

**MAPAS DE PELIGROSIDAD POR INUNDACIONES Y
MAPAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA
DEMARCACIÓN DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS**

(2º CICLO)

MARZO 2021

Índice

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	ANTECEDENTES Y OBJETO	1
1.2.	MARCO NORMATIVO	7
2	ÁMBITO DE APLICACIÓN TERRITORIAL	9
3	METODOLOGÍA DE LOS MAPAS DE PELIGROSIDAD Y RIESGO	22
3.1.	RECOPILACIÓN DE ESTUDIOS DE INUNDACIÓN EXISTENTES	23
3.2.	ELABORACIÓN DE NUEVOS ESTUDIOS	24
3.3.	REVISIÓN Y ELABORACIÓN DE LOS CÁLCULOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LOS ÁMBITOS PROPUESTOS	27
3.4.	REVISIÓN DE MODELOS HIDRÁULICOS Y ELABORACIÓN DE LOS NUEVOS.	36
4	ELABORACIÓN DE LOS MAPAS	52
4.1.	MAPAS DE PELIGROSIDAD POR INUNDACIÓN	52
4.2.	MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN	54
5	RESULTADO Y TRAMITACIÓN	60

1 INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES Y OBJETO

El 23 de octubre de 2007, el Parlamento Europeo aprobó la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, cuya transposición al ordenamiento jurídico español se produjo a través del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, siendo la legislación básica que regula el contenido y el procedimiento de elaboración y tramitación de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación en todo el territorio español. A su vez, sus disposiciones fueron recogidas en la Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas de Andalucía en su Capítulo I del Título VII: *Instrumentos de Prevención del riesgo por inundación*, de aplicación a la cuencas internas de gestión autonómica.

La Directiva obliga a los Estados miembros a la elaboración de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación siguiendo tres fases consecutivas y de forma cíclica o revisable cada 6 años coincidiendo con los periodos de planificación hidrológica. Estas tres fases son:

- a. Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) e identificación de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs).

Implica la determinación de las zonas para las cuales existe un riesgo potencial de inundación significativo en base al estudio de la información disponible sobre inundaciones históricas, estudios de zonas inundables, impacto del cambio climático, planes de protección civil, ocupación actual del suelo así como las infraestructuras de protección frente a inundaciones existentes.

- b. Mapas de Peligrosidad por Inundaciones y Mapas de Riesgo de Inundación.

Para las áreas de riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIs) delimitadas en la fase anterior se elaboran los mapas de peligrosidad por inundaciones y los Mapas de Riesgo de inundación que delimitan las zonas inundables e indican los daños potenciales que una inundación pueda ocasionar a la población, a las actividades económicas y al medio ambiente y todo ello para los escenarios de probabilidad que establece la Directiva: Probabilidad Alta, cuando proceda, Probabilidad Media (periodo de retorno mayor o igual a 100 años) y para Baja Probabilidad o escenario de eventos extremos.

- c. Planes de Gestión del Riesgo de Inundación.

Los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación se elaboran en el ámbito de cada demarcación hidrográfica, centrando sus objetivos y medidas en las ARPSIs identificadas. Tienen como objetivo lograr una actuación coordinada de todas las administraciones públicas y la sociedad para disminuir los riesgos de inundación y reducir las consecuencias negativas de las inundaciones, basándose en los programas de medidas que cada una de las administraciones debe aplicar en el ámbito de sus competencias para alcanzar el objetivo previsto, bajo los principios

de solidaridad, coordinación y cooperación interadministrativa y respeto al medio ambiente.

A nivel internacional, en el documento editado por la UNESCO “Flood Risk Management: A Strategic Approach. 2013” se recogen nueve reglas esenciales de la gestión del riesgo de inundación. Son las siguientes:

