

ANEXO 3

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE AFECCIÓN POR CAUCES EXTERNOS Y CÁLCULO DE ESCORRENTÍA INTERNA

MODIFICACIÓN PUNTUAL DEL PLAN PARCIAL SUP-5 "EL RAYO" SAN FERNANDO DE HENARES (MADRID) PARA ALTERACIÓN DE SU ORDENACIÓN Y SU NORMATIVA URBANÍSTICAS

DICIEMBRE 2024

APROBACIÓN INICIAL

Paloma M^a Batanero Akerman
Dr. Ingeniero de Caminos

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE AFECCIÓN POR CAUCES EXTERNOS Y CÁLCULO DE ESCORRENTÍA INTERNA DEL SECTOR SUP-15 (SAN FERNANDO DE HENARES, MADRID)



DICIEMBRE DE 2023

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1.	ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL SECTOR Y POSIBLE AFECCIÓN DEL RÍO JARAMA	2
2.	ESTUDIO DE LA RED HIDROGRÁFICA	5
2.1.	DATOS DE PARTIDA.....	5
2.2.	DELIMITACIÓN Y SUPERFICIE	5
2.3.	TOPOGRAFÍA.....	5
2.4.	RED HIDROGRÁFICA.....	7
3.	AFECCIONES Y CAUDALES DEL RÍO JARAMA. PROYECTO LINDE	11
3.1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	11
3.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA	12
3.3.	ESTUDIO FORONÓMICO	12
3.3.1.	Introducción	12
3.3.2.	Metodología	13
3.3.3.	Análisis de Datos de Partida	13
3.3.4.	Estudio de Calidad de las Estaciones.....	14
3.3.5.	Cálculo de Q_{ci}	14
3.3.6.	Análisis estadístico de las series de Q_{ci}	16
3.3.7.	Conclusiones al Estudio Foronómico.....	16
3.4.	CAUDALES RESULTANTES DEL MODELO HIDROMETEOROLÓGICO.....	17
3.5.	CONCLUSIÓN. CAUDALES EXTRAÍDOS	17
3.6.	ANÁLISIS TOPOGRÁFICO DE LA POSIBLE AFECCIÓN DEL RÍO JARAMA	18
4.	ESTUDIO HIDROLÓGICO. DETERMINACIÓN DE CAUDALES PUNTA DE AVENIDA DE ESCORRENTÍA DENTRO DEL ÁMBITO	22
4.1.	METODOLOGÍA	22
4.2.	PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS	22
4.3.	CARTOGRAFÍA DISPONIBLE.....	23
4.4.	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL PLAN PARCIAL SUP-15	23
4.5.	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, DE DRENAJE E INFILTRACIÓN DEL ÁMBITO	26
4.6.	CÁLCULO DE CAUDALES.....	28
4.7.	HIDROGRAMAS TRIANGULARES	37
5.	CONCLUSIONES	40

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En el presente informe se llevan a cabo los estudios hidrológicos y de cálculo de hidrogramas de avenida de las zonas de escorrentía pluvial externas al sector SUP-15 de San Fernando de Henares. Dicho ámbito, se halla prácticamente al límite norte del término municipal, entre la carretera M-115, que lo delimita por el sureste, y la autovía M-50, al norte, siendo el enlace entre esta última y la A-2, su delimitación al oeste.



Situación del Sector SUP-15 relativa al término municipal de San Fernando de Henares (límite del TM marcado con trazo rojo-blanco)

Para este estudio, se ha llevado a cabo primeramente un análisis hidrológico del sector (tanto de las áreas internas como de revisión de posibles cauces que lo atraviesen y que lleguen hasta éste) y delimitación, de volúmenes de avenida y, en su caso, de localización de áreas inundables y su posible afección al sector. Los trabajos en este sentido han incluido:

- ✓ Delimitación de cauces externos e internos.
- ✓ Revisión topográfica de cuencas aportantes.
- ✓ Confirmación de la existencia de obras de drenaje al norte de la M-50 y revisión de sus puntos de drenaje.
- ✓ Cálculo de los caudales de avenida y los hidrogramas-volúmenes totales para cada uno de los períodos de retorno habituales: 2-5-10-15-50-200-100 y 500 años de las áreas que drenen al sector o dentro del propio sector.

Seguidamente, y dado que el río Jarama se halla relativamente próximo al sector, se ha llevado a cabo una revisión de los datos de sus caudales de avenida y de zonas de DPH, Servidumbre y Policía del dicho cauce, incluyendo:

- ✓ Revisión de todos los datos oficiales referentes al río Jarama en el tramo de San Fernando de Henares.
- ✓ Comprobación de las zonas de avenida, desagüe preferente, DPH y sus distancias, tanto en planimetría como en altimetría al sector.
- ✓ Confirmación de no afección del cauce habitual del río Jarama, o sus llanuras de avenida, al sector SUP-I5.

1.1. ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL SECTOR Y POSIBLE AFECCIÓN DEL RÍO JARAMA

Al revisar los cauces inventariados de la zona, y las zonas de peligrosidad por inundación de 500 años de periodo de retorno, se comprueba que el sector SUP-I5 no está afectado por ningún cauce o cuenca de cauce inventariado.

No obstante, y dado que el sector se encuentra relativamente más bajo en altimetría que el terreno situado al norte de la autovía M-50, se estudia en el presente informe la posible afección de dichos terrenos.

La construcción de la M-50, ha alterado el drenaje natural de la zona, desviando las aguas pluviales generadas al noroeste del sector SUP-I5, hacia el vecino SUP-I4.

En la planta siguiente, de detalle sobre la extensión del sector y los terrenos circundantes, se pueden apreciar:

- Las cunetas de viales, así como las cárcavas por las que se acumula el agua de escorrentía, obtenidas mediante interpretación de la topografía de la zona. De todas estas, resulta interesante la orientación de las cunetas, tanto externas como internas, de la M-50, cuya construcción alteró la escorrentía de la zona, y que dirigen hasta la obra de paso nº1 todo el agua de lluvia.
- La disposición de la obra de paso bajo la M-115 (nº2), que desvía la escorrentía generada en parcela noreste del sector hacia el Sector SUP- I4.
- La escorrentía generada en la parcela suroeste del sector SUP-I5 discurre libremente por la cuneta de pie de terraplén hacia el enlace de la M-50 con la A-2, llegando a la cuneta de éste.

Por tanto, se concluye que no existe ningún cauce no cartografiado o áreas de terreno de carácter externo que drenen hacia el sector de estudio.

Lo que sí se ha determinado es la escorrentía producida dentro del propio sector.

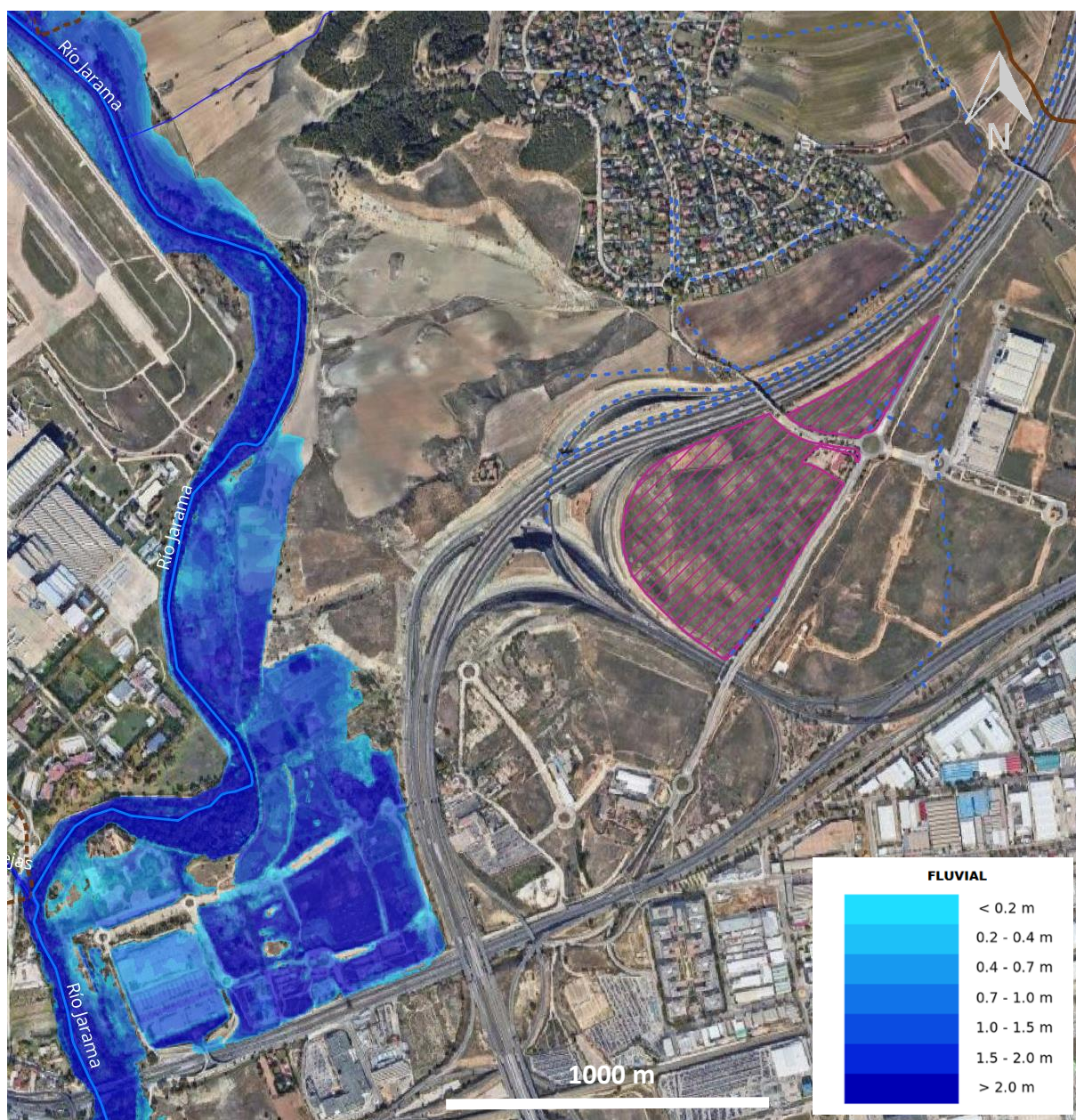


Situación de las 2 obras de paso existentes y que afectan la escorrentía que llega o que sale del Sector SUP-15 con indicación de los sentidos de flujo del agua. La construcción de la M-50, junto con la OD n°1, desvía hacia el noreste la escorrentía de las zonas al norte del sector. La OD n°2 desvía los flujos de escorrentía pluvial de la parcela norte del sector hacia el SUP-I4

Por otro lado, se ha consultado la información de Peligrosidad por Inundación contenida en los Mapas de peligrosidad de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) elaborados en cada Demarcación por las autoridades competentes en materia de aguas, costas y protección civil según el artículo 8 del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación que traspone la Directiva 2007/60/CE, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.

La leyenda de umbrales de profundidad de inundación se adjunta en la planta siguiente, en la que se muestra la extensión de la llanura de avenida del río Jarama, el más cercano al sector, para el periodo de retorno de 500 años, el máximo que marca la Ley de Aguas aprobada por RD Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

Como puede verse, el sector se halla aproximadamente a 1000 m del borde externo de la zona inundable en planimetría:



Planta de situación del sector SUP-15 con superposición de cauces cercanos inventariados, cunetas de escorrentía y zonas de peligrosidad por inundación del río Jarama (500 años de período de retorno)

Para la obtención y confirmación de los datos anteriores, se han realizado las siguientes tareas:

- Consulta de datos oficiales de hidrografía de la parcela: archivos SHP de la Confederación Hidrográfica del Tago con indicación de cauces y subcuencas en la zona.
- Revisión de la cartografía, modelos digitales del terreno y ortofotos históricas.
- Determinación de caudales variables en el tiempo (hidrogramas) de las superficies internas de la parcela del sector.
- Determinación de la duración de precipitación pésima, de los caudales a lo largo del tiempo y los volúmenes totales producidos en el sector para distintos períodos de retorno.

2. ESTUDIO DE LA RED HIDROGRÁFICA

2.1. DATOS DE PARTIDA

Para el estudio de la red hidrográfica se han empleado los siguientes datos de partida:

- Modelo digital del terreno de la zona de estudio con precisión de 2x2 disponible en el Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Levantamiento topográfico de la parcela.
- Ortofoto del PNOA e históricas de la zona de estudio.
- Precipitaciones máximas diarias La precipitación de referencia se obtiene de la publicación “*Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*” de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.
- Usos de suelo de las zonas de estudio del Corine Land Cover.
- Cálculo de caudales por método de la Instrucción de Carreteras 5.2 I.C. 2016.

2.2. DELIMITACIÓN Y SUPERFICIE

El área del Sector SUP-I5, está situada al Norte del consolidado industrial/logístico del término municipal, accediéndose a este desde la carretera M-115. El límite Sur lo constituye dicha carretera, al Norte limita con la autovía M-50, al Suroeste con los enlaces de la autovía M-50 y la A-2, sin tener lindero Este, ya que tiene forma sensiblemente triangular con vértice orientado al noreste.

La parcela, tiene una superficie total de $52172.17 + 309779.81 = 361,951.98 \text{ m}^2$.

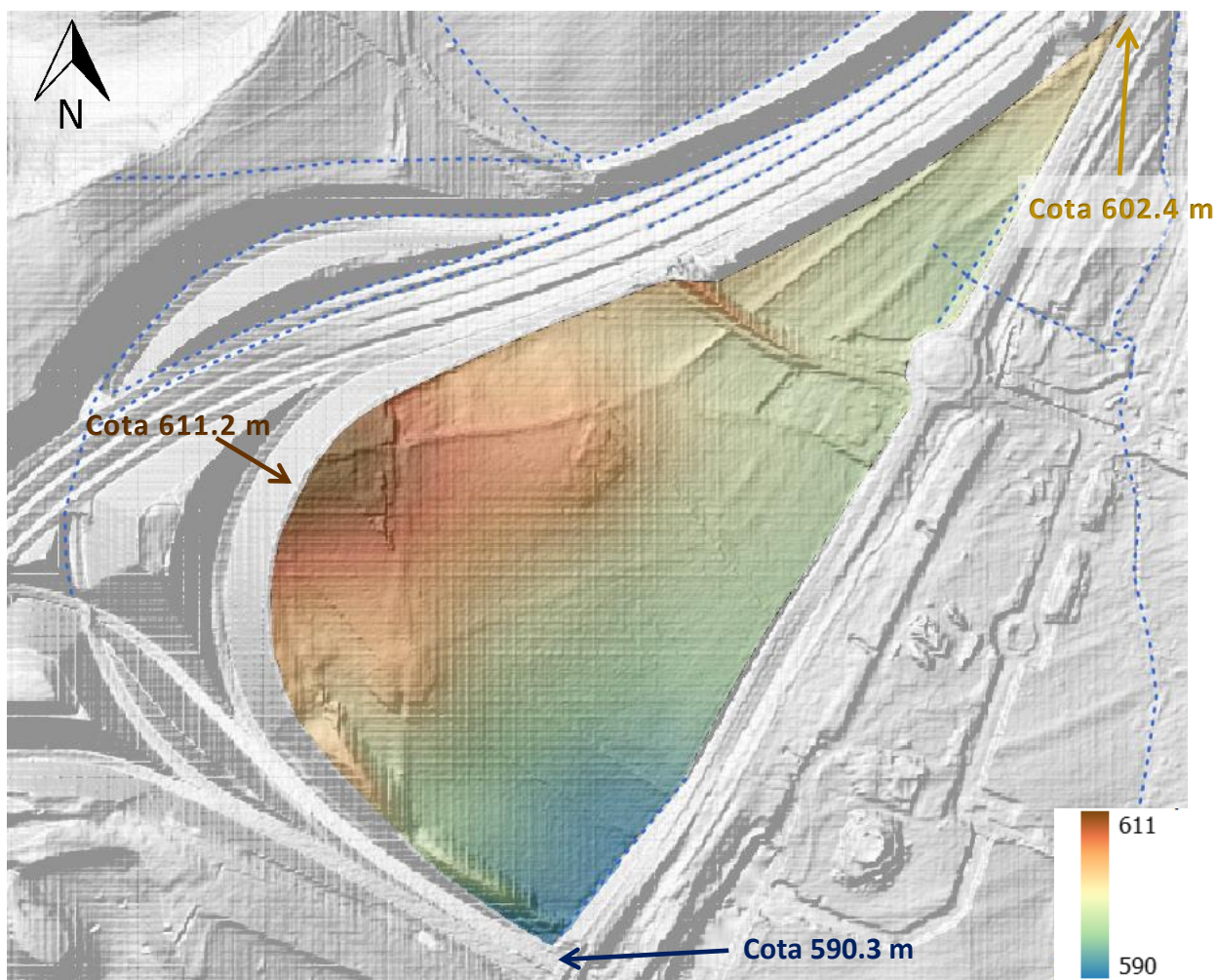
2.3. TOPOGRAFÍA

En general el terreno desciende desde el Noreste hacia el Suroeste (con cotas comprendidas entre la 605.9 y la 586.9, teniendo un punto bajo absoluto al Oeste del sector, cota 590.3 m):



