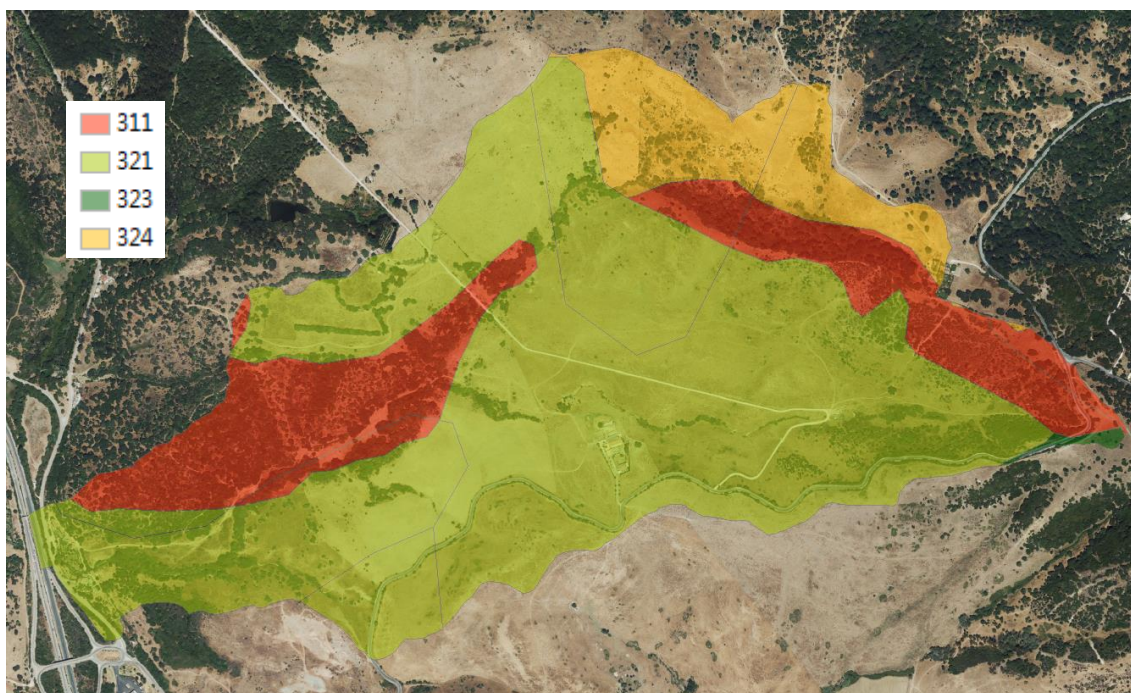
Para ello, en primer lugar se ha determinado la permeabilidad de los suelos que forman parte de la cuenca, haciendo uso del Mapa de permeabilidades del Instituto Geológico y Minero de España a través del servicio WMS IGME Mapa permeabilidades 1:200.000.

Una vez determinada la permeabilidad del suelo en cada zona de la cuenca, se han caracterizado los usos del suelo con ayuda de la capa de usos del suelo Corine Land Cover 2000 obtenida a través del servidor WMS de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), corrigiendo las zonas oportunas con ayuda de ortofotografías, dotando así a la discretización de un mejor grado de detalle.

Los mapas de permeabilidades y usos del suelo de las cuencas de aportación son las que se muestran a continuación.



Mapa de permeabilidades (Fuente: WMS IGME Mapa permeabilidades 1:200.000)



Mapa de usos del suelo (Fuente: Corine Land Cover 1:100.000)

La codificación expuesta en la figura anterior se corresponde con los siguientes usos del suelo:

- 311: Frondosas y/o perennifolias.
- 321: Pastizales naturales pendiente mayor al 3%
- 323: Vegetación esclerófila
- 324: Matorral boscoso de transición.

En la publicación de referencia, “*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, se recogen los valores de umbral de escorrentía recomendados a partir de la zonificación del Corine Land Cover 2000, por lo que serán los umbrales de escorrentía a aplicar en el presente documento.

Para la aplicación de dichos umbrales de escorrentía es necesario distinguir entre grupos de suelo A, B, C ó D tal como se explicaba anteriormente. Para ello haremos uso del mapa de permeabilidades del suelo del IGME. Estos mapas clasifican el suelo según sea la permeabilidad, Muy Alta, Alta, Media, Baja o Muy Baja. Para transformar estas permeabilidades a los grupos de suelo A a D, supondremos que la permeabilidad Muy Alta se corresponde con el grupo A, la Alta con el grupo B, la Baja con el grupo C, la Muy Baja con el grupo D y la media con el valor medio de los grupos B y C. De esta manera obtenemos los valores de la tabla siguiente para cada uso de suelo.



CLC2000	MUY ALTA	ALTA	BAJA	MUY BAJA	MEDIA
311	90	47	31	23	39
321	53	23	14	9	18.5
323	60	24	14	10	19
324	75	34	22	16	28

Umbral de escorrentía (P_0 en función de usos del suelo y permeabilidad)

Haciendo uso de aplicaciones SIG y posteriormente haciendo la media ponderada de los umbrales de escorrentía de la cuenca, se ha determinado el umbral de escorrentía, resultando ser de 27,32 mm, es decir, unos 27 mm.

Cuenca	Área	CLC	Permeabilidad	P_0	Área* P_0
Los Bacalaos	112054.784	311	MEDIA	39.00	4370136.59
Los Bacalaos	2669.30417	311	MEDIA	39.00	104102.86
Los Bacalaos	187613.961	311	MEDIA	39.00	7316944.46
Los Bacalaos	19366.5718	311	MUY ALTA	90.00	1742991.47
Los Bacalaos	24457.65	311	BAJA	31.00	758187.15
Los Bacalaos	15414.728	311	MEDIA	39.00	601174.39
Los Bacalaos	793431.902	321	MEDIA	18.50	14678490.20
Los Bacalaos	16638.78	321	MEDIA	18.50	307817.43
Los Bacalaos	205099.515	321	MUY ALTA	53.00	10870274.32
Los Bacalaos	54985.2701	321	BAJA	14.00	769793.78
Los Bacalaos	139062.973	321	BAJA	14.00	1946881.63
Los Bacalaos	5825.53579	323	MEDIA	19.00	110685.18
Los Bacalaos	505.164073	324	MEDIA	28.00	14144.59
Los Bacalaos	127.27573	324	MEDIA	28.00	3563.72
Los Bacalaos	103488.382	324	BAJA	22.00	2276744.40
Los Bacalaos	67956.9429	324	MEDIA	28.00	1902794.40
TOTALES	1748698.74			27.32	47774726.57

Este valor es más elevado que el obtenido mediante la REDIAM y el Ministerio, aunque si bien es cierto, es resultado de un análisis específico.

Para trabajar del lado de la seguridad, finalmente adoptaremos el valor obtenido por los mapas ráster de Ministerio, pues son más bajos que los calculados de manera específica, pero más altos que los determinados por la REDIAM, cuyo valor es excesivamente bajo.

De este modo, emplearemos un umbral de escorrentía de 13,86 mm, equivalente a un NC de 78,6 aproximadamente.



5.7 TRANSFORMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN ESCORRENTÍA

Una vez conocidas las precipitaciones y el poder de infiltración que tienen las cuencas vertientes, se han de definir los parámetros necesarios para la transformación de la lluvia en escorrentía.

Para la simulación hidrológica de la cuenca se aplicará el modelo HEC-HMS, el cual requiere la elección previa de los métodos de cálculo para los procesos de generación de escorrentía, hidrograma de avenida y propagación de caudales.

En el caso concreto que estamos tratando se han escogido las siguientes opciones de cálculo en la construcción del modelo:

- **Generación de escorrentía mediante el modelo del U.S. Soil Conservation Service**

Se aplicará la ecuación siguiente:

$$Q = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4P_0}, \text{ donde:}$$

- Q = Escorrentía en mm
- P = Precipitación acumulada en mm
- P₀ = Umbral de escorrentía en mm

La aplicación del método del S.C.S. requiere la determinación previa del umbral de escorrentía P₀ en mm o en su caso, el número de curva definido por el U.S. Soil Conservation Service (SCS), valores ya calculados.

- **Distribución de la escorrentía según el hidrograma unitario adimensional de S.C.S.**

Existen diversas maneras de estimar el hidrograma de descarga de un determinado aguacero sobre una cuenca, como los métodos empíricos, modelos del hidrograma unitario o el modelo conceptual de la onda cinemática que representan con base física el proceso y los mecanismos que gobiernan el movimiento del exceso de precipitación en una cuenca. En este estudio se empleará el método del hidrograma unitario, que se define como aquél provocado por una lluvia de duración e intensidad dadas, uniforme en el espacio y en el tiempo. Obtenido éste se puede calcular el hidrograma resultante de una tormenta cualquiera de la que se conozca el hietograma neto.

El hidrograma unitario es un modelo de respuesta lineal simple de la cuenca ante una lluvia neta que puede usarse para deducir el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de lluvia. Empleamos el hidrograma unitario del SCS, que surge del estudio de diversas cuencas por el Servicio de Conservación del Suelo de los EEUU. Esto dio lugar a la



estimación de un unitario tipo (SOIL CONSERVATION SERVICE, 1972). El hidrograma final resultante será la suma de las componentes de cada uno de los unitarios de subcuenca, alterados por el proceso de traslación y laminación en cauces.

Es habitual emplear como único parámetro en el unitario del SCS el tiempo de desfase a la punta (T_{dp} o T_{lag}), que es el tiempo existente entre el centro de gravedad del hidrograma neto o precipitación efectiva y el tiempo en que se produce el máximo valor de caudal o punta del hidrograma. Esto permite definir los hidrogramas unitarios de duración “D” horas sencillamente aplicando la definición del tiempo de desfase a la punta. Es aconsejable utilizar formulaciones obtenidas en cuencas de mayor tamaño, referente numerosas veces al tiempo de concentración (T_c) del recorrido máximo y aplicar las relaciones existentes entre ambos tiempos característicos para cada una de las subcuencas del modelo a partir de la información geométrica de la cuenca.

Para cuencas que no están aforadas, el SCS sugiere que el tiempo de retraso se relacione con el tiempo de concentración mediante la siguiente relación:

$$\frac{T_{LAG}}{T_C} = \frac{6}{10}$$

No obstante, la Administración Hidráulica Andaluza sugiere que la relación sea la siguiente:

$$\frac{T_{LAG}}{T_C} = \frac{3,5}{10}$$

Esto supone una reducción en el tiempo de retraso y por tanto un aumento de los caudales resultantes, no obstante, será el método empleado para el cálculo de este parámetro.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se ha calculado el tiempo de retraso T_{lag} para cada una de las cuencas en estudio.

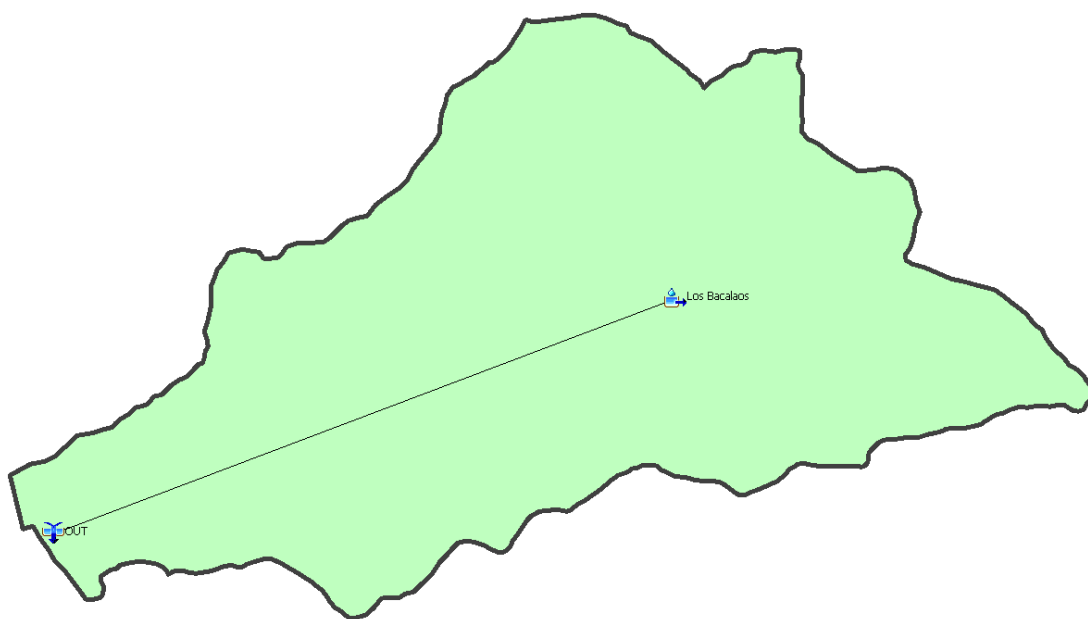
Subcuenca	T_c (h)	T_{lag} (min)
Los Bacalaos	1.27	27

Tabla de tiempos de desfase (T_{lag}) en cada subcuenca



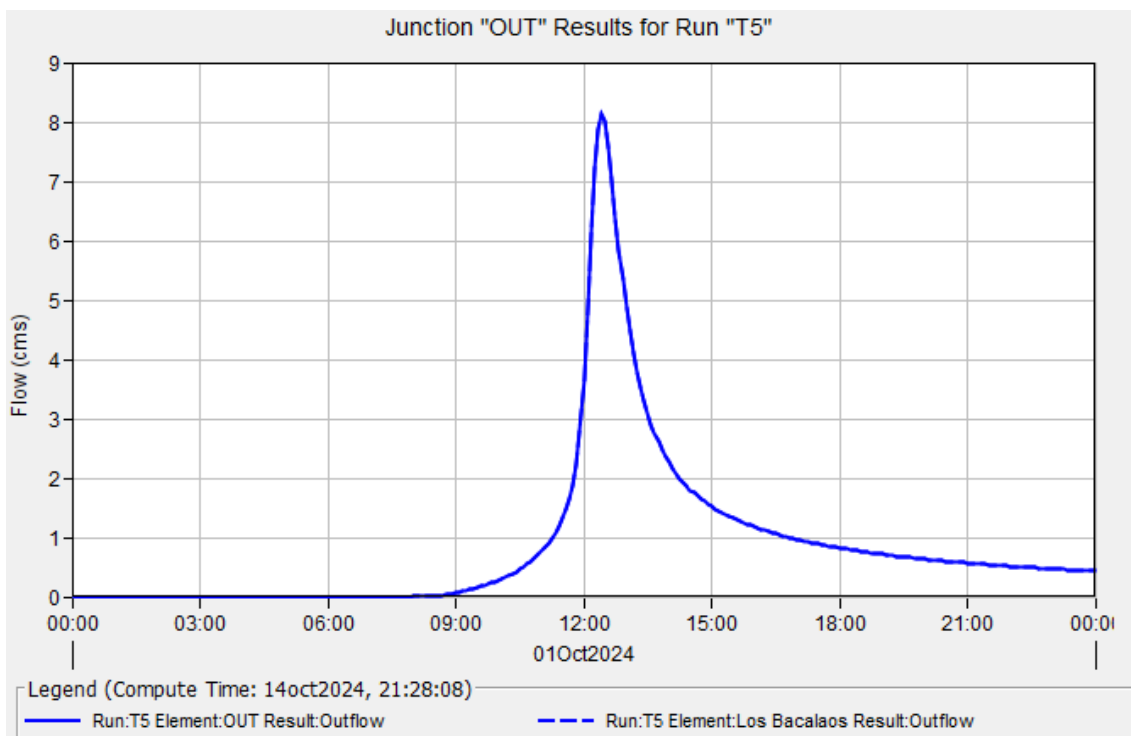
- **Cálculo de caudales**

Para el cálculo se ha empleado el modelo matemático HEC-HMS, (Hydrologic Modeling System), que es una versión actualizada del clásico modelo matemático HEC-1 Flood Hydrograph Package, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers. En el gráfico siguiente se ha representado el modelo de cuenca utilizado para el cálculo.