- Aceptar que la protección absoluta no es posible y planificar teniendo en cuenta los accidentes. Se ha de aceptar que un cierto grado de error es casi inevitable y esto hace que se enfatice en la mejora de la resiliencia.
- Promover algunas inundaciones como algo deseable. Las inundaciones y las llanuras de inundación proporcionan terrenos agrícolas fértiles y de gran valor ambiental. Dar espacio al río mantiene ecosistemas en buen estado y reduce la posibilidad de inundaciones en otras áreas.
- Fundamentar las decisiones en la comprensión de los riesgos y las incertidumbres. Un equilibrio explícito entre los riesgos reducidos, las oportunidades promovidas y los recursos necesarios para lograrlos es fundamental para la gestión del riesgo de inundaciones. La incertidumbre dentro de los datos y los modelos debe ser reconocida de manera explícita.
- Tener en cuenta que el futuro será diferente del pasado. Cambios futuros (clima, sociedad, condición estructural y de otras clases) pueden influir profundamente en el riesgo de inundación. El desarrollo de estrategias de adaptación permite a los gestores responder a la realidad del futuro a medida que este evoluciona.
- Implementar un conjunto de respuestas y no apoyarse en una sola medida. La gestión integrada implica considerar la mayor cantidad posible de acciones. Esto incluye medidas para reducir la probabilidad y medidas para reducir las consecuencias (exposición y vulnerabilidad) de las inundaciones.
- Emplear los recursos limitados de manera eficiente y apropiada para reducir el riesgo. Los recursos utilizados deben estar relacionados con la reducción del riesgo y con la promoción de oportunidades ambientales, económicas y sociales. No se deberían emplear estándares de protección generalizados y universales.
- Ser claro con las responsabilidades de gobierno y acción. Los gobiernos, las empresas, las comunidades y los individuos deben ser participantes activos, todos compartiendo la responsabilidad y contribuyendo al sostén financiero en un marco claro de colaboración.
- Comunicar el riesgo y la incertidumbre de manera amplia y eficaz. La comunicación efectiva de riesgos permite una mejor preparación y contribuye a garantizar el apoyo a las medidas de mitigación en caso necesario.
- Reflejar el contexto local e integrar la planificación frente a inundaciones con otros procesos de planificación. La estrategia seleccionada para una determinada ubicación reflejará los riesgos específicos a los que se enfrenta.

A nivel europeo, los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación y los Planes Hidrológicos son elementos de una gestión integrada de la cuenca y de ahí la importancia de la coordinación entre ambos procesos guiados por la Directiva de Inundaciones y la Directiva Marco del Agua, respectivamente. Esta necesidad de coordinación está recogida tanto en ambas disposiciones como en diferentes documentos y recomendaciones adoptados en diversos foros internacionales.

En los planes de gestión del riesgo de inundación se potencian el tipo de medidas conducentes a mejorar el estado de las masas de agua, reforzadas también por la obligación de cumplir los objetivos ambientales de la Directiva Marco del Agua, por lo que aumenta considerablemente la necesidad de enfocar la gestión del riesgo de inundación hacia medidas no estructurales, sostenibles y eficientes. Se trata, entre otras actuaciones, de intervenciones basadas en las infraestructuras verdes y medidas asociadas, como las de retención natural de agua (NWRM), de forma compatible con aquellas adoptadas en el ámbito de la Directiva Marco del Agua.

Puesto que, como recoge la Directiva de Inundaciones en su segundo considerando, las inundaciones son fenómenos naturales que no pueden evitarse, es decir, tenemos que aprender a vivir con las inundaciones, las medidas para reducir el riesgo deben ir encaminadas hacia la disminución de la vulnerabilidad de los bienes expuestos a la inundación. Máxime tomando en consideración los estudios sobre escenarios futuros de cambio climático que afectan a las variables hidrológicas.

El Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación establece en su artículo 10.1 que las administraciones competentes elaboraran para cada demarcación hidrográfica los Mapas de Peligrosidad por inundación y Mapas de Riesgo de inundación, de acuerdo con las determinaciones y contenidos recogidos en los artículos 9 y 10, para las zonas de riesgo identificadas en la Evaluación Preliminar. Así mismo, establece en su artículo 21 que la Evaluación Preliminar, los Mapas de Peligrosidad y de Riesgo de inundación y los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación deben revisarse y actualizarse cada seis años.

Previamente, esta Administración procedió a la revisión y actualización de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación dentro del procedimiento de revisión de la Planificación Hidrológica para el periodo 2021-2027. El documento de Evaluación Preliminar para este segundo ciclo fue sometido a consulta pública por un periodo de tres meses conforme a lo previsto en el artículo 7 del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, mediante su publicación en el BOJA n.º 249, de 27 de diciembre de 2018 finalizando dicho periodo de consulta el 28 de marzo de 2019. Continuando con el procedimiento previsto en dicho artículo, una vez analizadas las alegaciones presentadas y reflejadas en el documento, la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación fue sometida a informe de la Comisión de Autoridades Competentes, en su sesión de 9 de marzo de 2020. También fue informada por la Comisión de Protección Civil de Andalucía, en su sesión plenaria celebrada el 28 de octubre de 2020 y por el Consejo del Agua de esta demarcación en la sesión celebrada el pasado 9 de diciembre de 2020.