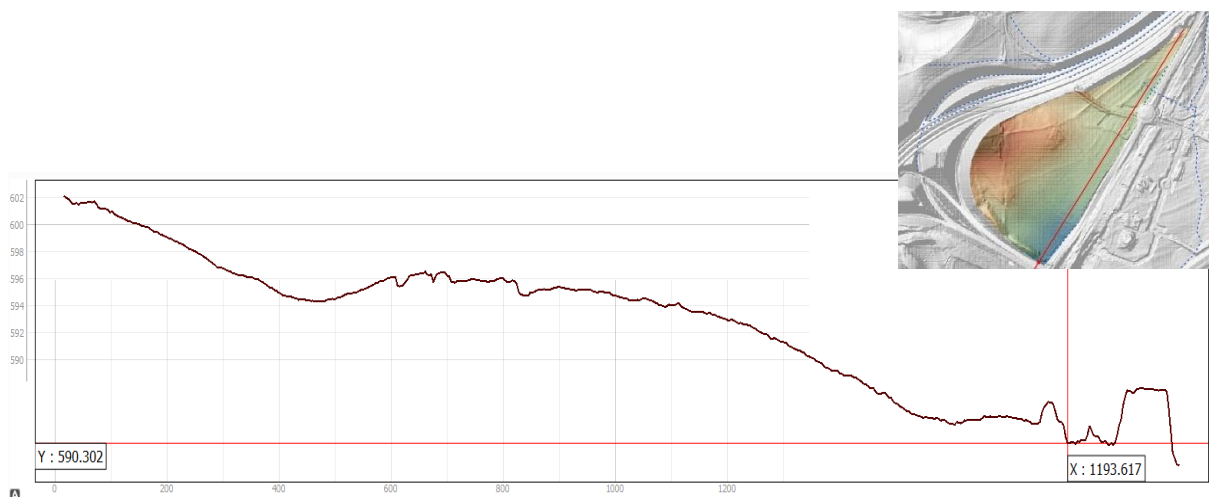
Vista 3D de la parcela del ámbito desde el sur. Se aprecia que la parcela desciende de noreste a sureste

El terreno tiene una pendiente media del noroeste a sur, con un desnivel relativamente importante, con una distancia entre la cota más alta (611.2 m) y la cota mínima (590.3 m, suroeste), de 540 m, lo cual supone una pendiente del 4%.

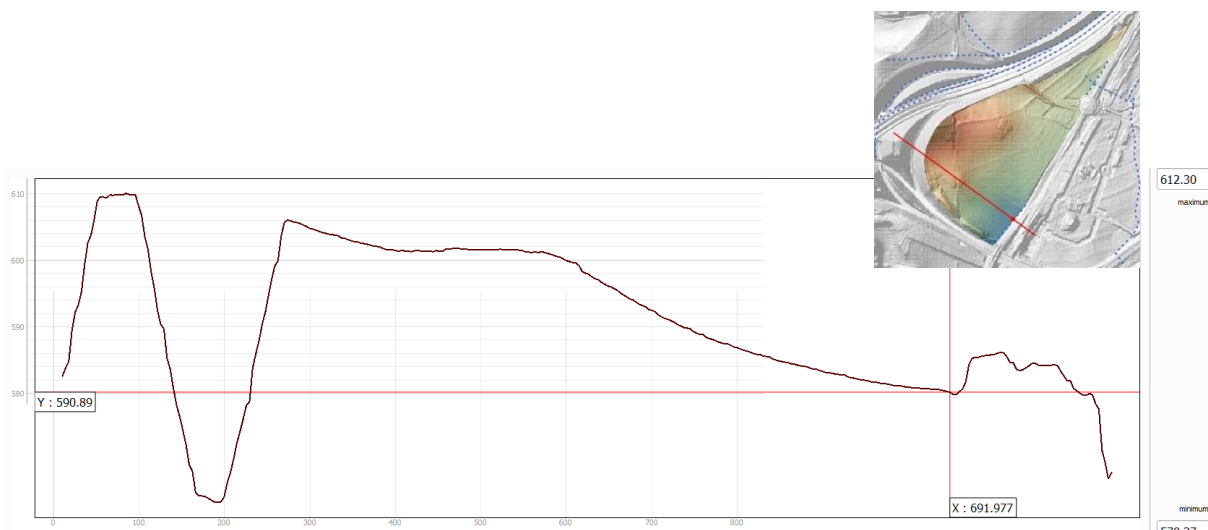


Parcela Sector SUP-15. Elevaciones del terreno

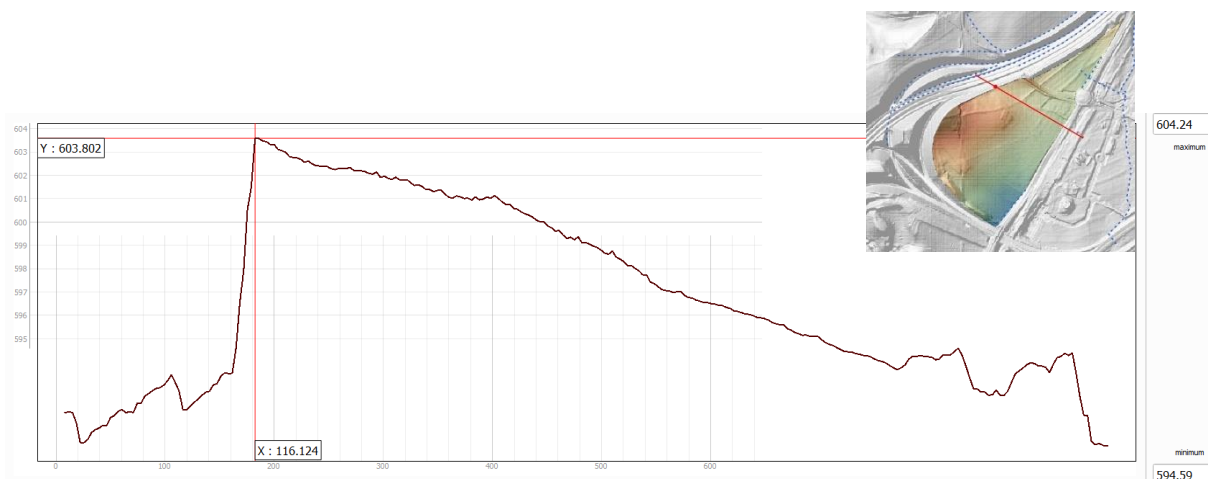
Si se realizan cortes transversales a lo largo de la parcela se puede ver que la pendiente es prácticamente uniforme:



Perfil longitudinal Sector SUP-15 de noreste a suroeste a lo largo del borde contiguo a la M-115



Perfil longitudinal Sector SUP-I5 de noreste a suroeste en la zona más ancha del sector

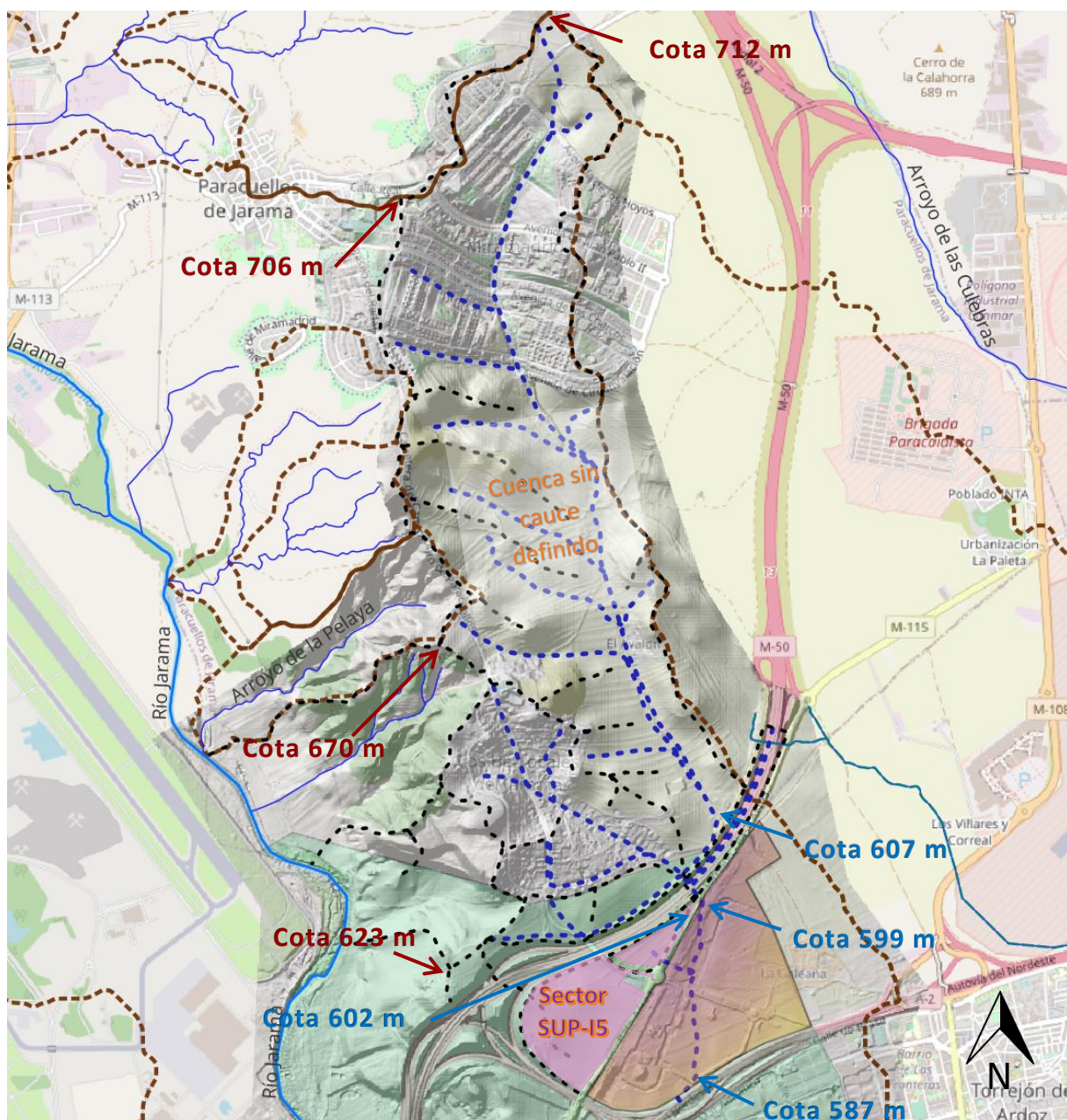


Perfil longitudinal Sector SUP-I5 de noreste a suroeste en la zona media del sector

2.4. RED HIDROGRÁFICA

En la siguiente imagen se muestra la ubicación del Sector SUP-I5 dentro del término municipal de San Fernando de Henares, así como la red hidrográfica de dicho municipio, que de oeste a este son:

- **Río Jarama**, que constituye el límite oeste del término municipal antes de llegar al casco urbano residencial.
- **Arroyo del Valle**, que nace en vecino Torrejón de Ardoz, afluente del Río Henares por la margen derecha.
- **Río Henares**, al sureste del municipio.
- **Barranco del Tejón**, afluente del Río Henares por la margen izquierda.
- **Cauce sin nombre**, al extremo este del término municipal.



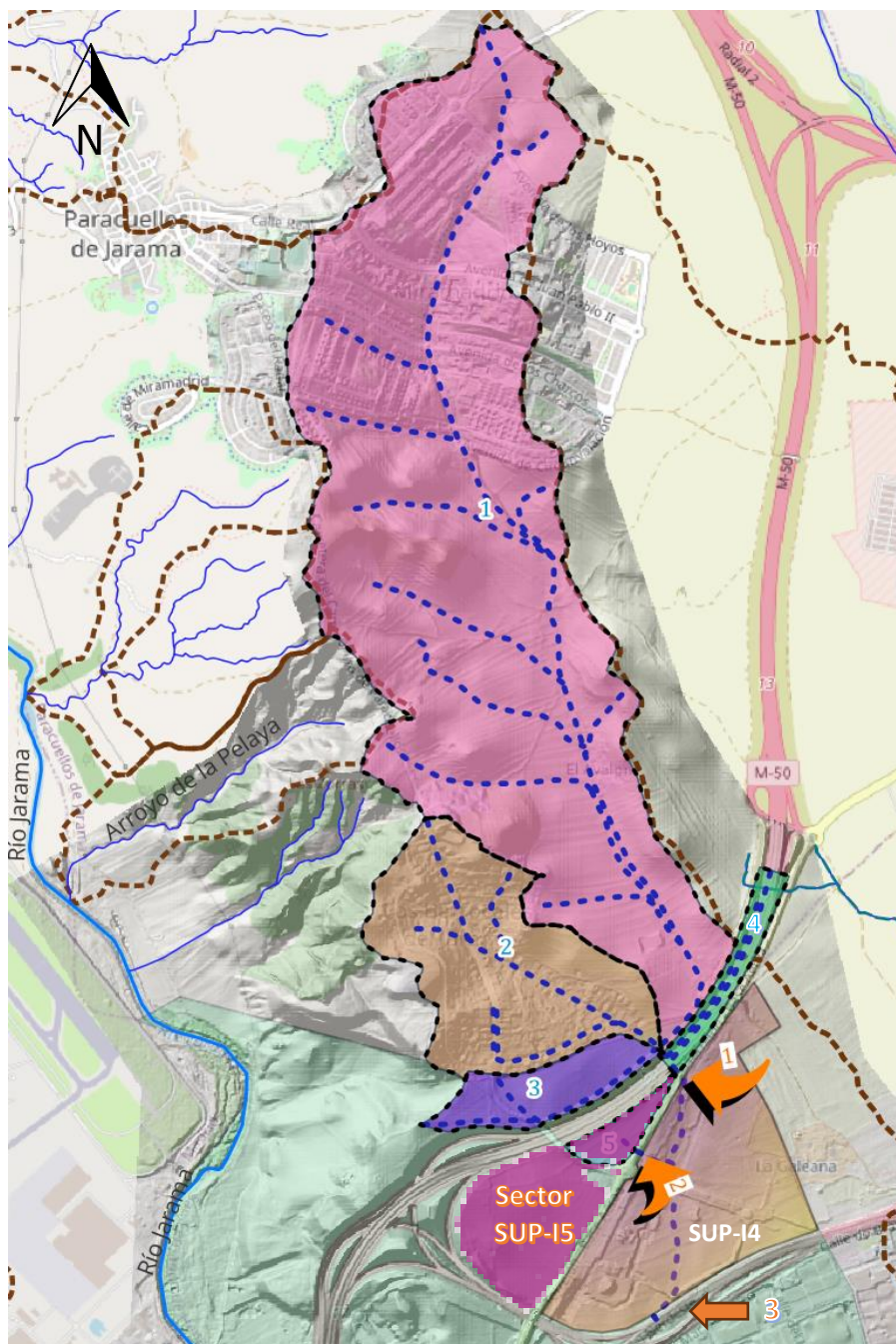
Planta de las parcelas al norte del sector SUP-15, más elevadas altimétricamente, con especificación de cotas en puntos altos y bajos

Revisando los caminos del agua de escorrentía pluvial, se comprueba que, con la construcción de la M-50, se alteró la escorrentía natural del terreno en:

1. Una franja de apenas 600-700 m de anchura, de limitada extensión y cercana al río Jarama, sin ningún cauce definido – Cuenca 1.
2. La urbanización de los Berrocales del Jarama – Cuenca 2.
3. El terreno entre esta urbanización y la M-50; 200 m dirigido por las cunetas de guarda de la autovía hacia la obra de paso nº 1 – Cuenca 3.
4. El propio drenaje longitudinal de la M-50 en una longitud de 150 m – Cuenca 4.
5. Un pequeño triángulo, norte del Sector SUP-15 – Cuenca 5.