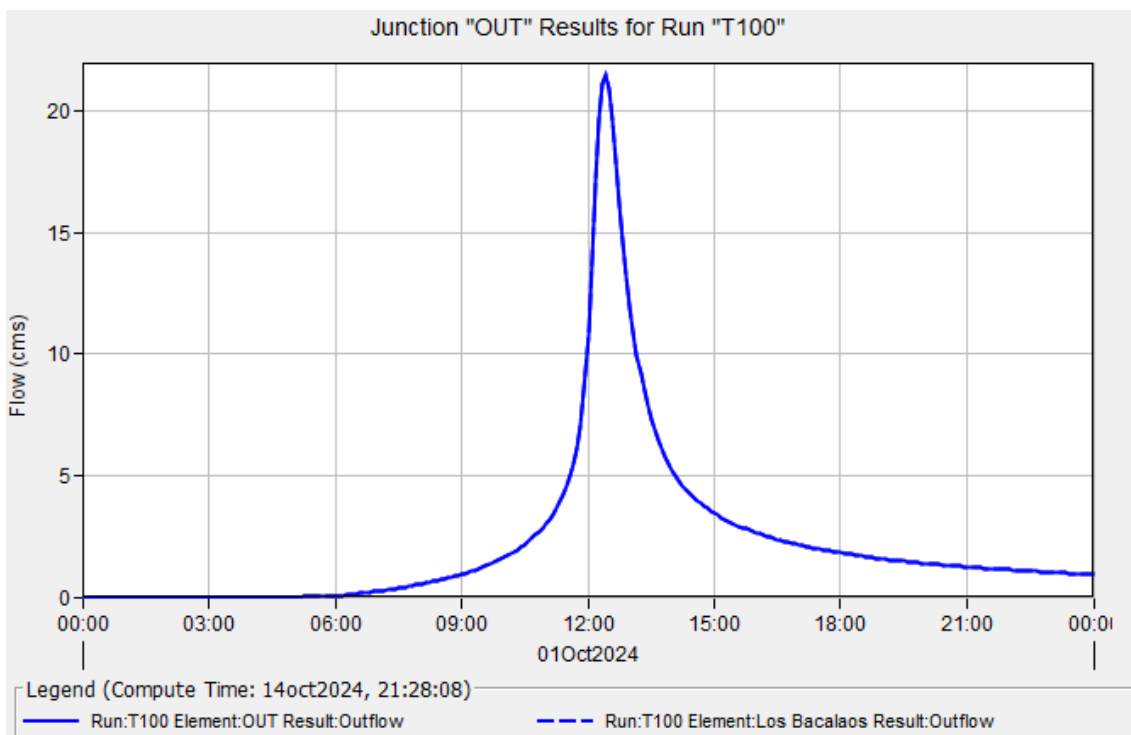


Modelo de cálculo HMS de las cuenca del río del arroyo Los Bacalaos hasta la zona de estudio

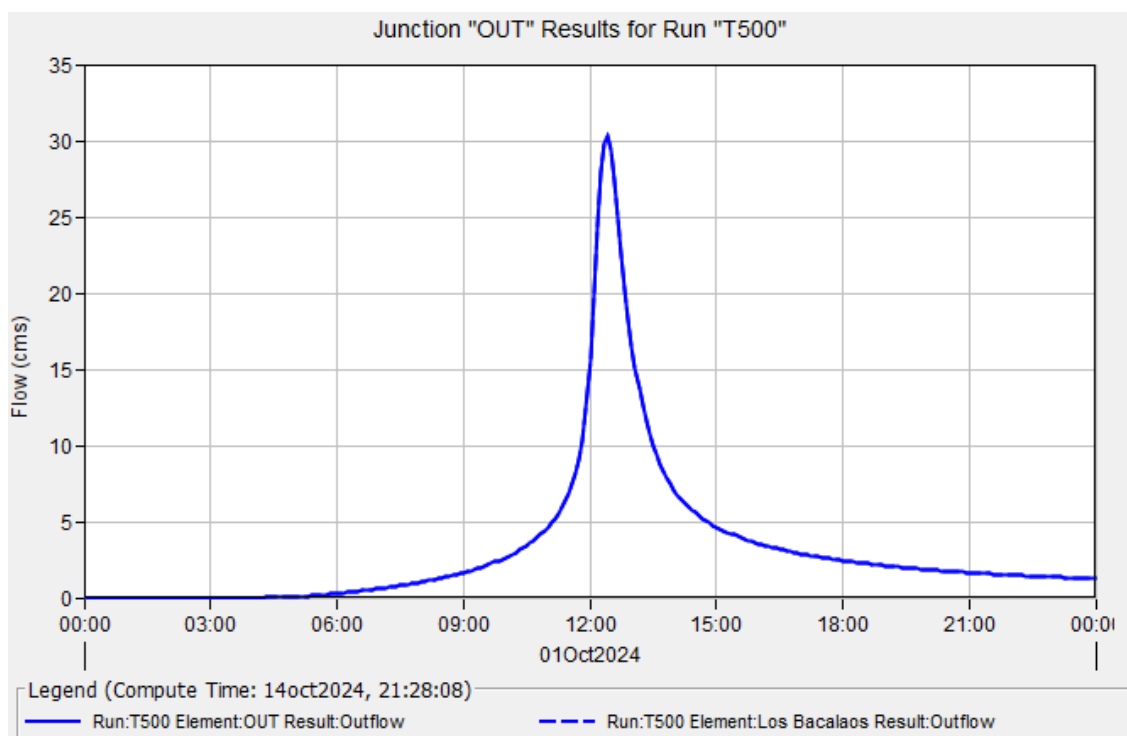
Tras la ejecución del modelo de cálculo parametrizado con los valores justificados anteriormente, obtenemos los hidrogramas de avenidas asociados a los periodos de retorno de 5, 100 y 500 años, que son los que se muestran a continuación.



Hidrograma de avenidas en el punto "OUT" del modelo para un periodo de retorno de 5 años
 $Q_p = 8,1 \text{ m}^3/\text{s}$



Hidrograma de avenidas en el punto "OUT" del modelo para un periodo de retorno de 100 años
 $Q_p = 21,5 \text{ m}^3/\text{s}$



*Hidrograma de avenidas en el punto "J-OUT" del modelo para un periodo de retorno de 500 años
 $Q_p = 30,3 \text{ m}^3/\text{s}$*

5.8 COMPROBACIÓN DE CAUDALES MEDIANTE APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL

Una vez obtenidos los caudales mediante el método del HEC-HMS, se ha aplicado el también el método racional con objeto de comprobar el caudal punta obtenido en la cuenca.

En este caso, utilizaremos el método racional modificado, pues el tiempo de concentración de la cuenca se sitúa entre 0,25 y 24 h, y el área de la cuenca es superior a 1 Km² e inferior a 3.000 Km².

El procedimiento de cálculo es el que se indica a continuación:

$$Q = \frac{C \cdot A \cdot I_t}{3,6} \cdot K(\text{Modificado})$$

Donde C, es el coeficiente de escorrentía que se rige por la siguiente expresión:

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



La siguiente variable es el área de la cuenca, valor ya calculado anteriormente, faltando por determinar la intensidad de precipitación correspondiente a un tiempo igual al tiempo de concentración, para lo que se emplea la ecuación ya expuesta en el apartado de Cálculo de hietogramas, y que se vuelve a exponer a continuación.

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\left(\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1} \right)}, \text{ siendo:}$$

- I_t , la intensidad del aguacero a considerar
- I_d , la intensidad de precipitación diaria (I_1/I_d)= 9
- t , la duración del aguacero, igual al tiempo de concentración

El valor de K es exclusivo para el método Racional modificado, depende en exclusiva del tiempo de concentración y responde a la siguiente ecuación:

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

Implementando estas ecuaciones en una hoja de cálculo, obtenemos los resultados que se muestran a continuación:

T	Superficie (Km ²)	L. Cauce más largo (m)	Z aguas arriba (m)	Z aguas abajo (m)	Pendiente media	Tc (h)	Método
5	1.749	3 068	144.00	10.00	0.04368	1.27	Modificado
100	1.749	3 068	144.00	10.00	0.04368	1.27	Modificado
500	1.749	3 068	144.00	10.00	0.04368	1.27	Modificado

T	K _A	Pd (mm/día)	P ₀ (mm)	C
5	1.00000	84.01	13.86	0.51
100	1.00000	155.98	13.86	0.71
500	1.00000	201.38	13.86	0.78

T	I	K Témez modificado	Q (m ³ /s)
5	27.48	1.09	7.34
100	51.02	1.09	19.13
500	65.88	1.09	27.13

Como podemos comprobar, estos datos son similares a los obtenidos mediante el método del HEC HMS, pero algo más bajos, de modo que consideraremos en el cálculo hidráulico posterior, los caudales obtenidos por el método del HEC HMS.



5.9 CAUDALES DEL RÍO PALMONES

Como se ha indicado al inicio del estudio hidrológico, la Administración Hidráulica Andaluza ha estudiado, hace relativamente poco tiempo, la ARPSI del río Palmones, para lo cuál ha tenido que determinar los caudales de avenida para distintos periodos de retorno.

A pesar de que el sector SUS-7 no se prevé que se vea afectado por las avenidas del río Palmones, sí que podría influir en el comportamiento del flujo en la zona de aguas abajo del arroyo Los Bacalaos, pues este es afluente del primero.

Por otro lado, se debería estimar la posición del dominio público hidráulico de este cauce con objeto de determinar el alcance de la zona de policía, pues casi con toda probabilidad se situaría dentro del sector en estudio.

Dado que sólo se conocen los caudales punta asociados a cada periodo de retorno, sin conocer los hidrogramas de avenidas, así como atendiendo a la previsible influencia de las avenidas del río Palmones al sector en estudio, se realizarán los cálculos a caudal máximo y constante.

De este modo, los caudales de avenida utilizados para cada periodo de retorno serán los siguientes:

- T 5 años = T 5,5 años río Palmones = 346,4 m³/s.
- T 100 años = 808,0 m³/s.
- T 500 años = 1.145,8 m³/s.



6 ESTUDIO HIDRÁULICO

6.1 OBJETO

Con el presente estudio se pretende conocer el comportamiento de las avenidas del arroyo de Los Bacalaos y el río Palmones durante las avenidas de 5, 100 y 500 años de periodo de retorno.

6.2 SOFTWARE DE CÁLCULO

Las simulaciones hidráulicas se han realizado mediante análisis bidimensional, para lo cual se ha empleado el software HEC-RAS 6.2.

El software HEC-RAS, acrónimo de (Hydrologic Engineering Center y River Analysis System), es un programa desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers.

Esta herramienta permite simular el flujo de agua combinando modelos 1D/2D, así como totalmente 2D. El modelo basa su aplicación en las ecuaciones de onda difusiva y Sant Venant, según criterio del usuario (en este caso se ha utilizado Sant Venant), las cuales resuelve mediante el algoritmo de volúmenes finitos implícitos.

El software incorpora además una interface denominada RasMapper, en la cual el usuario incorpora el modelo digital del terreno, fundamental para la simulación hidráulica que se pretende y el análisis posterior de resultados.

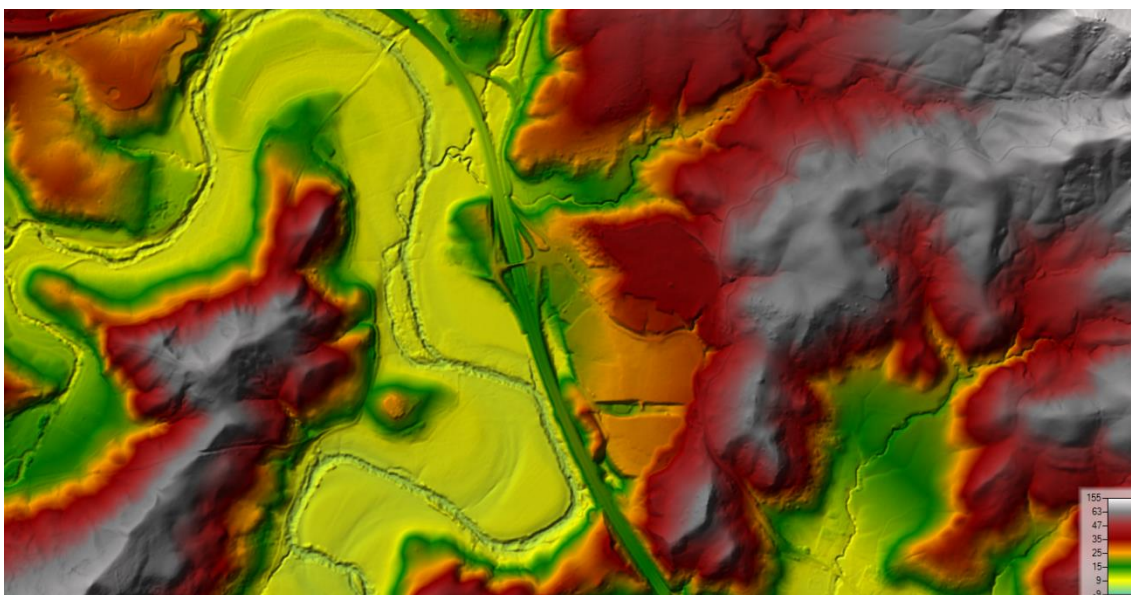
6.3 MODELIZACIÓN DEL TERRENO

Para la modelización hidráulica es imprescindible en primer lugar, definir al software de cálculo la topografía del terreno de la forma más exacta posible.

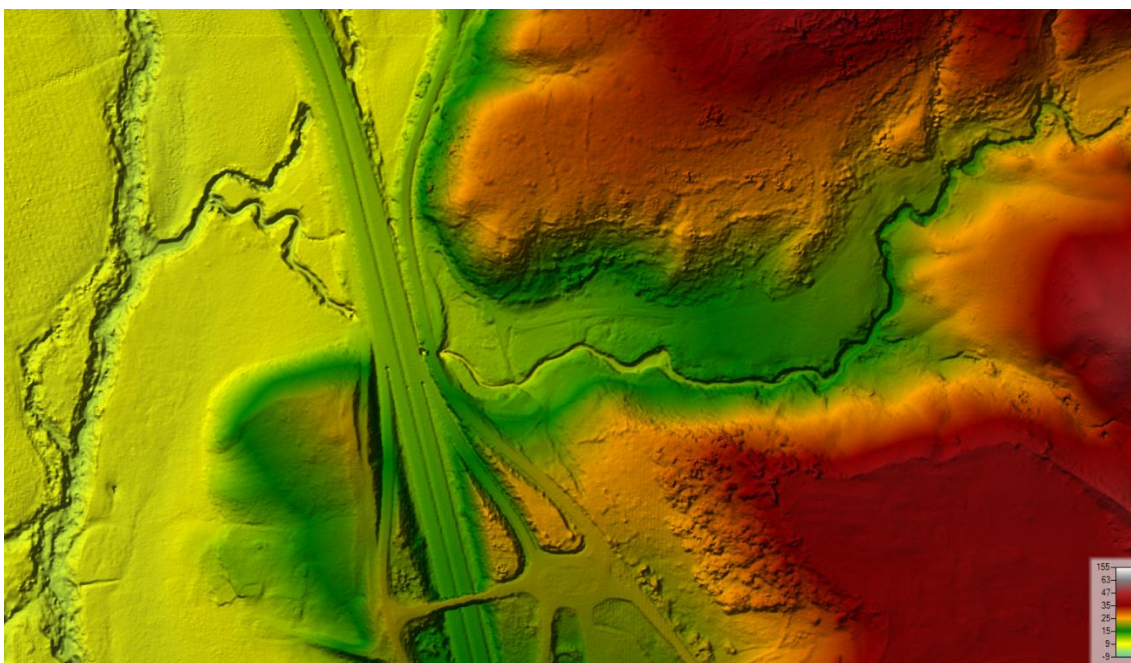
En este caso, se ha confeccionado el modelo digital del terreno en base a los vuelos Lidar del IGN de primera (2008- 2015) y segunda cobertura (2015 – 2021). Ha sido necesaria la utilización de los dos modelos, pues la vegetación del cauce impedía con un solo modelo determinar con la precisión necesaria los modelos digitales del terreno.