Una vez culminada y aprobada la fase de Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación, por Orden de la Consejería de la Consejería de Agricultura, Ganadería, pesca y Desarrollo Sostenible de 11 de enero de 2021 (BOJA n.º 9 de 15 de enero de 2021), el presente documento tiene por objeto desarrollar los contenidos de la segunda fase en el proceso de elaboración de los Planes de gestión del riesgo de inundación, que corresponde a la

elaboración de los Mapas de Peligrosidad por Inundaciones y Mapas de Riesgo de Inundación para las ARPSIS declaradas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.

En relación con el ámbito de aplicación, la Directiva 2007/60/CE de inundaciones define como inundación el *“anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos por agua. Incluye las inundaciones ocasionadas por ríos, torrentes de montaña, corrientes de agua intermitentes del Mediterráneo y las inundaciones causadas por el mar en las zonas costeras, y puede excluir las inundaciones de las redes de alcantarillado”*.

En este sentido, el artículo 2 del RD 903/2010, define su ámbito de aplicación: “Las disposiciones contenidas en este real decreto serán de aplicación a las inundaciones ocasionadas por desbordamiento de ríos, torrentes de montaña y demás corrientes de agua continuas o intermitentes, así como las inundaciones causadas por el mar en las zonas costeras y las producidas por la acción conjunta de ríos y mar en las zonas de transición”.

Durante la implantación de esta Directiva, a partir de los trabajos de coordinación de la Comisión Europea, se han identificado los posibles orígenes o fuentes de las inundaciones, normalmente derivadas de episodios de altas precipitaciones, que pueden dar lugar a daños *“in situ”* o provocar el desbordamiento de cauces y otras corrientes de agua cuando alcanzan valores importantes en la cuenca hidrográfica, asociadas o no a la fusión nival, a la gestión de las infraestructuras hidráulicas de la cuenca, y en las zonas cercanas al mar, las debidas a la entrada del mar en las zonas costeras en episodios de temporales marítimos. En la práctica, salvo en las inundaciones exclusivamente marinas, el resto de orígenes pueden actuar conjuntamente en un episodio de inundación, agravando los efectos de las inundaciones.

En este documento se estudian las inundaciones derivadas del desbordamiento de ríos y otros cauces o corrientes (inundaciones fluviales) incorporando en ellas la gestión de las infraestructuras hidráulicas, las inundaciones debidas a episodios de lluvias intensas (inundaciones pluviales) que deriven en inundaciones fluviales especialmente en corrientes de pequeña magnitud y las inundaciones debidas al mar, todo ello en los términos del Real Decreto 903/2010.

De acuerdo con lo anterior no son de aplicación en el marco de esta evaluación las inundaciones derivadas de la incapacidad de las redes de alcantarillado, que se rigen por las normativas específicas de las administraciones de urbanismo y ordenación del territorio, las derivadas de la rotura o mal funcionamiento de presas, que se rigen por lo establecido en el Título VII, *“de la seguridad de presas, embalses y balsas”* del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH). Tampoco son de aplicación las inundaciones derivadas de tsunamis y maremotos que se rigen por el Real Decreto 1053/2015, de 20 de noviembre, por el que se aprueba la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de maremotos.

- **Áreas de Riesgo Potencia Significativo de Inundación (ARPSI) declaradas**

Como resultado de la actualización de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación para este segundo ciclo (donde se ha procedido a la revisión de aquellas áreas declaradas en el ciclo anterior) y de la aplicación de los nuevos criterios de delimitación de los tramos

fluviales que presentan riesgos de inundación, en la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras se han declarado 29 ARPSIS fluviales, que alcanzan una longitud total de 162.3 kilómetros.