Las cuencas 1 a 4 se concentran en la obra de paso nº1 señalada con una flecha en la parte norte del sector.

La cuenca 5, perteneciente únicamente a la escorrentía producida en el SUP-15, cruza hacia el SUP-14 a través de la obra de paso nº 2, señalada con otra flecha.



Dichos puntos coinciden con sendas obras de paso bajo la M-115.

Toda esta escorrentía superficial se concentra en el contiguo Sector SUP-14, atravesándolo de norte a sur hasta llegar a una obra de paso bajo la A-2 (punto 3).

Pero en realidad, no se trata de ningún cauce inventariado o histórico, sino de la concentración de la escorrentía superficial a causa de la construcción de la M-50.

Detalle del Sector SUP-15 con delimitación de las áreas que drenaban hacia éste desde el norte y del vecino SUP-14, al que drenan las superficies señaladas

Ninguno de estos arroyos o cauces está lo suficientemente próximo al ámbito como para provocar afecciones al Plan Parcial.

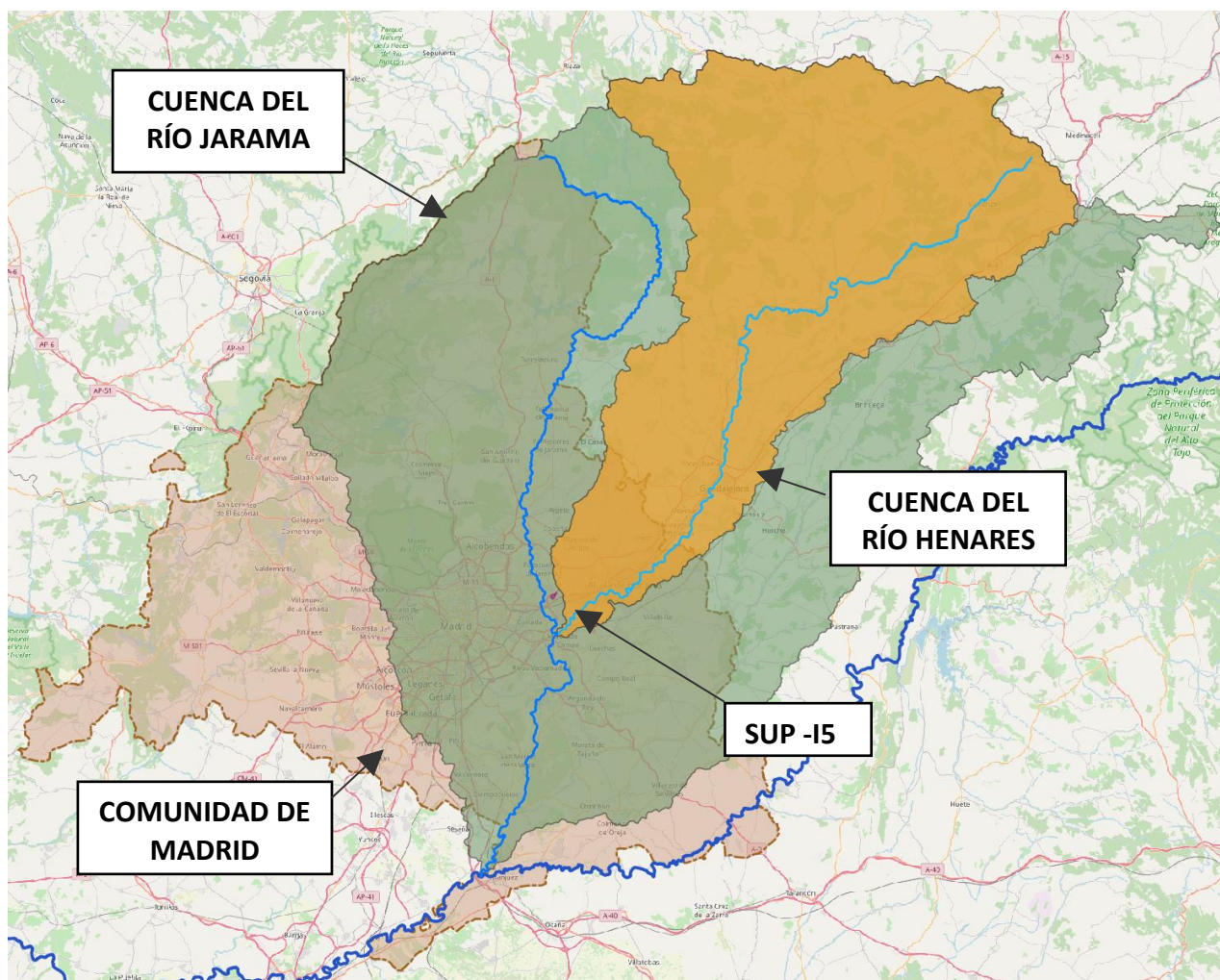
3. AFECCIONES Y CAUDALES DEL RÍO JARAMA. PROYECTO LINDE

3.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Dentro de los estudios necesarios para ejecutar con garantías las obras de urbanización del sector SUP-15 del Real Sitio de San Fernando de Henares, se realiza este estudio particular de posibles afecciones del río Jarama.

En primer lugar se realizan unas consideraciones hidrológicas, que constan básicamente de un análisis de los estudios previos realizados en la totalidad de la cuenca del río Jarama para el proyecto LINDE. De dicho proyecto se pueden extraer las cifras de caudales de los distintos procedimientos realizados como son el estudio foronómico y el modelo hidrometeorológico HEC-HMS. Estos estudios proporcionan cifras de caudales de escorrentía para los distintos periodos de retorno.

Adicionalmente, se han comprobado los datos topográficos, altimétricos del cauce y de extensión de la llanura de inundación, provenientes del Mapa de peligrosidad de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) del río Jarama.



Situación de la cuenca del río Jarama, afluente principal (Río Henares) y sector SUP-15, respecto a la Comunidad de Madrid

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

El Río Jarama es uno de los principales afluentes del Tajo, posee una cuenca de gran extensión, recogiendo desde su nacimiento en Guadalajara, al pie del puerto de la Quesera, las aguas de los ríos Lozoya, Guadalix, Henares, Manzanares y Tajuña. El Río Jarama es un cauce muy intervenido por la mano del hombre, existiendo un importante número de embalses de tamaño considerable, como son el embalse de El Vado, El Atazar o el Vellón entre otros.

La cuenca completa vertiente tiene aproximadamente una superficie de 5.047 km², mientras que en el tramo del río desde su nacimiento hasta la desembocadura del Henares cuenta con **2.850 km² y una longitud de 130 km**. El punto más alto de la cuenca es Peña Cebollera, de 2.229 m. y la cota de la desembocadura del Henares se corresponde con los 545 m, por tanto el desnivel total de la cuenca es 1.684 m. y la pendiente media es del 1,3% aproximadamente. Dentro de la cuenca del Jarama se pueden encontrar tres ámbitos geológicos bien diferenciados. En la mitad norte afloran los terrenos ígneos y metamórficos de edad hercínica correspondientes a los materiales de la sierra de Guadarrama y Somosierra, tratándose en general de granitos, gneises, cuarcitas y pizarras.

En la mitad meridional se encuentran fundamentalmente materiales detríticos de la Fosa Terciaria de la cuenca del Tajo, principalmente arenas, arcósicas y conglomerados. Estos materiales son fácilmente erosionables por la acción lateral del río y se caracterizan por tener una buena capacidad de infiltración y baja pendiente, lo que hace que la velocidad del flujo sea pequeña, aumentando así el tiempo de concentración.

En cuanto a la vegetación, al igual que con las características anteriores, se puede hacer una importante diferenciación entre la mitad septentrional, que cuenta con importantes superficies de bosque denso, matorral y pastizales, y la mitad meridional, mucho más intervenida por el ser humano, grandes extensiones de cultivos de secano, menos extensas pero también importantes de regadío y las importantes superficies urbanizadas que actualmente se extienden en la Comunidad de Madrid.

3.3. ESTUDIO FORONÓMICO

3.3.1. Introducción

El aforo de una corriente de agua es la medida del caudal circulante, que es función del tiempo. Su conocimiento es la base de partida para la delimitación de áreas con riesgo de inundación. En este estudio se analizan las estaciones de aforo existentes en la cuenca del Jarama, sus datos y estadísticas publicadas de las mismas.

La foronomía proporciona los únicos datos directos del caudal y la altura alcanzada por el agua en diferentes puntos, en las distintas estaciones de aforo. A partir de los datos existentes en dichas estaciones se persigue la obtención de un caudal para los puntos de control definidos en los tramos objeto de estudio. Para ello se realizan las extrapolaciones necesarias en función

de diversos factores, como el número de datos existentes, superficie de las cuencas, etc., estimando su validez.

3.3.2. Metodología

Para la consecución de un caudal de referencia en unos puntos de control de cada tramo, previamente definidos, se ha seguido una serie de pasos que se detallan a continuación.

En primer lugar se recopilaban los datos existentes relativos tanto a las estaciones de aforo como de los propios aforos.

Dado que habitualmente existe falta de datos en una parte importante de las estaciones, se ha procedió al análisis exhaustivo de todas las estaciones con datos de la cuenca. A partir de los datos proporcionados por éstas, se ha extraído un coeficiente para relacionar los caudales máximos y máximos instantáneos que ha permitido el relleno de los valores de Q_{ci} a nivel de cada estación.

A partir de los caudales máximos instantáneos, se ha considerado la serie cronológica más larga para efectuar un tratamiento estadístico tipo Gumbel y así, hallar caudales máximos instantáneos para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

A partir de los datos proporcionados por las estaciones, se ha calculado un coeficiente para relacionar los caudales máximos y máximos instantáneos en función del tamaño y la ubicación de la cuenca aforada. La variación causada por estos dos factores se ha plasmado en rectas de regresión de las que se escogió aquella cuyo coeficiente de correlación resultó mayor. Así, a partir de la ecuación de una recta se pudo extrapolar un coeficiente, función de la superficie de la cuenca, para los datos de caudal máximo existentes en las estaciones de aforos de nuestros ríos.

Por último es importante destacar que las series históricas analizadas pertenecen a la situación de la cuenca a partir del año 1960 en la que ya estaban en explotación la mayor parte de los embalses existentes por lo que el estudio es básicamente del régimen regulado acorde con el objetivo de delimitación de áreas con riesgo de inundación en esa cuenca.

3.3.3. Análisis de Datos de Partida

En el cuadro siguiente se muestra un resumen de las estaciones que han sido consideradas en este estudio, su denominación, situación, extensión y altitud, así como el caudal medio y el período temporal de datos.

Nº	LUGAR	LONGITUD	LATITUD	ÁREA (km ²)	PERIODO	Qm (m ³ /s)
03050	El Vado	3-17-57 W	41- 0-14 N	426	1950- 1986	6.1
03051	Algete	3-33-55 W	40-35-53 N	2448	1969-2020	8.5
03052	Mejorada del Campo	3-30-29 W	40-23-56 N	7005	1962-2020	28.6



Situación de las Estaciones de Aforo consideradas dentro de la cuenca del río Jarama

3.3.4. Estudio de Calidad de las Estaciones

En este apartado se intenta hacer una recopilación de los análisis de calidad de los datos obtenidos en las estaciones de aforo. Se ha considerado que los análisis de calidad y rellenos de datos realizados por el CEDEX son suficientes para iniciar el estudio de caudales máximos. Posteriormente podría complementarse con los datos de las estaciones (planta, secciones, curvas de gasto, características del equipo de medida y del entorno fluvial, etc.), permitiendo emitir un juicio con rigor de la calidad de los datos de aforo.

3.3.5. Cálculo de Q_{ci}

La medida del caudal máximo instantáneo se realiza sólo en algunas de las estaciones de aforo, no existiendo muchas veces este registro. Debido a la escasez de estos datos es habitual realizar estimaciones de este valor por procedimientos distintos que van desde la utilización de las curvas de gastos hasta aproximaciones estadísticas.

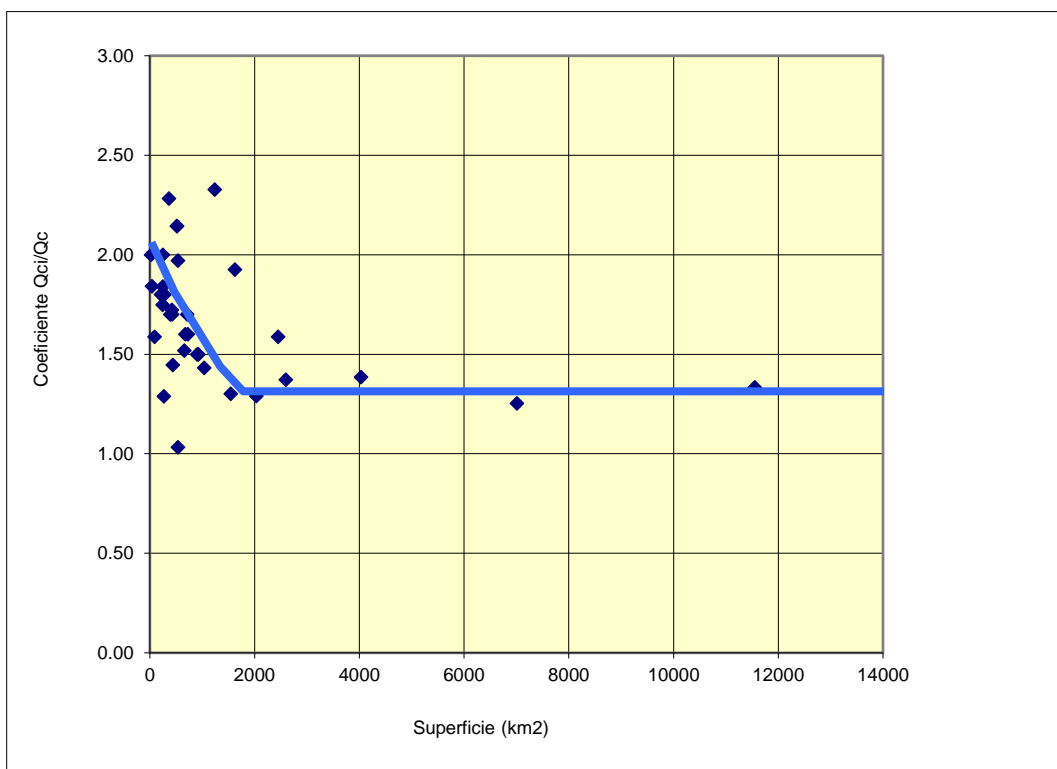
En el presente estudio se ha utilizado inicialmente los valores calculados por el CEDEX en base a su conocimiento de los aforos, medidas de nivel y curvas de gasto. Pero en algunas

estaciones de aforo en las que faltan datos de Q_{ci} para años concretos que permiten ampliar series importantes, los valores de Q_{ci} han sido completados a partir de una estimación del valor medio del ratio Q_{ci}/Q_c , obtenido en esa estación como el valor media aritmética de los $k = Q_{ci}/Q_c$.

En la tabla que se adjunta se incluyen los valores de K y los caudales máximos instantáneos (Q_{ci}) completados en este estudio en ríos de la cuenca del Jarama.

Nº	Lugar	Superficie	Ratio medio K (Q_{ci}/Q_c)
03050	El Vado	426	1,700
03051	Algete	2448	1,588
03052	Mejorada del Campo	7005	1,253

Con el fin de analizar la relación entre el área de la cuenca y el coeficiente $k = Q_{ci}/Q_c$ se ha realizado una correlación entre ambos cuyo resultado se adjunta.



Fuente: Determinación de áreas con riesgo de inundación de la Comunidad de Madrid

En el gráfico se observa que el valor del coeficiente k, de relación entre el caudal máximo y el instantáneo, decrece con la superficie y que para valores altos del tamaño de la cuenca es del orden de 1,2 a 1,3. Este orden de magnitud es razonable.

