



ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO PARA LA  
DECLARACIÓN DE INTERÉS AUTONÓMICO DEL TERCER  
HOSPITAL DE MÁLAGA

FECHA: AGOSTO 2021



FERRANDIZ48

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO .....	156
2. CONTENIDO .....	156
3. BIBLIOGRAFÍA .....	157
4. MARCO NORMATIVO .....	157
5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	160
6. ESTUDIO HIDROLÓGICO .....	161
6.1. DELIMITACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS .....	161
6.2. CÁLCULO DE CAUDALES (MÉTODO RACIONAL) .....	163
6.2.1. INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN .....	163
6.2.2. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA .....	165
6.2.3. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD .....	170
6.2.4. RESULTADOS .....	170
7. DELIMITACIÓN DE LA PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, ZONA DE SERVIDUMBRE Y ZONA DE POLICÍA .....	171
8. ZONAS INUNDABLES FRENTE A AVENIDAS EXTRAORDINARIAS Y ZONA DE FLUJO PREFERENTE .....	172
8.1. MODELO HIDRÁULICO .....	172
8.1.1. EL MODELO IBER .....	172
8.1.2. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA CON IBER .....	172
8.1.3. GENERACIÓN DE LA GEOMETRÍA .....	172
8.1.4. ASIGNACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO, CONDICIONES INICIALES, OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y NÚMERO DE MANNING .....	172
8.1.5. GENERACIÓN DE LA MALLA DE CÁLCULO .....	175
8.1.6. DATOS DE CÁLCULO .....	176
8.1.7. SIMULACIONES REALIZADAS .....	177
8.2. PROPUESTAS DE MEDIDAS CORRECTORAS .....	178
9. CONCLUSIONES .....	179
10. EQUIPO REDACTOR .....	180

## ANEXOS

### REQUERIMIENTO

- PRECIPITACIONES
- HOJAS DE CÁLCULO DE CAUDAL
- ANEXO DE PLANOS:
  1. PLANO RÁSTER DE LOCALIZACIÓN
  2. LOCALIZACIÓN SOBRE ORTOFOTO
  3. PLANO DE CUENCAS
  4. PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, ZONA DE SERVIDUMBRE Y ZONA DE POLICÍA.
  5. ZONA INUNDABLE AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 100 AÑOS
  6. MAPA DE VELOCIDADES AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 100 AÑOS
  7. ZONA INUNDABLE AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 500 AÑOS
  8. MAPA DE VELOCIDADES AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 500 AÑOS





## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El objetivo principal es asegurar el cumplimiento de las especificaciones y normativa vigente en materia de aguas en lo referente a las afecciones al dominio público hidráulico y zonas inundables.

De esta forma se verifica la viabilidad de las propuestas de la Declaración de Interés Autonómico del Tercer Hospital de Málaga con respecto a la protección de bienes y personas frente a riesgos de inundaciones.

Se realizará una modelización hidráulica de los cauces para valorar la viabilidad en cuanto al cumplimiento del Reglamento del Dominio Público Hidráulico de la Declaración de Interés Autonómico.

Asimismo, para una primera valoración del proyecto, se ha realizado una delimitación cautelar del dominio público hidráulico, a falta de la definida por la administración competente. A partir de esta se definirán la zona de servidumbre, 5 metros de anchura para uso público, y zona de policía, 100 metros de anchura, en la que se condicionará el uso del suelo y las actividades que en él se desarrollen.

## 2. CONTENIDO

La metodología a seguir consta de las siguientes etapas:

- a. Visita de campo para tomar datos geométricos de las obras de paso e infraestructuras.
- b. Estudio hidrológico: Determinación del caudal correspondiente a la avenida extraordinaria de periodo de retorno 10, 100 y 500 años del cauce de estudio.
- c. Estudio hidráulico: Se ha realizado tres modelizaciones del encauzamiento, una para cada periodo de retorno estudiado y la evaluación de la inundabilidad frente a avenidas extraordinarias de 500 años.
- d. Exposición de resultados y propuesta de medidas correctoras.



### 3. BIBLIOGRAFÍA

La documentación y cartografía utilizada para el estudio es la siguiente:

- Norma 5.2–IC “drenaje superficial” de la Instrucción de Carreteras aprobada por Orden FOM/298/2016 de 15 de febrero.
- Modelo digital del terreno con paso de malla de 5 m. Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Mapa de hidrografía en formato digital de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo a partir del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) 2014. Escala 1:25.000.
- Mapa de Usos del Suelo CORINE Land Cover de 2018. Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Cartografía LIDAR del Instituto Geográfico Nacional. Densidad de 0,5 puntos/m y precisión altimétrica menor a 20 cm. Vuelo de 2014.
- Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000.
- Guía técnica de apoyo a la aplicación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico en las limitaciones a los usos del suelo en las zonas inundables de origen fluvial de 2017. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Herramienta de modelización hidráulica bidimensional Iber. Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- Mapa de caudales máximos en régimen natural (CEDEX).



### 4. MARCO NORMATIVO

El marco normativo que se ha seguido para la redacción del presente estudio es el siguiente:

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.
- Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

En relación con la anterior normativa se definen los siguientes conceptos:

#### Dominio Público Hidráulico (DPH)

El artículo 2 del Texto Refundido de la Ley de Aguas y el mismo artículo del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, hacen la enumeración de los bienes que constituyen el Dominio Público Hidráulico con las salvedades expresamente establecidas en la Ley, no se admiten pues otras excepciones que las que la propia Ley de Aguas determine, por lo que quedan derogadas cuantas disposiciones contenidas en otras Leyes sean contrarias a la clasificación del artículo 2 con sus salvedades. Así, los referidos cuerpos legales determinan que el **Dominio Público Hidráulico está constituido por los siguientes bienes:**

1. Las aguas continentales, tanto las superficiales como las subterráneas renovables con independencia del tiempo de renovación.
2. Los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas.
3. Los lechos de los lagos y lagunas y de los embalses superficiales en cauce público.
4. Los acuíferos, a los efectos de los actos de disposición o de la afección de los recursos hidráulicos.





5. Las aguas procedentes de la desalación de agua del mar una vez que fuera de la planta de producción, se incorporen a cualquiera de los elementos señalados en los apartados anteriores.

Según Artículo Único, apartado Dos del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el artículo 4 del RDPH queda redactado del siguiente modo:

*«1. Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias (artículo 4 del TRLA). La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles.»*

*2. Se considerará como caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente y que tengan en cuenta lo establecido en el apartado 1.»*

#### Las riberas, las márgenes, zona de servidumbre y zona de policía

Según Artículo Único, apartado tres del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el artículo 6 del RDPH queda redactado del siguiente modo:

*«1. Se entiende por riberas, las fajas laterales de los cauces públicos situadas por encima del nivel de aguas bajas y por márgenes los terrenos que lindan con los cauces.»*

*Las márgenes son aquellos terrenos que lindan con los cauces sujetas, en toda su extensión longitudinal:*

- a) *A una zona de servidumbre de 5 metros de anchura para uso público.*
- b) *A una zona de policía de 100 metros de anchura, en la que se condicionará el uso del suelo y las actividades que en él se desarrollen.»*



Estos terrenos, que con carácter general son de titularidad privada, están sujetos a limitaciones y afecciones que condicionan su uso normal por parte de sus titulares. El art. 7 Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH) dispone que los propietarios de estas zonas de servidumbre puedan plantar y sembrar especies no arbóreas, siempre que no impidan las servidumbres de paso antes mencionadas. Para la plantación de especies arbóreas requerirán la autorización del organismo de cuenca. Queda prohibida la edificación de esta zona, salvo que sea autorizada por el organismo de cuenca, autorización que se otorgará sólo en casos muy justificados.

La zona afectada por la servidumbre de uso público podrá ser modificada por causas justificadas, que habrán de fundamentarse en razones topográficas, hidrográficas o en las exigencias de las características de la concesión del aprovechamiento hidráulico; y siempre que se justifique que esta modificación viene exigida por el uso público.

En esta zona también el uso del suelo que puedan hacer sus titulares se encuentra condicionado o limitado. En concreto, la legislación en materia de Aguas prohíbe las siguientes actividades:

- Las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno.
- Las extracciones de áridos.
- Las construcciones de todo tipo, definitivas o provisionales.
- Cualquier otro uso o actividad que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas o que pueda ser causa de degradación o deterioro del dominio público hidráulico.

La Zona de Policía podrá ser modificada a instancia de la Administración (estatal, autonómica o local) cuando las condiciones topográficas o hidrográficas lo hagan necesario. La competencia para acordar la modificación corresponderá al Organismo de cuenca, debiendo instruir al efecto el oportuno expediente.

La ejecución de cualquier obra o trabajo que se realice en esta zona de policía requiere la autorización administrativa previa del Organismo de Cuenca, además de cualquier otra que deba ser otorgada por otras administraciones competentes (art. 9 del RDPH). Esta autorización previa no será necesaria cuando las obras de construcción ya hubieren sido contempladas en el instrumento de planeamiento urbanístico o en los planes de obras de la Administración, y éstos hayan sido informados por el organismo de cuenca (art. 78.1 RDPH).



### Zona de Flujo Preferente. Atendiendo a lo dispuesto en el Art. 9 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico

La zona de flujo preferente se delimita mediante estudios hidráulicos que determinan el calado y velocidad del agua en las crecidas del río para periodos de retorno de 100 años. La zona de flujo preferente queda constituida por la unión de las siguientes dos zonas:

1) La zona donde pueden producirse graves daños para las personas y los bienes, siendo aquella en que, para la avenida de periodo de retorno de 100 años se dan una o más de las siguientes condiciones:

- El calado sea superior a 1 m
- La velocidad será superior a 1 m/seg
- El producto de ambas variables sea superior a 0,5 m<sup>2</sup>/seg

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

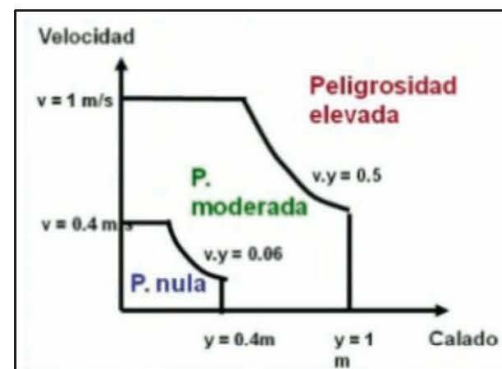


Ilustración 1. Rangos peligrosidad de la inundación

### Zonas inundables

Según Artículo Único, apartado Seis del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el artículo 14 del RDPH queda redactado del siguiente modo:

“1. Se consideran zonas inundables las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de quinientos años, atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como a serie de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas...”

La calificación como zonas inundables no alterará la calificación jurídica y la titularidad dominical que dichos terrenos tuviesen».

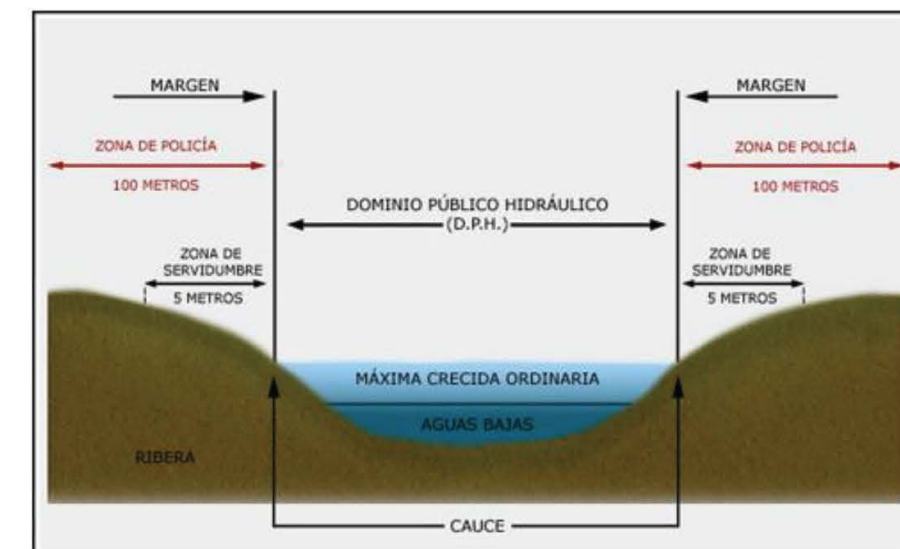


Ilustración 2. El DPH y zonas de servidumbre y protección.



## 5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra situada en la capital de Málaga. Se ubica en la margen derecha del Arroyo de los Ángeles, a aproximadamente unos 10 metros del mismo. En el tramo de estudio el cauce se encuentra encauzado bajo la Avenida Arroyo de los Ángeles.

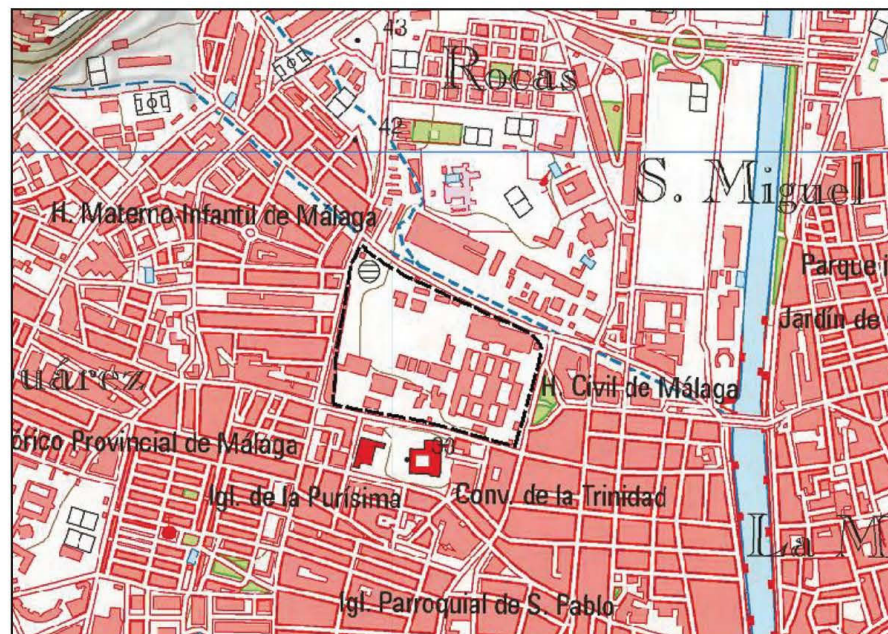


Ilustración 3. Delimitación de la alternativa 2 sobre el Mapa Topográfico Nacional 1:25.000.

Las coordenadas de la ubicación actual, en sistema referencial ETRS89 zona 30, son:

X	Y
372.090	4.065.740

Para la valoración de la inundabilidad se ha considerado el siguiente cauce:

- Arroyo de los Ángeles.

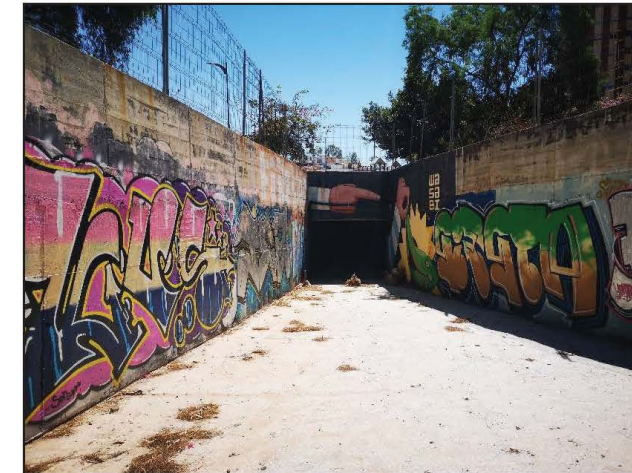


Ilustración 4. Entrada del encauzamiento del Arroyo de los Ángeles



Ilustración 5. Salida del encauzamiento en el punto de encuentro con el Río Guadalmedina

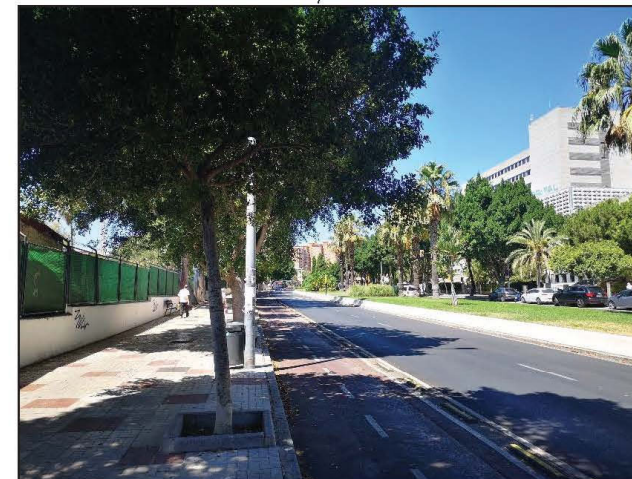


Ilustración 6. Avenida del Arroyo de los Ángeles.