A continuación se enumeran las 29 Areas de Riesgo Potencial Significativo de Inundacion (ARPSIS) de naturaleza fluvial declaradas en esta Demarcacion:

CODIGO ARPSI	ZONA ARPSI	ARPSI
ES064_ARPS_0001	Arpsi Piedras	Río Piedras, aguas abajo de la Presa del Piedras hasta desembocadura
ES064_ARPS_0002	Arpsi Piedras	Arroyo Puentezuelo
ES064_ARPS_0003	Arpsi Piedras	Arroyo Pilar
ES064_ARPS_0004	Arpsi Piedras	Arroyo Rivera
ES064_ARPS_0005	Arpsi Piedras	Arroyo Valsequillo
ES064_ARPS_0006	Arpsi Piedras	Arroyo Regajo 2
ES064_ARPS_0007	Arpsi Piedras	Arroyo Regajo 3
ES064_ARPS_0008	Arpsi Piedras	Arroyo Regajo 5
ES064_ARPS_0009	Arpsi Piedras	Arroyo Lepe
ES064_ARPS_0010	Arpsi Piedras	Barranco La Vera
ES064_ARPS_0011	Arpsi Piedras	Barranco Fraile
ES064_ARPS_0012	Arpsi Piedras	Caño La Culata
ES064_ARPS_0013	Arpsi Odiel	Arroyo Valdeclaras
ES064_ARPS_0014	Arpsi Odiel	Arroyo El Redondel
ES064_ARPS_0015	Arpsi Odiel	Esteros del Colmenar
ES064_ARPS_0016	Arpsi Odiel	Arroyo Chorrillo del Valle
ES064_ARPS_0017	Arpsi Odiel	Arroyo Domingo Negro
ES064_ARPS_0018	Arpsi Odiel	Arroyo Coronillas
ES064_ARPS_0019	Arpsi Odiel	Arroyo La Bocina
ES064_ARPS_0020	Arpsi Odiel	Arroyo Tejar
ES064_ARPS_0021	Arpsi Odiel	Río Odiel, desde Gibraleón hasta desembocadura
ES064_ARPS_0022	Arpsi Tinto	Rivera Nicoba

CODIGO ARPSI	ZONA ARPSI	ARPSI
ES064_ARPS_0023	Arpsi Tinto	Tinto desde San Juan del Puerto hasta su desembocadura
ES064_ARPS_0024	Arpsi Tinto	Arroyo Las Cabañas
ES064_ARPS_0025	Arpsi Tinto	Arroyo San José
ES064_ARPS_0026	Arpsi Tinto	Caño La Rivera de Niebla
ES064_ARPS_0027	Arpsi Tinto	Arroyo Valcasao
ES064_ARPS_0028	Arpsi Tinto	Arroyo Montemayor
ES064_ARPS_0029	Arpsi Tinto	Estero Domingo Rubio

Ademas de las ARPSIS fluviales, a partir de los estudios elaborados por la Administracion competente en materia de costas sobre las inundaciones causadas por las aguas costeras, en esta demarcacion se han delimitado las siguientes ARPSIS de origen costero:

CODIGO ARPSI	ZONA ARPSI	ARPSI
ES064_ARPS_0030	Arpsi Costera	Playa de La Antilla
ES064_ARPS_0031	Arpsi Costera	El Portil
ES064_ARPS_0032	Arpsi Costera	Playa de Punta Umbría
ES064_ARPS_0034	Arpsi Costera	Playa del Alcor
ES064_ARPS_0035	Arpsi Costera	Desembocadura del Río Piedras
ES064_ARPS_0036	Arpsi Costera	Desembocadura de los Ríos Tinto y Odiel

En relacion con los mapas de peligrosidad de inundacion causada por el mar en las ARPSIS costeras, de acuerdo con el articulo 10.1. del Real Decreto 903/2010 de evaluacion y gestion del riesgo de inundacion, es la Direccion General de la Costa y el Mar del Ministerio para la Transicion Ecologica y el Reto Demografico el organo al que compete la elaboracion de esta informacion.

En tanto no se modifiquen las bases de datos que sirvieron para la elaboracion de dichos mapas durante la implantacion del primer ciclo de la Directiva, se mantienen los mapas ya publicados en el Sistema Nacional de Cartografia de Zonas Inundables. Esta prevista en un

futuro la actualización de dichas bases de datos con la proyecciones del Quinto Informe del IPCC (AR5) con el fin de incluir los datos estadísticos fundamentales de las nuevas proyecciones, mejorando la calidad de los datos de partida, lo que permitira a su vez obtener resultados con mejores prestaciones en lo que a regionalización de los resultados y precisión del nivel del mar se refiere.

Esta información de las nuevas variables proyectadas de nivel del mar y oleaje se utilizara para, haciendo uso de la metodología IOLE, revisar la cota de inundación a lo largo de 33.000 perfiles topo-batimétricos cubriendo toda la costa española. La comparación entre la distribución de la nueva cota de inundación proyectada y la histórica en cada perfil servirá para evaluar las posibles repercusiones del cambio climático en la incidencia de inundaciones en la revisión y actualización de los planes de gestión del riesgo de inundación, de acuerdo con el artículo 21.4 del Real Decreto 903/2010.