Se aprecian en el gráfico todas las estaciones empleadas para el estudio foronómico del proyecto LINDE de la Comunidad de Madrid.

Por otra parte en cuencas pequeñas se observa una mayor dispersión, que puede deberse a que existe una importante regulación en cabecera que altera sensiblemente este coeficiente.

3.3.6. *Análisis estadístico de las series de Q_{ci}*

Las series de Q_{ci} halladas se han tratado estadísticamente mediante el método de Gumbel para obtener los caudales con diferentes probabilidades o períodos de retorno.

El análisis estadístico completo puede consultarse en el correspondiente apéndice.

En general, las series no son muy cortas ni se interrumpen durante períodos de años más o menos prolongados. Por ello, se ha optado por calcular los Q_{ci} según el método Gumbel siguiendo el criterio de utilizar series cronológicamente consecutivas y excepcionalmente, el criterio poco ortodoxo que consiste en introducir todos los datos de Q_{ci} disponibles, en orden cronológico, aunque no correspondan a años correlativos.

Como resumen se adjunta la siguiente tabla en la que se incluyen los resultados de la distribución Gumbel.

ESTACIÓN	POBLACIÓN	Caudales (m ³ /s), según la distribución de Gumbel							
		T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100	T=200	T=500
3050	El Vado	92	161,5	207,6	265,83	309,01	351,86	394,56	450,9
3051	Algete	125,1	264,2	356,2	472,5	558,8	644,4	729,8	842,4
3052	Mejorada del Campo	310,8	657,9	887,7	1178,0	1393,4	1607,2	1820,3	2101,3

3.3.7. *Conclusiones al Estudio Foronómico*

Como conclusiones se pueden indicar en primer lugar una coherencia entre los caudales máximos y el área de la cuenca, por ejemplo en el Jarama el caudal máximo calculado para T=500 con relación al área es:

Río Jarama	Área (km ²)	Q_{500} (m ³)	$C = Q / (\text{área})^{0,50}$
03050 El Vado	426	450,9	21,8
03051 Algete	2448	842,4	17,0
03052 Mejorada del campo	7005	2101,3	25,1
03175 Aranjuez	11549	2562,7	23,8

La relación habitual es:

$$\text{Caudal} = C \times (\text{Area}) \times 0.5$$

En segundo lugar los valores obtenidos al final de la cuenca (estación 3175 Aranjuez) tienen un aceptable grado de similitud con otros trabajos y en concreto con el realizado en el tramo bajo del Jarama. En el cuadro adjunto se incluye una comparación entre ambos.

Periodo de retorno	Caudal calculado con los datos de aforos	Caudal calculado en el estudio del río Jarama	Ratio $Q_{aforo} / Q_{calculado}$
50	1683	1268,3	1,33
100	1949	1660,3	1,17
200	2213	-	-
500	2563	2833,1	0,90

Como consecuencia se puede indicar que los caudales obtenidos a partir de los datos de aforo pueden considerarse como válidos en una primera aproximación; por otra parte es necesario el cálculo de forma más precisa a partir de las precipitaciones y utilizar los obtenidos en las estaciones de aforo como contraste en el calibrado de los modelos hidrometeorológicos.

3.4. CAUDALES RESULTANTES DEL MODELO HIDROMETEOROLÓGICO

Según se explicaba en apartados anteriores, se dan por válidas las cifras de caudales de escorrentía superficial en régimen natural, obtenidas mediante Modelo Hidrometeorológico en el Proyecto LINDE de la Comunidad de Madrid.

A continuación se exponen dichas cifras de caudales en los distintos puntos estudiados, se divide el río Jarama en un total de ocho tramos, calculándose el caudal de salida para el dominio público hidráulico y un periodo de retorno de 500 años en los diferentes tramos:

TRAMO	$Q_{DPH} (m^3/s)$	$Q_{500}(m^3/s)$
T-1. Azud de Valdentalés a Azud de Uceda	213	741
T-2 Azud de Uceda a Azud de Talamanca	230	800
T-3 Azud de Talamanca a Puente de Algete	263	915
T-4 Puente de Algete a Azud de Paracuellos	270	950
T-5 Azud de Paracuellos a A. de San Fernando	272	970
T-6 A. de San Fernando a Azud de la Poveda	516	2134
T-7 A. de la Poveda a Presa del Rey	572	2365
T-8 Presa del Rey desembocadura en Tajo	685	2778



Azud de Valdentalés, comienza el tramo T-1

3.5. CONCLUSIÓN. CAUDALES EXTRAÍDOS

Se muestran los caudales recopilados del Proyecto LINDE por los distintos métodos.

Estudio Foronómico:

ESTACIÓN	POBLACIÓN	Caudales (m^3/s)							
		T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100	T=200	T=500
3052	Mejorada del Campo	310,8	657,9	887,7	1178,0	1393,4	1607,2	1820,3	2101,3

Modelo Hidrometeorológico:

TRAMO	Q _{DPH} (m ³ /s)	Q ₅₀₀ (m ³ /s)
T-5 Azud de Paracuellos a A. de San Fernando	272	970
T-6 A. de San Fernando a Azud de la Poveda	516	2134

Una vez contrastados todos los datos de caudales provenientes del Proyecto Linde, y analizado el proceso de cálculo que se lleva a cabo para su obtención, se obtienen finalmente los siguientes caudales en régimen modificado para ser utilizados como referencia del tramo del río Jarama hasta la desembocadura del Henares.

Q Mínimo (m ³ /s)	Q Medio Ordinario (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₅₀₀ (m ³ /s)
10	272	608	820

Una vez determinados los caudales de escorrentía, se analiza el cauce desde el punto de vista topográfico, que se detalla en el siguiente epígrafe.

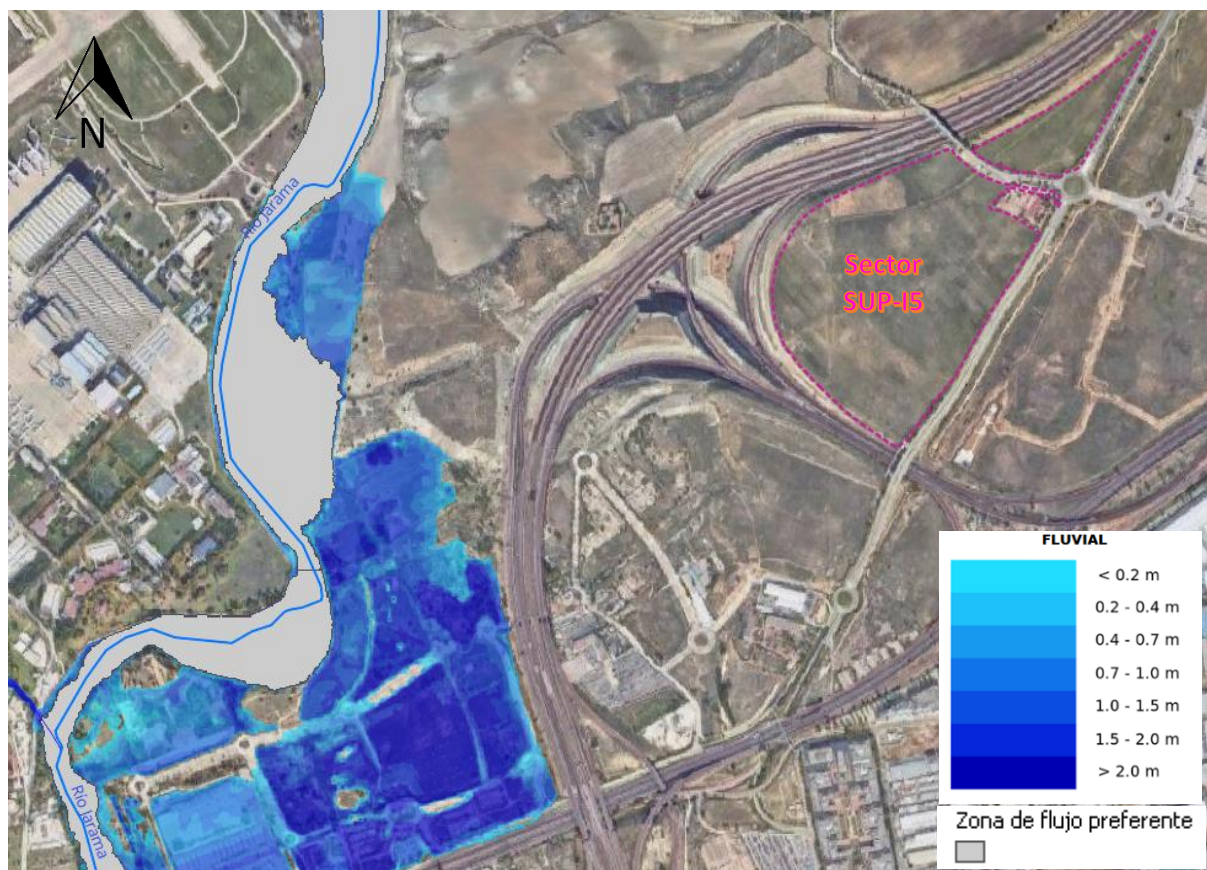
3.6. ANÁLISIS TOPOGRÁFICO DE LA POSIBLE AFECCIÓN DEL RÍO JARAMA

Los caudales del río nos sirven para caracterizar hidrológicamente el tramo. Estos son coherentes con una superficie de cuenca de más de 2000 km², sin embargo, para valorar si realmente las avenidas del tramo fluvial van a afectar a la parcela del sector, es necesario estudiar la topografía, especialmente la altimetría de la zona. Para ello se han realizado una serie de cortes topográficos del terreno, comparando las cotas de la llanura de avenida y de las posibles inundaciones del cauce con las del sector.

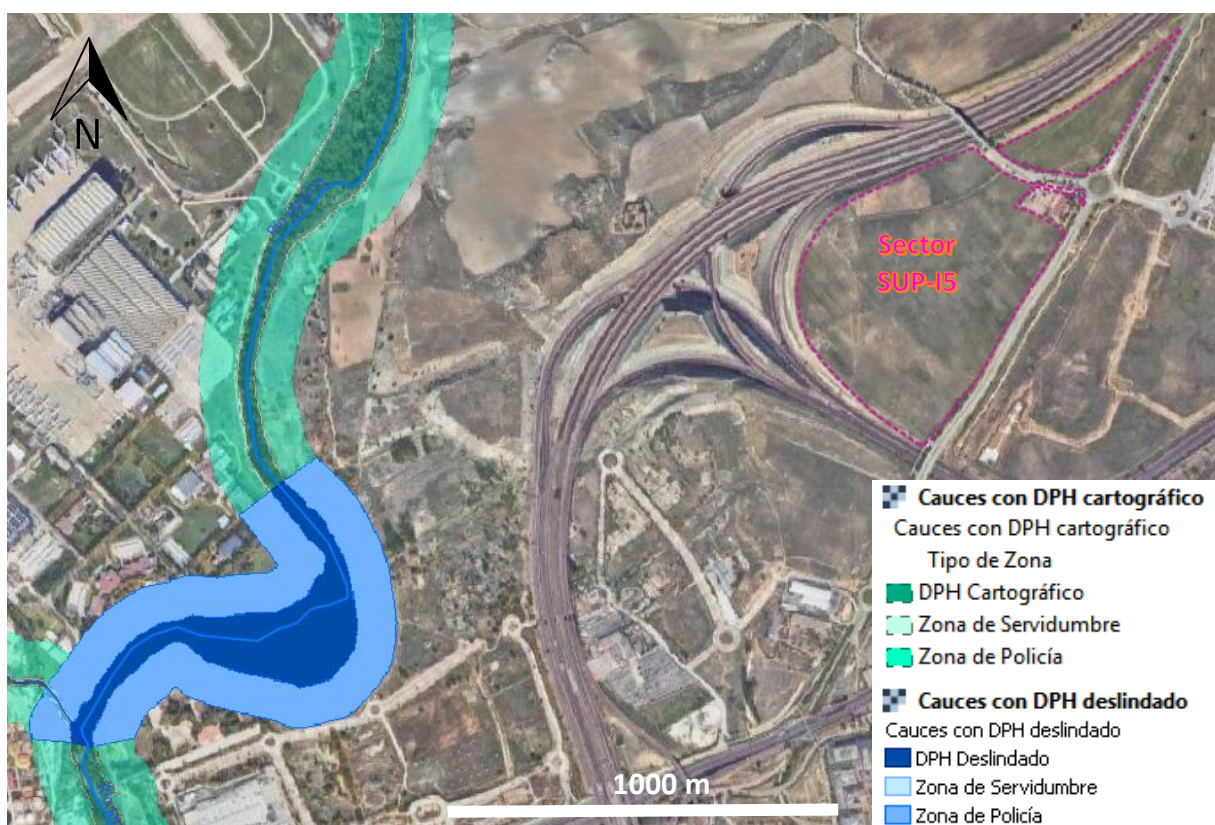
Como análisis inicial se incluyen las plantas adjuntas, en las que se pueden ver los siguientes elementos del río Jarama en su parte más próxima al Sector SUP-I5:

- Situación del Sector SUP-I5
- Llanura de inundación de 500 años de los Mapas de peligrosidad de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI).
- Zona de Flujo Preferente.
- DPH (parte cartográfico y parte deslindada).
- Zonas de Servidumbre.
- Zonas de Policía.

Se comprueba que

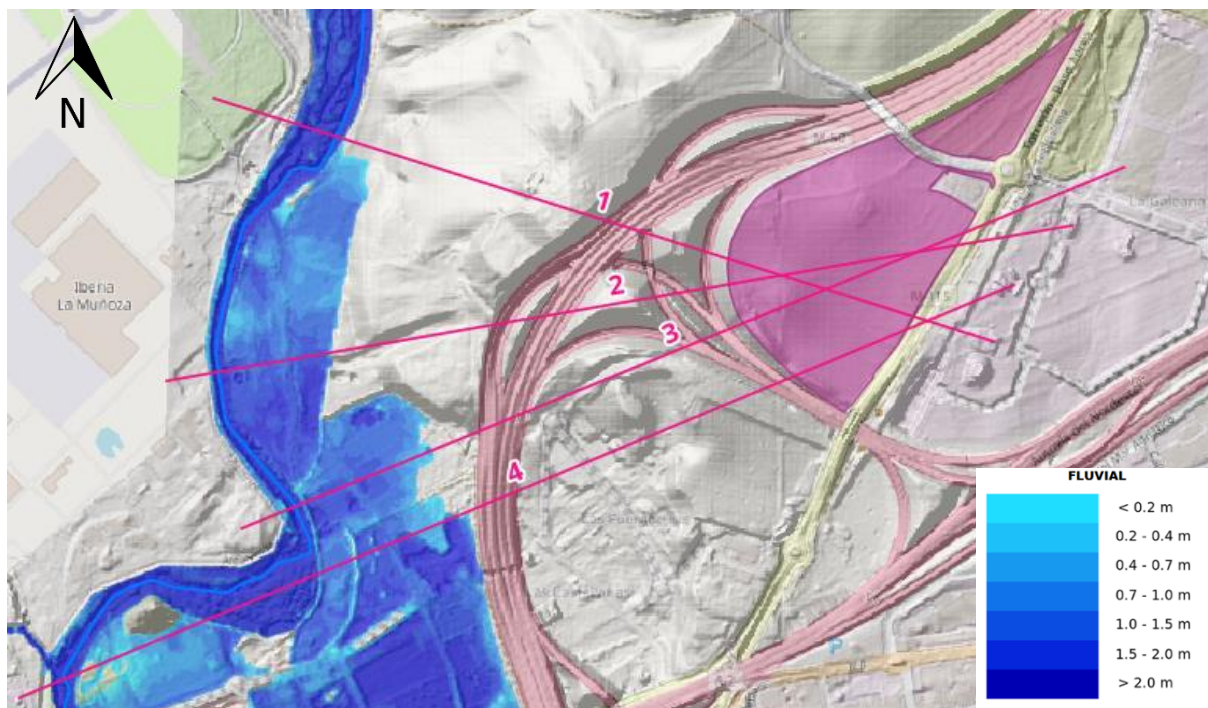


Llanura de inundación de 500 años de los Mapas de peligrosidad de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) y Zona de Flujo Preferente del río Jarama respecto del Sector SUP-15