## 6. ESTUDIO HIDROLÓGICO

### 6.1. DELIMITACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

El principal objetivo de la presente simulación hidrológica es obtener el caudal de avenida en el entorno de la parcela de referencia para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, para lo que se hace necesario delimitar y analizar las características de la cuenca vertiente.

El procedimiento para su delimitación consiste en identificar la divisoria de aguas entre la cuenca correspondiente al Arroyo de los Ángeles y su afluente de la margen izquierda, uniendo los puntos de mayor nivel topográfico que vierten su escorrentía hacia el punto de drenaje. En este caso el punto de drenaje es el final del cauce, donde vierte sus aguas al Río Guadalmedina.

La topografía elegida para la delimitación es vuelo LIDAR. Tomando este modelo raster se ha construido unas curvas de nivel 5 m de diferencia de cota.

En la siguiente tabla se muestran sus características morfológicas:

CUENCA/SUBCUENCA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	LONGITUD (Km)	COTA MAX (m)	COTA MIN (m)	PEND. MEDIA (m/m)
Arroyo de los Ángeles 1	4.13	5.51	324	10	0.057
Arroyo de los Ángeles 2	2.99	4.79	324	23	0.063
Afluente Arroyo de los Ángeles	0.38	1.61	215	25	0.118

En los mapas de la página siguiente se representan la cuenca y subcuencas sobre ortofoto y sobre plano hipsométrico.

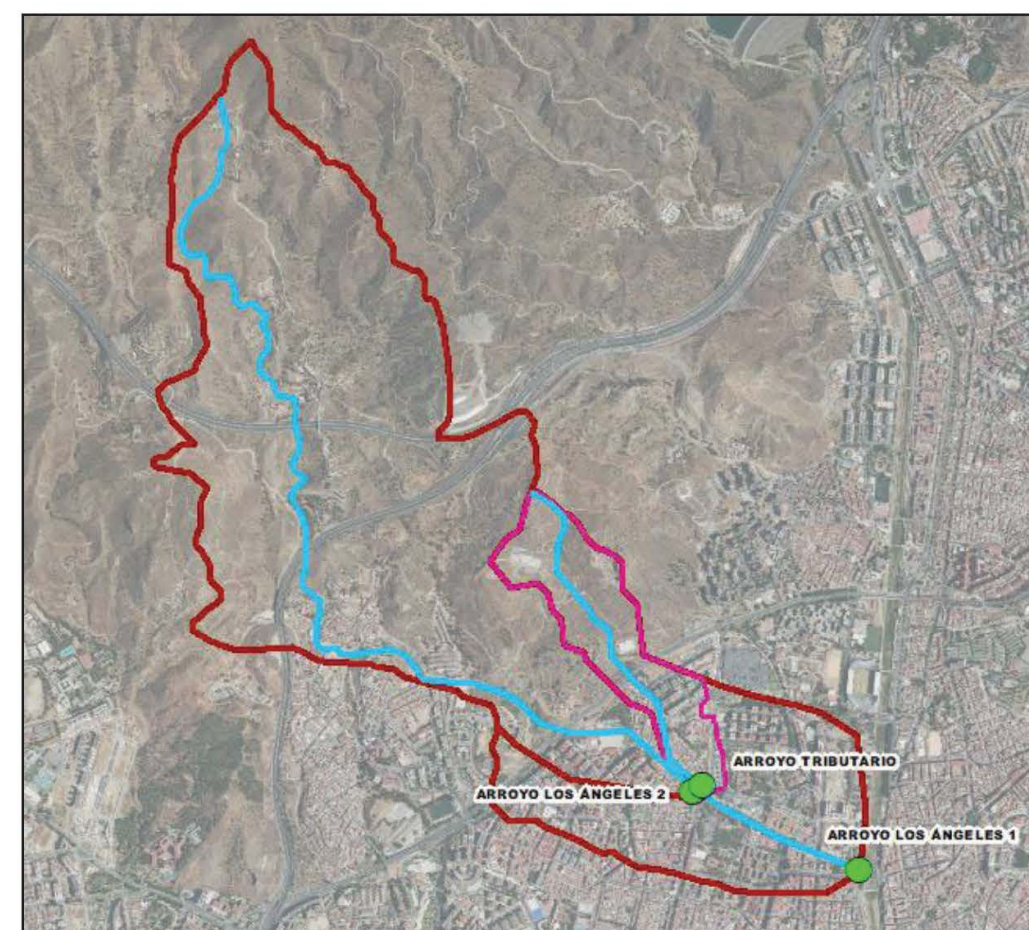


Ilustración 7. Delimitación de la cuenca hidrográfica sobre ortofoto.



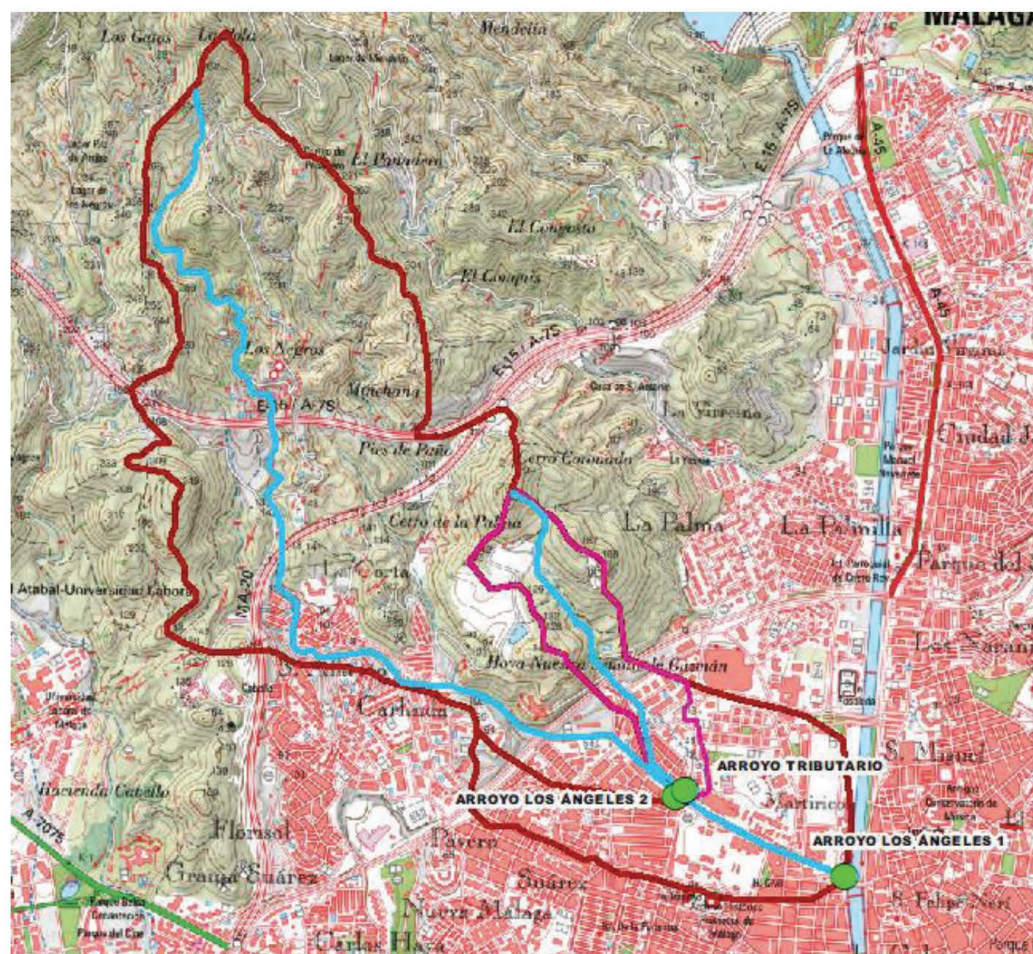


Ilustración 8. Delimitación de la cuenca hidrográfica sobre topográfico nacional 1:25.000.



En la visita de campo se ha comprobado como en el punto de coordenadas X – 370.430 e Y – 4.066.430 hay un desvío del cauce. En condiciones naturales fluiría hacia el sur y se ha desviado hacia el este incorporando su caudal al del Arroyo de los Ángeles.

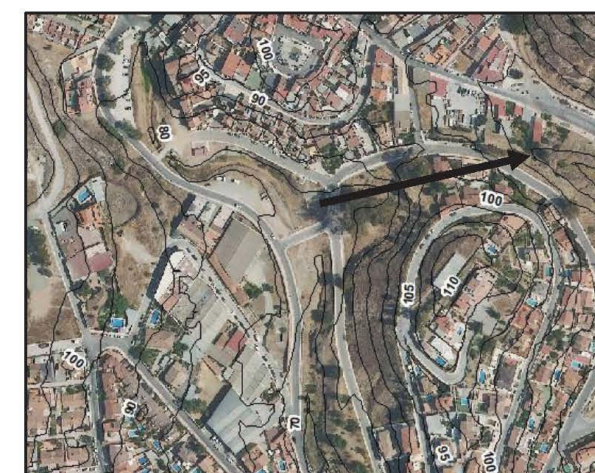


Ilustración 9. Desvío del cauce dirección Este hacia el Arroyo de los Ángeles.





## 6.2. CÁLCULO DE CAUDALES (MÉTODO RACIONAL)

El apartado 2.1 sobre consideraciones generales de cálculo de caudales de la norma 5.2-IC “drenaje superficial” de la Instrucción de Carreteras (Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero) propone la utilización del método racional, que supone la generación de escorrentía en una determinada cuenca a partir de una intensidad de precipitación uniforme en el tiempo, sobre toda su superficie.

La norma propone asimismo la utilización de caudales máximos proporcionados por la Administración Hidráulica, métodos estadísticos a partir de datos de estaciones de aforo próximas, o métodos hidrológicos que se deben contrastar con la información de que se disponga sobre caudales de avenida.

Al no poseer datos de caudales obtenidos con métodos empíricos y tratarse de una cuenca homogénea respecto a los factores del método racional, aplicaremos el método racional descrito en la Instrucción.

Según el apartado 2.2.1 de la norma 5.2 IC, el caudal de una cuenca “Q” (m<sup>3</sup>/seg) se puede calcular por el método racional según la expresión:

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

Donde:

- QT Caudal máximo anual correspondiente al periodo de retorno T, en el punto de desagüe de la cuenca (m<sup>3</sup>/s)
- I (T, tc) Intensidad de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado T, para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración tc de la cuenca (mm/h)
- C Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie considerada.
- A Área de la cuenca o superficie considerada (Km<sup>2</sup>)
- Kt Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación (adimensional)

A continuación, se determinan cada uno de los factores de la ecuación siguiendo las indicaciones de la norma.



### 6.2.1. INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

Según el apartado 2.2.2.1 de la norma 5.2-IC, la intensidad para un periodo de retorno T y una duración del aguacero t se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

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

Donde:

- I(T,t) Intensidad de precipitación correspondiente a un periodo de retorno T y una duración del aguacero t (mm/h)
- Id Intensidad media diaria de precipitación corregida (mm/h)
- Fint Factor de intensidad (adimensional).

La tormenta de diseño del método racional es rectangular, por lo que 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 QT, debe ser la que corresponda a una duración del aguacero igual al tiempo de concentración (t = tc) de la cuenca.

#### 6.2.1.1. PRECIPITACIONES

En su apartado 2.2.2.2, la norma 5.2-IC establece que la intensidad media diaria de precipitación correspondiente al periodo de retorno T se debe obtener según la fórmula:

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

Donde:

- Id Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T (mm/h)
- Pd Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T (mm)
- KA Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca (adimensional)

Para la determinación de la precipitación diaria de dicho periodo de retorno se deben adoptar datos publicados por la Dirección General de Carreteras, o un estudio estadístico de precipitaciones diarias máximas anuales medidas en los pluviómetros existentes en la cuenca.

En este caso, debido a lo reducido de la cuenca, los registros de precipitaciones máximas han sido obtenidos de los datos de precipitaciones de la publicación del CEDEX, organismo público perteneciente al Ministerio de Fomento, denominada “Máximas llovias diarias en la España peninsular”.

Los resultados de precipitación máxima diaria obtenidos para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, en mm, a partir de las coordenadas del centroide de la cuenca son los siguientes:

CUENCA	COORDENADAS CENTROIDE		PRECIPITACIÓN (mm)		
	X	Y	T10	T100	T500
Arroyo de los Ángeles	370.878	4.066.957	93	185	249

#### 6.2.1.1. FACTOR REDUCTOR POR ÁREA DE LA CUENCA

El apartado 2.2.2.3 de la norma introduce el factor reductor de la precipitación por área de la cuenca  $K_A$ , que tiene en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda su superficie. Para cuencas mayores de 1 Km<sup>2</sup> se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

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

Donde:

$K_A$  (adimensional) Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca  
A (km<sup>2</sup>) Área de la cuenca

Una vez corregidas con dicho factor, las precipitaciones máximas diarias para periodos de retorno de 100 y 500 años quedan como sigue:

CAUCE	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	FACTOR $K_A$	PRECIPITACIÓN (mm)		
			T10	T100	T500
Arroyo de los Ángeles 1	4.13	0.96	89	177	239
Arroyo de los Ángeles 2	2.99	0.97	90	179	241
Afluente Arroyo de los Ángeles	0.38	1.00	93	185	249

#### 6.2.1.2. FACTOR DE INTENSIDAD

De acuerdo con el apartado 2.2.2.4 de la norma, como factor de intensidad se debe adoptar el de las curvas IDF de un pluviógrafo representativo ( $F_b$ ), o en su defecto el obtenido a partir de las curvas IDF que propone la Instrucción, a partir de un índice de torrencialidad regional.

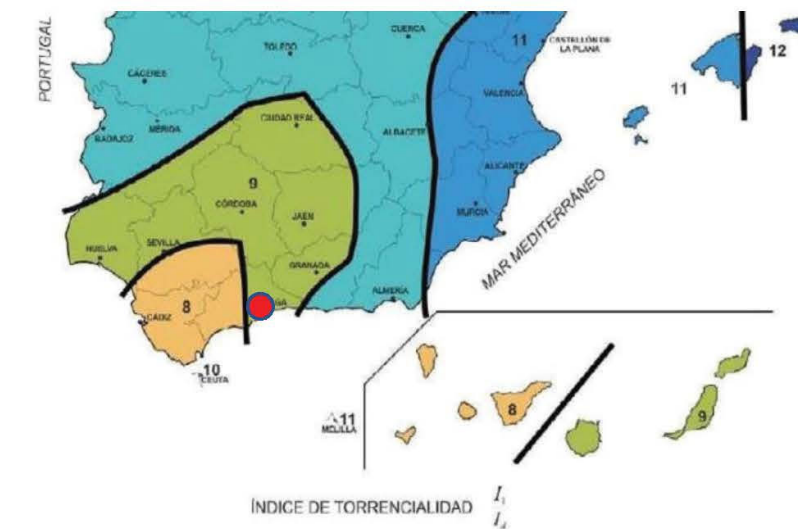


Ilustración 10. Mapa de índice de torrencialidad de la Norma 5.2-IC drenaje superficial

A falta de acceso a los datos de un pluviómetro representativo, adoptaremos las curvas IDF que propone la instrucción. La fórmula correspondiente a dichas curvas es la siguiente:

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

Donde:

$I_t$  Intensidad media máxima, mm/h  
 $I_d$  Intensidad media diaria de precipitación corregida para el periodo de retorno considerado ( $P_{max}/24$ ), mm/h  
 $t$  Duración de la lluvia, que debe ser igual al tiempo de concentración  $T_c$  de la cuenca.  
 $I_1/I_d$  Índice de torrencialidad extraído del mapa de la instrucción. En nuestro caso 9.





### 6.2.1.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

De acuerdo con el apartado 2.2.2.5 de la norma 5.2-IC, el tiempo de concentración de la cuenca  $T_c$  es el tiempo mínimo necesario desde el comienzo del aguacero para que toda la superficie de la cuenca esté aportando escorrentía en el punto de desagüe.

Se obtiene calculando el tiempo de recorrido más largo desde cualquier punto de la cuenca hasta el punto de desagüe. Dado que depende de la longitud y pendiente del cauce escogido, deben tantearse diferentes cauces o recorridos del agua, incluyendo siempre los de mayor longitud y menor pendiente, y escogiendo el que dé lugar al mayor del tiempo de concentración.

De acuerdo con la norma 5.2-IC, para cuencas principales se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$T_c = 0,3 \times L_c^{0,76} \times J_c^{-0,19}$$

Donde:

- $T_c$  (horas) Tiempo de concentración.
- $L_c$  (km) Longitud del cauce
- $J_c$  (m/m) Pendiente media del cauce

No obstante, se observa que la cuenca incluye suelos urbanizados por lo que se puede considerar como una cuenca singular por contar con un cierto grado de impermeabilización.

Para tenerlo en cuenta, se ha utilizado la siguiente fórmula, extraída de la publicación "Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales" de 1987, aplicable a cuencas urbanas.

$$T'_c = \frac{T_c}{(1 + 3 * \sqrt{\mu(2 - \mu)})}$$

Donde:

- $T'_c$  Tiempo de concentración real en cuenca urbana (horas)
- $T_c$  Tiempo de concentración de la cuenca en estado natural no urbanizado (horas)
- $L$  Longitud del curso principal (Km)
- $j$  Pendiente media del curso principal (m/m)
- $\mu$  Superficie impermeable / superficie total (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)



La superficie impermeable respecto del total de la cuenca se puede estimar mediante los usos del suelo delimitados sobre ortofoto en un 9%.