1.2. MARCO NORMATIVO

- Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, modificado por el Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas y posteriores modificaciones.
- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/85, de 2 de septiembre y modificaciones realizadas con posterioridad.
- Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas y sus modificaciones.
- Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.
- Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

- Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (RPH), en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas y modificaciones realizadas con posterioridad.
- Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, aprobada por el Consejo de Ministros en su reunión del día 9 de diciembre de 1994.
- Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones, aprobado por el Consejo de Ministros en su reunión del día 29 de julio de 2011.
- Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil.
- Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas de Andalucía
- Acuerdo de 13 de julio de 2004, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Plan de Emergencia ante el riesgo de inundaciones en Andalucía.

2 ÁMBITO DE APLICACIÓN TERRITORIAL

El ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Tinto Odiel y Piedras queda definido en el Decreto 357/2009, de 20 de octubre de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas de las cuencas intracomunitarias situadas en Andalucía. Según lo dispuesto en el artículo 3 del Decreto 357/2009, la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras:

“Comprende el territorio de las cuencas hidrográficas de los ríos Tinto, Odiel y Piedras y las intercuenas con vertido directo al Atlántico desde los límites de los términos municipales de Palos de la Frontera y Lucena del Puerto (Torre del Loro) hasta los límites de los términos municipales de Isla Cristina y Lepe, así como, las aguas de transición a ellas asociadas.

Las aguas costeras comprendidas en esta demarcación hidrográfica tienen como límite oeste la línea con orientación 177º que pasa por el límite costero entre los términos municipales de Isla Cristina y Lepe, y como límite este la línea con orientación 213º que pasa por la Torre del Loro”.

Incluye, por tanto, las cuencas internas de Andalucía de los ríos Piedras, Odiel y Tinto y las intercuenas correspondientes de vertido directo al Atlántico.

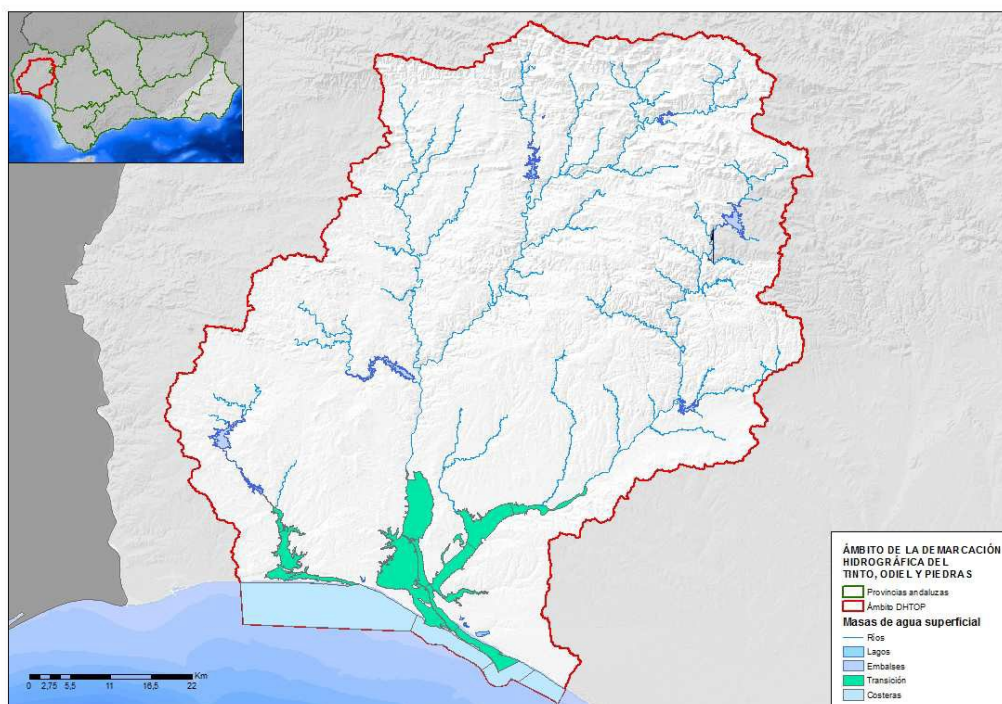


Fig. 1. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

■ Marco territorial y administrativo

El territorio de esta demarcación se extiende sobre una superficie de 4.955 km², de los cuales 4.762 km² pertenecen al ámbito continental y el resto corresponde al área ocupada por aguas de transición y costeras. La mayor parte del territorio de la demarcación corresponde a la provincia de Huelva (98%) y el 2% restante en la provincia de Sevilla, entre los municipios de El Madroño y El Castillo de las Guardas.