DPH, Zonas de Servidumbre y Zonas de Policía del río Jarama en su parte más próxima al Sector SUP-15

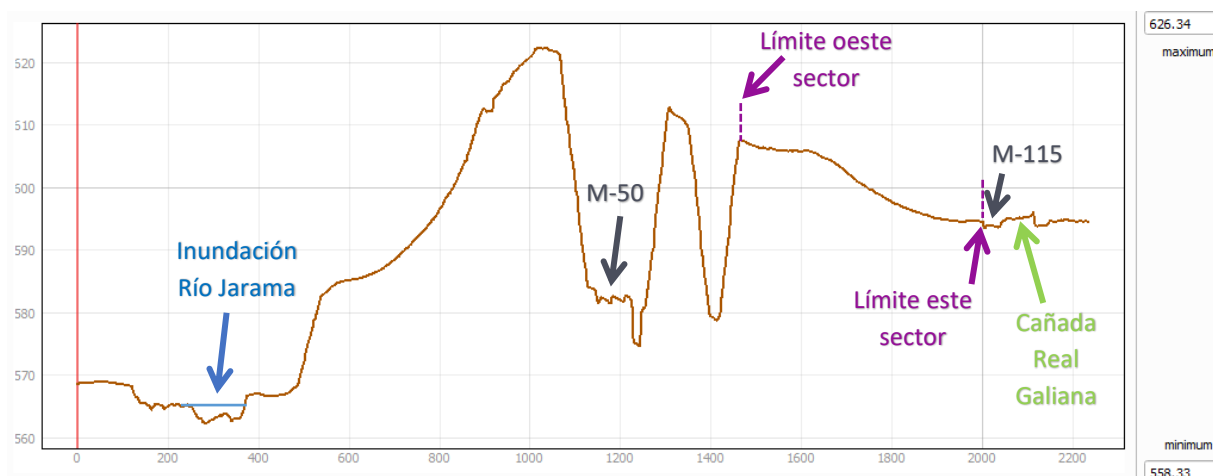
En la planta adjunta se trazan los ejes de los perfiles del terreno realizados, en la que se superpone el modelo digital del terreno de la zona con la extensión de la inundación de 500 años consultada de los Mapas de peligrosidad de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI). Estos perfiles se han trazado de manera ortogonal al eje del río y en localizaciones en las que hay menor distancia al borde del sector:



Perfiles topográficos realizados para comprobar la no afección del río Jarama al Sector SUP-15 sobre llanura de inundación de 500 años

Perfil 1:

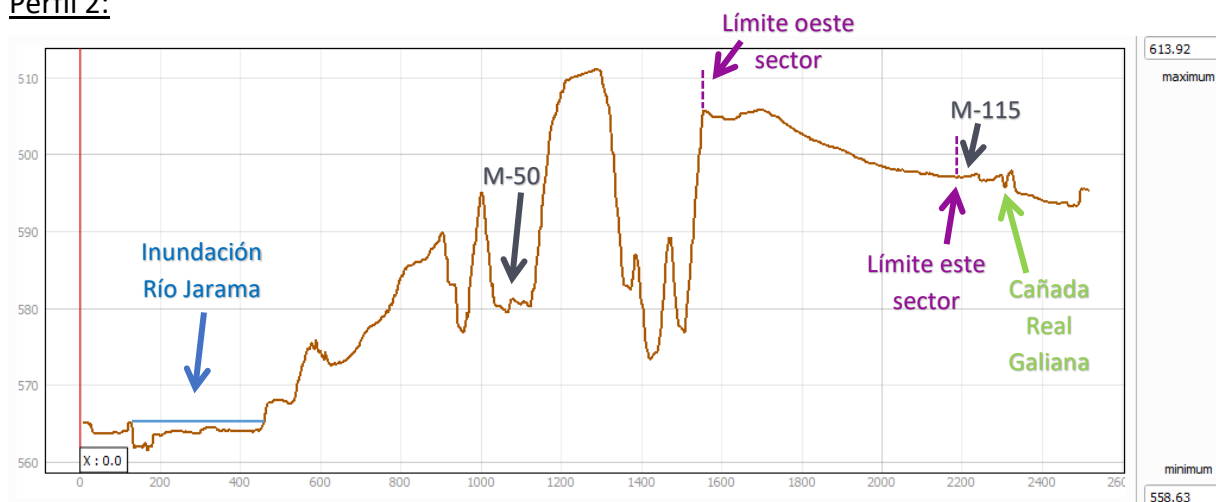
Se confirma que la distancia al límite del sector está a 1098 m de la llanura de inundación. La diferencia de cotas es de 565 m (inundación del Jarama) y 593 m (más baja del sector en el perfil). Diferencia = 28 m.



Perfil 1 desde la llanura de inundación del río Jarama hasta el Sector SUP-15

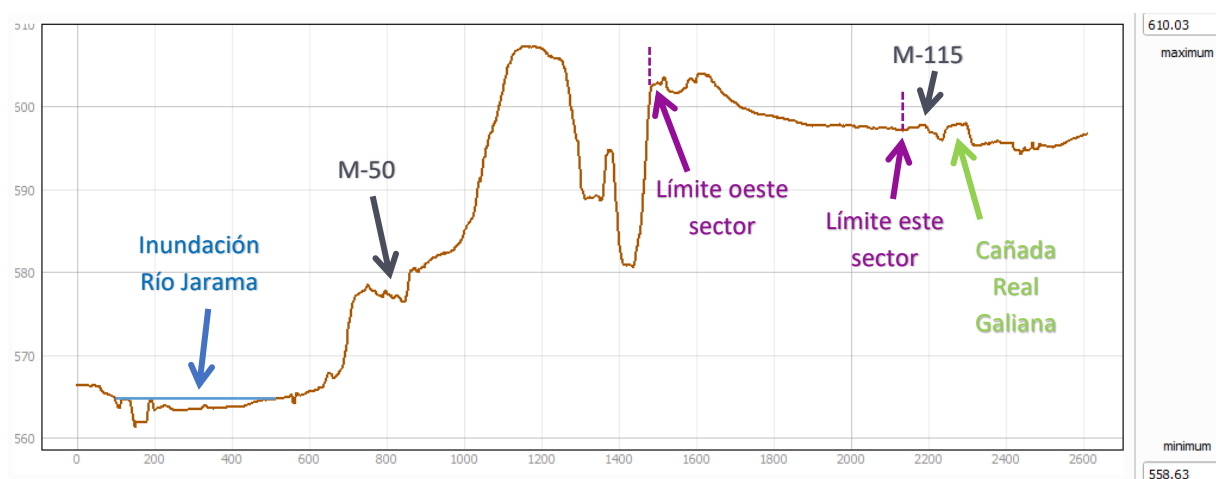
En todos los demás casos **se comprueba** también que la **posible afección**, tanto por distancia, como por cota es inexistente.

Perfil 2:



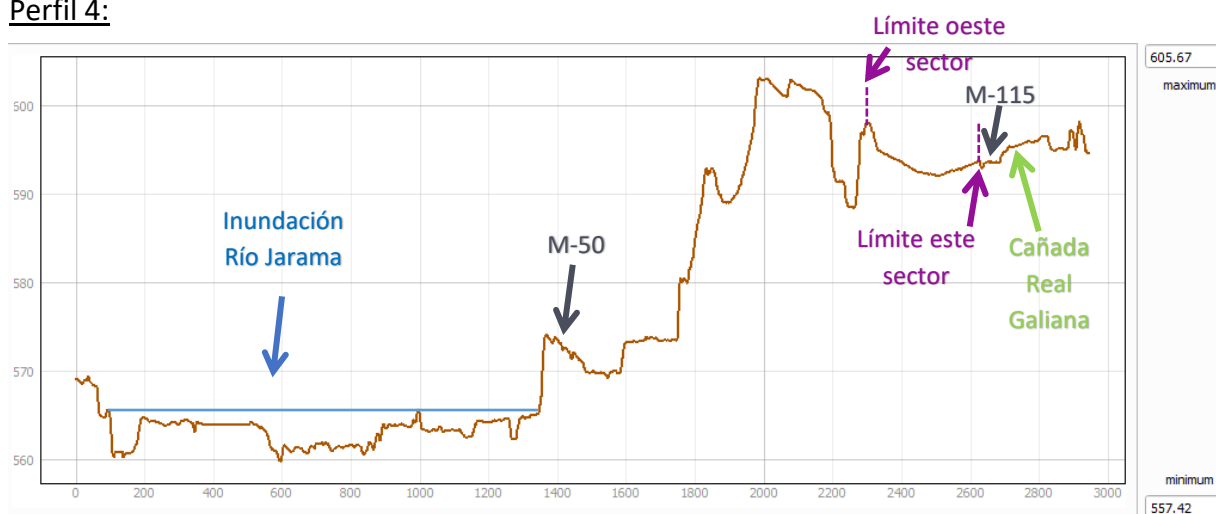
Perfil 2 desde la llanura de inundación del río Jarama hasta el Sector SUP-I5

Perfil 3:



Perfil 3 desde la llanura de inundación del río Jarama hasta el Sector SUP-I5

Perfil 4:



Perfil 4 desde la llanura de inundación del río Jarama hasta el Sector SUP-I5

Jarama – Sector SUP-I5	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4
Distancia en eje (m)	1098.80	1100.50	913.70	989.16
Diferencia de cotas (m)	28.0	32.5	31.9	27.2

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO. DETERMINACIÓN DE CAUDALES PUNTA DE AVENIDA DE ESCORRENTÍA DENTRO DEL ÁMBITO

El estudio hidrológico tiene por objeto determinar los caudales máximos para las distintas precipitaciones de diseño del ámbito, en las siguientes situaciones:

- Situación actual de urbanización de la parcela.
- Situación futura ámbito SUP-15, teniendo en cuenta el efecto del Cambio Climático.

4.1. METODOLOGÍA

Partiendo de la información morfológica y pluviométrica de las cuencas se han calculado los caudales superficiales siguiendo el método aplicado según la Normativa 5.2-I.C. de la Instrucción de Carreteras (2016), con el fin de obtener los caudales punta en la cuenca que considera el estudio.

Las precipitaciones máximas empleadas en los cálculos son las obtenidas a través de MAXPLUWIN.

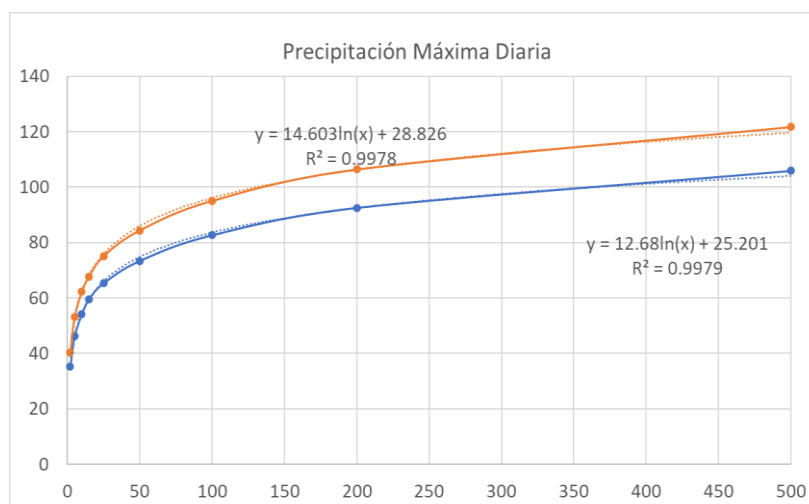
Las características de las cuencas se han obtenido de las siguientes fuentes:

- Modelo digital del terreno obtenido
- Vistas aéreas actuales provenientes del PNOA (Instituto Geográfico Nacional)

4.2. PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS

A través de la aplicación MAXPUWIN con las coordenadas del centro de gravedad de la cuenca del sector (X= 456900 Y= 4479000) se han obtenidos las precipitaciones máximas diarias:

T(años)	Kt	P diaria (mm)	P diaria CC (mm)
2	0.924	35.1	40.4
5	1.213	46.1	53.0
10	1.423	54.1	62.2
15*		59.5	62.6
25	1.717	65.2	75.0
50	1.93	73.3	84.3
100	2.174	82.6	95.0
200	2.434	92.5	106.4
500	2.785	105.8	121.7

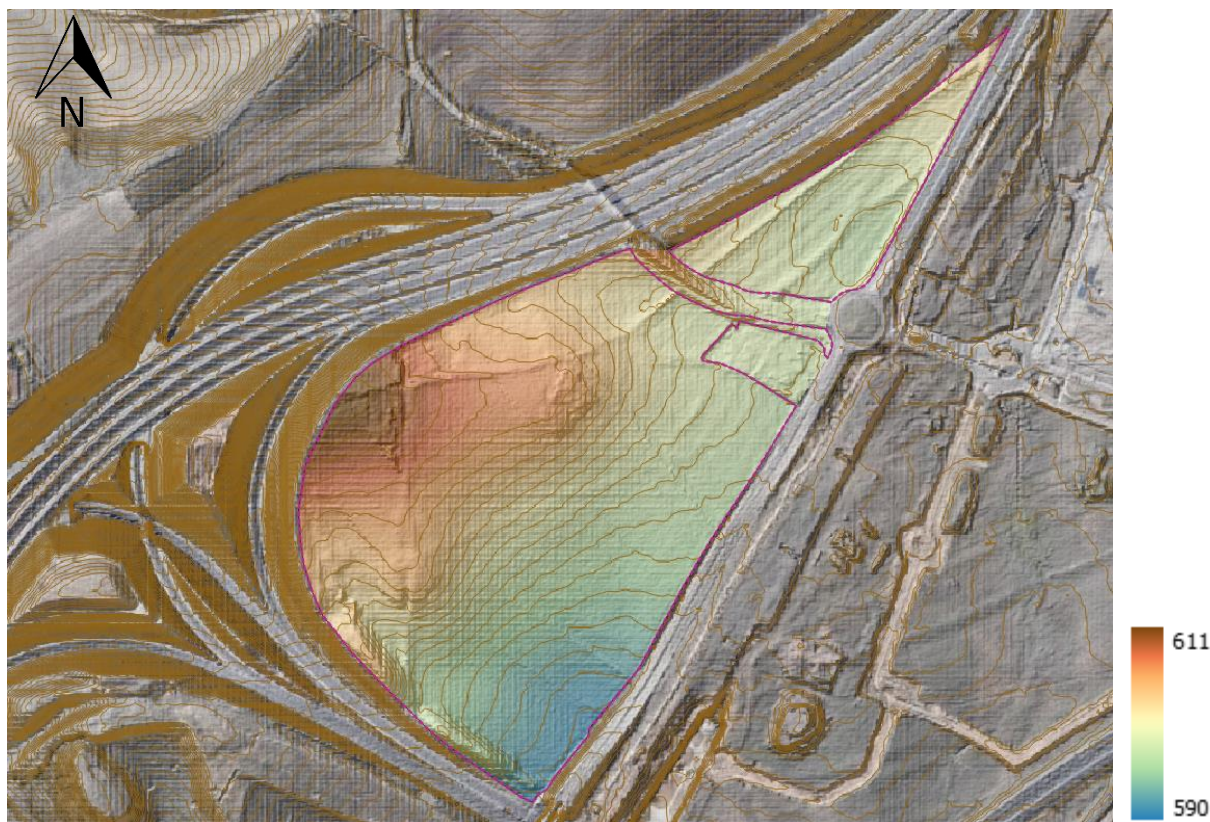


Precipitaciones máximas diarias en la zona de estudio obtenidas y precipitaciones teniendo en cuenta la variación por Cambio Climático de +15%

*La precipitación de 15 años se ha interpolado

4.3. CARTOGRAFÍA DISPONIBLE

Se parte de la cartografía general de la zona de estudio (en magenta), así como del levantamiento realizado para caracterizar la cuenca de la parcela:



Curvas de nivel de la zona de estudio con delimitación de la parcela del ámbito SUP-15

4.4. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL PLAN PARCIAL SUP-15

La situación actual del ámbito SUP-15 es de suelos sin urbanizar con usos agrícola o improductivo.



Ortofoto con situación actual y usos de la parcela del ámbito

Hay dos cuencas diferenciadas, separadas por el enlace a la M-115:

- La norte aparece como uso 122 (redes viarias y terrenos asociados).
- La sur aparece como uso 231 (pastos en tierras abandonadas), lo cual resulta más acorde con el uso de suelo general.