Tras un tratamiento de datos exhaustivo, se ha obtenido el modelo digital del terreno del ámbito de estudio en formato ráster, de 0,50 x 0,50 m de tamaño de celda, el cual se muestra a continuación, aunque para mejor detalle, se recomienda consultar los modelos de cálculo de HEC-RAS adjuntos a este documento.

Como se explica más adelante, dado que el arroyo de Los Bacalaos, tras el cruce con la autovía A-381, desemboca en el río Palmones, es necesario determinar el alcance de las avenidas también de este cauce, al menos de manera básica, de modo que sirva como condición de contorno a la salida del arroyo Los Bacalaos.



MDT ámbito general del arroyo de Los Bacalaos y río Palmones en el entorno de ámbito de estudio



MDT detalle del ámbito del arroyo de Los Bacalaos

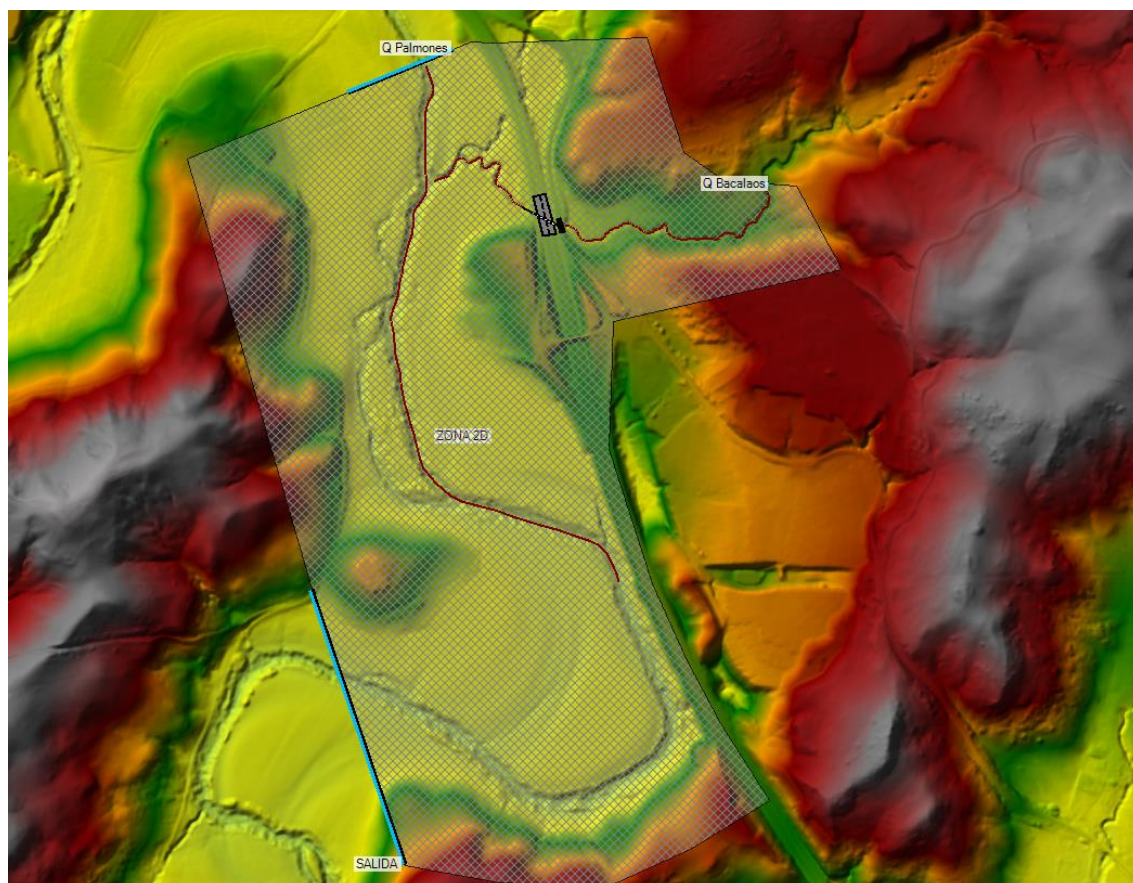


6.4 ZONAS DE CÁLCULO

La zona de cálculo modelada en el río Palmones, abarca desde unos 300 metros aguas arriba de la confluencia de este río con el arroyo de Los Bacalaos, hasta unos 2200 m hacia aguas abajo. El arroyo de Los Bacalaos se ha modelado en un tramo de un kilómetro aproximadamente desde la confluencia con el río Palmones hacia aguas arriba, abarcando este espacio toda la zona norte del desarrollo que se pretende llevar a cabo.

La modelización del ámbito se realiza mediante elementos “2D Flow Area”, generando una malla de cálculo con un tamaño de celda de 5 metros de lado.

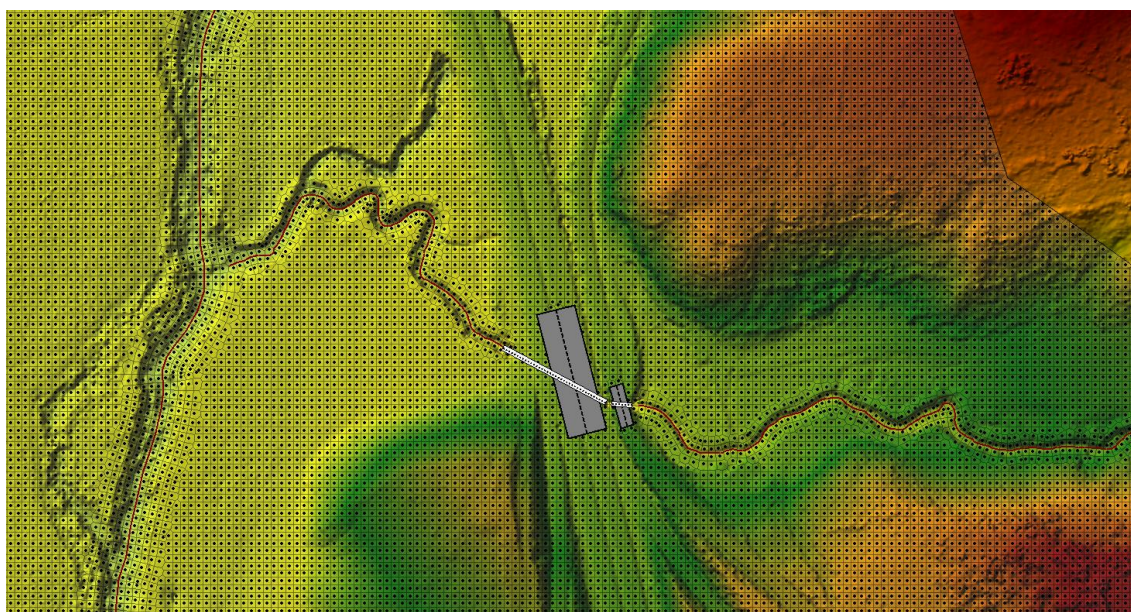
En el modelo que se muestra a continuación, se indica el punto de entrada de caudales al modelo, el ámbito de salida del mismo, así como las líneas de rotura utilizadas para orientar la malla de cálculo en el sentido principal del flujo del agua.



Modelo de cálculo del río del Valle a su paso por la parcela en estudio



Como se puede observar, con objeto de dar mayor precisión al cálculo, se han empleado líneas de rotura en el cauce del río, reorientando la malla en el sentido favorable del flujo para obtener mayor precisión en aquellas zonas más sinuosas del curso de agua. A continuación se muestra con mayor detalle algunas de estas líneas de rotura y la reorientación de la malla debido a las mismas.



Detalle de mallado y reorientación de la malla en el eje del río

6.5 CONDICIONES DE CONTORNO EN EL MODELO HIDRÁULICO

En figura expuesta anteriormente, se indican los puntos de entrada de caudal al modelo, así como el ámbito donde se ha establecido la salida.

Como caudal de entrada del arroyo Los Bacalaos, se introduce en cada caso, el hidrograma de avenidas para el periodo de retorno de 5, 100 o 500 años calculado en el epígrafe de hidrología. Además, junto con el caudal de entrada, se introduce la pendiente del cauce hacia aguas arriba, que en este caso es de 0,0152 m/m.

Respecto al río Palmones, para trabajar del lado de la seguridad y dado que no se conoce de manera exacta el hidrogramas de avenidas, no se puede saber de manera exacta el caudal que circula por el río cuando la punta de la avenida del arroyo Los Bacalaos se produce. Dada la magnitud de las cuencas, lo razonable sería pensar que la punta de la avenida del arroyo pequeño se produce antes que la del río Palmones, no obstante, para trabajar del lado de la seguridad, supondremos que el caudal que circula por el río Palmones es siempre constante,



coincidente con la punta de la avenida asociada a cada periodo de retorno. De este modo, los caudales utilizados para el río Palmones son constantes y los expresados a continuación:

- $Q_{T5} = 364,4 \text{ m}^3/\text{s}$.
- $Q_{T100} = 808,0 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{T500} = 1145,8 \text{ m}^3/\text{s}$

En la zona de aguas arriba del río Palmones se considera la pendiente del cauce, que es de $0,000338 \text{ m/m}$.

Como condición de contorno en la zona de aguas abajo del río Palmones se considera la pendiente del cauce hacia aguas abajo, que es de -0.000238 m/m .

6.6 INFRAESTRUCTURAS SOBRE LOS CAUCES

En el ámbito de estudio sólo existe una obra situada sobre el arroyo de Los Bacalaos, la cuál sirve para que tanto la autovía A-381 como la vía de servicio adyacente puedan salvar este cauce.

Como se puede ver en las fotografías siguientes, la obra de drenaje se divide en dos partes, una primera parte designada en el estudio como ODT-1A, que pertenece a la vía de servicio, y la designada como ODT-1B, que pertenece al tronco de la autovía.



Aspecto de la zona de aguas arriba de la ODT-1A

Tras la ODT-1A, esta desemboca en un espacio confinado con una fuerte rampa hacia la ODT-1B, tal como se puede observar en la fotografía siguiente.



Aspecto de la zona de aguas debajo de la ODT-1A, y entrada de la ODT-1B



Aspecto interior de la ODT 1B



Las características geométricas de esta obra de drenaje transversal son las que se indican a continuación:

- ODT 1A:
 - Parte inferior rectangular, de 3 m de base formada por losa de hormigón, y 1,61m de altura con paredes laterales formadas por piedra labrada.
 - Parte superior formada por arco circular de ladrillo visto. La altura total desde la base, es de 3,11 m.
 - Se considera un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,017, correspondiente a soleras de hormigón y paredes de piedra labrada.
 - La cota de entrada es la +8,75, y la de la salida, es la +8,52, con una longitud total de 13,7 m.

- ODT 1B:
 - Se trata de un tubo arco circular, de acero corrugado unido mediante tornillería, de 3,85 m de diámetro.
 - Se considera un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,024, correspondiente al metal corrugado.
 - La cota de entrada es la +7,39, y la de la salida, es la +6,40, con una longitud total de 77,5 m.

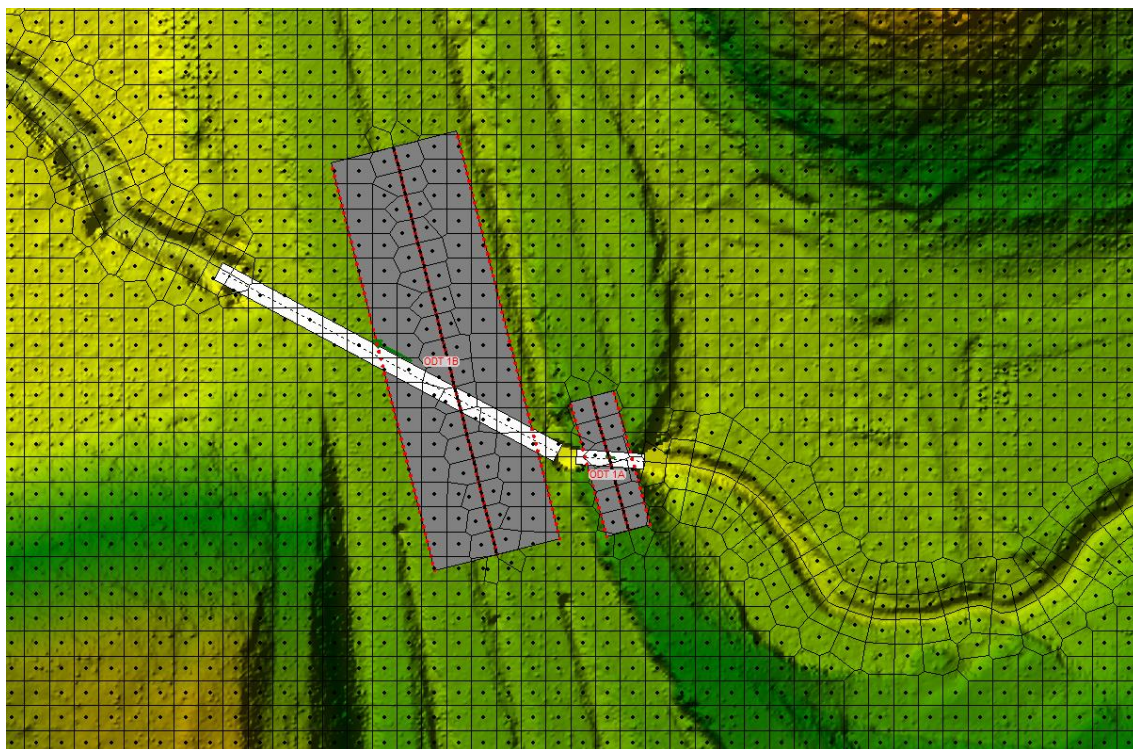
Dado que en el software de cálculo no se puede modelar de manera exacta la ODT-1A, se hace necesario buscar una sección equivalente por la que pueda ser sustituida.

En este caso, la obra de drenaje transversal tiene pendiente transversal de 1,7% aproximadamente. Si tenemos en cuenta el caudal máximo para la avenida T500, que es de 30,3 m³/s, en una sección rectangular de base 3 m y coeficiente de rugosidad 0,017, el tirante sería de 1,57 m, es decir, a caudal máximo el agua no alcanzaría siquiera la zona inferior del arco circular, pues este se sitúa a 1,61 m del suelo. De este forma, si suponemos una sección rectangular de 3m de base y altura 2 m sería más que suficiente. No obstante, para ajustar la geometría lo máximo posible a la realidad y que el modelo sea más coherente, se ha calculado la altura equivalente como aquella que supone tener el mismo área que la pieza original. Dado que el área de la sección real es de 8,36 m², se ha considerado una altura equivalente en la sección rectangular de 2,79 m.