En cuanto a la población que reside en esta demarcación, asciende a 379.433 habitantes (año 2016), los cuales se reparten en 62 municipios. La densidad media de población es de 79,56 hab/km². El 99,86% de dicha población pertenece a la provincia onubense y el resto a la de Sevilla.

MARCO ADMINISTRATIVO DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS	
Extensión total de la Demarcación (km ²)	4.955
Extensión de la parte continental (km ²)	4.762
• Población el 1/1/2016 (hab)	379.433
Densidad de población (hab/km ²)	79,56
Provincias en que se reparte el ámbito	<i>Huelva (98,0 % del territorio y el 99,86% de la población)</i> <i>Sevilla (2,0 % del territorio y 0,13% de la población)</i>
Núcleos de población mayores de 100.000 hab	<i>Huelva (145.115 hab)</i>
Nº Municipios	62 (42 íntegramente dentro de la demarcación)

■ Marco físico

La Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras está formada por una prolongación de lomas, orientadas según el eje Norte-Sur, desde la Sierra de Aracena hasta la Sierra del Madroño. La zona central la constituye la Sierra de Aracena, de cotas próximas a los 900 m.s.n.m., mientras que el sector meridional está constituido por una llanura que desciende desde los 300 m.s.n.m. en la Sierra El Granado, hasta el borde marino en el golfo de Cádiz.

El río Piedras nace en el término de Villanueva de los Castillejos, en las estribaciones de la Sierra del Almendro y desemboca en el océano Atlántico por la barra del Rompido. El río Odiel nace en la Sierra de Aracena y recoge por su margen derecha diversas aportaciones, entre ellas el río Oraque, desembocando en el océano Atlántico a la altura de Huelva capital, donde forma una marisma muy extensa. El río Tinto, originario como el Odiel de la Sierra de Aracena, discurre casi en dirección Norte-Sur desde Nerva hasta cerca de la Palma del Condado, donde cambia de rumbo hasta su desembocadura en Huelva siguiendo en prolongación la falla del Guadalquivir.



Fig. 2. Mapa físico de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

▪ Rasgos geológicos

La mayor parte de las cuencas de drenaje de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras se ubican en la zona Surportuguesa, que compone el área más meridional de las seis zonas que forma el Macizo Varisco Ibérico. El río Odiel, que rebasa la cuenca de norte a sur, su parte septentrional pertenece a la Zona de Ossa Morena, mientras que a su desembocadura llega drenando materiales de la Depresión del Guadalquivir.

La zona de Ossa Morena se sitúa al norte de la cuenca y se integra mínimamente en la Demarcación. Presenta una gran diversidad de materiales y complejidad estructural. Los materiales situados en ella se encuentran entre las edades del Precámbrico y el Carbonífero. Entre la densa red de fracturas y zonas de cizalla se halla la más importante zona tectónica de Ossa Morena, el Cinturón Metamórfico de Arcena.

La zona Surportuguesa es la región que mayormente se asienta en la Demarcación. Está constituida por rocas de edades comprendidas entre el Devónico medio y el Pérmico. Limita al norte con la zona de Ossa Morena y al Sur con la Depresión del Guadalquivir. Los dominios más importantes son el Pulo do Lobo y la Faja Pirítica Ibérica.

Por la Depresión del Guadalquivir discurren los tramos bajos de los ríos Tinto, Odiel y Piedras. Esta cuenca del Guadalquivir trata de una depresión alargada en dirección ENE-OSO, rellena mayoritariamente por materiales sedimentarios marinos. Las cuatro unidades litoestratigráficas que conforman de muro a techo la depresión alcanzan un espesor

conjunto de 400 metros y se encuentran recubiertas por materiales conglomeráticos arenosos, conocidos como Alto Nivel Aluvial.