Para el cálculo de los caudales de escorrentía hay que tener en cuenta a efectos hidrológicos el pequeño polígono que no pertenece al sector registralmente.

Por tanto, se consideran ambas cuencas como uso actual pastos en tierras abandonadas.

Respecto a los usos futuros, se pueden revisar en la planta adjunta, en la que además de los usos lucrativos, de equipamiento o zonas verdes, se incluye la disposición de las soluciones de drenaje sostenible dispuestas y las balsas de infiltración propuestas, que se dispondrán en el extremo sur de la parcela, a ambos lados de la balsa de laminación del ámbito.



Disposición de usos futuros de la urbanización del Sector SUP-15 sobre ortofoto

En la tabla adjunta se detallan las superficies de cada uso de suelo, así como las edificabilidades.

ORDENACIÓN LUCRATIVA DEL SUP-15				
Calificación	Identificación de Parcela	Superficie [m ² s]	Edificabilidad unitaria Asignada [m ² c/m ² s]	Edificabilidad Asignada [m ² c]
uso de industria logística	IL1-R1	104,228.01	0.6480	67,539.75
uso de industria logística	IL1-R2	12,700.15	0.6480	8,229.70
uso de industria logística	IL2	62,135.15	0.6480	40,263.58
uso de industria logística	IL3	16,974.70	0.6480	10,999.61
uso de industria logística de cercanía	ILC1	3,051.18	0.6700	2,044.29
uso de industria logística de cercanía	ILC2	6,869.90	0.6700	4,602.83
uso de industria escaparate	IE1-R2	2,397.94	0.7740	1,856.01
uso de centro de servicios	CS1-R1	22,360.48	0.9141	20,439.33
uso de centro de servicios	CS1-R2	2,151.13	0.9303	2,001.20
uso de centro de servicios	CS2	5,928.95	0.4194544	2,486.92
uso dotacional privado	DP1	546.05	0.2500	136.51
TOTAL SUELO LUCRATIVO		239,343.64		160,599.73

REDES PLAN PARCIAL SUP-5		
Tipología uso	Parcela	Superficie (m ² s)
REDES SUPRAMUNICIPALES		
Influencia Carretera CM		
	C1	7,554.59
	C2	443.40
	C3	6,627.30
Total Ctra SUPRA		14,625.29
REDES GENERALES		
Espacios libres y zonas verdes		
	AV1	23,802.37
	AV2	1,134.11
	AV3	6,058.71
	AV4	1,134.11
	AV5	836.72
Total ZV GENERALES		32,966.02
Infraestructuras viarias		
	AI1- MOD	18,837.39
	AI2	905.61
	AI3- MOD	6,572.96
Total Infra GENERALES		26,315.96
TOTAL GENERALES		59,281.98
REDES LOCALES		
Espacios libres y zonas verdes		
	LV1 - MODIFICADA	15,333.15
	LV2	457.39
	LV3	1,346.14
	LV4- MODIFICADA	6,700.99
	LV5- MODIFICADA	861.69
	LV6- NUEVA	1,652.39
	LV7- NUEVA	1,798.79
Total ZV LOCALES		28,150.24

REDES PLAN PARCIAL SUP-5		
Tipología uso	Parcela	Superficie (m ² s)
Equipamientos y Servicios		
	LC1 - MODIFICADA	6,780.40
	LC2- MODIFICADA	6,570.06
Balsa	LC3 - NUEVA	7,200.00
Total Equip_Serv LOCALES		20,550.46
TOTAL LOCALES		48,700.70
TOTAL REDES		122,607.97

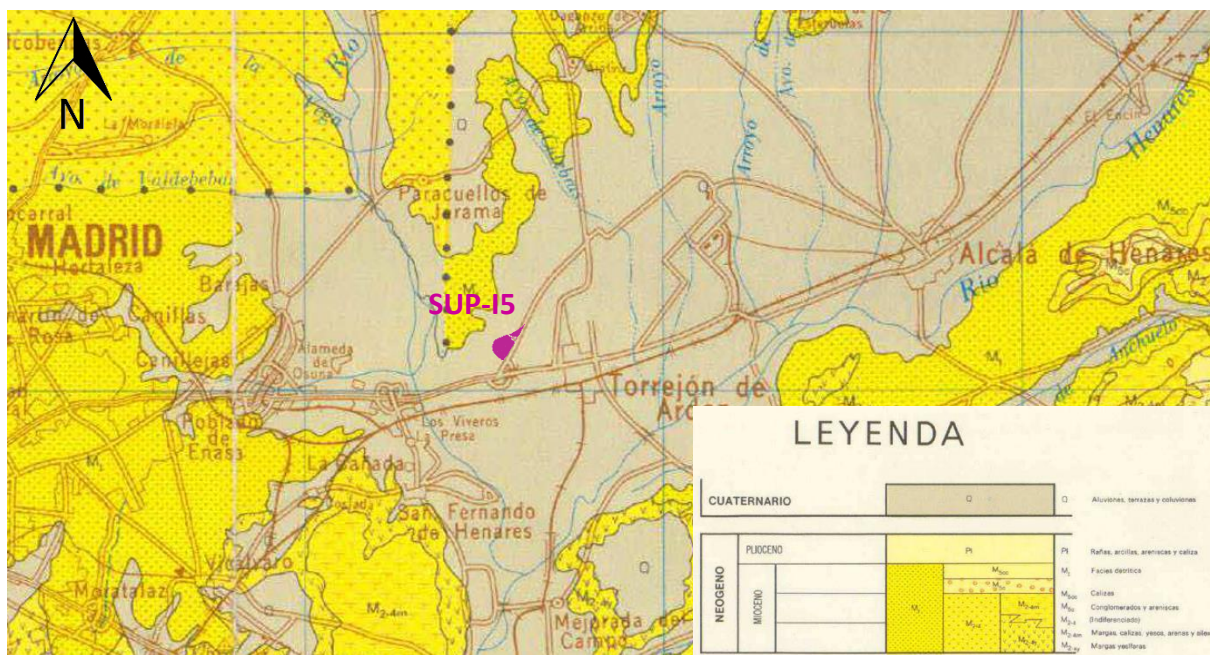
En la tabla adjunta se incluyen los usos de suelo actuales y futuras del ámbito, así como los resultados de umbrales de escorentía para el cálculo de caudales por método de la Instrucción de Carreteras 5.2 I.C. 2016.

Cuenca ámbito SUP-15 Norte		Situación Inicial			Urbanización original		
Código Corine	Tipo de suelo	P ₀	Área (m ²)	%	P ₀	Área (m ²)	%
121	Zonas industriales	7	0	0%	7	0	0%
121	Equipamiento y servicios	4	0	0%	4	30441	58%
122	Redes viarias	1	0	0%	1	15030	29%
141	Zonas verdes	23	0	0%	23	6701	13%
211	Tierras abandonadas	10	52172	100%	10	0	0%
		10	52172	100%	5.6	52172	100%
Cuenca ámbito SUP-15 Sur		Situación Inicial			Urbanización original		
Código Corine	Tipo de suelo	P ₀	Área (m ²)	%	P ₀	Área (m ²)	%
121	Zonas industriales	7	10744	3%	7	208357	67%
121	Equipamiento y servicios	4	0	0%	4	7746	3%
122	Redes viarias	1	0	0%	1	39261	13%
141	Zonas verdes urbanas	23	0	0%	23	54415	18%
211	Tierras abandonadas	10	309780	100%	10	0	0%
		10	309780	100%	9.0	309780	100%

Tabla de usos del suelo y P₀ actuales y futuros y tras la construcción del proyecto de la urbanización

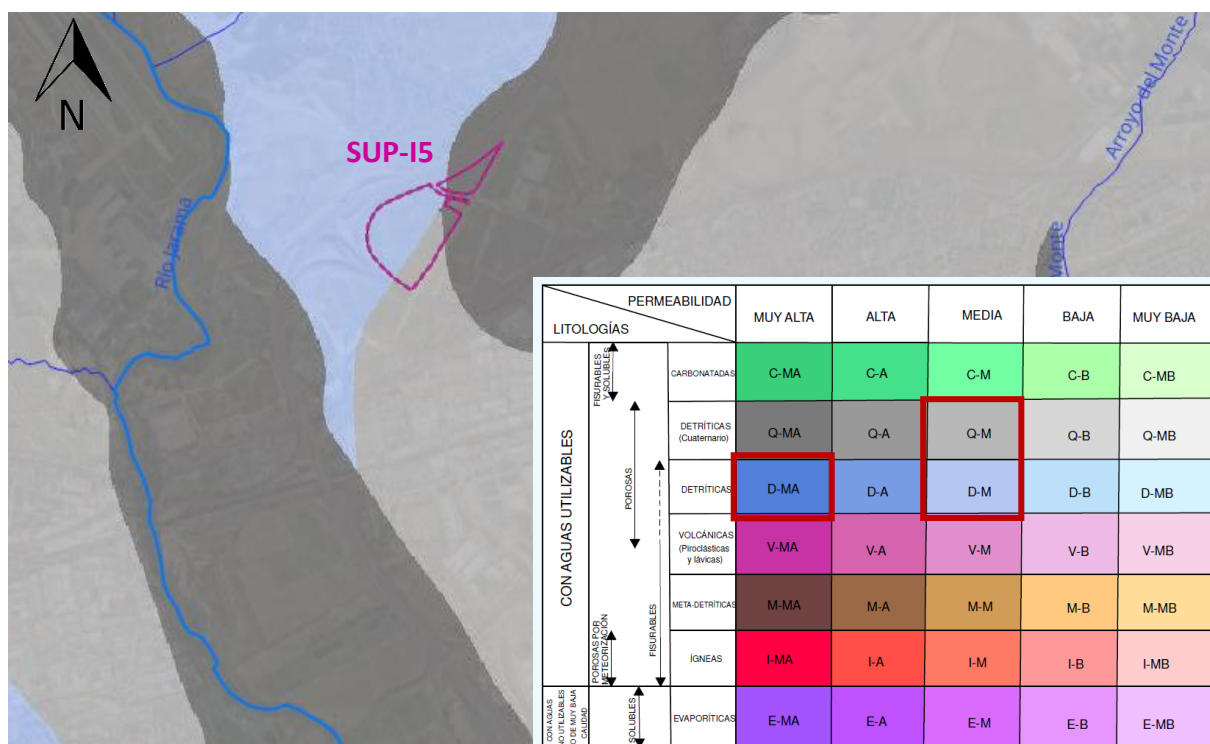
4.5. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, DE DRENAJE E INFILTRACIÓN DEL ÁMBITO

Según el mapa geológico, el sustrato del sector está formado por aluviones, terrazas y coluviones del cuaternario.



Extracto del mapa geológico escala 1:200.000 de la Comunidad de Madrid, San Fernando de Henares

Según el mapa de permeabilidad, el Plan Parcial de SUP-15 presenta permeabilidades altas (zona norte) y medias (zona sur), lo cual permitiría la disposición, en su caso, de elementos de drenaje sostenible que reduzcan y atenúen la escorrentía superficial.



Extracto del mapa de permeabilidad escala 1:200.000 de la Comunidad de Madrid, San Fernando de Henares

4.6. CÁLCULO DE CAUDALES

Las características geométricas de las cuencas del ámbito SUP-15 son las siguientes:

Nombre cuenca	Área (m ²)	Cota superior	Cota Inferior	Longitud del cauce (km)	Pendiente
Norte	52172	602.4	597	0.41	0.0132
Sur	320523	612	590.4	0.649	0.0333

La parcela, tiene una superficie total de $52172.17 + 309779.81 = 361,951.98 \text{ m}^2$.

Sin embargo, en la cuenca sur se ha añadido la superficie de la parcela urbanizada de Enagás (10744 m²), que no pertenece al ámbito pero que se cuenta a efectos hidrológicos.

A partir de estos parámetros se ha determinado el tiempo de concentración de la cuenca según la Instrucción de Carreteras de 2016:

$$t_c = 0,3 \cdot L_c^{0.76} \cdot J_c^{-0.19}$$

t_c (horas) Tiempo de concentración

L_c (km) Longitud del cauce

J_c (adimensional) Pendiente media del cauce

Para el cálculo de caudales punta de avenida se ha empleado la norma 5.2-IC actualizada.

Siguiendo el método racional, el caudal máximo anual Q_T (m³/s), correspondiente a un período de retorno T , se calcula mediante la fórmula:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3.6}$$

$I(T, t_c)$ (mm/h) Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno considerado T , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración t_c , de la cuenca.

C (adimensional) Coeficiente medio de esorrentía de la cuenca o superficie considerada.

A (km²) Área de la cuenca o superficie considerada

K_t (adimensional) Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

En este caso aplicando la fórmula siguiente se obtiene un valor de 1.19:

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

$I(T, t_c)$ (mm/h)

La intensidad de precipitación $I(T, t)$ correspondiente a un período de retorno T , y a una duración del aguacero es:

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

donde:

- A. $I(T, t)$ (mm/h) Intensidad de precipitación correspondiente a un período de retorno T y a una duración del aguacero t .
- B. I_d (mm/h) Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T
- C. F_{int} (adimensional) Factor de intensidad

La intensidad de precipitación a considerar en el cálculo del caudal máximo anual para el período 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

La intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T , se obtiene mediante la fórmula:

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

Donde;

- I_d (mm/h) Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T
- P_d (mm) Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T
- K_A (adimensional) Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca que tiene en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda la superficie

$$\text{Si } A < 1 \text{ km}^2$$

$$K_A = 1$$

$$\text{Si } A \geq 1 \text{ km}^2$$

$$K_A = 1 - \frac{\log_{10} A}{15}$$

En este caso K_A es 1 para las dos parcelas del ámbito y 0.88 para la cuenca del Arroyo del Culebro.

Para la determinación de la precipitación diaria correspondiente al período de retorno T , P_d , se debe adoptar el mayor valor de los obtenidos a partir de:

- Datos publicados por la Dirección General de Carreteras.
- Estudio estadístico de las series de precipitaciones diarias máximas anuales, medidas en los pluviómetros existentes en la cuenca, o próximos a ella. Se debe ajustar a la serie de precipitaciones máximas registrada en cada pluviómetro, la función de distribución extrema más apropiada a los datos de la zona, considerando al menos las funciones Gumbel y SQRT ET-max.

A los efectos de esta norma, para la aplicación del método racional se toma como precipitación diaria P_d , la correspondiente al valor medio en la superficie de la cuenca (media Área), que se obtiene en este caso con la aplicación MAXPLUWIN. También se obtiene la Intensidad Diaria, I_d , y las mismas variables aplicando la variación por Cambio Climático:

	2 a	5 a	10 a	15 a	25 a	50 a	100 a	200 a	500 a
P_d	35.1	46.1	54.1	59.5	65.2	73.3	82.6	92.5	105.8
P_{dcc}	40.4	53.0	62.2	67.7	75.0	84.3	95.0	106.4	121.7
I_d	1.5	1.9	2.3	2.5	2.7	3.1	3.4	3.9	4.4
I_{dcc}	1.7	2.2	2.6	2.8	3.1	3.5	4.0	4.4	5.1

B. Factor de intensidad Fint

El factor de intensidad introduce la torrencialidad de la lluvia en el área de estudio y depende de y será el mayor de los dos valores F_a y F_b .

F_a :

$$F_a = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{3.5287 - 2.5287 \cdot t^{0.1}}$$

donde:

- F_a (adimensional) Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_1/I_d).
- I_1/I_d (adimensional) Índice de torrencialidad que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida. Su valor se determina en función de la zona geográfica, a partir del mapa siguiente. En este caso 10.
- t (horas) Duración del aguacero.