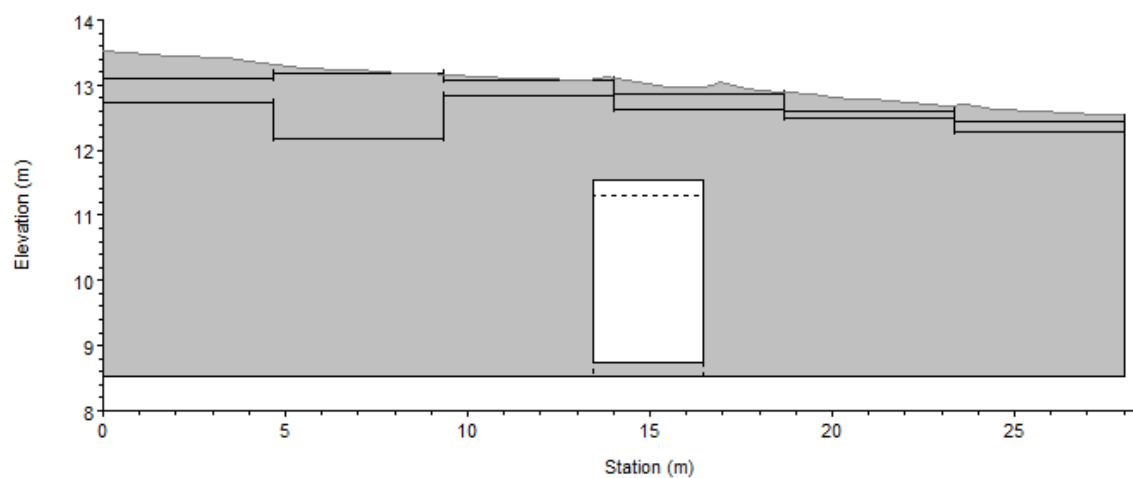


Por todo lo expuesto, la sección equivalente de ODT-1A, será una sección rectangular de 3m de base y 2,79 m de altura.

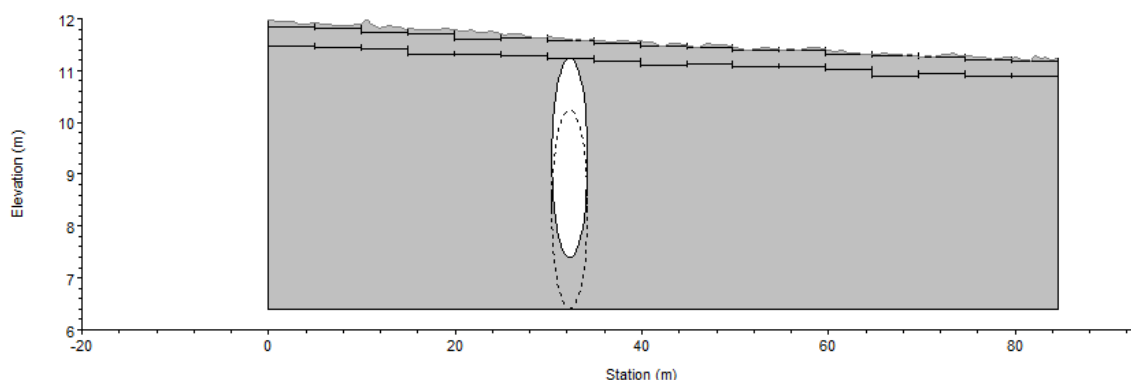
A continuación se adjunta la modelización en planta de cada una de estas obras de drenaje transversal, así como las secciones transversales introducidas en el modelo de HEC-RAS.



Modelización en planta de las obras de drenaje transversal ODT-1A y ODT-1B



Sección ODT-1A



Sección ODT-1B

6.7 CONDICIONES INICIALES

Se ha considerado que inicialmente todo el modelo hidráulico se encuentra en estado seco, es decir, con un calado = 0.

6.8 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

Para la asignación de los coeficientes de rugosidad de Manning a cada ámbito del modelo hidráulico, se ha utilizado como base la Tabla 1. “Valores del coeficiente de rugosidad de Manning” del Anejo V de la publicación “Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables”, editado por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. En base a los mapas de uso del suelo procedentes de las capas del SIOSE, y haciendo las correcciones y mejoras oportunas con ayuda de las ortofotografías más recientes, se han asignado los ámbitos que comparten coeficiente de rugosidad, que es el que se muestra en la figura siguiente:

Los coeficientes de rugosidad de Manning empleados han sido los siguientes:

Valores del Coeficiente de Manning		
CODIIGE	DESCRIPCIÓN	n (MANNING)
121	Instalación agrícola y/o ganadera	0.040
150	Asentamiento agrícola y huerta	0.040
161	Red viaria o ferroviaria	0.100
172	Infraestructura de residuos	0.100
210	Cultivo herbáceo	0.040
231	Frutal cítrico	0.06
311	Bosque de frondosas	0.070



Valores del Coeficiente de Manning		
CODIIGE	DESCRIPCIÓN	n (MANNING)
320	Pastizal o herbazal	0.035
330	Matorral	0.060
340	Combinación de vegetación	0.045
354	Suelo desnudo	0.030
500	Curso de agua río Palmones. Análisis específico	0.045
511	Curso de agua Los Bacalaos. Análisis específico	0.090

En el caso concreto del río Palmones y el arroyo Los Bacalaos, se ha determinado el coeficiente de rugosidad en base al método de Cowan (Cowan, 1956), también expuesto en la Guía que mencionábamos antes. Este método se basa en la estimación de un valor inicial de rugosidad y su posterior modificación, según unos valores correctores, para obtener un valor final de la rugosidad. El US Geological Survey (USGS) modifica el método de Cowan y lo publica en una guía para la selección de la rugosidad del cauce como método de Cowan modificado (Arcement y Schneider, 1990). Este método expresa el coeficiente de rugosidad como:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m, \text{ donde:}$$

- 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 tramo
- 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

A continuación, se procede a determinar el coeficiente de rugosidad de Manning para el cauce del río Palmones.

- n_0 = El material del lecho es de tierra arcillosa o arenas finas, por lo que tomaremos un valor de 0,020.
- n_1 = El grado de la irregularidad del cauce se puede considerar como moderado, es decir, con alguna erosión en márgenes, por lo que este coeficiente asciende a 0,010.
- n_2 = El ancho del cauce es sensiblemente constante, con contracciones y expansiones infrecuentes, por lo que consideraremos que se sitúa en 0,005.



- n_3 = El cauce está relativamente limpio, sin obstrucciones, por lo que este coeficiente será nulo.
- n_4 = En la zona central del cauce, la vegetación es prácticamente inexistente, aunque en las riberas esta sí que es abundante, considerada con otra rugosidad distinta en la del cauce en los modelos. En cualquier caso, supondremos que el cauce tiene una vegetación baja – media, por lo que utilizaremos un coeficiente de 0,010.
- m = Al llevar a cabo un análisis bidimensional no consideraremos este efecto, ya que se tienen en cuenta la sobreelevación del agua en meandros, pérdidas de carga, y otros efectos que se pretenden corregir con este parámetro.

Atendiendo a todos los coeficientes comentados anteriormente, el coeficiente de rugosidad de Manning del río Palmones se situaría en 0,045.

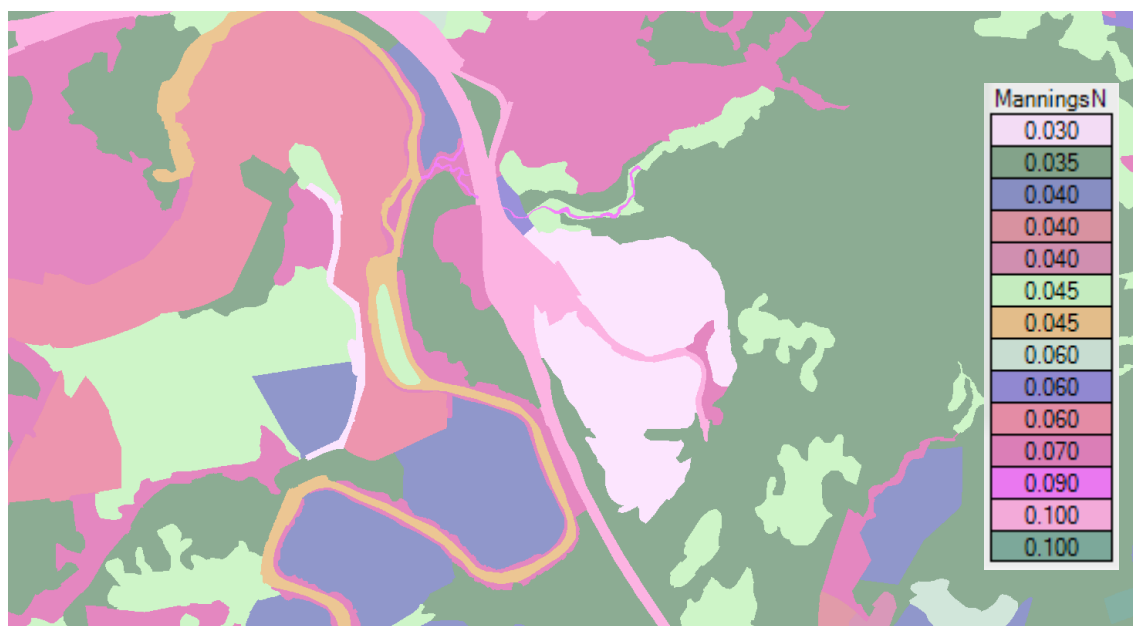
En el caso del arroyo Los Bacalaos, utilizaremos los siguientes parámetros:

- n_0 = El material del lecho es de tierra arcillosa, aunque abundan las gravas gruesas también, por lo que utilizaremos un coeficiente de 0,024.
- n_1 = El grado de la irregularidad del cauce se puede considerar como alto, es decir, con secuencias de rápidos y remansos, bolos y raíces descubiertas, por lo que este coeficiente asciende a 0,020.
- n_2 = El ancho del cauce es sensiblemente constante, aunque también existen tramos con contracciones y expansiones, por lo que utilizaremos un coeficiente de 0,010
- n_3 = El cauce está relativamente limpio, con muy pocas obstrucciones, sin embargo, para trabajar del lado de la seguridad, consideraremos que las obstrucciones ocupan en torno a un 5% del cauce, por lo que el coeficiente será de 0,010
- n_4 = En la zona central del cauce, la vegetación es relativamente alta, por lo que consideraremos un coeficiente de 0,025.
- m = Al llevar a cabo un análisis bidimensional no consideraremos este efecto, ya que se tienen en cuenta la sobreelevación del agua en meandros, pérdidas de carga, y otros efectos que se pretenden corregir con este parámetro.

Atendiendo a todos los coeficientes comentados anteriormente, el coeficiente de rugosidad de Manning del arroyo de Los Bacalaos, se situaría en 0,090.



A continuación se indica el mapa de rugosidad del ámbito de estudio.

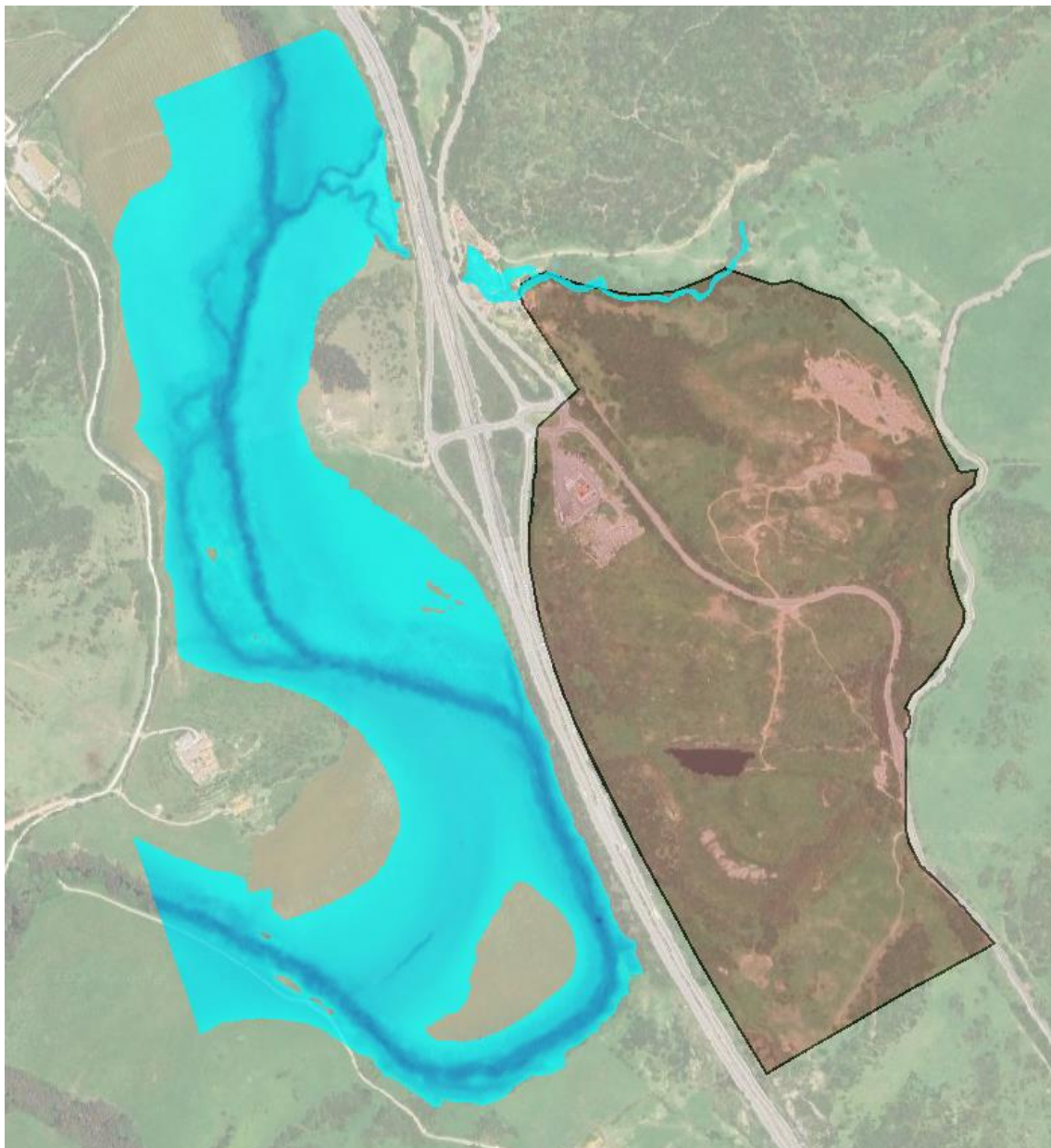


Coefficientes de Manning en el ámbito de estudio.