La caracterización de las clases de acuíferos presentes en la Cuenca del Tinto, Odiel y Piedras en función de la tipología de su formación es la siguiente:

- En las formaciones carbonatadas, presentes en el área Subbética, los materiales constituyentes de los acuíferos son, frecuentemente, calizas, dolomías, mármoles y algunas margas calcáreas, y su permeabilidad está en relación directa con las redes de fracturas que, a lo largo del tiempo, van ampliándose por disolución, siguiendo un proceso que se conoce como karstificación. En estas formaciones el agua puede alcanzar velocidades importantes, muy superiores a las que tienen lugar en los materiales granulares y, por tanto, son muy vulnerables a la contaminación.
- Los acuíferos detríticos están formados por materiales granulares, conglomerados, arenas, limos y arcillas, alternando horizontes impermeables o semiimpermeables, con otros permeables, dando lugar a acuíferos denominados multicapa que pueden contener aguas de diferentes calidades. Su capacidad de contener y transmitir agua es función del porcentaje de huecos disponibles entre sus partículas. Normalmente, la velocidad de circulación del agua es muy pequeña, inferior a la que tiene en los acuíferos carbonatados.
- Los acuíferos aluviales son, realmente, acuíferos detríticos, de los que se destacan por razones puramente expositivas. Es de destacar la gran conexión hidráulica que suele existir entre el río y su aluvial, de manera que, dependiendo de las condiciones del nivel del río frente al piezométrico del acuífero, puede aquél alimentar a éste (río influente) o viceversa (río efluente).

▪ Hidrografía

La red de drenaje localizada en el territorio de la demarcación está formada por los ríos Tinto, Odiel y Piedras y sus principales afluentes. Los ríos Tinto, Odiel y Piedras nacen en la Sierras de Huelva y sus estribaciones (Sierra Morena Occidental). Atraviesan la provincia de norte a sur para desembocar en el Atlántico formando con frecuencia en su desembocadura estuarios o marismas, debido a la escasa pendiente de los tramos bajos de estos ríos sobre el nivel del mar.

- El río Tinto nace en la Sierra de Padre Caro, junto a Minas de Riotinto y desemboca en la ría de Huelva, donde confluye con el río Odiel. Las características geológicas de su cuenca hacen que sus aguas presenten altas concentraciones en metales, lo que les confiere un pH muy ácido con valores medios de 2,2. Entre sus principales afluentes por la margen izquierda están el Jarrama que discurre por la Cuenca Minera y el Corumbel, regulados por sendos embalses. Por su margen derecha llega el Arroyo Candón, regulado por el embalse de Beas que abastece a la ciudad de Huelva.

- El río Odiel nace en la Sierra de Aracena y recibe por su margen derecha las aportaciones de la Rivera de Santa Eulalia, Rivera de Olivargas, río Oraque y de la Rivera de Meca, y las del arroyo Agrio y de la Rivera del Villar por la izquierda. En su desembocadura forma el Paraje Natural de las Marismas del Odiel, que incluye las reservas del Burro y de la Isla de Enmedio.

- El río Piedras se encuentra regulado por los embalses de Piedras y Los Machos y recibe aportaciones desde la cuenca del Chanza reguladas por los embalses del Chanza y Andévalo. Desemboca en el entorno de las poblaciones de Lepe y Cartaya, en el Portil, en trayecto paralelo a la costa debido a la formación en este punto de un cordón litoral de Arena que crece con dirección sureste gracias a la deposición de sedimentos de las mareas, las corrientes marinas y los vientos constantes que proceden del oeste. Este enclave se encuentra protegido por la legislación autonómica bajo la denominación de Paraje Natural de Marismas del río Piedras y Flecha del Rompido.

Tras la aprobación de los planes de gestión del riesgo de inundación del primer ciclo se ha publicado una clasificación hidrográfica de los ríos de España (Centro de Estudios Hidrográficos, 2016b) que utiliza el sistema Pfafstetter (Pfafstetter, 1989; Verdin y Verdin, 1999). Este sistema, que codifica ríos y cuencas, ha sido adoptado por numerosos países y, además, es el propuesto por la Comisión Europea (Comisión Europea, 2003e).

La voluminosa información generada con el citado trabajo está accesible al público en: <https://sig.mapama.gob.es/Docs/PDFServiciosProd2/RiosPfafs.pdf> . Entre los contenidos generados se encuentra, además de la red fluvial clasificada y de tablas con las características principales de los cauces, mapas en celdas de 25x25 metros de direcciones de drenaje y de acumulación del flujo.