Los resultados en relación con los datos de la cuenca definida anteriormente se muestran a continuación:

CUENCA	LONGITUD DEL CAUCE (Km)	PEND. MEDIA (m/m)	GRADO DE URBANIZACIÓN	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN $T_c$ (h)
Arroyo de los Ángeles 1	5.51	0.057	37 %	1.07
Arroyo de los Ángeles 2	4.79	0.063	21 %	1.03
Afluente Arroyo de los Ángeles	1.61	0.118	35 %	0.37

### 6.2.1. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El apartado 2.2.3 de la norma 5.2-IC define el coeficiente de escorrentía  $C$  como 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.

En la cuenca de estudio, la precipitación de cálculo corregida para el periodo de retorno considerado es muy superior al umbral de escorrentía obtenido anteriormente, por lo que el coeficiente de escorrentía  $C$  se obtiene mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

- $C$  Coeficiente de escorrentía (adimensional)
- $P_d$  Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno  $T$  considerado (mm)
- $K_A$  Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca (adimensional)
- $P_0$  Umbral de escorrentía (mm)



#### 6.2.1.1. 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. Según el apartado 2.2.3.2 de la norma, se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$P_0 = P_0^i * \beta$$

Donde:

$P_0$  Umbral de escorrentía (mm)

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

$\beta$  Coeficiente corrector del umbral de escorrentía (adimensional)

#### 6.2.1.2. VALOR INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA

A falta de datos o mapas publicados por la Dirección General de Carreteras en los que se obtenga directamente el valor inicial del umbral de escorrentía  $P_0^i$  para una determinada localización geográfica, se utilizará la Tabla 2.3 de la norma, que permite obtener dicho valor a partir de los usos del suelo, identificados con códigos Corine Land Cover (CLC), junto con la práctica de cultivo, pendiente, y grupo hidrológico.

Ello requiere la delimitación previa de los usos del suelo y grupo hidrológico de cada una de las zonas de la cuenca, así como su pendiente y práctica de cultivo en su caso.

La delimitación de los usos del suelo se ha extraído del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) del año 2014 y corregido según la ortofoto de máxima actualidad del IGN. Los usos existentes se muestran en la siguiente tabla y mapa.

LEYENDA	USO DEL SUELO	ÁREA, m <sup>2</sup>	PORCENTAJE, %
	Olivares	476.176	11.52
	Praderas	204.627	4.95
	Red viaria, ferroviaria y terrenos asociados	181.743	4.40
	Tejido urbano continuo	755.455	18.28
	Tejido urbano discontinuo	526.195	12.74
	Terrenos principalmente agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	567.804	13.74
	Vegetación esclerófila	1.359.640	32.91
	Zonas industriales o comerciales	60.106	1.45
	<b>Total</b>	<b>4.131.746</b>	<b>100</b>

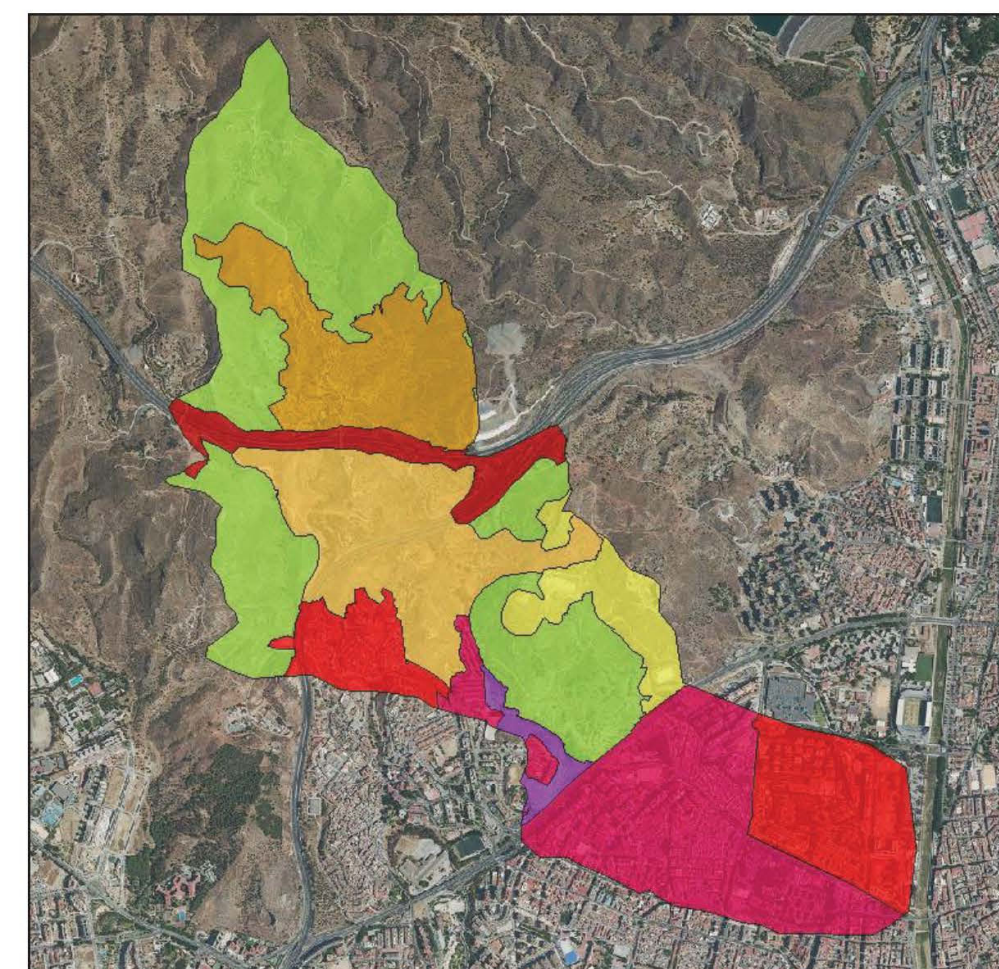


Ilustración 11. Delimitación de los usos del suelo.



La instrucción permite obtener el grupo hidrológico del suelo a partir de un mapa de la figura 2.7, en el que toda la zona objeto de estudio parece asignada al Grupo 3. Cuando se disponga de información más detallada, no obstante, se puede justificar el cambio del grupo hidrológico de suelo en alguna cuenca concreta, según los criterios de la tabla 2.4 y la figura 2.8.

En este caso se cuenta con los datos publicados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en el mapa geológico a escala 1:50.000. En el mismo encontramos los siguientes materiales:

LEYENDA	MATERIAL	ÁREA, m2	%	GRUPO HIDROLÓGICO
	Aluvial	339.726	8.22	A
	Arenas	523.187	12.66	C
	Areniscas y conglomerados	180.053	4.36	A
	Areniscas, conglomerados, yesos y arcillas	828.480	20.05	D
	Calizas	290.374	7.03	D
	Coluviones	16.809	0.41	C
	Conos	190.610	4.61	C
	Diques de cuarzo	10.071	0.24	D
	Dolomías	302.971	7.33	B
	Filitas y metaareniscas	391.091	9.47	D
	Grauwacas y filitas	1.017.772	24.63	D
	Indiferenciado: Arenas y arcillas	40.606	0.98	C
	<b>Total</b>	<b>4.131.750</b>	<b>100,00</b>	

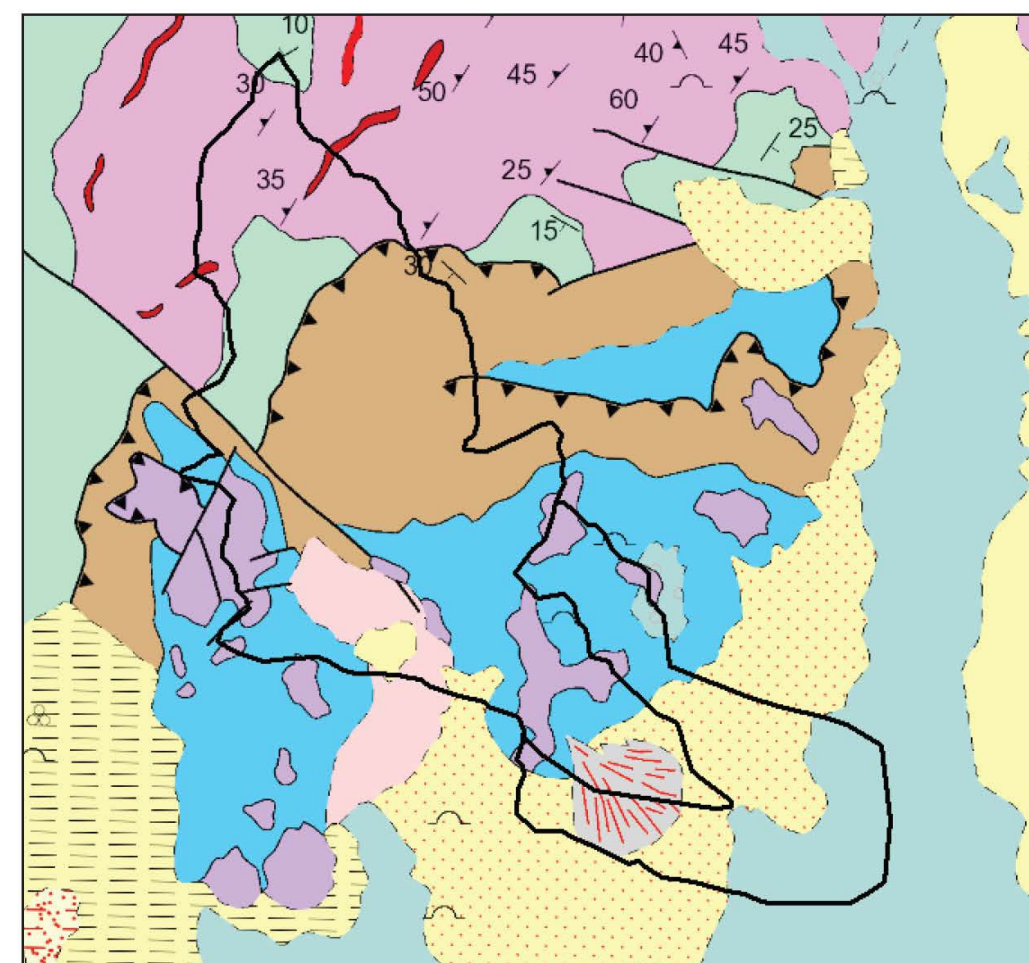


Ilustración 12. Mapa geológico escala 1:50.000, hoja magna.



En algunos de los parámetros de usos hay que distinguir entre los valores de pendientes mayores y menores al 3 %. Dada la orografía abrupta del terreno se ha seleccionado superior al 3% en toda la cuenca. En el plano siguiente, extraído del IGN, se muestran en rojo las pendientes superiores al 3%.

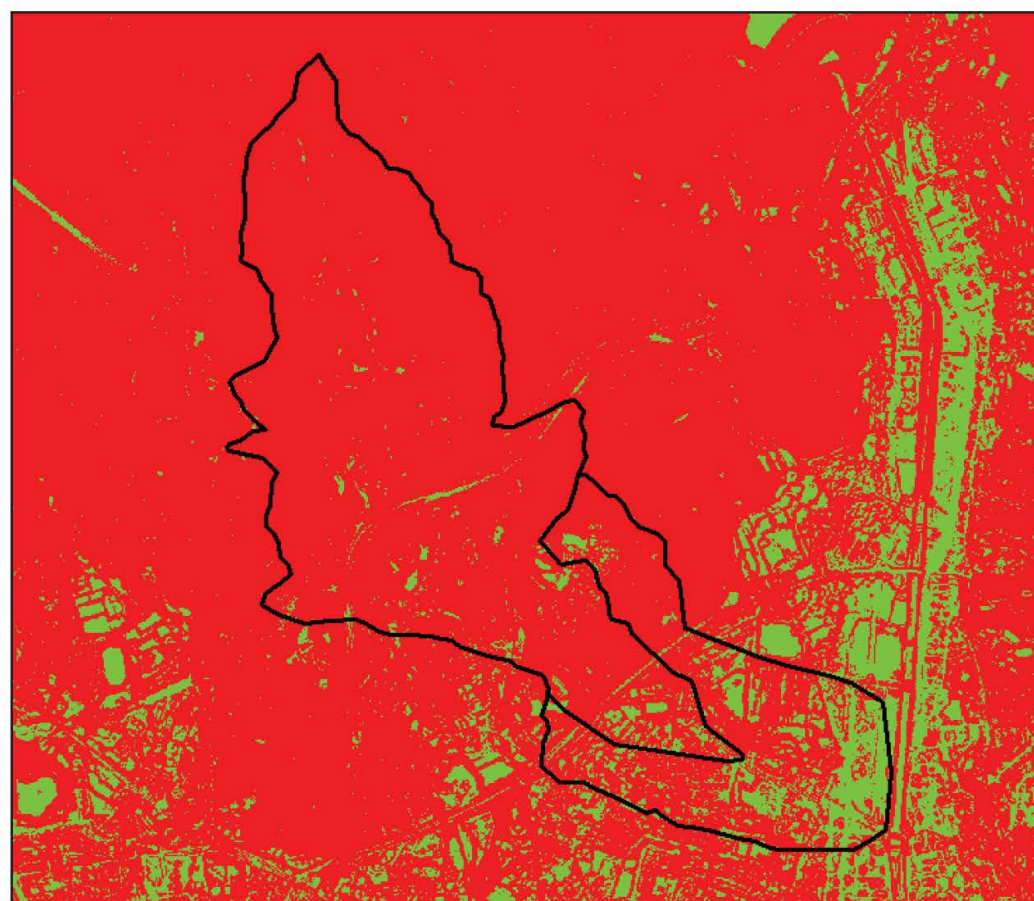


Ilustración 13. Plano de pendientes. En rojo se indican las que son superiores al 3%.

Con la intersección de los anteriores valores (Usos del suelo, grupo hidrológico y pendientes) obtenemos las siguientes tablas del umbral de escorrentía para cada una de las cuencas consideradas:

ARROYO DE LOS ÁNGELES 1				
USO DEL SUELO	GRUPO HIDROLÓGICO	P0, mm	ÁREA, m <sup>2</sup>	PORCENTAJE
Olivares	D	10	476.176	11.52
Praderas	B	33	37.971	0.92
	C	18	16.809	0.41
	D	13	149.847	3.63
Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	D	1	181.743	4.40
Tejido urbano continuo	A	1	148.497	3.59
	B	1	14.323	0.35
	C	1	534.734	12.94
	D	1	57.901	1.40
Tejido urbano discontinuo	A	24	287.377	6.96
	B	14	567	0.01
	C	8	199.016	4.82
	D	6	39.235	0.95
Terrenos principalmente agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	A	26	62.447	1.51
	B	15	44.086	1.07
	C	9	3.642	0.09
	D	6	457.629	11.08
Vegetación esclerófila	A	60	21.458	0.52
	B	24	189.790	4.59
	C	14	498	0.01
	D	10	1.147.894	27.78
Zonas industriales o comerciales	B	4	16.233	0.39
	C	3	16.513	0.40
	D	3	27.360	0.66
<b>Total</b>			<b>4.131.746</b>	<b>100</b>

De la suma ponderada por la superficie obtenemos un umbral de escorrentía de 9.81 mm. Extrayendo los valores para el resto de cuencas obtenemos los resultados de 10.14 mm para la segunda cuenca del Arroyo de los Ángeles y 10.27 mm para el afluente.