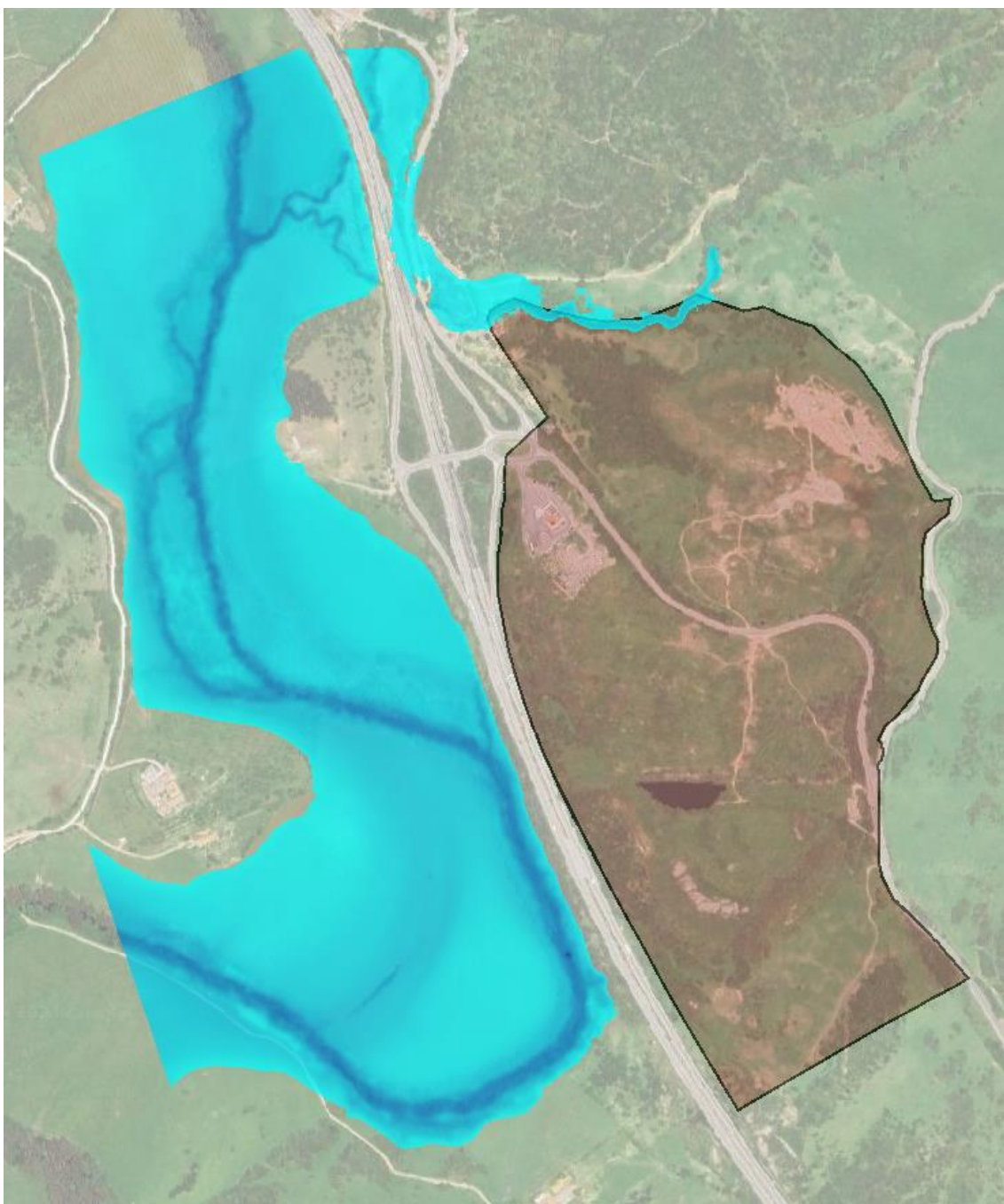
6.9 RESULTADOS OBTENIDOS

Tras la modelización hidráulica realizada para cada uno de los cauces y periodos de retorno en estudio, se obtienen las zonas inundables asociadas a cada periodo de retorno, que son las indicadas en las figuras siguientes, aunque para mejor detalle, se recomienda consultar los planos adjuntos a este informe.

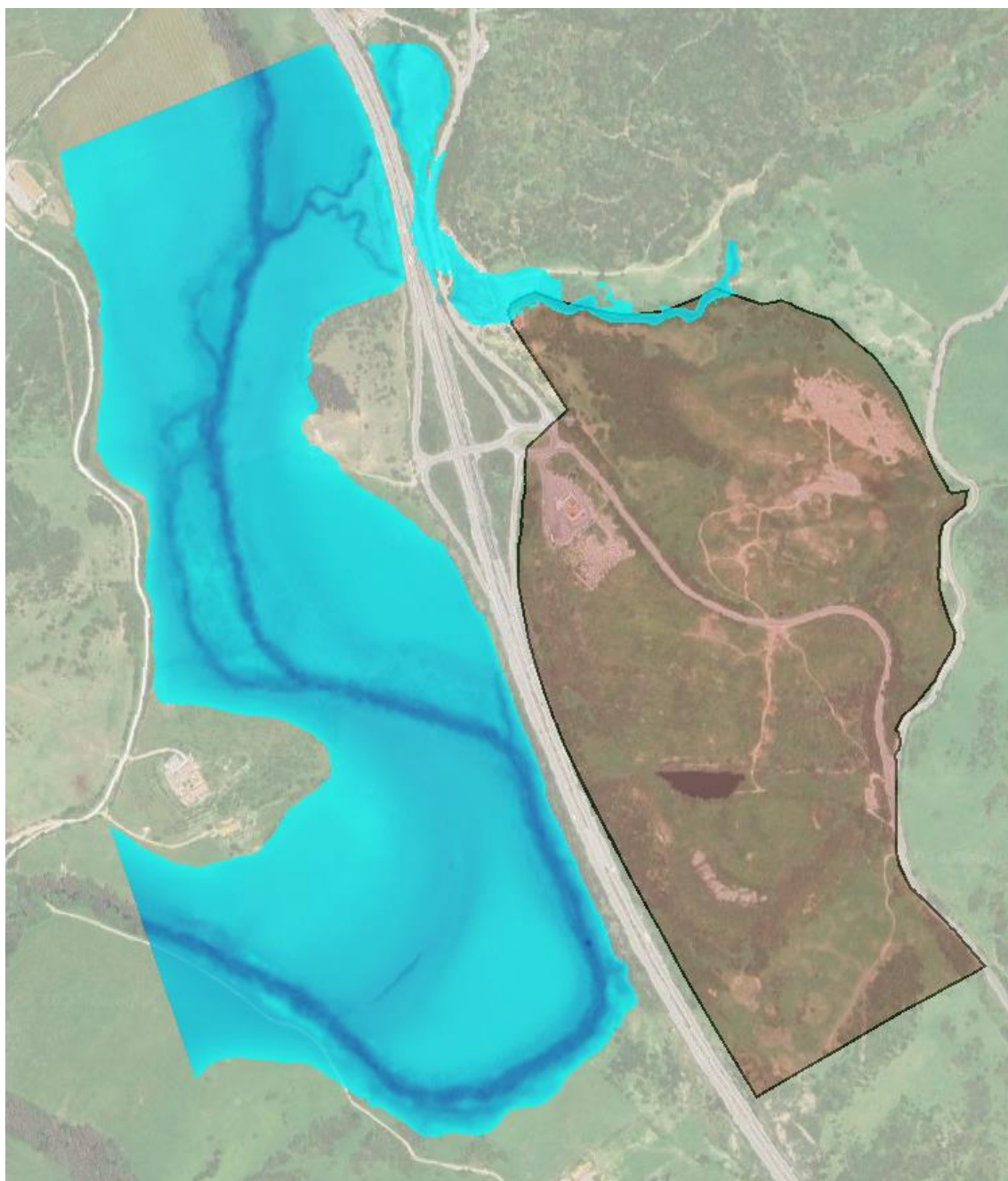
Como se puede comprobar, es sector no se ve influenciado por ninguna de las avenida del río Palmones. No obstante, el cauce del arroyo Los Bacalaos está prácticamente en su totalidad dentro del sector, por lo que aunque las avenidas no desbordan de manera significativa hacia el sector, sí que afectan a este, pues quedan igualmente dentro de él.



Zona inundable para la avenida de 5 años de periodo de retorno en estado actual



Zona inundable para la avenida de 100 años de periodo de retorno en estado actual



Zona inundable para la avenida de 500 años de periodo de retorno en estado actual



6.10 PROPUESTA DE DELIMITACIÓN CAUTELAR DEL DPH

En el presente apartado se realiza una propuesta para la delimitación técnica cautelar del DPH, determinando a partir de esta delimitación, la zona de servidumbre y policía de cauces.

El DPH se define en parte, por el alcance de las aguas durante la máxima crecida ordinaria. Para el cálculo de la máxima crecida ordinaria, se ha determinado el periodo de retorno asociado según se indica en la *“Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables”*, que se base en la selección de la región donde se ubica la zona de estudio indicada en la figura 44 de la citada publicación que se adjunta a continuación. En este caso, la zona de estudio se encuentra dentro de la región N°61.



Figura 44. División en regiones con comportamiento estadístico homogéneo respecto a los caudales máximos anuales.



Una vez conocida la región, haciendo uso de la tabla 63 de la guía, se determina el periodo de retorno asociado a la máxima crecida ordinaria, que en este caso, resulta ser de 5,5 años, como ya se adelantaba anteriormente.

Tabla 63. Tabla con los valores estimados de C_V y T_{MCO} para cada una de las regiones estadísticas consideradas.

Región	C_V	T_{MCO}
11	0,59	3,0
12	0,54	2,5
13	0,54	2,5
21	0,48	2,5
22	1,15	6,0
23	0,66	3,5
24	0,75	4,0
25	0,75	4,0
26	0,81	4,0
31	0,79	4,0
32	0,79	4,0
33	1,04	5,0
34	0,76	4,0
41	1,20	6,0
42	1,05	5,5
43	0,83	4,0
51	0,96	5,0
52	0,74	3,5
53	1,12	5,5
54	0,66	3,5
61	1,09	5,5
71	1,13	5,5
72	1,44	7,0
73	1,07	5,5
81	0,87	4,5
82	1,21	6,0
83	1,19	6,0
84	0,88	4,5
91	0,47	2,5
92	0,70	3,5
93	1,36	7,0
94	1,04	5,0
95	0,69	3,5
96	0,50	2,5
101	0,91	4,5
102	1,39	7,0

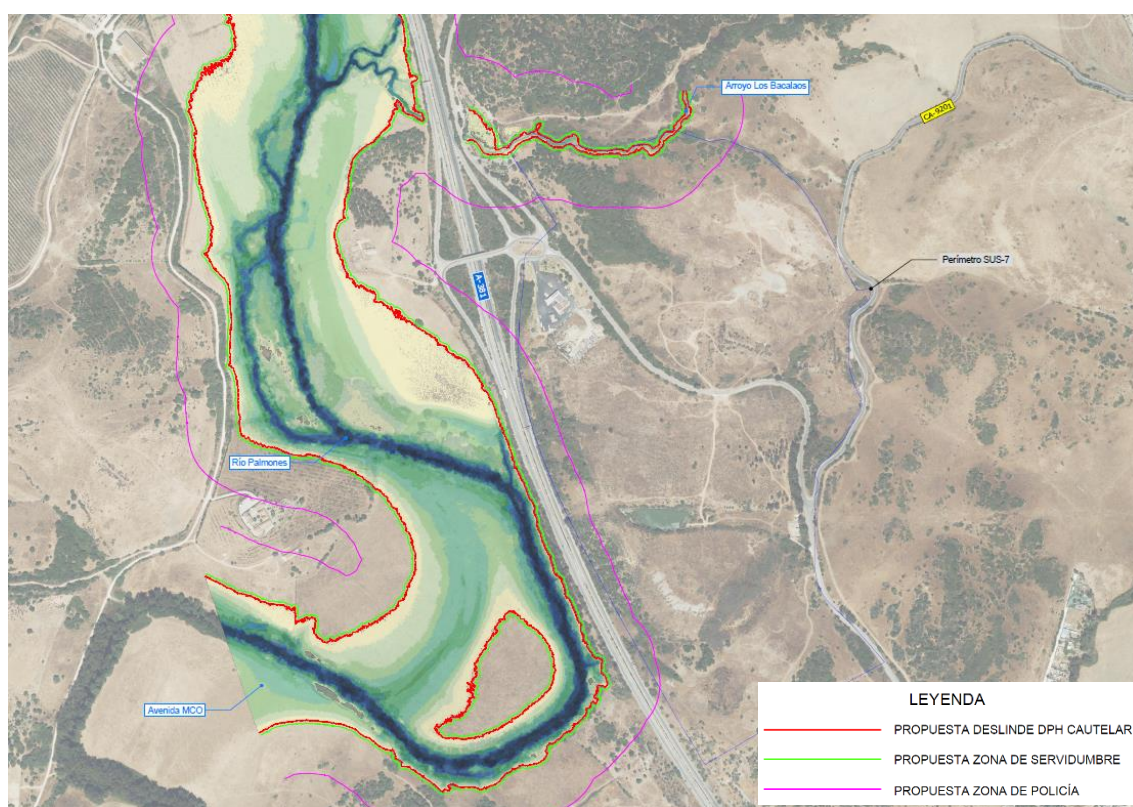
De este modo, el alcance de la avenida de 5,5 años de periodo de retorno, es equiparable a la máxima crecida ordinaria. En este caso, se ha equiparado a la avenida de 5 años de periodo de retorno, pues es el periodo de retorno menor que se ha calculado y además, para su



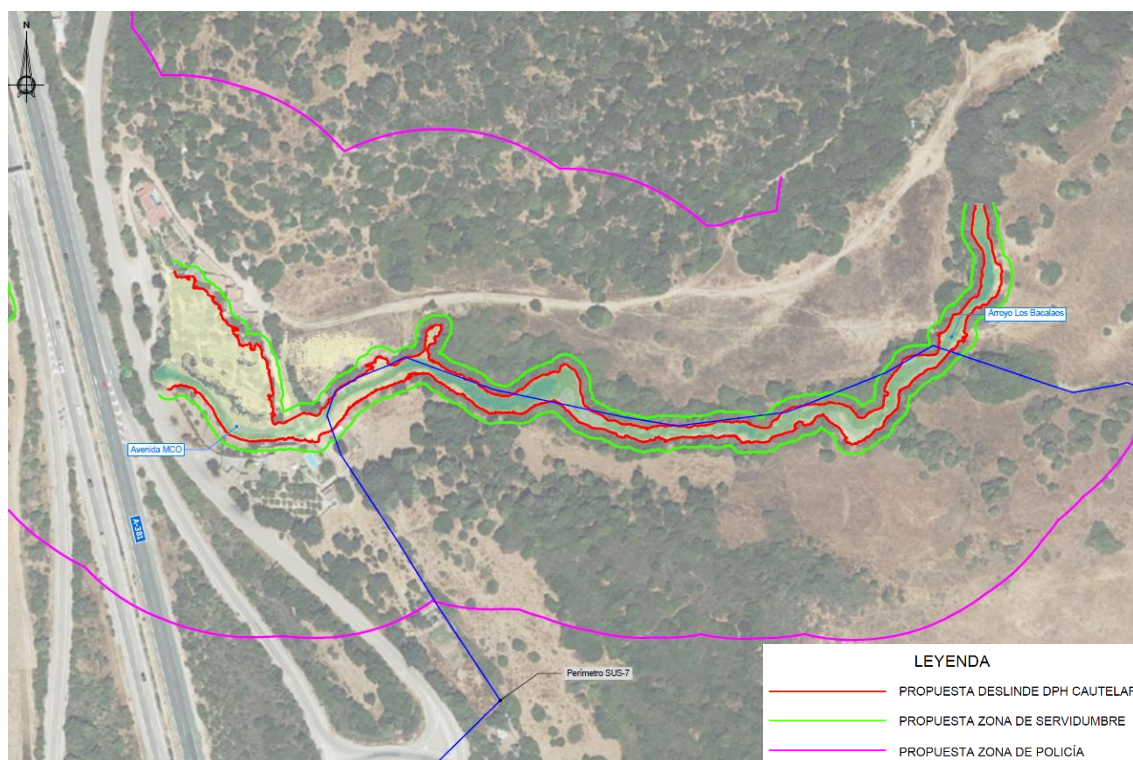
determinación se ha dejado el cálculo del lado de la seguridad, sin minorar las lluvias entre otros aspectos, lo que arrojarían valores más bajos de los considerados inicialmente.