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

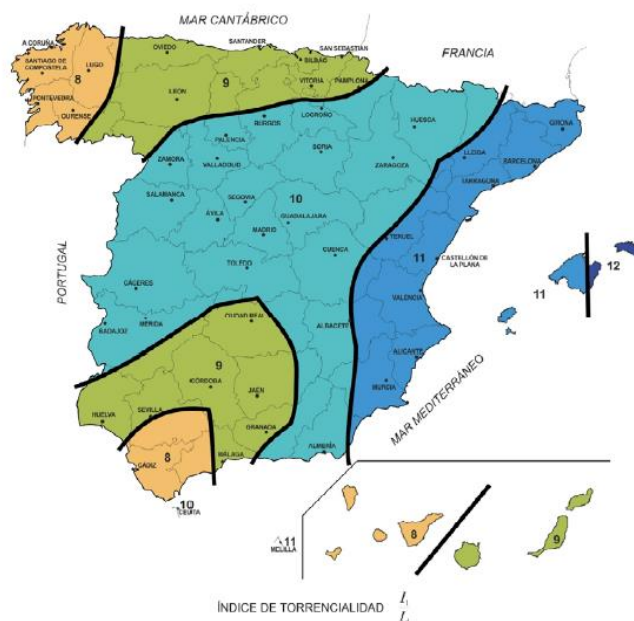
F_b :

$$F_b = k_b \cdot \frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)}$$

donde:

- F_b (adimensional) Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo. Se toma por cercanía el pluviógrafo de Getafe Base Área
- k_b (adimensional). Factor que tiene en cuenta la relación entre la intensidad máxima anual en un período de veinticuatro horas y la intensidad máxima anual diaria. En defecto de un cálculo específico se puede tomar $k_b = 1.13$.

- $I_{IDF}(T, t_c)$ (mm/h) Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y al tiempo de concentración t_c , obtenido a través de las curvas IDF del pluviógrafo.
- $I_{IDF}(T, 24)$ (mm/h) Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y a un tiempo de aguacero igual a veinticuatro horas ($t = 24$ h), obtenido a través de curvas IDF.



Índice de torrencialidad

A continuación, se recogen los datos del pluviógrafo de Getafe con las intensidades máximas en mm/h:

Intervalo (minutos)	Periodos de retorno (años)/Intensidades mm/h							
	2	5	10	25	50	100	200	500
5 min	40	62	79	103	123	144	167	198
10 min	32	48	59	76	89	103	119	139
15 min	27	40	49	62	72	83	95	112
20 min	23	33	40	51	59	69	78	92
30 min	18	27	33	42	50	57	66	77
60 (1 h.)	12.2	17.5	21.6	27.1	31.7	36.4	41.6	48.6
120 (2 h.)	7.7	10.7	12.9	16.1	18.5	21.2	23.9	27.8
180 (3 h.)	5.8	7.9	9.5	11.7	13.4	15.3	17.2	20
360 (6 h.)	3.6	4.9	5.8	7.1	8.1	9.3	10.4	12
720 (12 h.)	2	2.7	3.3	4	4.7	5.3	5.9	6.9
18 h	1.5	2	2.33	2.89	3.28	3.67	4.11	4.78
24 h	1.21	1.62	1.96	2.38	2.71	3.08	3.46	4
36 h	0.89	1.19	1.44	1.75	2	2.28	2.56	2.97
48 h	0.71	0.96	1.15	1.42	1.62	1.85	2.08	2.42
72 h	0.54	0.75	0.92	1.14	1.31	1.5	1.71	1.97

Se interpolan los valores para la duración del tiempo de concentración:

	Intensidades mm/h								
Duración (h)	2	5	10	15	25	50	100	200	500
20 min	19.0	20.4	20.4	20.8	21.4	21.8	22.4	22.5	23.0

Con esos valores se obtienen los factores de intensidad:

Fa	Fb 2 a	Fb 5 a	Fb 10 a	Fb 15 a	Fb 25 a	Fb 50 a	Fb 100 a	Fb 200 a	Fb 500 a
21.5	23.0	23.1	23.5	24.2	24.6	25.3	25.5	26.0	21.5

Las intensidades de precipitación $I(T, t)$ en mm/h correspondientes a los distintos periodos de retorno resultan:

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

Cuenca	Itc 2 a	Itc 5 a	Itc 10 a	Itc 15 a	Itc 25 a	Itc 50 a	Itc 100 a	Itc 200 a	Itc 500 a
Actual	31.4	44.2	52.0	58.3	65.8	75.2	87.1	98.2	114.6
Cambio Climático	36.1	50.8	59.8	66.3	75.7	86.5	100.2	112.9	131.8

Coeficiente de escorrentía

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

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

Donde:

C (adimensional) Coeficiente de escorrentía

P_d (mm) Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T considerado

K_A (adimensional) Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca

P_0 (mm) Umbral de escorrentía

El umbral de escorrentía P_0 , representa la precipitación mínima que debe caer sobre la cuenca para que se inicie la generación de escorrentía. Se determinará mediante la siguiente fórmula:

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

donde:

P_0 (mm) Umbral de escorrentía

P_0^i (mm) Valor inicial del umbral de escorrentía

β Coeficiente corrector del umbral de escorrentía

El valor inicial del umbral de escorrentía lo obtenemos a partir de la diferenciación de las proporciones de los distintos tipos y usos del suelo realizados en la fotointerpretación de la imagen del PNOA

Valores de P_0^i aplicados a la clasificación de usos del suelo de la cuenca, teniendo en cuenta que por la ubicación del área de estudio se trata de una zona con grupo hidrológico B.

Cuenca ámbito SUP-15 Norte		Situación Inicial			Urbanización original		
Código Corine	Tipo de suelo	P_0	Área (m ²)	%	P_0	Área (m ²)	%
121	Zonas industriales	7	0	0%	7	0	0%
121	Equipamiento y servicios	4	0	0%	4	30441	58%
122	Redes viarias	1	0	0%	1	15030	29%
141	Zonas verdes	23	0	0%	23	6701	13%
211	Tierras abandonadas	10	52172	100%	10	0	0%
		10	52172	100%	5.6	52172	100%
Cuenca ámbito SUP-15 Sur		Situación Inicial			Urbanización original		
Código Corine	Tipo de suelo	P_0	Área (m ²)	%	P_0	Área (m ²)	%
121	Zonas industriales	7	10744	3%	7	208357	67%
121	Equipamiento y servicios	4	0	0%	4	7746	3%
122	Redes viarias	1	0	0%	1	39261	13%
141	Zonas verdes urbanas	23	0	0%	23	54415	18%
211	Tierras abandonadas	10	309780	100%	10	0	0%
		10	309780	100%	9.0	309780	100%

Tabla de usos del suelo y P_0 actuales y futuros del proyecto de la urbanización

A este valor es necesario aplicar un factor corrector que se obtiene a partir de la identificación inicial de la región del área de cálculo, en este caso **región 32** según imagen siguiente:



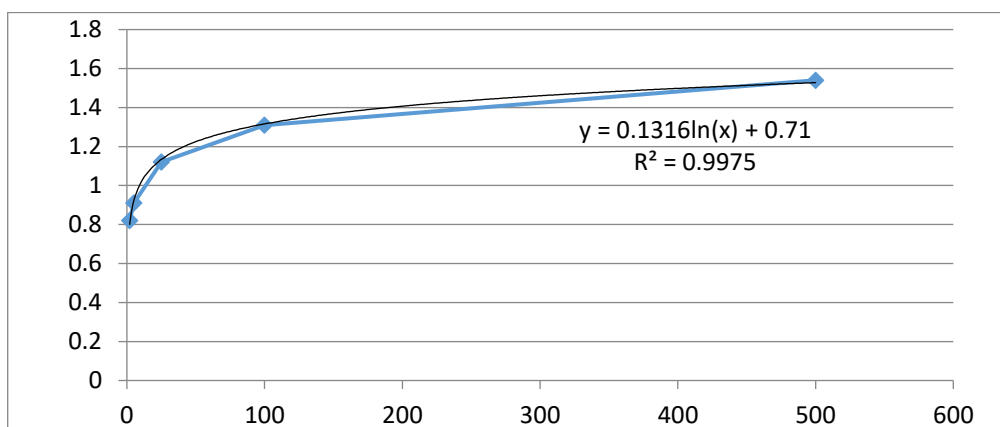
Regiones del coeficiente corrector

La región 32 se corresponde con los siguientes valores según la norma:

Región	β_m	F_T				
		2	5	25	100	500
32	1	0.82	0.91	1.12	1.31	1.54

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

En la Instrucción de Carreteras no se tiene el valor de F_T para 10, 15 y 50 años, por lo que se ha realizado un ajuste logarítmico con los valores existentes:



Ajuste logarítmico de los valores de F_T

Los coeficientes correctores obtenidos para cada período de retorno son:

	2	5	10	15	25	50	100	200	500
β_m	1	1	1	1	1	1	1		1
F_T	0.82	0.91	0.94	1.00	1.12	1.20	1.31	1.37	1.54
β^{PM}	0.82	0.91	0.94	1.00	1.12	1.20	1.31	1.37	1.54

Para calcular el coeficiente de escorrentía, C , que define la parte de la precipitación de intensidad I (T , t_c), que genera el caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca, se emplea la siguiente fórmula:

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

Con los valores anteriores aplicados al umbral de escorrentía inicial se obtienen los valores de umbrales de escorrentías y los coeficientes de escorrentía siguientes para la cuenca del ámbito SUP-I5:

Cuenca	P_{i0}	P_0 2 a	P_0 5 a	P_0 10 a	P_0 15 a	P_0 25 a	P_0 50 a	P_0 100 a	P_0 200 a	P_0 500 a
Norte	10.0	8.2	9.1	9.4	10.0	11.2	12.0	13.1	13.7	15.4
Sur	10.0	8.2	9.1	9.4	10.0	11.2	12.0	13.1	13.7	15.4
Tras la urbanización:										
Norte	5.6	4.6	5.1	5.3	5.6	6.2	6.7	7.3	7.6	8.6
Sur	9.0	7.4	8.2	8.5	9.0	10.1	10.8	11.8	12.3	13.8

Valores de P_0 inicial y P_0 por periodos de retorno

Cuenca		C2	C5	C10	C15	C25	C50	C100	C200	C500
Norte		0.3834	0.4421	0.4861	0.4990	0.4913	0.5082	0.5192	0.5436	0.5492
Sur		0.3834	0.4421	0.4861	0.4990	0.4913	0.5082	0.5192	0.5436	0.5492
Tras la urbanización:										
Norte		0.6338	0.6869	0.7239	0.7311	0.7281	0.7416	0.7501	0.7687	0.7728
Sur		0.4702	0.5293	0.5725	0.5813	0.5776	0.5939	0.6045	0.6277	0.6329

Valores de P_0 inicial y P_0 por periodos de retorno

Finalmente, introduciendo todos los parámetros calculados en la fórmula del caudal se obtienen los siguientes caudales punta para los periodos de retorno estudiados, en situación actual y en la futura, teniendo en cuenta un coeficiente de variación de las intensidades máximas de precipitación de +15%, siguiendo las recomendaciones de la publicación “Escenarios de Cambio Climático para Eventos pluviométricos severos en la Comunidad de Madrid”, de 2018.

FIGURA 3. COEFICIENTES DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA HORIZONTE 2006-2036

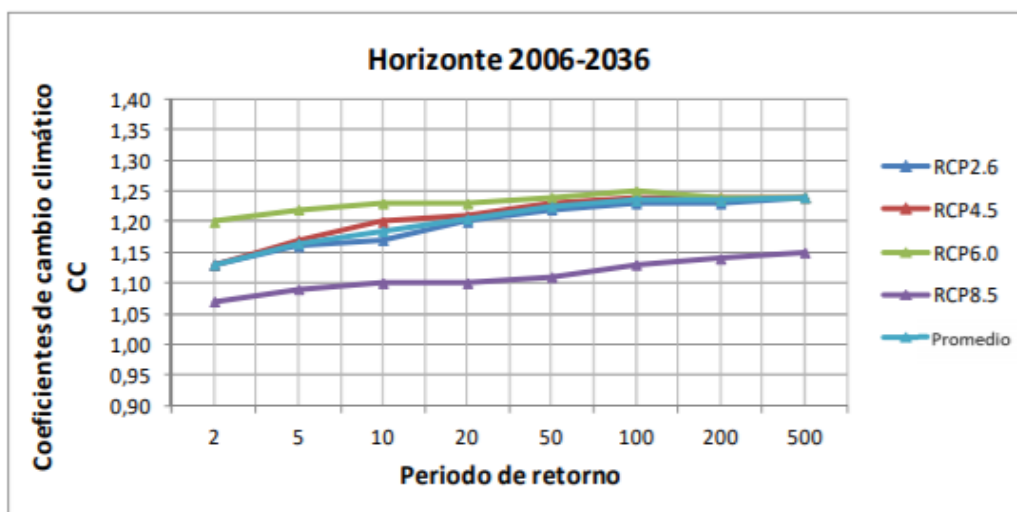
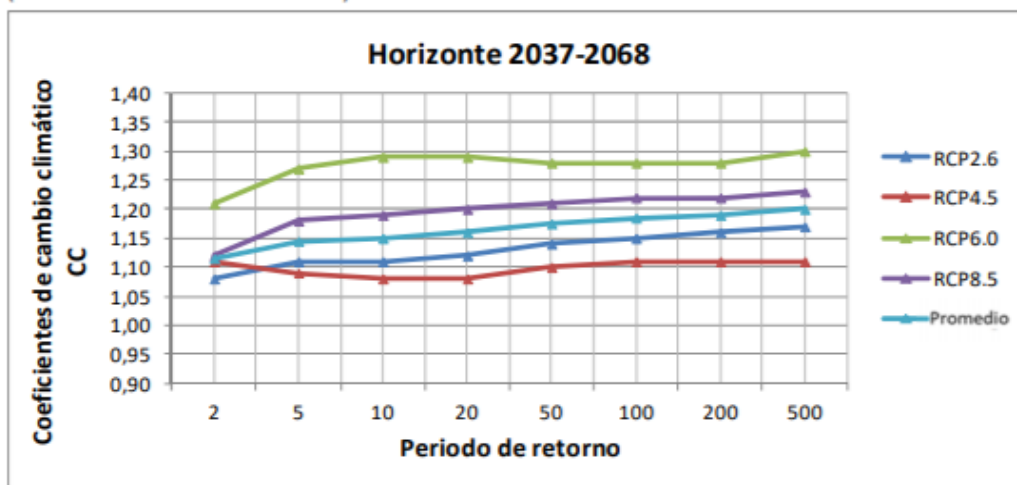


FIGURA 4. COEFICIENTES DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA HORIZONTE 2037-2068 (VALORES NO ACUMULADOS)



Coeficientes de cambio climático en intensidades de precipitación en Madrid para los horizontes 2006 a 2068. Escenarios de Cambio Climático para Eventos pluviométricos severos en la Comunidad de Madrid, Canal de Isabel II

CAUDALES PUNTA (m³/s)	2 a	5 a	10 a	15 a	25 a	50 a	100 a	200 a	500 a
Q_{actual} Cuenca Norte SUP-I5	0.178	0.289	0.373	0.429	0.477	0.564	0.668	0.788	0.929
Q_{actual} Cuenca Norte SUP-I5	1.061	1.720	2.223	2.561	2.847	3.363	3.983	4.698	5.541
Q_{futuro} C. Norte SUP-I5 (+15% CC)	0.338	0.516	0.639	0.715	0.814	0.946	1.110	1.281	1.504
Q_{futuro} C. Sur SUP-I5 (+15% CC)	1.494	2.366	3.008	3.389	3.846	4.516	5.327	6.233	7.337

Como se puede comprobar, los valores punta de caudales escorrentía del sector aumentan un 40% en la cuenca norte, y un 30% en la zona sur, a pesar de la gran superficie que se urbaniza y al viario que se tiene que disponer, gracias a la disposición de una gran área de zonas verdes. Estos caudales punta se verán adicionalmente reducidos gracias al paso a través de la balsa

de decantación de aguas pluviales prevista antes de su vertido a la red de saneamiento existente.

4.7. HIDROGRAMAS TRIANGULARES

A fin de poder incluir la dimensión temporal de los caudales punta a modelizar en el estudio hidráulico de la amortiguación de la balsa de infiltración y retención, se procede a aplicar a los valores obtenidos en los apartados anteriores. De esta forma, se obtienen los hidrogramas (caudales variables en el tiempo) correspondientes a las avenidas sintéticas para los períodos de retorno considerados, así como los volúmenes totales de escorrentía de pluviales generados en el ámbito.