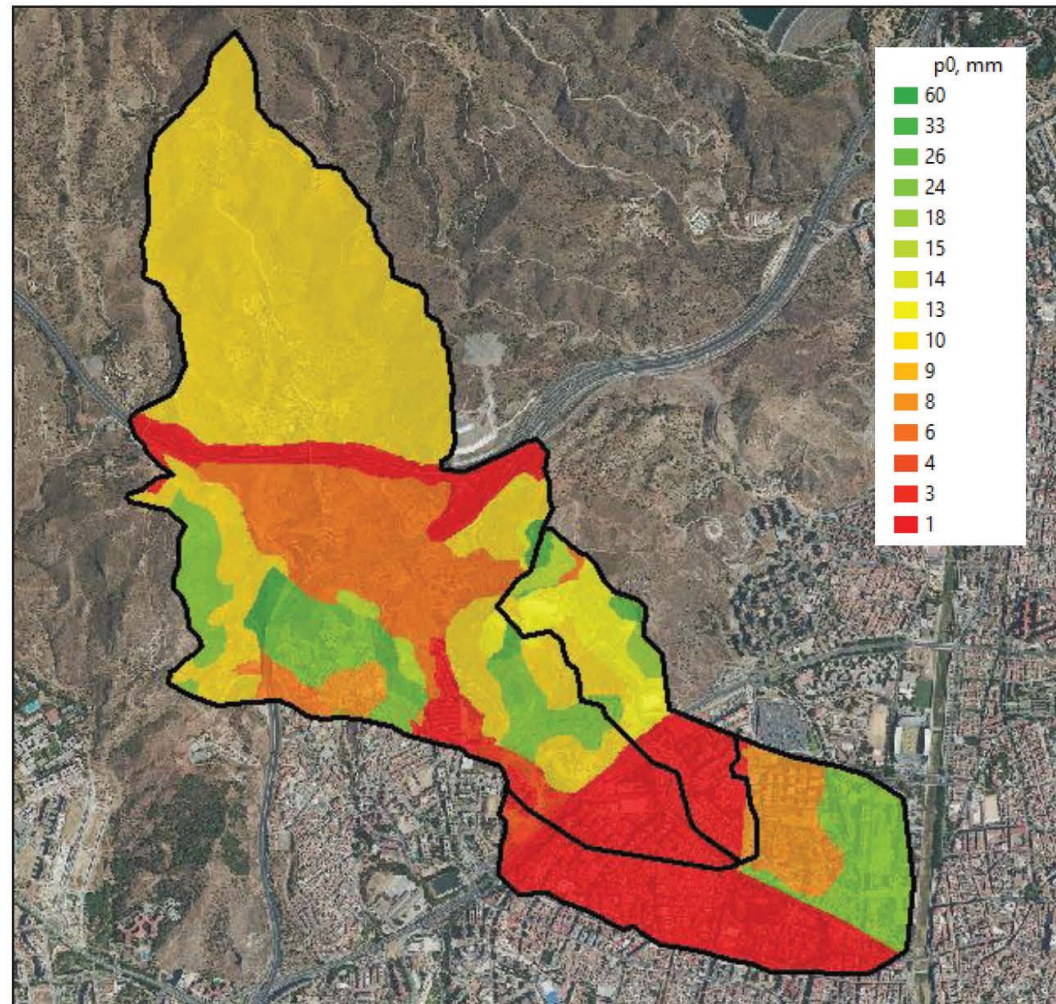


Ilustración 14. Umbral de escorrentía sin corregir.

### 6.2.1.3. COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA

En su apartado 2.2.3.4, la norma 5.2 IC propone un coeficiente corrector del valor inicial del umbral de escorrentía  $\beta$  para calibrar el método racional con datos reales de cuencas.

A falta de datos de caudales para realizar la calibración, la norma propone un coeficiente basado en un valor medio regional, un factor de intervalo de confianza y un factor por periodo de retorno.

Se ha seleccionado la ecuación de drenaje transversal de carreteras. Tal y como indica la norma producto del valor medio de la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía corregido por el valor correspondiente al intervalo de confianza del cincuenta por ciento, por un factor dependiente del periodo de retorno  $T$  considerado para el caudal de proyecto, es decir:

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

$\beta^{DT}$  (adimensional) Coeficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje de plataforma y márgenes, o drenaje transversal de vías auxiliares.

$\beta_m$  (adimensional) Coeficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje transversal de la carretera.

$F_T$  (adimensional) Factor en función del periodo de retorno  $T$ .

$\Delta_{50}$  (adimensional) Desviación respecto al valor medio: intervalo de confianza correspondiente al cincuenta por ciento (50%)



Las actuaciones del presente proyecto se ubican en la zona 52.

Los valores para cada periodo de retorno considerados son los siguientes:

Región	Valor medio, $\beta_m$	Desviación respecto al valor medio para el intervalo de confianza del			Periodo de retorno $T$ (años), $F_T$				
		50% $\Delta_{50}$	67% $\Delta_{67}$	90% $\Delta_{90}$	2	5	25	100	500
61	2,00	0,25	0,35	0,60	0,77	0,91	1,10	1,18	1,17





	10 años	100 años	500 años
Ft	0.96	1.18	1.17
$\beta_M$	2.00		
$\Delta_{50}$	0.25		
$\beta^{DT}$	1.68	2.07	2.05

ARROYO DE LOS ÁNGELES 1			
UMBRAL DE ESCORRENTÍA	9.81		
PERIODO RETORNO	10 AÑOS	100 AÑOS	500 AÑOS
COEFICIENTE $\beta$	1.68	2.07	2.05
UMBRAL DE ESCORRENTÍA CORREGIDO	16.48	20.26	20.09

ARROYO DE LOS ÁNGELES 2			
UMBRAL DE ESCORRENTÍA	10.14		
PERIODO RETORNO	10 AÑOS	100 AÑOS	500 AÑOS
COEFICIENTE $\beta$	1.68	2.07	2.05
UMBRAL DE ESCORRENTÍA CORREGIDO	17.04	20.94	20.76

AFLUENTE ARROYO DE LOS ÁNGELES			
UMBRAL DE ESCORRENTÍA	10.27		
PERIODO RETORNO	10 AÑOS	100 AÑOS	500 AÑOS
COEFICIENTE $\beta$	1.68	2.07	2.05
UMBRAL DE ESCORRENTÍA CORREGIDO	17.25	21.21	21.03



### 6.2.1. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

El coeficiente  $K_t$  tiene en cuenta la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación para grandes cuencas, lo que hace aumentar los caudales resultantes. Se obtiene a través de la siguiente expresión:

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

Donde:

- $K_t$  Coeficiente de uniformidad de la distribución temporal de precipitación (adimensional)
- $t_c$  Tiempo de concentración de la cuenca (horas)

### 6.2.2. RESULTADOS

A partir de los parámetros definidos anteriormente, los caudales resultantes de la aplicación de la fórmula del método racional para periodos de retorno de 10, 100 y 500 años son los siguientes:

CUENCA	PERIODO DE RETORNO años	UMBRAL DE ESCORRENTÍA P0 mm	PRECIPITACIÓN mm	INTENSIDAD MEDIA MÁXIMA mm/h	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	CAUDAL m <sup>3</sup> /seg
Arroyo de los Ángeles 1	10	16.48	89	31.50	0.47	18.03
	100	20.26	117	62.66	0.63	48.64
	500	20.09	239	84.34	0.73	75.23
Arroyo de los Ángeles 2	10	17.04	90	32.33	0.46	13.10
	100	20.94	179	64.32	0.62	35.55
	500	20.76	241	86.57	0.72	55.14
Afluente Arroyo de los Ángeles	10	2.90	93	57.41	0.46	2.90
	100	7.82	185	114.20	0.63	7.82
	500	12.10	249	153.70	0.72	12.10





## 7. DELIMITACIÓN DE LA PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, ZONA DE SERVIDUMBRE Y ZONA DE POLICÍA.





El Arroyo de los Ángeles no posee deslinde administrativo según los artículos 240, 241 y 242 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, RD 849/1986 de 11 de abril, por lo que no está definido el Dominio Público Hidráulico.

Se ha considerado, de forma cautelar, proponer la superficie resultante sobre el embovedado ejecutado como propuesta de límite del Dominio Público Hidráulico Probable.

Se comprueba en la Ortofoto Histórica del año 1977, obtenida de Ortofotografía Digital Histórica de Andalucía (Pancromática) a partir de Vuelo Fotogramétrico Nacional Interministerial BN a escala 1:18.000 realizado entre 1977-83, que el encauzamiento se desarrolla según la siguiente grafía.



### LEYENDA

-  Encauzamiento / DPH Cautelar
-  Zona de Servidumbre
-  Zona de Policía
-  AMBITO



Superponiendo el mismo sobre la foto de 2019:



Se puede observar como el ámbito respeta los 5 metros de anchura de la Zona de Servidumbre Probable según establece el artículo 6.1.a) del Texto Refundido de la Ley de Aguas, RDL 1/2001 de 20 de julio. Así mismo, se encontraría ubicado en su Zona de Policía según el artículo 6.1.b) del referido cuerpo legal.

Al ubicarse en Zona de Policía el proyecto deberá ser Autorizado por la Administración Hidráulica Andaluza.





## 8. ZONAS INUNDABLES FRENTE A AVENIDAS EXTRAORDINARIAS Y ZONA DE FLUJO PREFERENTE

En relación con la prevención de riesgos por avenidas e inundaciones se redacta el presente apartado. Para ello se ha realizado un modelo bidimensional del encauzamiento mediante la aplicación IBER. Los caudales introducidos son los calculados en el apartado 6:

CUENCA	PERIODO DE RETORNO, años	CAUDAL, m <sup>3</sup> /seg
Arroyo de los Ángeles 2	100	48.64
	500	75.23
Arroyo de los Ángeles 2	100	35.55
	500	55.14
Afluente Arroyo de los Ángeles	100	7.82
	500	12.10

En este apartado se determinan las zonas inundables para los periodos de retorno de 100, aproximación a la zona de flujo preferente establecida en el art. 9.2 del RDPH, y 500 años, zona inundable correspondiente a las avenidas extraordinarias.

### 8.1. MODELO HIDRÁULICO

#### 8.1.1. EL MODELO IBER

El modelo IBER permite realizar la modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. IBER consta de un módulo hidrodinámico que permite la simulación bidimensional de cauces (y en consecuencia posibilita la definición de zonas inundables, la delimitación de vías de intenso desagüe o en general la zonificación del Dominio Público Hidráulico), un módulo de turbulencia y un módulo de transporte sólido por arrastre de fondo y en suspensión para la cuantificación de procesos de erosión y sedimentación.

El módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad, también conocidas como 2D Shallow Water Equations (2D-SWE) o ecuaciones de Saint Venant bidimensionales.

En la actualidad, los modelos numéricos basados en las ecuaciones de aguas someras bidimensionales son los más utilizados en estudios de dinámica fluvial y litoral, evaluación de zonas inundables, y cálculo de transporte de sedimentos y contaminantes.



#### 8.1.2. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA CON IBER

Los pasos necesarios para la realización del cálculo son los siguientes:

1. Creación o importación de la geometría.
2. Asignación de las condiciones de contorno e iniciales.
3. Asignar los parámetros de entrada.
4. Opciones generales de cálculo.
5. Construcción de la malla de cálculo.
6. Introducción de las obras de paso.
7. Calcular.

Los pasos enumerados quedan recogidos dentro del denominado pre-proceso.

#### 8.1.3. GENERACIÓN DE LA GEOMETRÍA

Lo primero que se ha realizado es la definición de un ámbito de estudio. Esto se realiza atendiendo a la morfología del terreno, para que el flujo no alcance nunca el límite de la geometría (antes de llegar al límite de la simulación), y dando unas distancias a la entrada y salida lo suficientemente grandes para que, al alcanzar la inundación la zona de interés, las condiciones de borde no tengan una influencia relevante sobre la misma.

El tamaño dado a los elementos componentes de la malla es de 5 m para las entradas de las obras de drenaje del Arroyo de los Ángeles y de 2 metros para el resto del modelo.

#### 8.1.4. ASIGNACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO, CONDICIONES INICIALES, OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y NÚMERO DE MANNING.

##### Condiciones de contorno de entrada

El régimen considerado es Crítico / Subcrítico. El caudal se ha introducido en el modelo por el borde coincidente con la entrada del encauzamiento del Arroyo de los Ángeles, borde del afluente y el Río Guadalmedina.

Se han asignado un caudal total a través de los hidrogramas siguientes, obtenidos mediante el hidrograma unitario con las características de la cuenca vertiente:



**Hidrograma de entrada al encauzamiento del Arroyo de los Ángeles.**

100 años		500 años	
TIEMPO, seg	CAUDAL, m3/seg	TIEMPO, seg	CAUDAL, m3/seg
0	0.00	0	0.00
1128	0.53	979	0.83
2255	2.67	1958	4.14
3383	5.69	2937	8.82
4511	9.95	3916	15.44
5639	15.29	4895	23.71
6766	21.33	5873	33.08
7894	27.37	6852	42.46
9022	31.64	7831	49.07
10150	34.48	8810	53.49
11277	35.55	9789	55.14
12405	34.84	10768	54.04
13533	32.71	11747	50.73
14660	29.86	12726	46.32
15788	26.66	13705	41.35
16916	23.11	14684	35.84
18044	20.26	15663	31.43
20299	15.29	17620	23.71
22555	11.38	19578	17.64
24810	8.53	21536	13.23
27066	6.40	23494	9.93
29321	4.62	25452	7.17
31576	3.48	27409	5.40
33832	2.67	29367	4.14
39471	1.28	34262	1.99
45109	0.64	39156	0.99
50748	0.32	44051	0.50
56387	0.14	48946	0.22



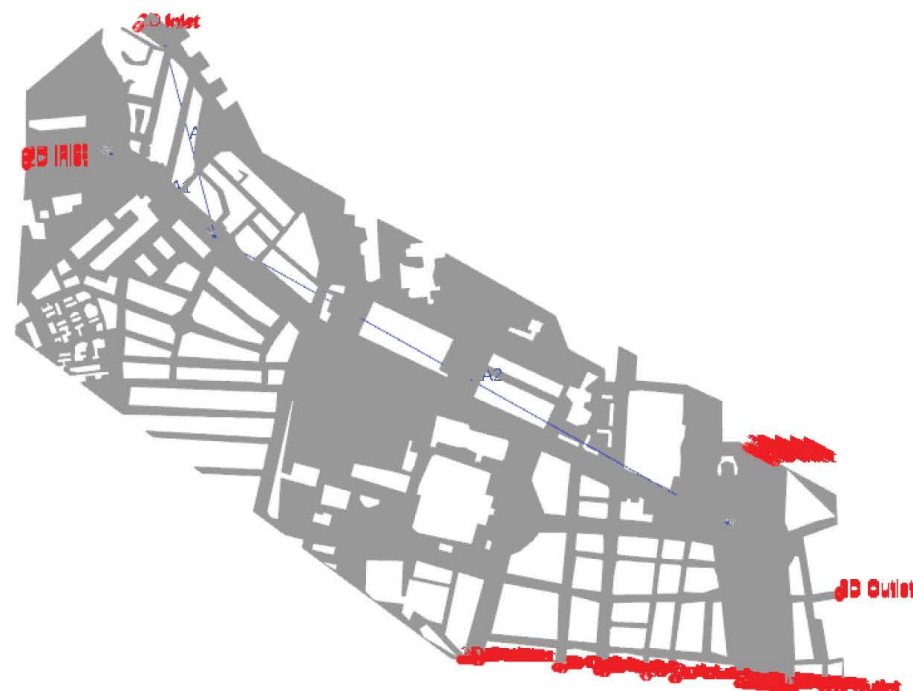
**Hidrograma de entrada al encauzamiento del Afluyente.**

100 años		500 años	
TIEMPO, seg	CAUDAL, m3/seg	TIEMPO, seg	CAUDAL, m3/seg
4543	0.00	3932	0.00
5216	0.12	4518	0.18
5890	0.59	5104	0.91
6563	1.25	5689	1.94
7237	2.19	6275	3.39
7910	3.36	6861	5.20
8584	4.69	7447	7.26
9257	6.02	8032	9.32
9931	6.96	8618	10.77
10604	7.58	9204	11.74
11278	7.82	9790	12.10
11951	7.66	10375	11.86
12624	7.19	10961	11.13
13298	6.57	11547	10.16
13971	5.86	12133	9.07
14645	5.08	12718	7.86
15318	4.46	13304	6.90
16665	3.36	14476	5.20
18012	2.50	15647	3.87
19359	1.88	16819	2.90
20706	1.41	17990	2.18
22053	1.02	19162	1.57
23400	0.77	20333	1.19
24747	0.59	21505	0.91
28114	0.28	24433	0.44
31481	0.14	27362	0.22
34848	0.07	30291	0.11
38216	0.03	33220	0.05

Asimismo, se ha introducido un caudal de 400 m3/seg en el Río Guadalmedina. De esta forma aproximamos el modelo a un comportamiento en un episodio torrencial extremo.



**Condiciones de contorno de salida:** Condición de flujo Supercrítico/Crítico. Se ha considerado como salida el límite sureste.



**Condiciones iniciales:** Se deben asignar a todo el dominio. En nuestro caso se ha asignado un calado de cero a toda la geometría, que se corresponde con el estado seco inicial.

**Obras de drenaje transversal:** Se han considerado 3 obras de drenaje transversal. Dos tramos del encauzamiento del Arroyo de los Ángeles y el afluente de la margen izquierda.

Las dimensiones medidas en campo son:

Arroyo de los Ángeles tramo superior: Marco rectangular de 3 metros de ancho y 2.2 metros de altura.

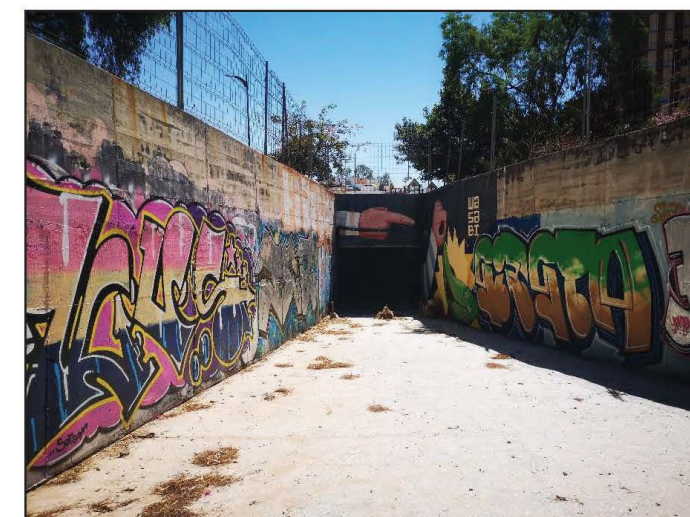


Ilustración 15. Entrada encauzamiento.