Por otro lado, para trabajar del lado de la seguridad, no se ha realizado el cálculo en régimen natural, es decir, se mantiene la restricción de paso bajo la autovía existente, dejando el cálculo nuevamente del lado de la seguridad, pues esta consideración hace que el agua se retenga hacia la zona de aguas arriba y se produzcan sobreelevaciones más importantes que en régimen natural, lo que supone un mayor alcance de la avenida y por tanto, mayor ocupación del DPH.

Atendiendo al alcance de la máxima crecida ordinaria, y atendiendo a la geometría de los cauces, se ha trazado la propuesta de deslinde técnico del DPH, trazando las zonas de servidumbre y policía asociadas a este deslinde técnico cautelar, delimitación que puede ser consultada en los planos adjuntos a este documento.



Propuesta de delimitación técnica cautelar del DPH en el ámbito general



Propuesta de delimitación técnica cautelar del DPH en el ámbito del arroyo Los Bacalao

6.11 CÁLCULO DE LA ZONA DE FLUJO PREFERENTE

La zona de flujo preferente (ZFP) 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 (VID), 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, también conocido como zona de inundación peligrosa (ZIP), quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas.

A los efectos de la aplicación de la definición anterior, 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.



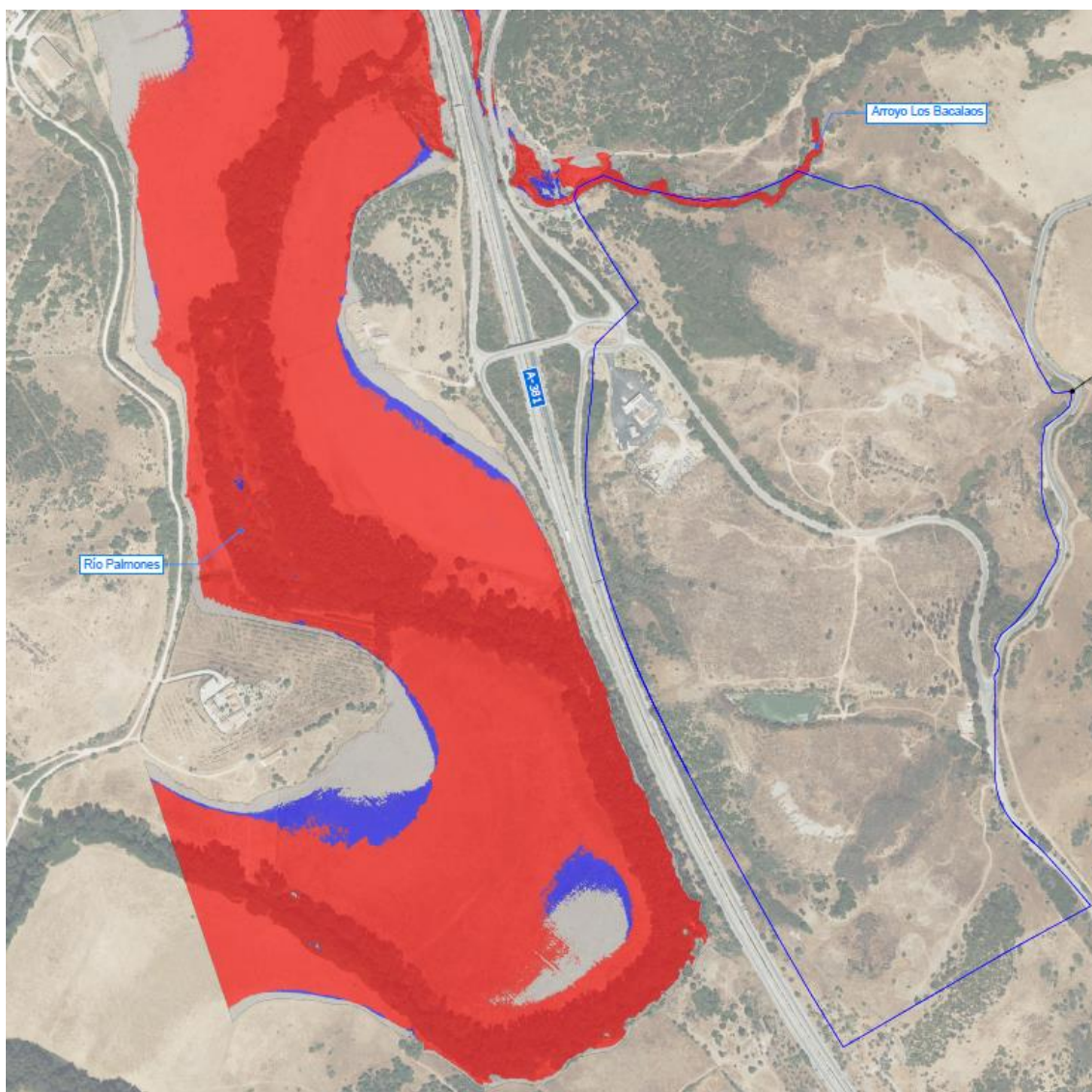
Por otro lado, se entiende por vía de intenso desagüe la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. En la delimitación de la zona de flujo preferente se empleará toda la información de índole histórica y geomorfológica existente, a fin de garantizar la adecuada coherencia de los resultados con las evidencias físicas disponibles sobre el comportamiento hidráulico del río.

Por otro lado, en la Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables, se expone que la determinación de esta zona (VID) entraña una dificultad técnica importante y una gran incertidumbre, puesto que, dependiendo del criterio que se emplee, se pueden obtener múltiples soluciones que cumplen con la definición anterior. De este modo, la propia guía indica que en la mayoría de los casos, es posible encontrar solución para la VID dentro de la zona de inundación peligrosa, por lo que propone determinar en primer lugar la zona de inundación peligrosa (ZIP) para obtener este ámbito, y luego, volver a propagar la avenida de 100 años, limitando el ámbito de propagación a la ZIP. Si al calcular la diferencia de cota de lámina de agua entre la situación inicial, y la situación en la que se limita el ámbito de propagación a la ZIP, si la diferencia es menor de 30 cm, queda demostrado que la VID se puede inscribir dentro de la ZIP, y por tanto la ZFP coincide con la ZIP, por lo contrario, si la diferencia es mayor de 30 cm, significa que la VID estaría por fuera de la ZIP, y sería necesario reajustar los bordes para determinar la posición de la VID por fuera de la ZIP y entonces obtener la ZFP.

De este modo, en el caso que nos ocupa, seguiremos el procedimiento descrito anteriormente, pues parece el más razonable como se explica en la propia guía.

En el caso que nos ocupa, la zona de graves daños o zona de inundación peligrosa, es la que se indica en la figura siguiente con trama de color rojo, siendo el ámbito de color gris, la zona perteneciente a la avenida de 100 años que queda fuera de la zona de graves daños.

En las figura siguiente, las zonas de color rojo indican aquellas áreas donde el calado es mayor o igual a 1m, o en las que la velocidad es superior a 1 m/s. Por otro lado, de color azul se representan aquellas zonas donde el producto del calado por la velocidad son iguales o superiores a 0,5 m²/s.



Zona de graves daños o zona de inundación peligrosa en el ámbito de estudio (ZIP)

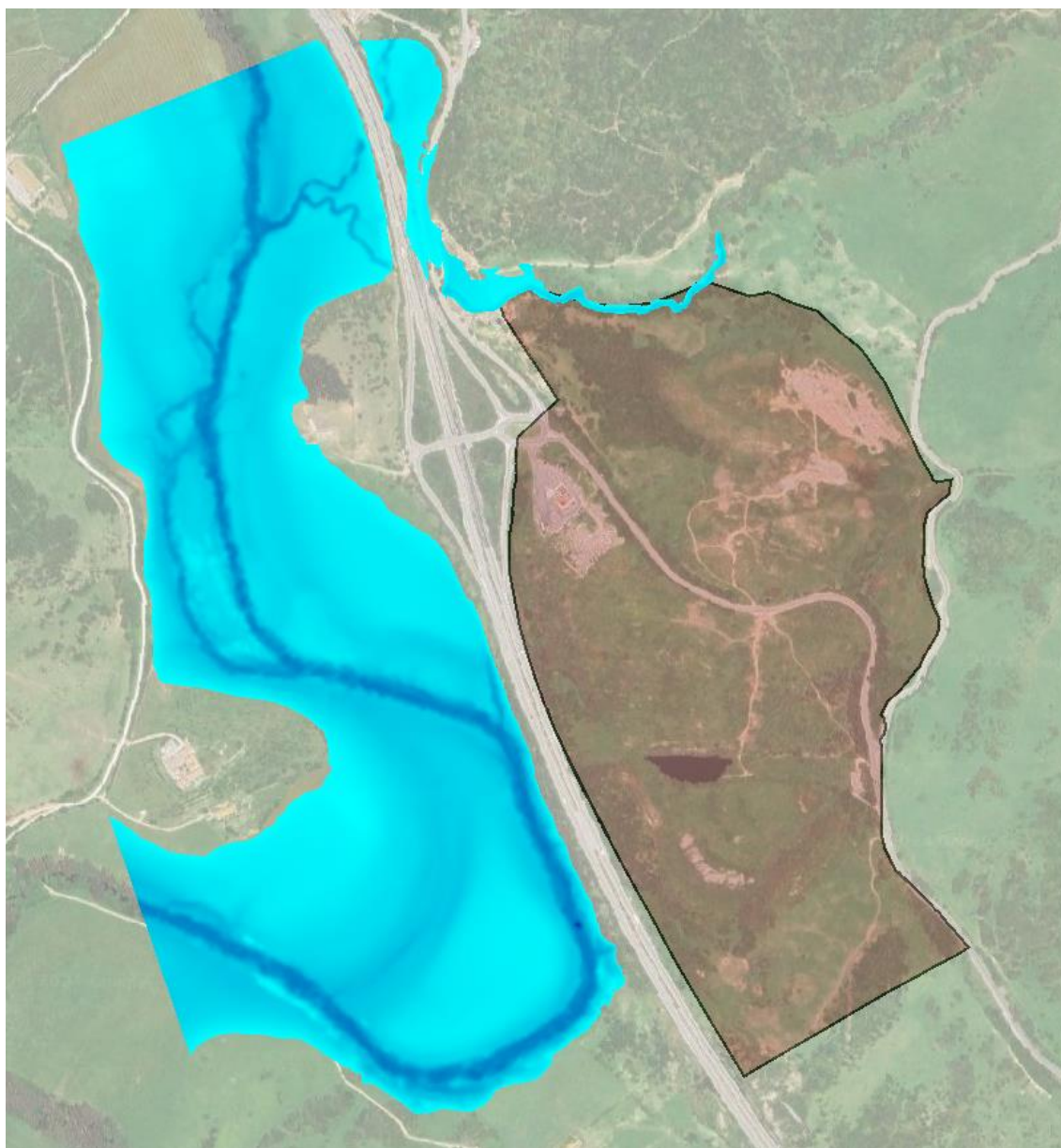


Zona de graves daños o zona de inundación peligrosa en el ámbito del arroyo Los Bacalaos (ZIP)



Posteriormente, se realiza nuevo modelo de cálculo para la avenida de 100 años, limitando la propagación al ámbito de la ZIP, obteniendo la zona inundable que se muestra a continuación.

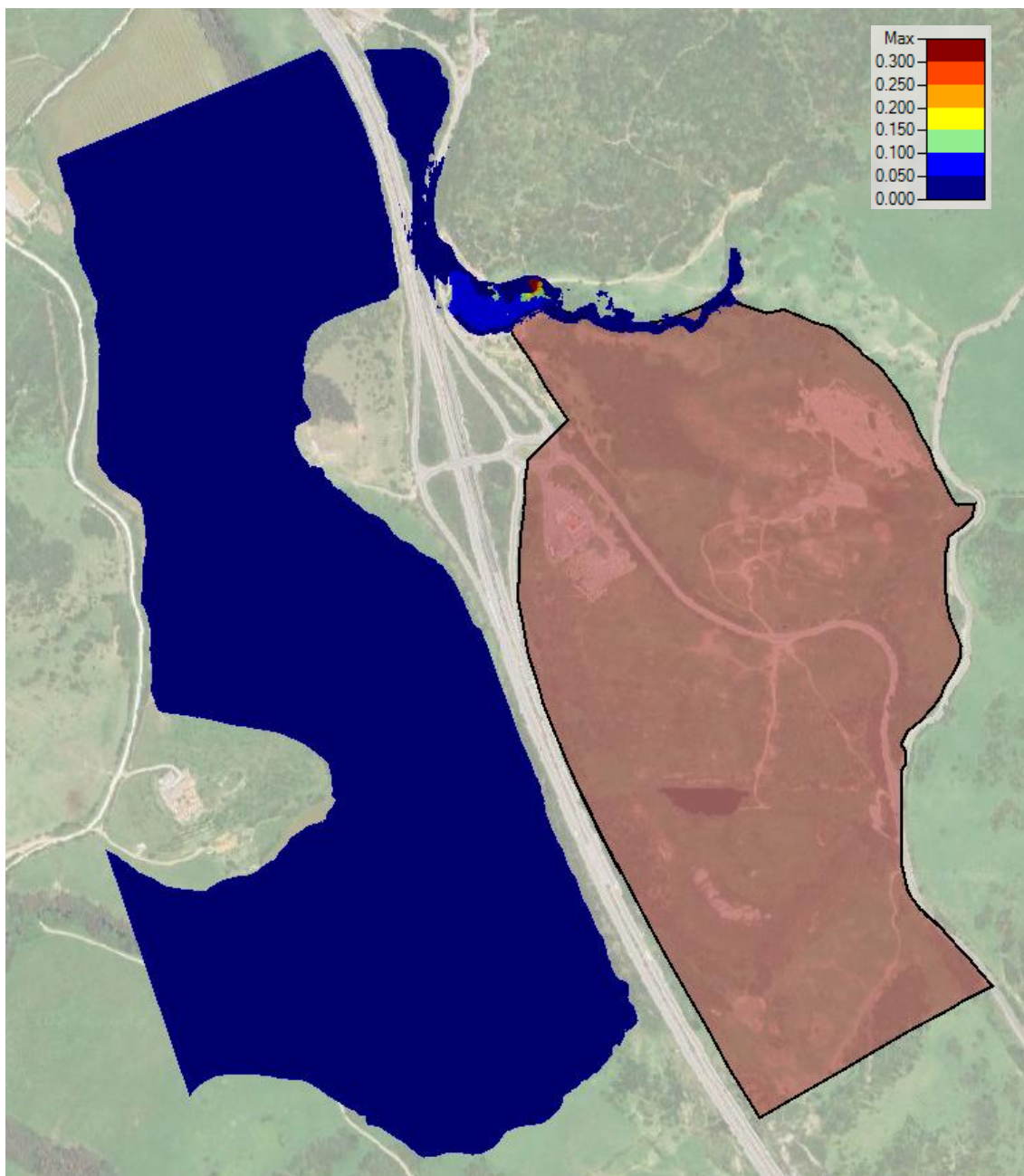
En el caso del río Palmones, se considerará que la zona de flujo preferente abarca la totalidad de la avenida de 100 años de periodo de retorno, pues como hemos visto, no afecta en nada al sector.