Hidrograma triangular Cuenca Norte SUP-I5 (l/s) Situación futura tras la urbanización										
T. (h)	T.(min)	Q2	Q5	Q10	Q15	Q25	Q50	Q100	Q200	Q500
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	6	113	172	213	238	271	315	370	427	501
0.2	12	225	344	426	477	542	631	740	854	1002
0.3	18	338	516	639	715	814	946	1110	1281	1504
0.4	24	282	430	532	596	678	789	925	1068	1253
0.5	30	225	344	426	477	542	631	740	854	1002
0.6	36	169	258	319	358	407	473	555	641	752
0.7	42	113	172	213	238	271	315	370	427	501
0.8	48	56	86	106	119	136	158	185	214	251
0.9	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	V. (m³)	32868	50112	62064	69545	79095	91994	107862	124523	146141

Hidrograma triangular Cuenca Sur SUP-I5 (l/s) Situación futura tras la urbanización										
T. (h)	T.(min)	Q2	Q5	Q10	Q15	Q25	Q50	Q100	Q200	Q500
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	6	373	592	752	847	961	1129	1332	1558	1834
0.2	12	747	1183	1504	1694	1923	2258	2664	3116	3668
0.3	18	1120	1775	2256	2541	2884	3387	3995	4675	5502
0.4	24	1494	2366	3008	3389	3846	4516	5327	6233	7337
0.5	30	1281	2028	2579	2904	3296	3871	4566	5342	6288
0.6	36	1067	1690	2149	2420	2747	3226	3805	4452	5240
0.7	42	854	1352	1719	1936	2198	2580	3044	3562	4192
0.8	48	640	1014	1289	1452	1648	1935	2283	2671	3144
0.9	54	427	676	860	968	1099	1290	1522	1781	2096
1	60	213	338	430	484	549	645	761	890	1048
1.1	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	V. (m³)	177485	281099	357404	402560	456863	536482	632887	740459	871584

Para poder superponer ambos hidrogramas, de la Cuenca Norte y Sur, y obtener el hidrograma y volumen total de la escorrentía dentro del sector, hay que considerar el tiempo de recorrido

de la cuenca Norte hasta el punto de recogida de la cuenca sur. Aproximadamente 680 m a una pendiente del 1%, habitual en redes de saneamiento.



Camino previsto del caudal de pluviales cuenca norte hasta punto de recogida en cuenca sur

Según la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Suponiendo:

Datos de Entrada	
diámetro =	1.0000
n =	0.0150
Q (T=?) =	1.1310
i (m/m) =	0.0100

$$V = 2.7 \text{ m/s}$$

$$T \approx 5 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta 5 minutos adicionales al considerar las entradas y salidas de pozos, se puede considerar que los 2 hidrogramas se sumen en T=+10 para la cuenca norte, y T=0 para la sur, obteniendo la siguiente tabla:

Hidrograma triangular de avenida de pluviales Cuenca Completa SUP-15 (l/s)										
Situación futura tras la urbanización										
T. (h)	T.(min)	Q2	Q5	Q10	Q15	Q25	Q50	Q100	Q200	Q500
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	6	373	592	752	847	961	1129	1332	1558	1834
0.2	12	860	1355	1717	1933	2194	2573	3034	3543	4169
0.3	18	1346	2118	2682	3018	3427	4018	4735	5529	6505
0.4	24	1832	2882	3647	4104	4659	5462	6437	7514	8840
0.5	30	1562	2458	3111	3501	3974	4659	5491	6410	7541
0.6	36	1293	2034	2575	2897	3289	3857	4545	5306	6243
0.7	42	1023	1610	2038	2294	2604	3054	3599	4202	4944
0.8	48	753	1186	1502	1691	1919	2251	2653	3098	3645
0.9	54	483	762	966	1087	1234	1448	1707	1994	2347
1	60	213	338	430	484	549	645	761	890	1048
1.1	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	V. (m³)	210353	331212	419469	472105	535958	628476	740749	864982	1017725

5. CONCLUSIONES

Se ha realizado el estudio pluviométrico y de afección ante inundaciones del Plan Parcial SUP-15 de San Fernando de Henares.

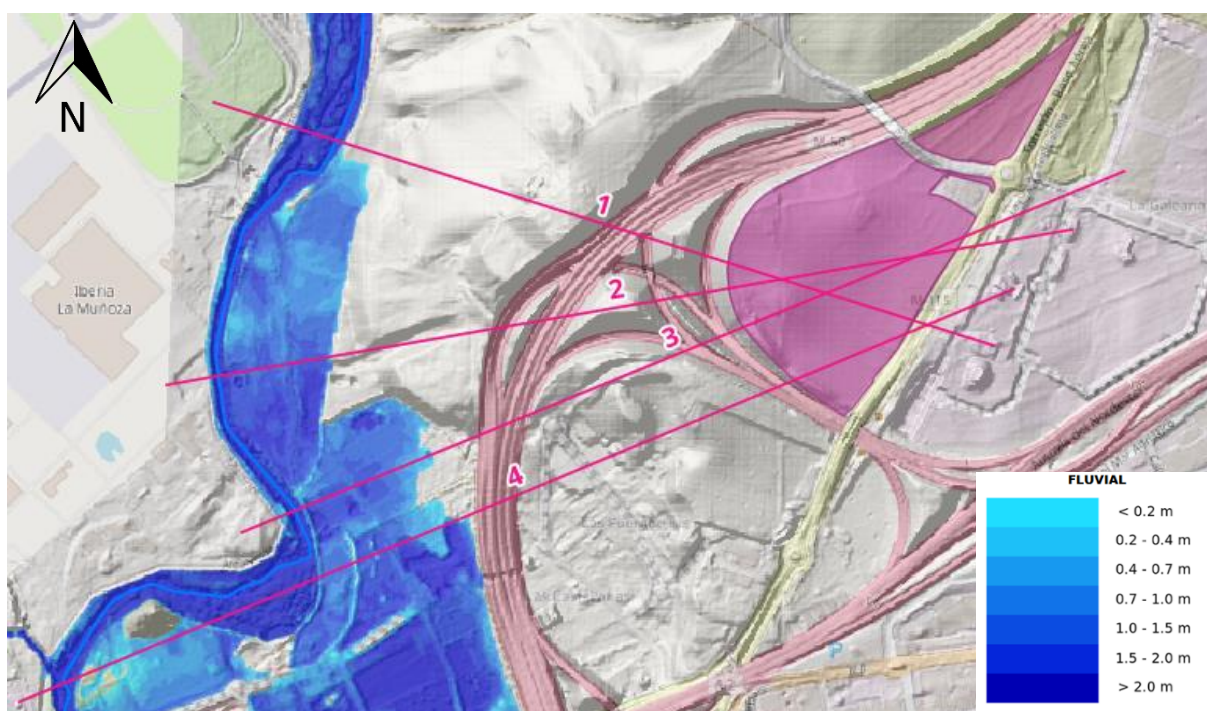
Se trata de un área en el que se pasa de un uso prácticamente de terrenos abandonados o arables, a una zona de nueva urbanización de carácter eminentemente industrial, en la cual se integran zonas verdes y una balsa para la laminación de las aguas de lluvia antes de su entrega a la red de saneamiento existente.

Por tanto, si bien la escorrentía superficial aumenta en volumen total, **los caudales punta provenientes de la escorrentía superficial se laminan, disminuyéndose para incorporarlos de manera constante y reducida en la red unitaria** de Canal de Isabel II. En el proyecto definitivo de urbanización, se calculará esta laminación en detalle.

Externamente, no existen cauces fluviales que afecten al ámbito:

- Por una parte, la construcción de la vecina M-50 alteró los cauces existentes desviando varias cuencas hacia el noreste, al sector SUP-14.
- El cauce deslindado más cercano es el Río Jarama, cuyo límite de la llanura de inundación de 500 años se halla a más de 900 m del límite del sector, y con una diferencia altimétrica de más de 27 m.

Jarama – Sector SUP-15	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4
Distancia en eje (m)	1098.80	1100.50	913.70	989.16
Diferencia de cotas (m)	28.0	32.5	31.9	27.2



Perfiles topográficos realizados para comprobar la no afección del río Jarama al Sector SUP-15 sobre llanura de inundación de 500 años

Internamente, el sector está dividido en dos zonas diferenciadas, que se han denominado Cuenca Norte y Cuenca Sur:

Las características geométricas de las cuencas del ámbito SUP-I5 son las siguientes:

Nombre cuenca	Área (m ²)	Cota superior	Cota inferior	Longitud del cauce (km)	Pendiente
Norte	52172	602.4	597	0.41	0.0132
Sur	320523	612	590.4	0.649	0.0333

La parcela, tiene una superficie total de $52171.81 + 309779.80 = 361,951.61 \text{ m}^2$.

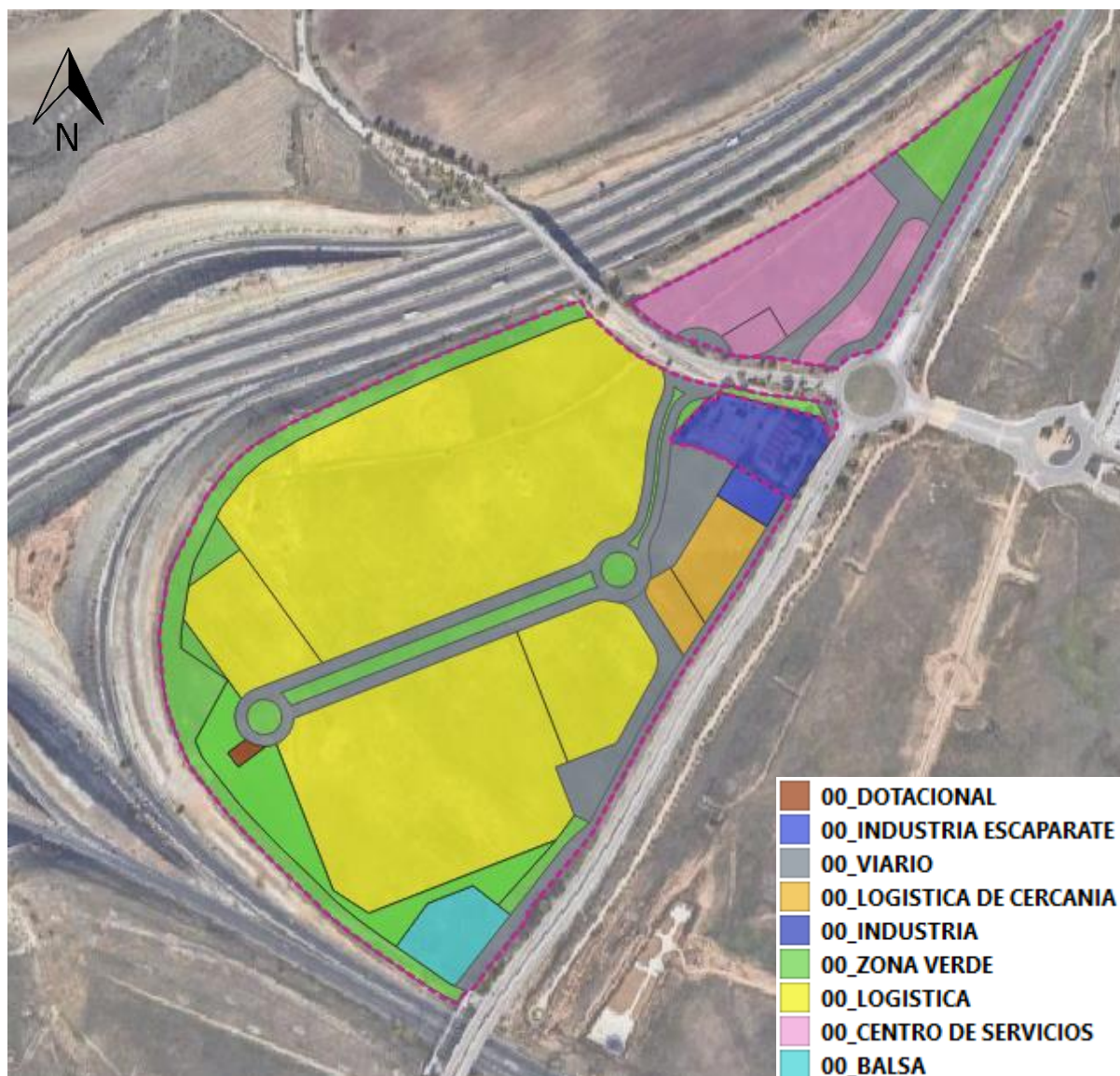
A la cuenca sur se ha añadido a efectos hidrológicos la superficie de la parcela urbanizada de Enagás (10744 m²), que no pertenece al ámbito pero que debe ser contabilizada.

La situación actual del ámbito SUP-I5 es de suelos sin urbanizar con usos agrícola o improductivo.



Ortofoto con situación actual y usos de la parcela del ámbito

La situación futura urbanizada consta de varias parcelas de uso logístico, industrial, dotacional, sus correspondientes zonas verdes, de servicios, y una balsa de decantación de aguas pluviales:



Disposición de usos futuros de la urbanización del Sector SUP-15 sobre ortofoto

Una vez finalizado el proyecto de urbanización del sector, los coeficientes de escorrentía y los caudales punta de pluviales generados dentro del ámbito se pueden consultar en las dos tablas adjuntas, en los que se incluye tanto la situación inicial como la de urbanización final:

Cuenca ámbito SUP-15 Norte		Situación Inicial			Urbanización original		
Código Corine	Tipo de suelo	P ₀	Área (m ²)	%	P ₀	Área (m ²)	%
121	Zonas industriales	7	0	0%	7	0	0%
121	Equipamiento y servicios	4	0	0%	4	30441	58%
122	Redes viarias	1	0	0%	1	15030	29%
141	Zonas verdes	23	0	0%	23	6701	13%
211	Tierras abandonadas	10	52172	100%	10	0	0%
		10	52172	100%	5.6	52172	100%

Cuenca ámbito SUP-I5 Sur		Situación Inicial			Urbanización original		
Código Corine	Tipo de suelo	P ₀	Área (m ²)	%	P ₀	Área (m ²)	%
121	Zonas industriales	7	10744	3%	7	208357	67%
121	Equipamiento y servicios	4	0	0%	4	7746	3%
122	Redes viarias	1	0	0%	1	39261	13%
141	Zonas verdes urbanas	23	0	0%	23	54415	18%
211	Tierras abandonadas	10	309780	100%	10	0	0%
		10	309780	100%	9.0	309780	100%

Tabla de usos del suelo y P₀ actuales y futuros y tras el proyecto de urbanización del sector

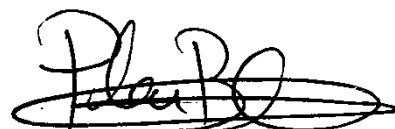
CAUDALES PUNTA (m ³ /s)	2 a	5 a	10 a	15 a	25 a	50 a	100 a	200 a	500 a
Q _{actual} Cuenca Norte SUP-I5	0.178	0.289	0.373	0.429	0.477	0.564	0.668	0.788	0.929
Q _{actual} Cuenca Sur SUP-I5	1.061	1.720	2.223	2.561	2.847	3.363	3.983	4.698	5.541
Q _{futuro} C. Norte SUP-I5 (+15% CC)	0.338	0.516	0.639	0.715	0.814	0.946	1.110	1.281	1.504
Q _{futuro} C. Sur SUP-I5 (+15% CC)	1.494	2.366	3.008	3.389	3.846	4.516	5.327	6.233	7.337

Caudales punta de escorrentía de aguas pluviales generados dentro del ámbito, situación actual y futura

Como se puede comprobar, los valores punta de caudales escorrentía del sector aumentan un 40% en la cuenca norte, y un 30% en la zona sur, a pesar de la gran superficie que se urbaniza y al viario que se tiene que disponer, gracias a la disposición de una gran área de zonas verdes. Estos caudales punta se verán adicionalmente reducidos gracias al paso a través de la balsa de decantación de aguas pluviales prevista antes de su vertido a la red de saneamiento existente.

El punto final de la red de saneamiento es la estación depuradora de aguas residuales de la Casaquemada, al sureste del municipio.

Por tanto, se concluye que el presente Plan Parcial, **se ha planteado de una forma respetuosa con su entorno, reduciendo al máximo el aporte de aguas pluviales a las infraestructuras de saneamiento existentes**, y se encuentra suficientemente lejano a los cauces existentes como para **no presentar problemas futuros de inundabilidad ni ser un obstáculo al flujo de las crecidas** que se presenten en el Río Jarama.



Paloma Mª Batanero Akerman
Dr. ICCP Colegiado N°: 18975
Madrid, 30 de diciembre de 2023