Arroyo de los Ángeles tramo inferior: Marco rectangular de 4.5 metros de ancho y 3.2 metros de altura.

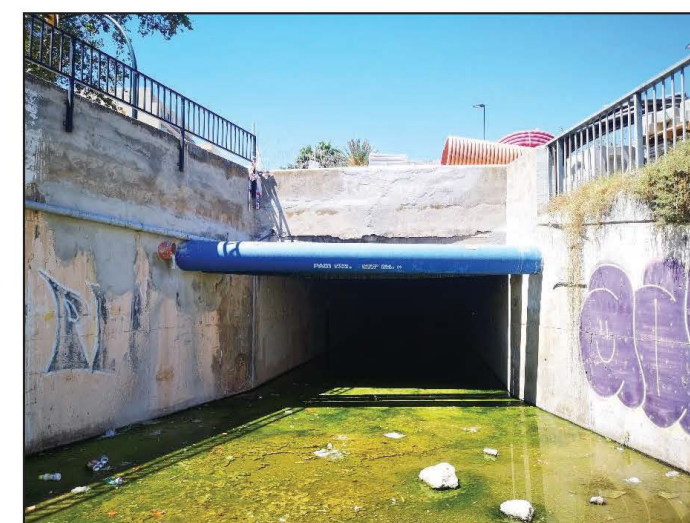


Ilustración 16. Salida encauzamiento

Afluente del Arroyo de los Ángeles: Marco cuadrado de 2 x 2 m.

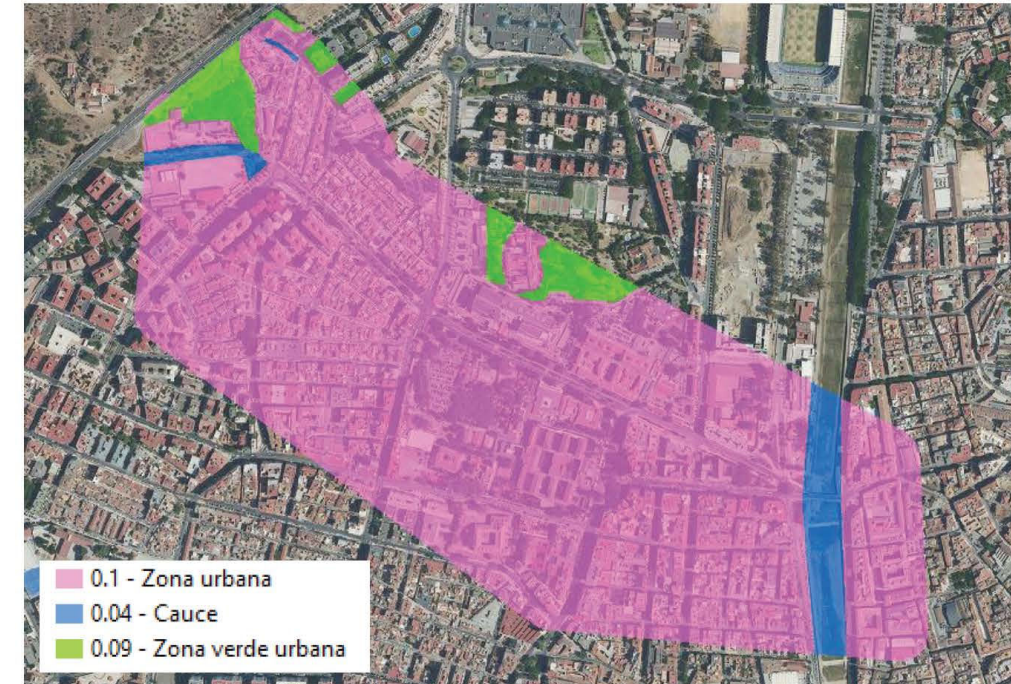




Ilustración 17. Entrada encauzamiento del afluente

**Numero de Manning:**

Los valores de rugosidad Manning han sido extraídos del Anexo V “Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelo SIOSE y CLC2000” del documento denominado “**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.



Para los encauzamientos se ha introducido un Manning de 0.025.

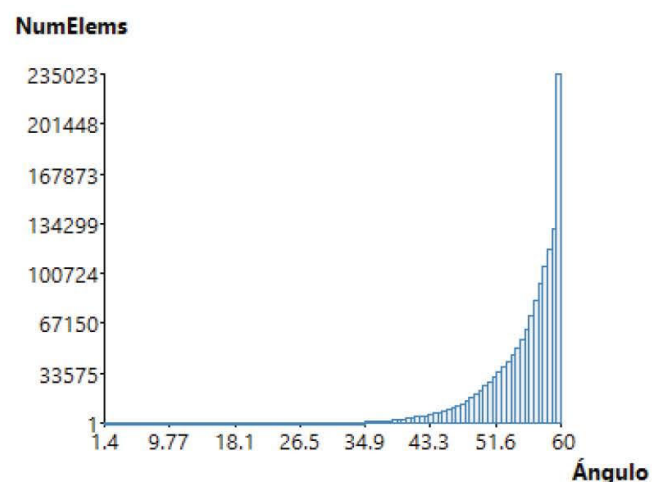
**8.1.5. GENERACIÓN DE LA MALLA DE CÁLCULO**

Los módulos de IBER trabajan sobre una malla de volúmenes finitos formada por elementos triangulares y/o cuadriláteros. La malla de cálculo es un elemento fundamental para conseguir buenos resultados. IBER dispone de multitud de maneras de obtener una buena malla de cálculo, y en función de las características del problema un tipo de malla será mejor que otro.

IBER puede trabajar tanto con elementos triangulares como con cuadriláteros, o con mallas mixtas de triángulos y cuadriláteros. Las mallas de cálculo pueden ser a su vez regulares o irregulares, así como estructuradas o no estructuradas.

En nuestro caso se ha creado una malla no estructurada formada por 235.023 elementos.





#### 8.1.6. DATOS DE CÁLCULO

Los parámetros que controlamos son los siguientes:

- Parámetros de tiempo:
  - Incremento de tiempo máximo: Incremento de cálculo para satisfacer la condición de Courant.
  - Instante inicial: Valor del instante de tiempo de inicio del cálculo.
  - Tiempo máximo de simulación: Valor del instante de tiempo final del cálculo.
  - Intervalo de resultados: Fija el incremento de tiempo entre instantes de escritura de resultados. Se ha fijado un intervalo suficiente para "calentar" el modelo antes de la entrada de la punta y dejar tiempo suficiente para que esta discurra por el mismo.
- General:
  - Número de procesadores.
  - Esquema numérico: Se puede elegir entre esquemas numéricos de orden 1 ó 2 para realizar la discretización espacial.
  - CFL: Implica que el valor máximo del paso de tiempo utilizado para la integración temporal de las ecuaciones está limitado por la siguiente relación:

$$\Delta t_{CFL} = CFL \frac{\Delta x}{U + \sqrt{g \cdot h}} \text{ con } CFL \leq 1$$



Siendo  $\Delta x$  el tamaño de la malla de cálculo,  $U$  la velocidad del agua,  $g$  la aceleración de la gravedad,  $h$  el calado y CFL un parámetro que debe ser inferior o igual a 1.

- Límite Seco – mojado: fija el umbral del calado a partir del cual se considera que un elemento está seco.
- Método de secado: hace referencia al algoritmo utilizado cuando un elemento para de tener un valor de calado superior al límite seco-mojado a un valor inferior.
- Condición de Courant estricta: Regula la forma de definir el tamaño de un elemento incremental de  $x$  utilizando la ecuación CFL. Se recomienda utilizar en el caso de mallas con elementos muy irregulares, por ejemplo, cuando utilizamos una TIN.
- Fricción de las paredes: Controlamos cómo se considera la fricción que los contornos cerrados del modelo (paredes) ejercen sobre el agua. Dicha fricción será mayor cuanto más rugoso sea el contorno y cuanto mayor sea la velocidad del agua en las proximidades del contorno.

Ilustración 18. Opciones generales de cálculo seleccionadas

- Turbulencia: No se ha considerado turbulencia en el modelo.
- Vía de intenso desagüe: No se ha considerado.



### 8.1.7. SIMULACIONES REALIZADAS

Una vez finalizados los cálculos se accede al post-proceso para visualizar los resultados. Los resultados, para los periodos de retorno de 100 y 500 años, que hemos considerado mostrar por considerarlos más relevantes para la finalidad del estudio son:

- Calado.
- Velocidad.

Hay que indicar que los resultados obtenidos se incluyen en el anexo de planos.

#### CALADO 100 AÑOS



Ilustración 19. Mapa de calados TR 100 años

#### VELOCIDAD 100 AÑOS



Ilustración 20. Mapa de velocidades TR 100 años

#### CALADO 500 AÑOS



Ilustración 21. Mapa de calados TR 500 años



### VELOCIDAD 500 AÑOS



Ilustración 22. Mapa de velocidades TR500 años

### 8.2. PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS

En las simulaciones realizadas se observa que parte del ámbito está afectado por la inundabilidad para la avenida extraordinaria a 500 años y la zona de flujo preferente estimada con la avenida de 100 años. Para resolver este punto se deberán aplicar medidas correctoras, las cuales deberán tener en consideración las afecciones a terceros y ser validadas por el Organismo de Cuenca.

De forma genérica se proponen las siguientes:

- Ejecución estructuras que laminen la avenida. Estas podrían ser presas a lo largo de la cuenca o la construcción de un tanque de tormentas.
- Construcción de un muro de protección a lo largo del perímetro del sector afectado por la inundabilidad.
- Elevación de la cota del terreno por encima del nivel del agua.

- Aumento de la sección del encauzamiento.
- Elevación de las nuevas edificaciones planteadas por encima de la cota de inundabilidad o ubicación de las mismas fuera de la zona inundable. Dejando las zonas menos sensibles, zonas verdes o aparcamientos en superficie, dentro de la zona inundable.
- Ejecución de aparcamientos subterráneos estancos hasta la cota de inundación y localización de sus entradas y salidas en las zonas no inundables.

En todo caso, se propone que, dadas las limitaciones y alcance del presente estudio, para la definición de las medidas correctoras se realice un estudio de mayor profundidad que las dimensione y que tenga en consideración los siguientes parámetros:

- Definición exacta del encauzamiento del Arroyo de los Ángeles y de su tributario atendiendo al proyecto de este.
- Cálculo del encauzamiento con caudal fluyendo en el Río Guadalmedina.



## 9. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio hidrológico hidráulico con la finalidad de analizar las posibles afecciones de la Declaración de Interés Autonómico del Tercer Hospital de Málaga en relación a las especificaciones y normativa vigente en materia de aguas en lo referente a las afecciones al dominio público hidráulico y zonas inundables.

El ámbito de estudio se encuentra situado en la ciudad de Málaga. El cauce que puede afectar y condicionar los usos es el Arroyo de los Ángeles. El mismo discurre encauzado bajo la avenida homónima, que es el límite norte del ámbito. Asimismo, mencionar que a la altura del ámbito el cauce recibe las aguas de un afluente grafiado en el topográfico nacional.

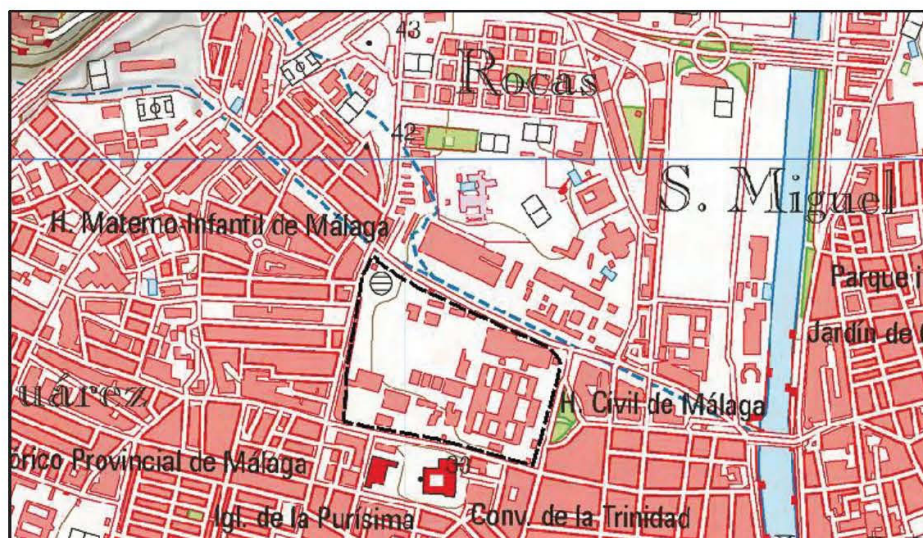


Ilustración 23. Delimitación de la alternativa 2 sobre el Mapa Topográfico Nacional 1:25.000.

En el estudio hidrológico se han calculado los caudales en tres puntos: Dos puntos del Arroyo de los Ángeles, antes del encuentro con el afluente y a la salida de la obra de drenaje en su encuentro con el Río Guadalmedina, y el afluente de la margen izquierda en el punto de encuentro con el Arroyo de los Ángeles.

Una vez obtenidos los parámetros y realizados los cálculos requeridos por el método racional descrito en la instrucción 5.2-IC "drenaje superficial" de la Instrucción de Carreteras (Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero) los resultados para los periodos de retorno considerados son:

CUENCA	PERIODO DE RETORNO, años	CAUDAL m <sup>3</sup> /seg
Arroyo de los Ángeles en la confluencia con el Río Guadalmedina	10	18.03
	100	48.64
	500	75.23
Arroyo de los Ángeles en la confluencia con el arroyo tributario	10	13.10
	100	35.55
	500	55.14
Afluente del Arroyo de los Ángeles	10	2.90
	100	7.82
	500	12.10

### DELIMITACIÓN DE LA PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, ZONA DE SERVIDUMBRE Y ZONA DE POLICÍA.

El Arroyo de los Ángeles no posee deslinde administrativo según los artículos 240, 241 y 242 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, RD 849/1986 de 11 de abril, por lo que no está definido el Dominio Público Hidráulico.

Se ha considerado, de forma cautelar, proponer la superficie resultante sobre el embovedado ejecutado como propuesta de límite del Dominio Público Hidráulico Probable.

Se comprueba en la Ortofoto Histórica del año 1977, obtenida de Ortofotografía Digital Histórica de Andalucía (Pancromática) a partir de Vuelo Fotogramétrico Nacional Interministerial BN a escala 1:18.000 realizado entre 1977-83.

El ámbito respeta los 5 metros de anchura de la Zona de Servidumbre Probable según establece el artículo 6.1.a) del Texto Refundido de la Ley de Aguas, RDL 1/2001 de 20 de julio. Así mismo, se encontraría ubicado en su Zona de Policía según el artículo 6.1.b) del referido cuerpo legal.

Al ubicarse en Zona de Policía el proyecto deberá ser Autorizado por la Administración Hidráulica Andaluza.





### DETERMINACIÓN DE LA INUNDABILIDAD FRENTE A AVENIDAS EXTRAORDINARIAS A 500 AÑOS A SU PASO POR EL SECTOR Y PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS

En las simulaciones realizadas se observa que parte del ámbito está afectado por la inundabilidad para la avenida extraordinaria a 500 años y la zona de flujo preferente estimada con la avenida de 100 años. Para resolver este punto se deberán aplicar medidas correctoras, las cuales deberán tener en consideración las afecciones a terceros y ser validadas por el Organismo de Cuenca.

De forma genérica se proponen las siguientes:

- Ejecución estructuras que laminen la avenida. Estas podrían ser presas a lo largo de la cuenca o la construcción de un tanque de tormentas.
- Construcción de un muro de protección a lo largo del perímetro del sector afectado por la inundabilidad.
- Elevación de la cota del terreno por encima del nivel del agua.
- Aumento de la sección del encauzamiento.
- Elevación de las nuevas edificaciones planteadas por encima de la cota de inundabilidad o ubicación de estas fuera de la zona inundable. Dejando las zonas menos sensibles, zonas verdes o aparcamientos en superficie, dentro de la zona inundable.
- Ejecución de aparcamientos subterráneos estancos hasta la cota de inundación y localización de sus entradas y salidas en las zonas no inundables.

En todo caso, se propone que, dadas las limitaciones y alcance del presente estudio, para la definición de las medidas correctoras se realice un estudio de mayor profundidad que las dimensiones y que tenga en consideración los siguientes parámetros:

- Definición exacta del encauzamiento del Arroyo de los Ángeles y de su tributario atendiendo al proyecto de este.
- Cálculo del encauzamiento con caudal fluyendo en el Río Guadalmedina.