Ámbito de la zona inundable para T100 años limitando la propagación a la ZIP



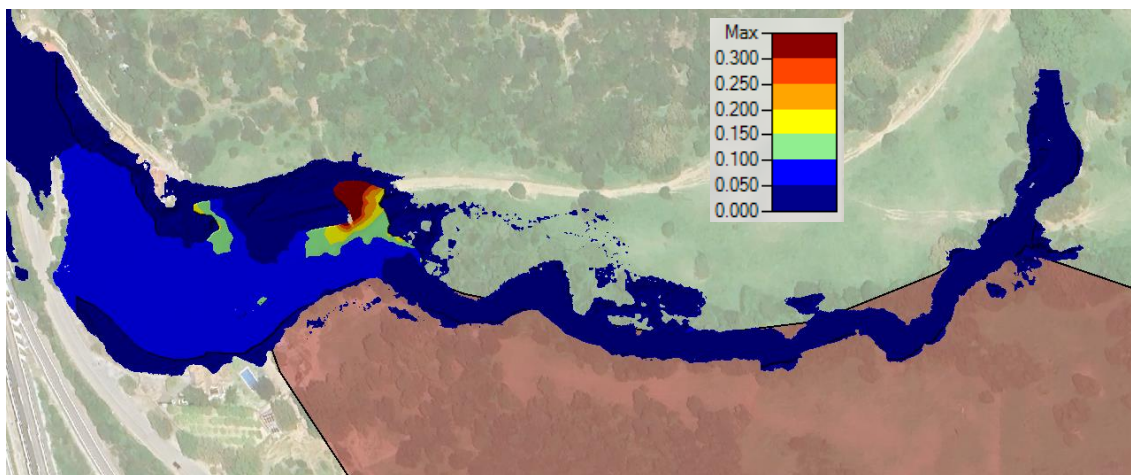
Una vez que se realiza el cálculo, se determina la diferencia de cota de lámina de agua(WSE) entre la avenida T100 original, y la restringida al ámbito de la ZIP, obteniendo el mapa de diferencias que se muestra a continuación.



Diferencias entre WSE T100 original y WSE T100 restringida a ZIP en ámbito general



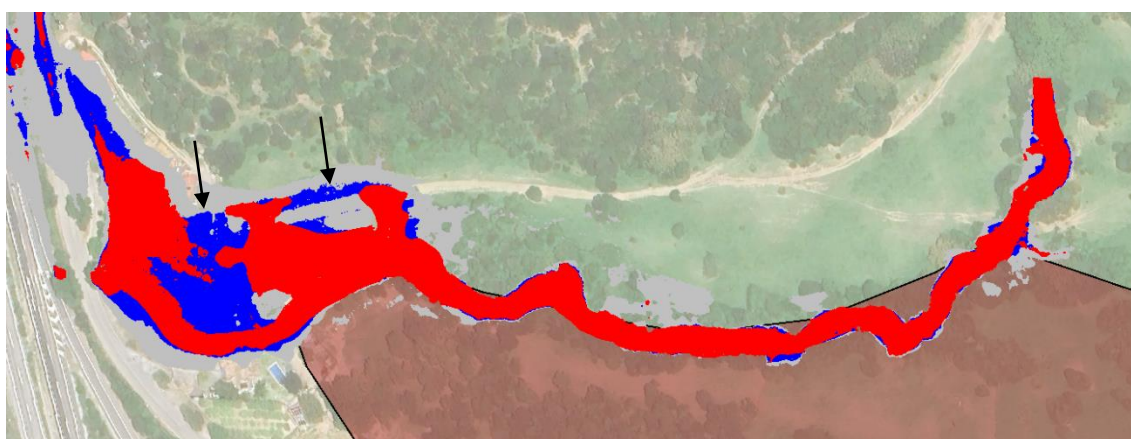
Como se puede observar, a nivel general, no existen cambios, no obstante, en el arroyo Los Bacalaos, existen puntos donde la sobreelevación sería superior a 30 cm tal como se muestra en la figura siguiente.



Diferencias entre WSE T100 original y WSE T100 restringida a ZIP en ámbito arroyo Los Bacalaos

De esta manera, en el ámbito donde se producen estas sobreelevaciones mayores a 30 cm, no podemos decir que la vía de intenso desagüe puede inscribirse dentro de la zona de inundación peligrosa, y será necesario aumentar el ámbito de la zona de flujo preferente en este ámbito.

Para ello, seguiremos las recomendaciones de la guía de referencia. En este caso, se vuelve a determinar la ZIP, pero en este caso considerando que el producto entre el calado y la velocidad es de $0,30 \text{ m}^2/\text{s}$, obteniendo los siguientes resultados.



ZIP arroyo Los Bacalaos considerando $v_{xd} 0,3 \text{ m}^2/\text{s}$



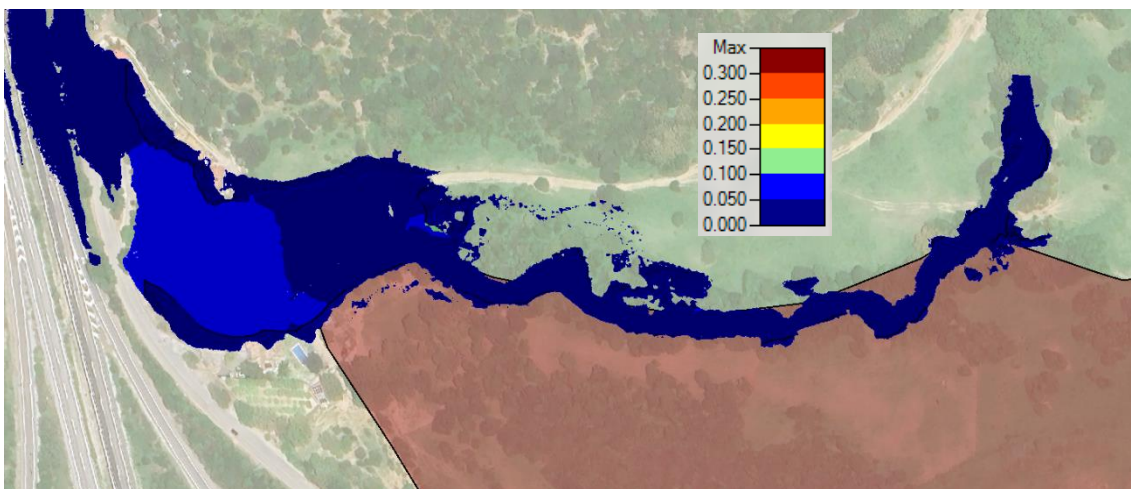
Como se puede observar en la figura, ahora hay continuidad entre los apéndices de la ZIP inicial que no tenían salida, de modo que se traza la propuesta de la ZFP por el ámbito de color azul señalado en la figura, situado fuera de la ZIP, donde el múltiplo de la velocidad y el calado es mayor o igual a 0,3 metros cuadrados por segundo.

Ahora se vuelve a repetir el cálculo, limitando el flujo del arroyo Los Bacalaos a este ámbito, obteniendo los siguientes resultados.



Ámbito de la zona inundable para T100 años limitando la propagación a la ZIP ampliada en la zona inferior a ámbitos donde vxd es mayor o igual a $0,3 \text{ m}^2/\text{s}$.

Si hacemos la diferencia de cota de lámina de agua entre esta situación y la avenida T100 años original, obtenemos los siguientes resultados.

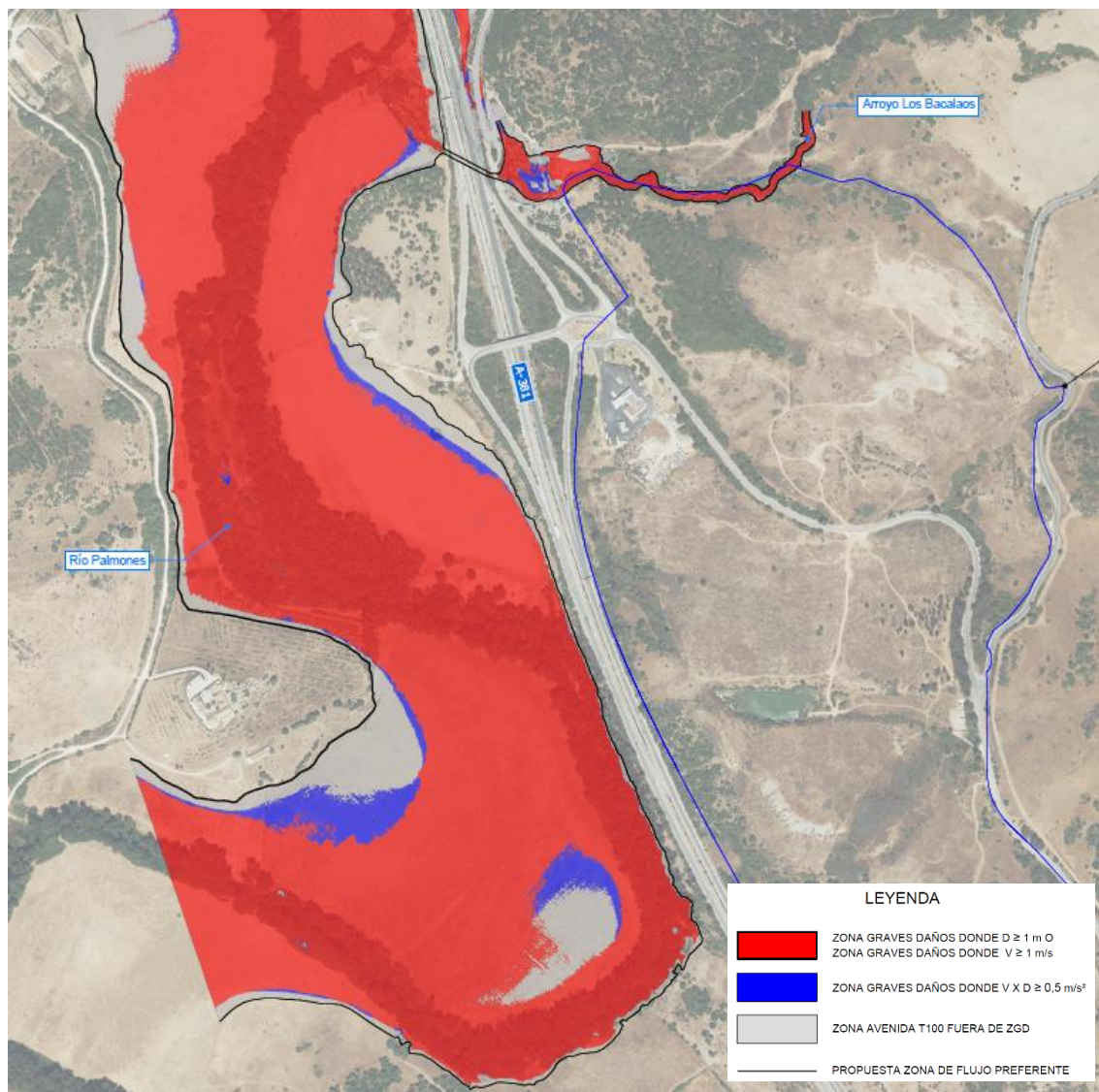


Diferencias entre WSE T100 original y WSE T100 restringida a ZIP ampliada

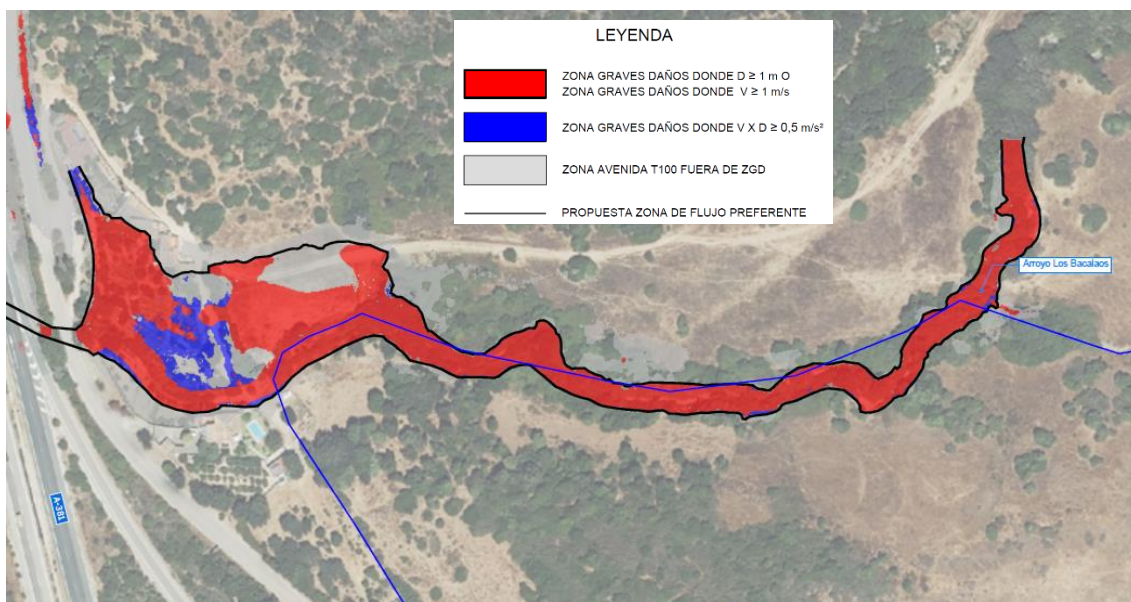


Como se puede comprobar, en esta situación, los incrementos de lámina de agua se sitúan en torno a 5 – 10 cm como mucho, por tanto, podemos asegurar que la VID se puede inscribir dentro del área definida como ZFP, por lo que damos por buena la hipótesis realizada inicialmente.

De este modo, la zona de flujo preferente, es la que se muestra en las figuras siguientes, extracto de los planos del presente documento.



Zona de flujo preferente. Ámbito general



Zona de flujo preferente. Ámbito arroyo Los Bacalaos



7 CONCLUSIÓN

Atendiendo a todo lo expuesto en el presente documento, podemos concluir lo siguiente:

- Actualmente los arroyos de Dominio Público Hidráulico que discurren en las proximidades del sector SUS-7, son el río Palmones y el arroyo de Los Bacalaos.
- El sector SUS-7, no es inundable por las avenidas del río Palmones, aunque sí que está afectado por las avenidas del arroyo Los Bacalaos, pues en gran parte, este arroyo discurre por el interior del propio sector.
- A pesar de que el sector está afectado por las avenidas del arroyo Los Bacalaos, estas no son extensas y ocupan poco espacio del sector en relación con el tamaño total del mismo.
- Se ha realizado una propuesta técnica de deslinde técnico cautelar del DPH, tanto del arroyo Los Bacalaos, como del río Palmones, habiéndose determinado que el sector está afectado por la zona de DPH, servidumbre y policía del arroyo Los Bacalaos, así como por la zona de policía del río Palmones.
- En el entorno del arroyo Los Bacalaos, el sector está afectado por la zona de flujo preferente (ZFP) de este arroyo, no siendo así en el caso del río Palmones, pues las avenidas de 100 años de periodo de retorno con la que se calcula la ZFP, no alcanza al sector.
- Es importante tener en cuenta que los cálculos realizados en este documento, sirven de forma exclusiva para el desarrollo del sector objeto de estudio, no debiéndose sacar conclusiones sobre áreas próximas.
- Por último, se debe tener en cuenta que en este documento no se analizan escorrentías superficiales fuera del ámbito del Dominio Público Hidráulico, debiéndose estudiar la recogida de pluviales de manera específica en los proyectos de urbanización.