### 10. EQUIPO REDACTOR

El equipo redactor del presente ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO PARA LA DECLARACIÓN DE INTERÉS AUTONÓMICO DEL TERCER HOSPITAL DE MÁLAGA está formado por los siguientes profesionales:

José Enrique Navarro García

- Licenciado en Ciencias Ambientales
- Especialista en Sistemas de Información Geográfica
- Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales, especialidad en Seguridad e Higiene Industrial, Ergonomía y Psicología.
- Máster en sistemas de gestión de la calidad y medio ambiente. Nuevas tecnologías.

Luis García Ruz

- Licenciado en Geología
- Ingeniero Técnico de Minas
- Diplomado en Ingeniería Ambiental

Luis García Piñol

- Ingeniero Técnico Industrial
- Máster en Energías Renovables

En Málaga, Agosto de 2021





## ANEXOS

### REQUERIMIENTO

- PRECIPITACIONES
- HOJAS DE CÁLCULO DE CAUDAL
- ANEXO DE PLANOS:
  1. PLANO RÁSTER DE LOCALIZACIÓN
  2. LOCALIZACIÓN SOBRE ORTOFOTO
  3. PLANO DE CUENCAS
  4. PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, ZONA DE SERVIDUMBRE Y ZONA DE POLICÍA.
  5. ZONA INUNDABLE AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 100 AÑOS
  6. MAPA DE VELOCIDADES AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 100 AÑOS
  7. ZONA INUNDABLE AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 500 AÑOS
  8. MAPA DE VELOCIDADES AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 500 AÑOS

## REQUERIMIENTO DE CUENCA MEDITERRÁNEA ANDALUZA



## COMUNICACIÓN INTERIOR

N/Nº: MA-69940 (DPH/PLM/JRD/tpa)

Fecha: Pie de firma electrónica

SPA/DPA/RMF/017/2021 (EA/MA/03/21)

Asunto: EAE SIMPLIFICADA DE LA PROPUESTA DE DECLARACIÓN DE INTERÉS AUTONÓMICO DEL PROYECTO DEL TERCER HOSPITAL DE MÁLAGA, T.M. MÁLAGA

Remitente: SERVICIO DE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y CALIDAD DE LAS AGUAS

Destinatario: SERVICIO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

De acuerdo con lo establecido en el artículo 38.2 de la Ley 7/2007 de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, se remite informe en materia de la competencia de este organismo, sirva a los efectos oportunos.

### 1. CONSIDERACIONES

El documento presentado, por la Consejería de Salud y Familia de la Junta de Andalucía, justifica la solicitud de inicio del procedimiento para la Declaración de Actuación de Intereses Autonómico para la ejecución del Tercer Hospital de Málaga, mediante la propuesta de la reordenación del ámbito denominado SUNC-R-R.4 "Hospital Civil" (según la vigente Revisión-Adaptación del Plan General de Ordenación Urbanística, aprobado el 21 de Enero de 2011 y publicado en el BOJA el 28 de Julio de 2011) pasando a ser un Sistema General de Equipamiento de Interés Territorial (SGIT), consiguiéndose que la totalidad de la manzana donde se sitúa el Hospital Civil de Málaga sea considerado como Sistema General de Interés Territorial (SGIT) obteniéndose una superficie total de 85.500 m<sup>2</sup>, con el objetivo de mantener el edificio histórico del antiguo hospital y proponiéndose la construcción de un nuevo hospital en el resto de los terrenos.

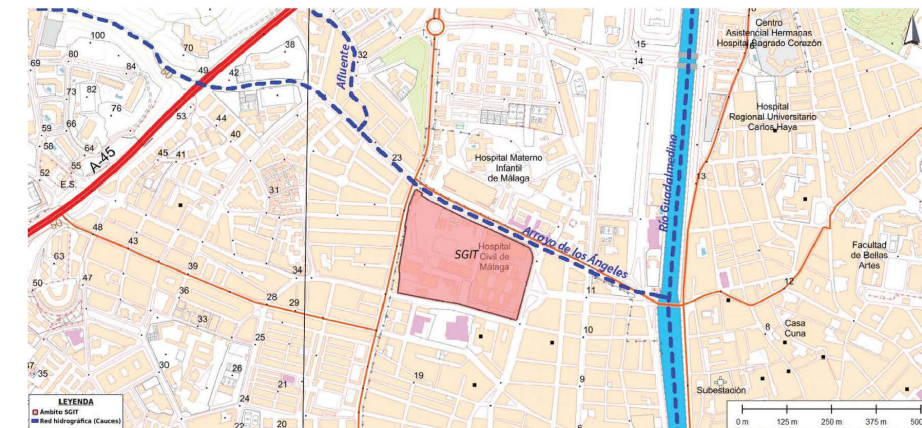
#### 1.1. ALTERNATIVA PROPUESTA.

Según el "Documento B Ambiental Estratégico" se presentan 4 alternativas. De entre ellas, se selecciona como más conveniente la Alternativa 3, la expuesta en el párrafo anterior.

#### 1.2. DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y SUS ZONAS DE PROTECCIÓN ADYACENTES.

##### 1.2.1. Red hidrográfica.

El ámbito SGIT propuesto de estudio se ubica en la margen derecha del Arroyo de los Ángeles, afluente de la margen derecha del Río Guadalmedina, tal y como se muestra en la siguiente imagen:



Red hidrográfica en el entorno del SGIT. (Fuente: elaboración propia)

En el tramo de estudio el cauce se encuentra embovedado bajo la Avenida Arroyo de los Ángeles a partir del año 1978, encontrándose el perímetro norte del SGIT entre 9 a 12 metros de la cara exterior del mencionado embovedado tal y como se constata a través de la Ortofotografía Digital Histórica de Andalucía (Pancromática) a partir de Vuelo Fotogramétrico Nacional Interministerial BN a escala 1:18.000 realizado entre 1977-83.



Distancia del SGIT a la cara exterior del embovedado obtenido a través de la Ortofotografía Histórica de Andalucía realizado entre los años 1977 - 1983. (Fuente: elaboración propia)

Se ha de indicar que el Arroyo de los Ángeles no posee deslinde administrativo según los artículos 240, 241 y 242 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, RD 849/1986 de 11 de abril (a partir de ahora RDPH), por lo que no está definido el Dominio Público Hidráulico (a partir de ahora DPH), por esta circunstancia, el "Documento B Ambiental Estratégico" presentado, incluye Anexo denominado "Estudio hidrológico-hidráulico para la Declaración de Interés Autonómico del tercer hospital e Málaga" de fecha octubre 2020, en el cual se ha realizado una delimitación cautelar del dominio público hidráulico. A partir de esta se a definido la zona





de servidumbre, 5 metros de anchura para uso público, y su zona de policía, 100 metros de anchura, en la que se condicionará el uso del suelo y las actividades que en él se desarrollen.

Por lo que se considera de forma cautelar la propuesta presentada como el límite del DPH Probable la superficie resultante sobre el embovedado ejecutado, por lo que el ámbito del SGIT respetaría los 5 metros de anchura de la Zona de Servidumbre Probable según establece el artículo 6.1.a) del *Texto Refundido de la Ley de Aguas*, RDL 1/2001 de 20 de julio (a partir de ahora TRLA). Así mismo, se encontraría ubicado en su Zona de Policía según el artículo 6.1.b) del referido cuerpo legal.

Por tanto, la reordenación del ámbito SGIT donde se sitúa el Hospital Civil se encuentra afectado por zona de servidumbre y protección del cauce, por lo que su ficha urbanística deberá recoger tal afección hidráulica, citando además que para la aprobación de dicha figura urbanística por el Ayuntamiento, deberá solicitarse informe preceptivo en materia de aguas a esta Administración Hidráulica Andaluza.

En general, todas las obras a ejecutar en el dominio público hidráulico, zona de servidumbre y zona de policía deben ser autorizadas o informadas por esta Administración Hidráulica Andaluza.

#### 1.2.2. Masas de aguas subterráneas.

No se observa afección alguna a masa de agua subterránea reconocida en el Plan Hidrológico de las Cuenca Mediterráneas Andaluzas primer ciclo (2009-2015) actualmente en vigor.

### 1.3. PREVENCIÓN DE RIESGOS POR AVENIDAS E INUNDACIONES.

Para evaluar el riesgo por inundaciones del cauce, esta Administración Hidráulica Andaluza no dispone de Estudio Hidráulico Oficial del presente cauce que defina, tanto la Zona de Flujo Preferente (ZFP) y la Zona Inundable (ZI) para un periodo de retorno de 500 años, según lo establece los artículos 9.2 y 14.1 del RDPH respectivamente.

Por otro lado, durante la tramitación de la *Revisión-Adaptación del Plan General de Ordenación Urbanística* de Málaga, tampoco se realizó estudio sobre la capacidad hidráulica del embovedado.

Por ello, se ha redactado el Anexo denominado "*Estudio hidrológico-hidráulico para la Declaración de Interés Autonomo del tercer hospital e Málaga*" incluido en el "Documento B Ambiental Estratégico" presentado, con la finalidad de analizar las posibles afecciones de la Declaración de Interés Autonomo del Tercer Hospital de Málaga en relación a las especificaciones y normativa vigente en materia de aguas en lo referente a las afecciones al dominio público hidráulico y zonas inundables, evaluando la capacidad hidráulica del embovedado para una primera valoración del proyecto.

Los resultados alcanzados por éste concluyen que, la obra de drenaje transversal (embovedado) es suficiente para evacuar el caudal correspondiente al periodo de retorno de 10 años e insuficiente para los periodos de retorno de 100 y 500 años. Una vez se ha comprobado la insuficiencia de la obra se ha realizado un modelo bidimensional para determinar las características de la inundabilidad en el ámbito, obteniéndose que parte del ámbito está afectado por la inundabilidad para la avenida extraordinaria a 500 años.



#### 1.3.1. Análisis al Estudio Hidrológico-Hidráulico.

Para comprobar la validez de los resultados alcanzados en el Estudio Hidrológico-Hidráulico presentado, se ha llevado a cabo la revisión del mismo, indicándose a continuación las discrepancias detectadas en los diferentes datos adoptados y en los cálculos realizados, a tener en cuenta para la posterior tramitación de la figura urbanística correspondiente del presente ámbito, y para el consiguiente posterior informe preceptivo en materia de Aguas por parte de esta Administración Hidráulica Andaluza.

##### 1.3.1.1. Cálculo hidrológico.

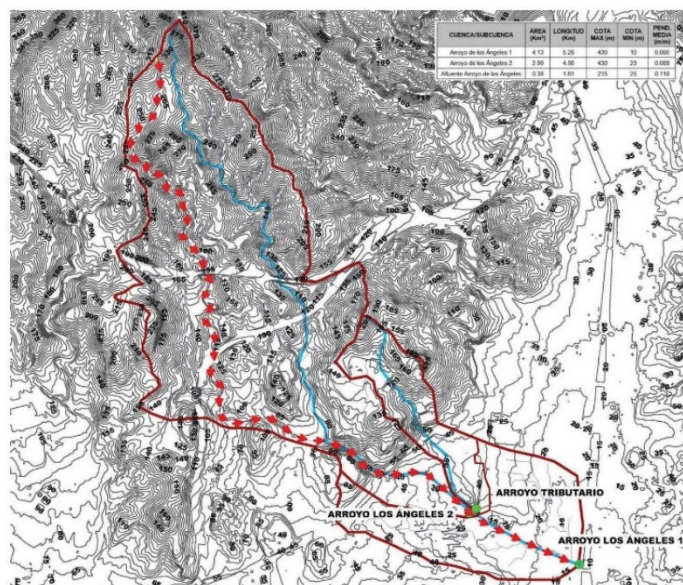
La metodología utilizado para el cálculo hidrológico de este estudio, el Método Hidrometeorológico propuesto en la *Instrucción 5.2-IC Drenaje Superficial* (Orden FOM/298/2016), se considera correcto por las características de las cuencas en estudio, aunque los valores que difieren tras la revisión son:

1. **Definición geométrica de la cuenca vertiente.** La superficie de las cuencas en el estudio y la obtenida en la revisión son prácticamente iguales. En la longitud, cota máxima del cauce y en la pendiente de los tramos denominados Arroyo de los Ángeles 1 y Arroyo de los Ángeles 2 es donde se han encontrado la discrepancia, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

	Cuenca	Long. Cauce (Km)	Cota max. cauce (m)	Cota min. cauce (m)	Pendiente cauce J (m/m)
<b>Estudio</b>	Arroyo de los Ángeles 1	5,280	430	10	0,080
<b>Estudio</b>	Arroyo de los Ángeles 2	4,560	430	23	0,089
<b>Revisión</b>	Arroyo de los Ángeles + Cuarto 1	5,491	324	10	0,057
<b>Revisión</b>	Arroyo de los Ángeles + Cuarto 2	4,771	324	23	0,063

Nota: la cota superior del cauce de la revisión se localiza en la coordenada UTM ETRS89 X-369907, Y-4068790.





Con flechas en rojo, longitud del cauce principal obtenido en la revisión. (Fuente: Estudio presentado + elaboración propia)

2. **Tiempo de concentración (Tc).** Este es otro dato que presenta discrepancia en la cuenca del Arroyo de los Ángeles, dado que este parámetro es dependiente de la longitud y de la pendiente del cauce que se han indicado en el punto anterior, siendo los valores del estudio y de la revisión los que se muestran en la siguiente tabla:

	Cuenca	Long. Cauce (Km)	Pendiente cauce J (m/m)	Grado urbanización (%)	Tiempo de concentración Tc (hr)
<b>Estudio</b>	Arroyo de los Ángeles 1	5,280	0,080	37	0,97
<b>Estudio</b>	Arroyo de los Ángeles 2	4,560	0,089	21	0,93
<b>Revisión</b>	Arroyo de los Ángeles + Cuarto 1	5,491	0,057	37	1,06
<b>Revisión</b>	Arroyo de los Ángeles + Cuarto 2	4,771	0,063	21	1,03

3. **Umbral de escorrentía (P<sub>0</sub>).** Se ha detectado que se ha aplicado incorrectamente la aplicación del coeficiente corrector del umbral de escorrentía (β) para la determinación correcta del umbral de escorrentía (P<sub>0</sub>), ya que se ha empleado el valor correspondiente a un Factor dependiente del periodo de retorno T (F<sub>T</sub>) considerado para el caudal de proyecto, en vez de aplicar correctamente la formulación del producto del valor medio de la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía corregido por el valor correspondiente al intervalo de confianza del cincuenta por ciento, por un factor dependiente del periodo de retorno T (F<sub>T</sub>) considerado para el caudal de proyecto, es decir:

$$\beta = \beta^{OT} = (\beta_m - \Delta_{50}) \cdot F_T$$

Por lo que se considera correcto la determinación inicial del umbral de escorrentía (P<sub>0</sub>), pero incorrecto el coeficiente corrector del umbral de escorrentía (β) empleado. Por tanto, no serían correcto los valores empleados en el estudio del umbral de escorrentía ya corregidos (P<sub>0</sub>).

4. **Caudales (Q<sub>T</sub>).** Por lo expuesto en los puntos anteriores, no se consideran correctos los caudales alcanzados en el estudio presentado, ya que se han obtenido caudales muy superiores a los alcanzados en la revisión, los cuales condicionan en mayor o menor medida el posterior cálculo hidráulico.

#### 1.3.1.2. Cálculo hidráulico.

En el cálculo hidráulico se ha llevado a cabo dos modelizaciones, una con HEC-RAS 1D y otra con IBER 2D, al resultar con la primera modelización que el embovedado existente no sería capaz de desaguar los caudales obtenidos para los periodos de retorno de 100 y 500 años. Aunque se considera correcta las modelizaciones realizadas, se recomienda para siguientes pronunciamientos, realizar una única modelización en 2D, bien sea con HEC-RAS o IBER, en el que se recoja conjuntamente tanto el terreno en superficie como la obra de drenaje longitudinal existente (embovedado) del Arroyo de los Ángeles.

Del estudio realizado se ha detectado la siguiente discrepancia:

1. **Coefficiente de rugosidad de manning (n).** Se considera correcto la cobertura de usos de suelo y los valores de manning adoptados para la cobertura superficial, pero en la modelización con HEC-RAS 1D se ha empleado para la obra de drenaje longitudinal (culvert) un valor de hormigón n = 0,1, considerado muy elevado, cuando es criterio de esta Administración Hidráulica adoptar un valor para el hormigón en drenajes transversales de n = 0,025.

2. **Condiciones de contorno.** Se considera, para siguientes pronunciamientos, se debe emplear para la condición de aguas abajo el calado máximo que puede alcanzar el encauzamiento del Río Guadalmedina, para considerar como se comportaría el drenaje ante un episodio extremo.

3. **Conclusiones.** Por tanto, no se considera correcto el cálculo hidráulico efectuado, dado que estaría condicionado por los caudales de partida y por el comportamiento hidráulico del embovedado, los cuales condicionan en mayor o menor medida el grado de inundabilidad en el entorno del ámbito de estudio.

4. **Información hidráulica no disponible.** Se comprueba que no se ha determinado la Zona de Flujo Preferente (ZFP) según establece el artículo 9.2 del RDPH, al objeto específico de proteger el régimen de corrientes en avenidas, y reducir el riesgo de producción de daños en personas y bienes. En estas zonas o vías de flujo preferente sólo podrán ser autorizadas aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dichas zonas, en los términos previsto en los artículos 9 bis, 9 ter y 9 quáter.





### 1.3.2. Medidas correctoras frente a inundaciones.

Dado que en las simulaciones realizadas en el estudio se ha obtenido que parte del ámbito SGIT está afectado por la inundabilidad para la avenida extraordinaria a 500 años, se proponen de forma genérica las siguientes recomendaciones, las cuales deberán tener en consideración las afecciones a terceros y ser validadas por el Organismo de Cuenca en posteriores pronunciamientos:

- Se deberían ejecutar estructuras que laminen la avenida. Estas podrían ser presas a lo largo de la cuenca o la construcción de un tanque de tormentas.
- Estudiar la posibilidad del aumento de la sección del encauzamiento.

Al mismo se señala la necesidad de que se contemplen las siguientes medidas correctoras:

- Construcción de un muro de protección a lo largo del perímetro del sector afectado por la inundabilidad.
- Elevación de la cota del terreno por encima del nivel del agua.
- Elevación de las nuevas edificaciones planteadas por encima de la cota de inundabilidad o ubicación de las mismas fuera de la zona inundable. Dejando las zonas menos sensibles, zonas verdes o aparcamientos en superficie, dentro de la zona inundable.
- Ejecución de aparcamientos subterráneos estancos hasta la cota de inundación y localización de sus entradas y salidas en las zonas no inundables.

En todo caso se propone en el mismo que, dadas las limitaciones y alcance del presente estudio, para la definición de las medidas correctoras se realice un estudio de mayor profundidad previo al inicio de obras, que las dimensiona y que tenga en consideración los siguientes parámetros:

- Definición exacta del encauzamiento del Arroyo de los Ángeles y de su tributario de la margen izquierda, atendiendo al proyecto del mismo.
- Cálculo del encauzamiento con caudal fluyendo en el Río Guadalmedina.

### 1.3.3. Relativo a las obras en Dominio Público Hidráulico y en Zona de Policía.

Las medidas correctoras propuestas así como el nuevo desarrollo urbanístico que se derive del nuevo hospital proyectado dentro del ámbito SGIT deberán reunir los siguientes requisitos según lo establecido en los artículos 9 ter, y 14 bis, 2, 3 y 4 del RDPH:

- a) No representen un aumento de la vulnerabilidad de la seguridad de las personas o bienes frente a las avenidas, al haberse diseñado teniendo en cuenta el riesgo al que están sometidos.
- b) Que no se incremente de manera significativa la inundabilidad del entorno inmediato ni aguas abajo, ni se condicionen las posibles actuaciones de defensa contra inundaciones de la zona urbana. Se considera que se produce un incremento significativo de la inundabilidad cuando a partir de la información obtenida de los estudios hidrológicos e hidráulicos, que en caso necesario sean requeridos para su autorización y que definan la situación antes de la actuación prevista y después de la misma, no se deduzca un aumento de la zona inundable en terrenos altamente vulnerables.



- c) Las edificaciones se diseñarán teniendo en cuenta el riesgo y el tipo de inundación existente y los nuevos usos habitacionales se dispondrán a una cota tal que no se vean afectados por la avenida con periodo de retorno de 500 años. Podrán disponer de garajes subterráneos y sótanos, siempre que se garantice la estanqueidad del recinto para la avenida de 500 años de periodo de retorno, y que se realicen estudios específicos para evitar el colapso de las edificaciones, todo ello teniendo en cuenta la carga sólida transportada y que además dispongan de respiraderos y vías de evacuación por encima de la cota de dicha avenida. Se deberá asegurar su accesibilidad en situación de emergencia por inundaciones.

- d) Toda nueva construcción como ya existente en la zona de flujo preferente (ZFP) y/o en zona inundable (ZI), las administraciones competentes fomentarán la adopción de medidas de disminución de la vulnerabilidad y autoprotección, todo ello de acuerdo con lo establecido en la Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil y la normativa de las comunidades autónomas. Asimismo el promotor deberá suscribir una declaración responsable, presentada ante la Administración hidráulica competente e integrada, en su caso, en la documentación del expediente de autorización, en la que el promotor exprese claramente que conoce y asume el riesgo existente y las medidas de protección civil aplicables al caso, comprometiéndose a trasladar esa información a los posibles afectados, con independencia de las medidas complementarias que estime oportuno adoptar para su protección. Dicha declaración será independiente de cualquier autorización o acto de intervención administrativa previa que haya de ser otorgada por los distintos órganos de las Administraciones públicas. En particular, estas actuaciones deberán contar con carácter previo a su realización, según proceda, con la autorización en la zona de policía en los términos previstos en el artículo 78 del RDPH o con el informe de la Administración hidráulica de conformidad con el artículo 25.4 del TRLA (en tal caso, a menos que el correspondiente Plan de Ordenación Urbana, otras figuras de ordenamiento urbanístico o planes de obras de la Administración, hubieran sido informados y hubieran recogido las oportunas previsiones formuladas al efecto). La declaración responsable deberá presentarse ante la Administración hidráulica con una antelación mínima de un mes antes del inicio de la actividad en los casos en que no haya estado incluida en un expediente de autorización.

- e) Además de lo establecido en el apartado anterior, con carácter previo al inicio de las obras, el promotor deberá disponer del certificado del Registro de la Propiedad en el que se acredite que existe anotación registral indicando que la construcción se encuentra en zona inundable.

Además, todas ellas deberán ser comunicados a esta Administración Hidráulica Andaluza, para que se analicen las posibles afecciones al dominio público hidráulico y a lo dispuesto en el artículo 9, 9 bis, 9 ter, 9 quáter, 14 y 14 bis del RDPH, para así obtener el informe al Instrumento de Planeamiento o autorización preceptiva en materia de Aguas previa a la ejecución de las mismas.

## 1.4. DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS.

### 1.4.1. Abastecimiento.

En el "Documento B Ambiental Estratégico", en su página 39, indica sobre el abastecimiento que: "Los abastecimientos e infraestructuras están previstas en el Plan General de Ordenación Urbana y deberán ser desarrollados en proyecto con los puntos de abastecimiento. A nivel de proyecto se recogerán los compromisos de las entidades suministradoras."





En su página 43, se indica sobre la disponibilidad de recursos hídricos lo siguiente: “Teniendo en cuenta que el PGOU ya preveía una ampliación del hospital civil se considera que existe disponibilidad de recursos hídricos para la actuación propuesta. No obstante, este aspecto se va a desarrollar de forma exacta en el proyecto de ejecución previo informe del organismo competente en materia de abastecimiento.”

Alternativas	Afección a DPH y zona de inundación	Aumento de los consumos hídricos
Alternativa 0	No hay alteración más allá de la existente	No hay alteración más allá de la existente
Alternativa 1	Compatible	Compatible
Alternativa 2	Compatible	Compatible
Alternativa 3	Compatible	Compatible

Consideraciones de compatibilidad entre las diferentes alternativas.

Y en su página 90, sobre Consumo Hídrico, indica que: “Según las dotaciones de agua potable recogidas en la Normativa del PGOU de Málaga para el uso de centros sociales, que es de 10 l/m<sup>2</sup> diarios y teniendo en cuenta que se propone una ampliación de 97.685 m<sup>2</sup>t para el nuevo hospital, se estima una demanda diaria de agua potable de 978.650 l/día.”

En este sentido, los instrumentos de desarrollo (planes parciales, planes especiales, estudios de detalle, etc.) que provengan de planeamientos generales ya informados por la Administración Hidráulica Andaluza y con informe favorable de disponibilidad de recursos hídricos estarán exentos de presentar la información en materia de disponibilidad. En caso contrario, deberán presentar la siguiente información:

- Consumo anual de agua bruta previsto para atender el nuevo crecimiento, expresado en m<sup>3</sup>/año.
- Demanda comprometida en otros instrumentos de planeamiento aprobados y pendientes de desarrollo, en m<sup>3</sup>/año.
- Distribución temporal de los consumos previstos a lo largo del horizonte del Plan.
- Origen de los recursos hídricos que atenderán las futuras demandas, acreditando la titularidad de los mismos, y su situación administrativa concesional.

Resulta de aplicación el artículo 13.1 a) y b) de la Ley 9/2010 de Aguas para Andalucía, establece que: “Corresponde a los municipios en materia de aguas la ordenación y la prestación de los siguientes servicios, en el ciclo integral del agua de uso urbano:

- a) El abastecimiento de agua en alta o aducción, que incluye la captación y alumbramiento de los recursos hídricos y su gestión, incluida la generación de los recursos no convencionales, el tratamiento de potabilización, el transporte por arterias principales y el almacenamiento en depósitos de cabecera de los núcleos de población.
- b) El abastecimiento de agua en baja, que incluye su distribución, el almacenamiento intermedio y el suministro o reparto de agua potable hasta las acometidas particulares o instalaciones propias para el consumo por parte de los usuarios.”



Asimismo, el artículo 52 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, establece que: “El Derecho al uso privativo, sea o no consuntivo, del dominio público hidráulico se adquiere por disposición legal o por concesión administrativa.”

1.4.2. Actuaciones para reducir la demanda hídrica.

En el “Documento B Ambiental Estratégico”, en su página 57, indica que: “El consumo de recursos hídricos es uno de los principales problemas a los que se enfrenta la existencia de zonas verdes que necesiten mantenimiento. La necesidad hídrica de las especies vegetales supone un aumento de la demanda de agua que, teniendo en cuenta las características pluviométricas de la región, puede constituir un obstáculo en la planificación de la gestión hidrológica. Para subsanar este aumento de la demanda hídrica se proponen como medidas las siguientes:

- Se estudiará la posibilidad de utilización de aguas regeneradas para el riego de las zonas verdes, permitiendo cumplir los objetivos del Plan Nacional de Reutilización. El objeto fundamental de este Plan es fomentar el empleo de agua reutilizada, destacando sus ventajas y estableciendo los instrumentos económicos y financieros adecuados, así como coordinar los planes autonómicos ya desarrollados en esta materia.
- Se priorizará la introducción de especies vegetales con demanda hídrica reducida, así como con características estructurales de porte medio y alto permitiendo la creación de zonas de sombra que favorezcan el aumento del grado de humedad y la retención de agua por parte del suelo y la vegetación.
- Se tendrán en cuenta las mejores técnicas disponibles para el sistema de riego, como pueden ser el riego por goteo, el reaprovechamiento de las aguas pluviales, estudios de minimización del consumo de agua o el uso de domótica en la aplicación eficiente de riego.”

En cuanto a la utilización de aguas regeneradas y/o sobre aprovechamiento de las aguas pluviales para la utilización en el riego de zonas verdes, deberá contar con la oportuna autorización o concesión administrativa.

1.5. INFRAESTRUCTURAS DEL CICLO INTEGRAL DEL AGUA. SANEAMIENTO Y DEPURACIÓN.

En el “Documento B Ambiental Estratégico”, en su página 39, indica sobre el saneamiento que: “El servicio es ofrecido contempla la separación independiente de pluviales y aguas negras que deberá desarrollarse en todo caso en el proyecto de urbanización del ámbito de estudio. Y se detallará en proyecto de urbanización en su caso.

En ambos supuestos: saneamiento y abastecimiento, se dan situaciones compatibles ya que las previsiones deben estar contempladas al ser ya en la actualidad suelos urbanos.”

Resulta de aplicación el artículo 13.1 c) y d) de la Ley 9/2010 de Aguas para Andalucía, establece que: “Corresponde a los municipios en materia de aguas la ordenación y la prestación de los siguientes servicios, en el ciclo integral del agua de uso urbano:





- c) *El saneamiento o recogida de las aguas residuales urbanas y pluviales de los núcleos de población a través de las redes de alcantarillado municipales hasta el punto de intercepción con los colectores generales o hasta el punto de recogida para su tratamiento.*
- d) *La depuración de las aguas residuales urbanas, que comprende la intercepción y el transporte de las mismas mediante los colectores generales, su tratamiento hasta el vertido del efluente a las masas de aguas continentales o marítimas.*
- f) *El control y seguimiento de vertidos a la red de saneamiento municipal, así como el establecimiento de medidas o programas de reducción de la presencia de sustancias peligrosas en dicha red."*

En materia de Saneamiento y depuración, es de aplicación el artículo 25.2 c) de la Ley de Bases de Régimen Local.

Tanto el abastecimiento a población como la capacidad de depuración con la que debe contar el municipio deberá tener en cuenta el número de habitantes para lo cual se tendrá en cuenta los datos oficiales del Instituto de Estadística de Andalucía.

Debe tenerse en cuenta que los vertidos de aguas pluviales no requieren de autorización de vertidos, tal y como dispone el artículo 2 del Decreto 109/2015, de 17 de marzo, por el que se aprueba el *Reglamento de Vertidos al Dominio Público Hidráulico y al Dominio Público Marítimo-Terrestre de Andalucía*, mientras que los vertidos de aguas residuales, que no vayan a la red municipal si la requieren.

De cualquier forma si los vertidos se realizan a la red de saneamiento municipal, deberán cumplir las normas establecidas en las Ordenanzas Municipales en materia de vertido, en cuanto a límites de emisión y parámetros, dependiendo de la naturaleza del vertido que se vaya a realizar.

## 2. CONCLUSIONES

A la vista de todo lo expuesto, se indica desde este Servicio de Dominio Público Hidráulico y Calidad de las Aguas, en el ámbito de competencia en materia de Aguas, se emite Informe favorable a la propuesta de Declaración de Interés Autonómico del proyecto del tercer hospital de Málaga en los terrenos que conforman la manzana del actual Hospital Civil, condicionado a las recomendaciones y consideraciones expuestas en el presente informe, a tener en cuenta para la posterior tramitación de la figura urbanística correspondiente del presente ámbito, el cual tendrá que recabar el preceptivo informe en materia de aguas que se redacte en base a la Instrucción de 20 de febrero de 2012 de la anterior Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico sobre la elaboración de informes en materia de aguas a los planes con incidencia territorial, a los planeamientos urbanísticos y a los actos y ordenanzas de las entidades locales (modificación n.º: 1 y 2 de la misma), al Documento en trámite, analizará y concluirá sobre el ajuste a las determinaciones y requerimientos exigibles en relación a los siguientes apartados:

- Dominio público hidráulico y sus zonas de protección.
- Prevención de riesgos por avenidas e inundaciones.
- Disponibilidad de recursos hídricos.



- Infraestructuras del ciclo integral del agua.
- Financiación de estudios e infraestructuras.

El Jefe del Servicio de D.P.H. y Calidad de las Aguas





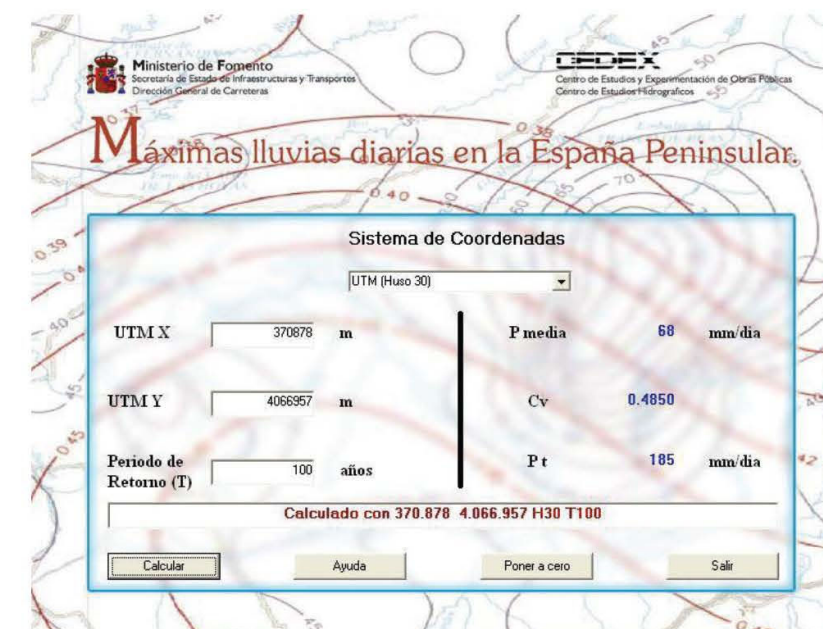
## PRECIPITACIONES



### PRECIPITACIÓN 10 AÑOS



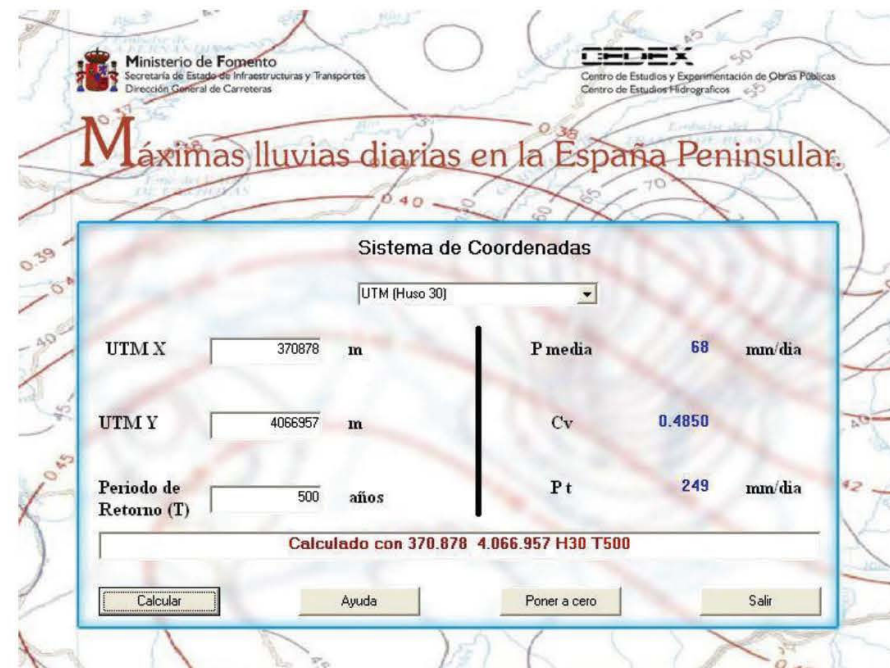
### PRECIPITACIÓN 100 AÑOS







### PRECIPITACIÓN 500 AÑOS



### HOJAS DE CÁLCULO DE CAUDAL





**CÁLCULO DE CAUDALES**  
**ARROYO DE LOS ANGELES 1 - X : 372.606 - Y : 4.065.538**

**DATOS CARACTERÍSTICOS DE LA CUENCA**

Superficie (Km <sup>2</sup> )	4.13		
Grado de urbanización, %	37%		
Longitud (Km)	5.51		
Cota máxima (m)	324	Pendiente (m/m)	0.057
Cota mínima (m)	10		

**PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA**

Coefficiente reductor por área (ARF)	$ARF = 1 - \frac{\text{Log}(\text{Superficie})}{15}$	0.96
Periodo	Precipitación máxima diaria (mm.)	Precipitación corregida (mm.)
10 años	93	89
100 años	185	177
500 años	249	239

**UMBRAL DE ESCORRENTIA**

PERIODO RETORNO	10 ANOS	100 ANOS	500 ANOS
COEFICIENTE β	1.68	2.07	2.05
UMBRAL DE ESCORRENTIA (mm.)	16.48	20.26	20.09

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA**

Periodo	Coefficiente de escorrentia ,C	$C = \frac{(P_d - P_0)(P_d + 23P_0)}{(P_d + 11P_0)^2}$
10 años	0.47	
100 años	0.63	
500 años	0.73	

**CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACION**

Tiempo de concentración, horas	1.07
--------------------------------	------

**INTENSIDAD MEDIA MAXIMA**

Periodo	Intensidad media máxima (lt, mm/h)	$I_t = I_d \cdot \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\left(\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{0.4}\right)}$
10 años	31.50	
100 años	62.66	
500 años	84.34	

**CAUDAL**

Coefficiente de Uniformidad (K)	$K = 1 + (T_c^{1.25} / (T_c^{1.25} + 14))$	1.07
Periodo	Caudal ,m3/seg	$Q = \frac{C \cdot I \cdot S \cdot K}{3.6}$
10 años	18.03	
100 años	48.64	
500 años	75.23	



**CÁLCULO DE CAUDALES**  
**ARROYO DE LOS ANGELES 2 - X : 372.606 - Y : 4.065.538**

**DATOS CARACTERÍSTICOS DE LA CUENCA**

Superficie (Km <sup>2</sup> )	2.99		
Grado de urbanización, %	21%		
Longitud (Km)	4.79		
Cota máxima (m)	324	Pendiente (m/m)	0.063
Cota mínima (m)	22.86		

**PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA**

Coefficiente reductor por área (ARF)	$ARF = 1 - \frac{\text{Log}(\text{Superficie})}{15}$	0.97
Periodo	Precipitación máxima diaria (mm.)	Precipitación corregida (mm.)
10 años	93	90
100 años	185	179
500 años	249	241

**UMBRAL DE ESCORRENTIA**

PERIODO RETORNO	5.5 ANOS	100 ANOS	500 ANOS
COEFICIENTE β	1.68	2.07	2.05
UMBRAL DE ESCORRENTIA (mm.)	17.04	20.94	20.76

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA**

Periodo	Coefficiente de escorrentia ,C	$C = \frac{(P_d - P_0)(P_d + 23P_0)}{(P_d + 11P_0)^2}$
10 años	0.46	
100 años	0.62	
500 años	0.72	

**CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACION**

Tiempo de concentración, horas	1.03
--------------------------------	------

**INTENSIDAD MEDIA MAXIMA**

Periodo	Intensidad media máxima (lt, mm/h)	$I_t = I_d \cdot \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\left(\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{0.4}\right)}$
10 años	32.33	
100 años	64.32	
500 años	86.57	

**CAUDAL**

Coefficiente de Uniformidad (K)	$K = 1 + (T_c^{1.25} / (T_c^{1.25} + 14))$	1.07
Periodo	Caudal ,m3/seg	$Q = \frac{C \cdot I \cdot S \cdot K}{3.6}$
10 años	13.10	
100 años	35.55	
500 años	55.14	





FERRANDIZ 48

**CÁLCULO DE CAUDALES**

**TRIBUTARIO A. LOS ÁNGELES - X : 371.976 - Y : 4.065.862**

**DATOS CARACTERÍSTICOS DE LA CUENCA**

Superficie (Km <sup>2</sup> )	0.38		
Grado de urbanización, %	35%		
Longitud (Km)	1.61		
Cota máxima (m)	215	Pendiente (m/m)	0.118
Cota mínima (m)	25		

**PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA**

Coeficiente reductor por área (ARF)	$ARF = 1 - \frac{\text{Log (Superficie)}}{15}$	1.00
Periodo	Precipitación máxima diaria (mm.)	Precipitación corregida (mm.)
10 años	93	93
100 años	185	185
500 años	249	249

**UMBRAL DE ESCORRENTIA**

PERIODO RETORNO	10 años	100 ANOS	500 ANOS
COEFICIENTE β	1.68	2.07	2.05
UMBRAL DE ESCORRENTIA (mm.)	17.25	21.21	21.03

**CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA**

Periodo	Coeficiente de escorrentia, C	$C = \frac{(P_d - P_0)(P_d + 23P_0)}{(P_d + 11P_0)^2}$
10 años	0.46	
100 años	0.63	
500 años	0.72	

**CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACION**

Tiempo de concentración, horas	0.37
--------------------------------	------

**INTENSIDAD MEDIA MÁXIMA**

Periodo	Intensidad media máxima (lt. mm/h)	$I_t = I_d \cdot \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\left(\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{0.4}\right)}$
10 años	57.41	
100 años	114.20	
500 años	153.70	

**CAUDAL**

Coeficiente de Uniformidad (K)	$K = 1 + (T_c^{1.25} / (T_c^{1.25} + 14))$	1.02
Periodo	Caudal, m3/seg	$Q = \frac{C \cdot I \cdot S \cdot K}{3.6}$
10 años	2.90	
100 años	7.82	
500 años	12.10	

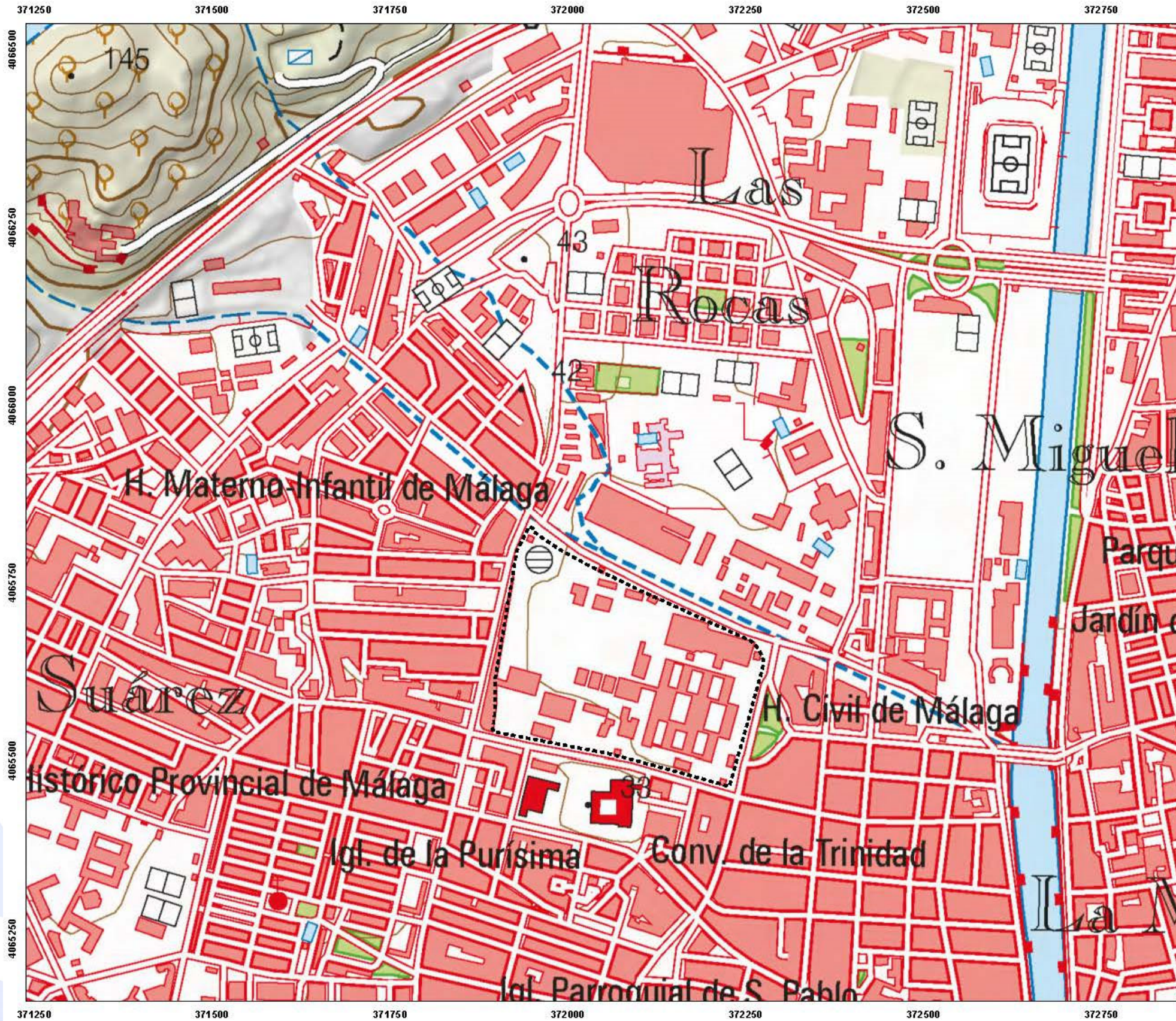




## ANEXO DE PLANOS

1. PLANO RÁSTER DE LOCALIZACIÓN
2. LOCALIZACIÓN SOBRE ORTOFOTO
3. PLANO DE CUENCAS
4. PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DE DOMINIO PÚBLICO  
HIDRÁULICO, ZONA DE SERVIDUMBRE Y ZONA DE POLICÍA.
5. ZONA INUNDABLE AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 100 AÑOS
6. MAPA DE VELOCIDADES AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 100  
AÑOS
7. ZONA INUNDABLE AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 500 AÑOS
8. MAPA DE VELOCIDADES AVENIDAS EXTRAORDINARIAS 500  
AÑOS





ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO  
PARA LA DECLARACIÓN DE INTERÉS  
AUTONÓMICO DEL TERCER HOSPITAL  
DE MÁLAGA

PLANO DE LOCALIZACION  
RASTER IGN 1 : 25.000

**LEYENDA**

▭ PARCELA

COORDENADAS PARCELA ETRS89:  
X - 372.073  
Y - 4.065.627

Nº DE PLANO <b>1</b>	ESCALA 1:5.000
Nº DE EXPEDIENTE: <b>39 / 20</b>	FORMATO: A-3
FECHA <b>AGOSTO 2021</b>	







ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO  
PARA LA DECLARACIÓN DE INTERÉS  
AUTONÓMICO DEL TERCER HOSPITAL  
DE MÁLAGA

PLANO DE LOCALIZACIÓN  
ORTOFOTO 2.016

**LEYENDA**

- PARCELA
- Tramo de estudio

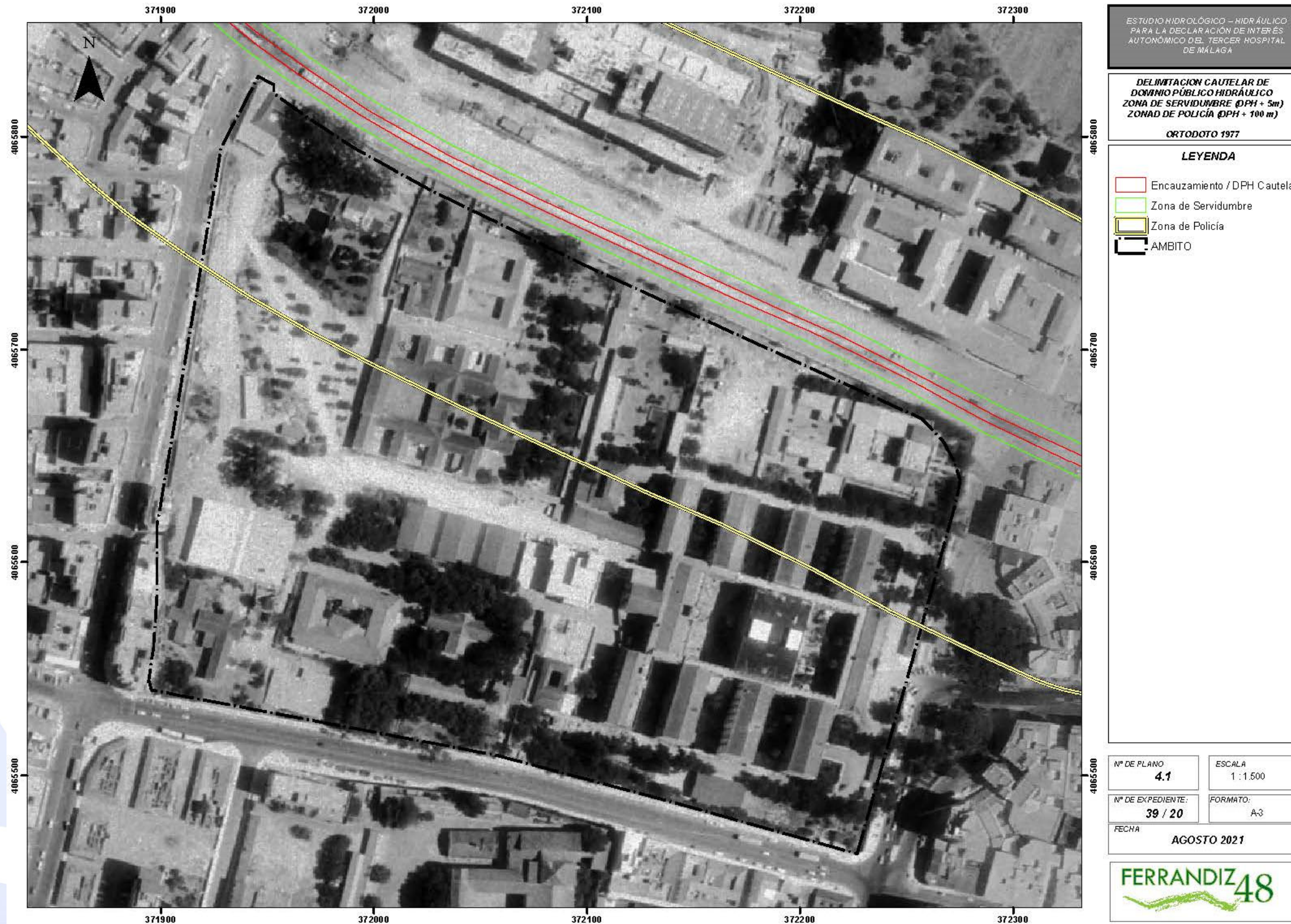
Nº DE PLANO <b>2</b>	ESCALA 1 : 4.000
Nº DE EXPEDIENTE: <b>39 / 20</b>	FORMATO: A-3
FECHA <b>AGOSTO 2021</b>	















ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO  
PARA LA DECLARACIÓN DE INTERÉS  
AUTONÓMICO DEL TERCER HOSPITAL  
DE MÁLAGA

DELIMITACIÓN CAUTELAR DE  
DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO  
ZONA DE SERVIDUMBRE (DPH + 5m)  
ZONAD DE POLICÍA (DPH + 100 m)  
ORTOFOTO 2019

**LEYENDA**

	Encauzamiento / DPH Cautelar
	Zona de Servidumbre
	Zona de Policía
	AMBITO

Nº DE PLANO <b>4.2</b>	ESCALA 1 : 1.500
Nº DE EXPEDIENTE: <b>39 / 20</b>	FORMATO: A-3
FECHA <b>AGOSTO 2021</b>	