De este modo, se eleva el presente documento a la superioridad para su aprobación, si procede.

Fdo.: Antonio Silva Santos

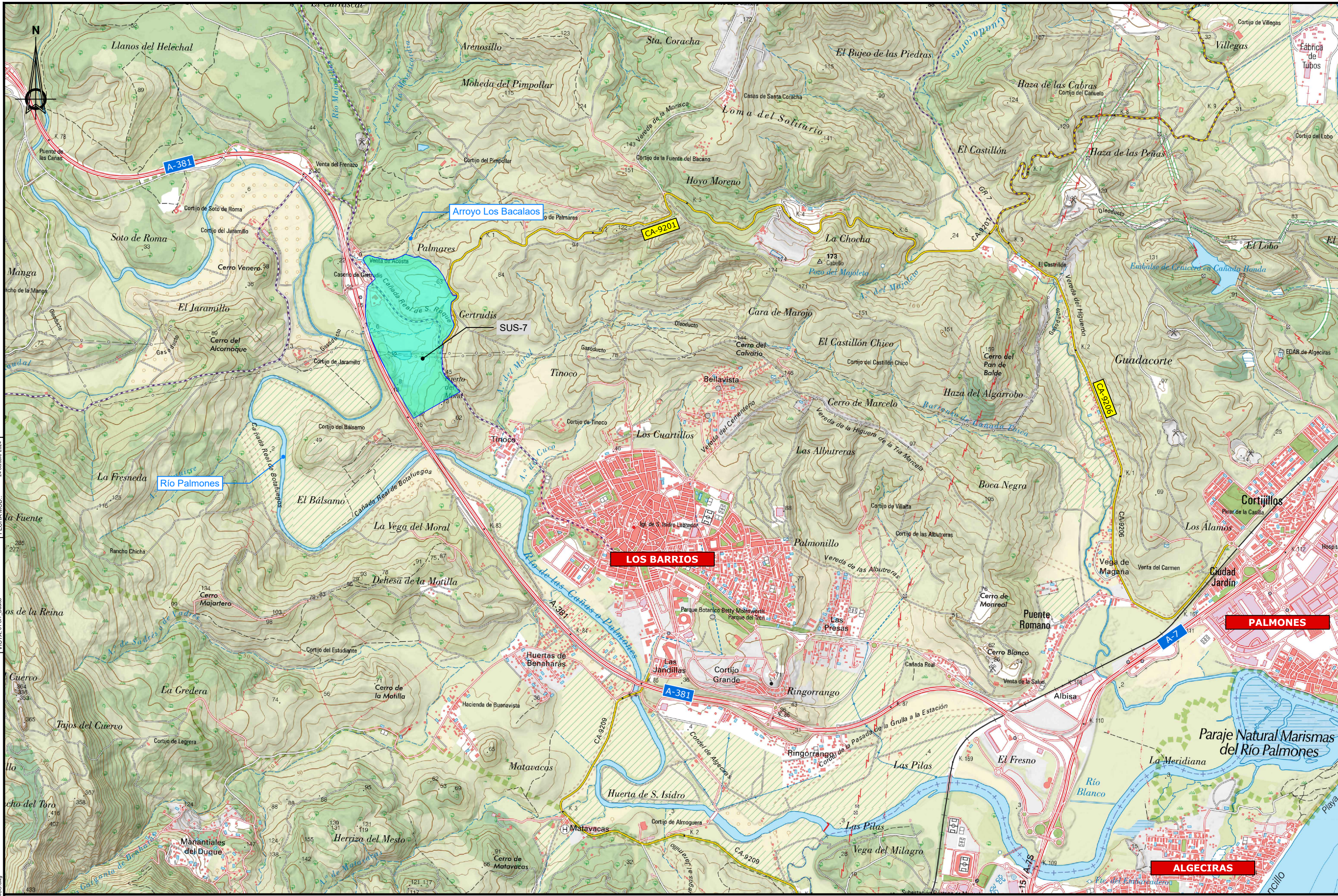
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Colegiado Nº 25.071



II. PLANOS

- 1 SITUACIÓN (1 HOJA)
- 2 EMPLAZAMIENTO (1 HOJA)
- 3 CUENCA VERTIENTE ARROYO LOS BACALAO (1 HOJA)
- 4 CALADOS T5 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS)
- 5 COTAS LÁMINA DE AGUA T5 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS)
- 6 CALADOS T100 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS)
- 7 COTAS LÁMINA DE AGUA T100 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS)
- 8 CALADOS T500 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS)
- 9 COTAS LÁMINA DE AGUA T500 AÑOS ESTADO ACTUAL (2 HOJAS)
- 10 PROPUESTA DPH Y ZONAS DE PROTECCIÓN (2 HOJAS)
- 11 ZONA DE FLUJO PREFERENTE (2 HOJAS)



RUTA: \\1192.188.1.2\documentos\Gemin\TRABAJOS\2022\22 GERTRUDIS LOS BARRIOS\PLANOS DWG
 FICHERO: 01_SITUACION BASICO.dwg
 VISTA: 01 SIT_Basico
 FECHA MOD.: 24 octubre 2024

PROMOTOR:
AZAHAR
 AZAHAR GLOBAL CAPITAL, S.L.

CONSULTOR: INGENIERO AUTOR DEL DOCUMENTO:

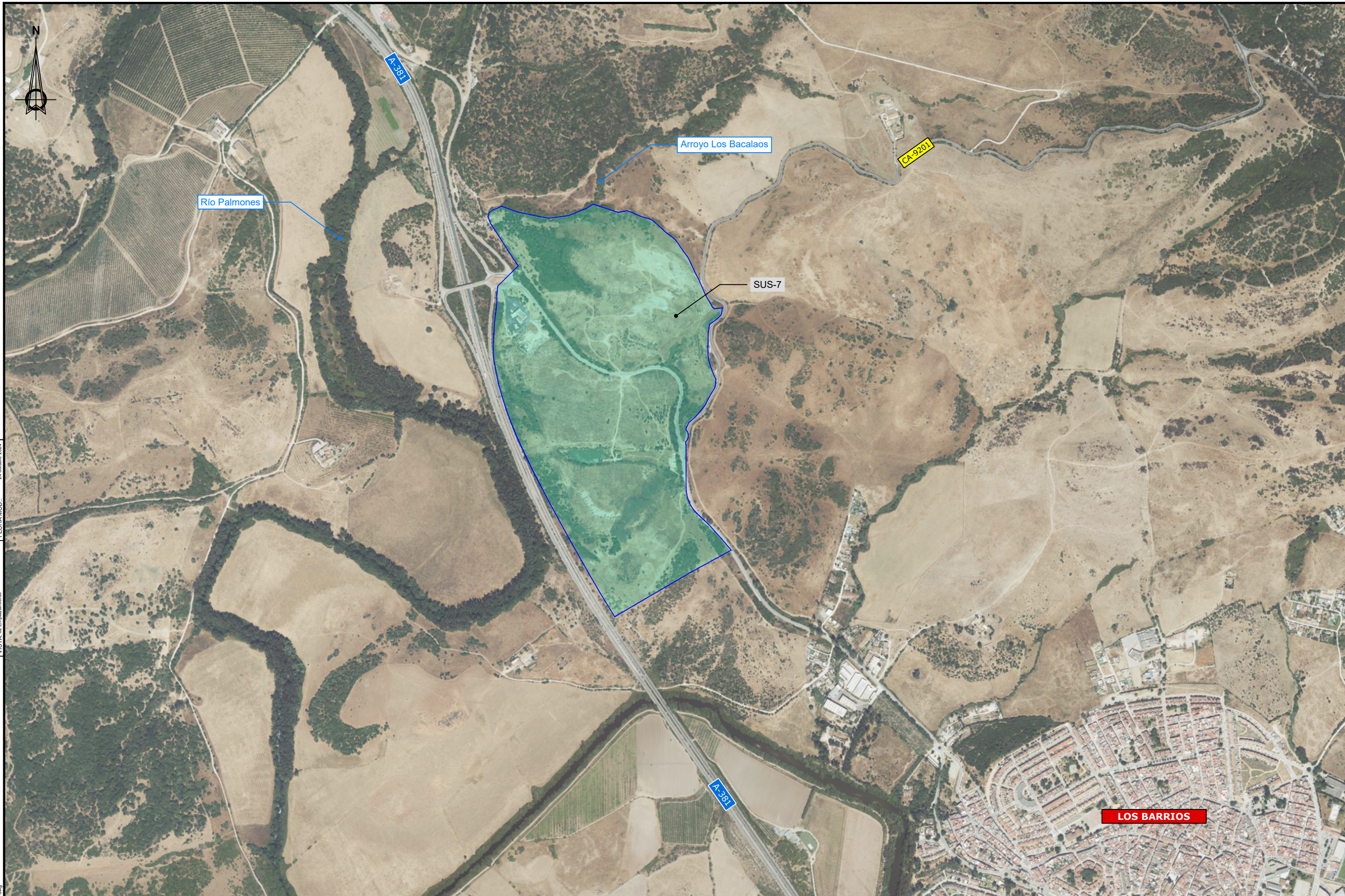
 ANTONIO SILVA SANTOS
 I.C.C.P. COLEGIADO Nº 25.071

ESCALA:
 1 / 25.000
 FORMATO ORIGINAL UNE-A3

FECHA:
 OCTUBRE - 2024
 MODIFICACIÓN:

TÍTULO DEL PROYECTO:
 ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DESARROLLO DEL PLAN PARCIAL DE
 ORDENACIÓN SUS-7 EN LOS BARRIOS, CÁDIZ
 TÍTULO DEL PLANO:
 SITUACIÓN

Nº PLANO: 1
 HOJA: 1 DE 1



RUTA: \\1192.188.1.2\documentos\Gemin\TTABLA_CPS202206_27_GERTRUDIS LOS BARRIOS\PLANOS DWG
 FICHERO: 02_EMPLAZAMIENTO.dwg
 VISTA: 02 Emplazamiento
 FECHA MOD.: 24 octubre 2024

PROMOTOR:



AZAHAR
GLOBAL CAPITAL, S.L.

CONSULTOR: INGENIERO AUTOR DEL DOCUMENTO:



ANTONIO SILVA SANTOS
I.C.C.P. COLEGIADO Nº 25.071

ESCALA:

1 / 10.000

FORMATO ORIGINAL UNE-A3

FECHA:

OCTUBRE - 2024

MODIFICACIÓN:

TÍTULO DEL PROYECTO:

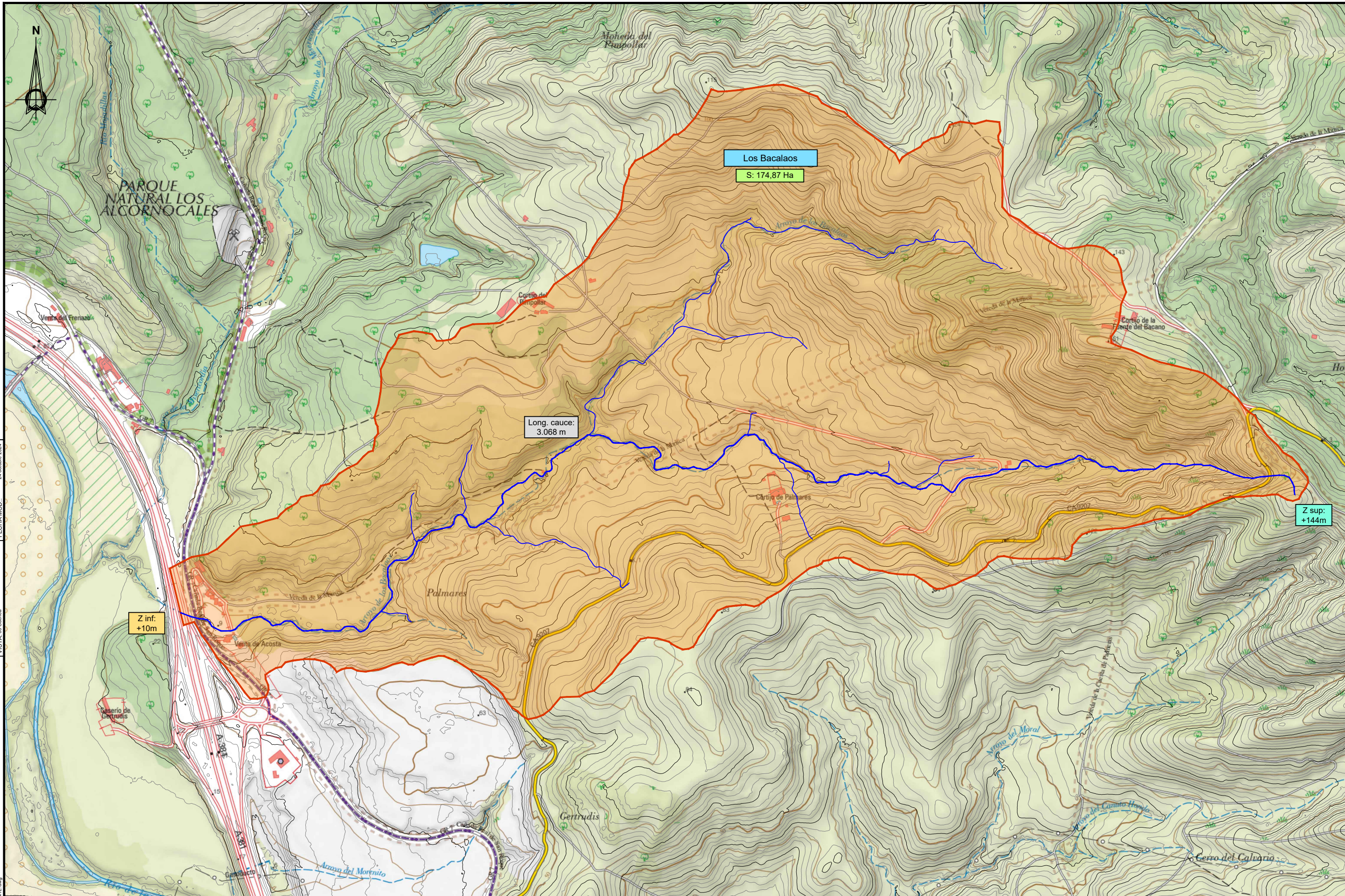
ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DESARROLLO DEL PLAN PARCIAL DE ORDENACIÓN SUS-7 EN LOS BARRIOS, CÁDIZ

TÍTULO DEL PLANO:

EMPLAZAMIENTO

Nº PLANO: 2

HOJA: 1 DE 1




RUTA: \\192.168.1.2\documentos\Gemin\TITABLA_PSS2022\22 GERTRUDIS LOS BARRIOS PLANOS DWG
 FICHERO: 05_CUENCA_VERTIENTE.dwg
 VISTA: 03_Cuencas
 FECHA MOD.: 24 octubre 2024

PROMOTOR:



AZAHAR
GLOBAL CAPITAL, S.L.

CONSULTOR: INGENIERO AUTOR DEL DOCUMENTO:



ANTONIO SILVA SANTOS
I.C.C.P. COLEGIADO Nº 25.071

ESCALA:

1 / 7.500

FORMATO ORIGINAL UNE-A3

FECHA:

OCTUBRE - 2024

MODIFICACIÓN:

TÍTULO DEL PROYECTO:

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DESARROLLO DEL PLAN PARCIAL DE ORDENACIÓN SUS-7 EN LOS BARRIOS, CÁDIZ

TÍTULO DEL PLANO:

CUENCA VERTIENTE ARROYO LOS BACALAO

Nº PLANO: **3**

HOJA: **1** DE **1**