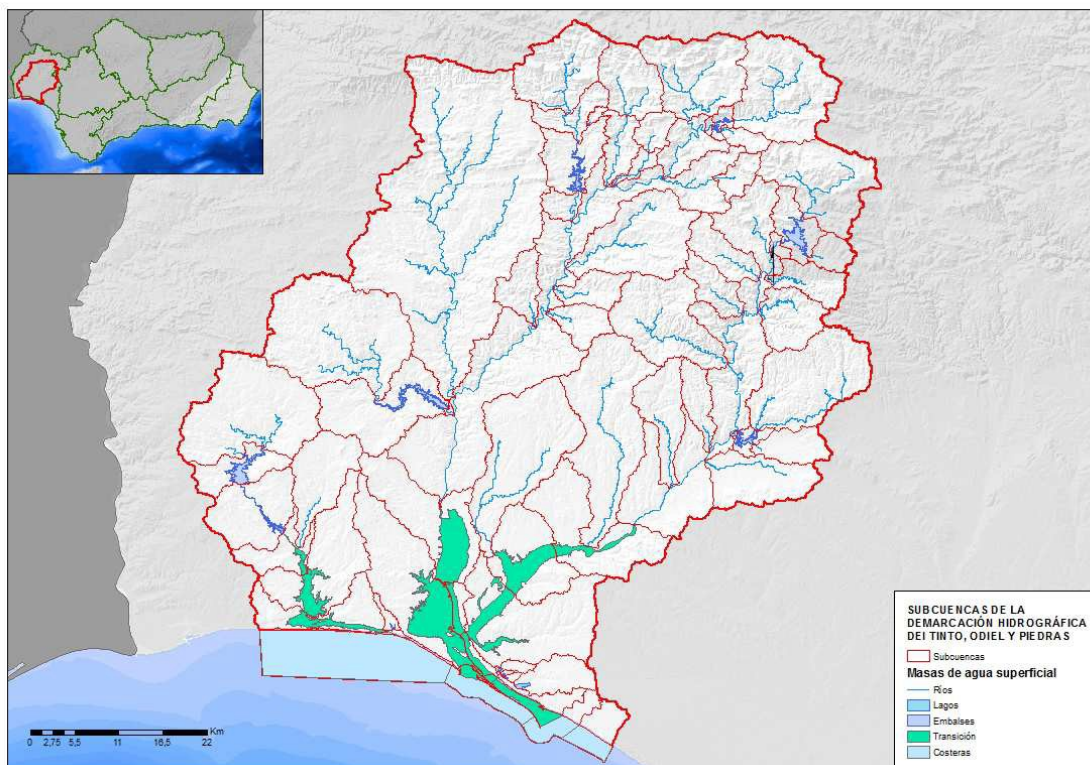


Fig. 3. Subcuencas de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

▪ Marco biótico

Zona continental

Los ecosistemas de España se encuadran biogeográficamente en tres regiones: Eurosiberiana, Mediterránea y Macaronésica, dentro de las cuales se definen hasta catorce pisos bioclimáticos y catorce provincias de botánicos. La Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras está enteramente comprendida en la región mediterránea. En el inventario de las distintas especies animales y vegetales asociadas a dichos ecosistemas destacan las especies asociadas a suelos ácidos con una cantidad anormal de minerales cobrizos en su composición y por tanto presente en el espacio del Paisaje Protegido del Río Tinto. También se pueden encontrar en este Espacio Protegido distintas especies de murciélagos que habitan las cavidades y canales de los enclaves mineros presentes como el murciélago de herradura mediano (*Rhinolophus mehelyi*). Dentro de las especies de ictiofauna nativa existentes en la Demarcación se hallan, el barbo (*Barbo sclateri*), la boga (*Pseudochondostroma willcommii*), el calandino (*Squalius alburnoides*), la pardila (*Chosdrostoma lemmingii*) y el cacho (*Leuciscus pyrenaicos*).

Las zonas húmedas juegan un papel importantísimo como corredores, refugio y albergue de toda la diversidad biótica continental existente en el ámbito territorial y en especial como lugares de invernada, reproducción y descanso migratorio de muchas aves acuáticas.

Zona litoral

Las marismas se encuentran influenciadas por la marea que circula por la red dendrítica de drenaje y que condiciona la distribución espacial (zonación) y temporal (sucesión) de los organismos. Estos espacios están caracterizados por una elevada producción de nutrientes que constituyen la base alimenticia de los organismos vivos del medio marino.

La marisma baja se inunda periódicamente y las especies vegetales que se encuentran en esta zona son macrófitos colonizadores de sustratos inestables, dominando el género *Spartina*, perteneciente a la familia de las gramíneas.

La marisma media se inunda con una menor regularidad que la marisma baja y las especies dominantes en esta zona son *Sarcocornia perennis* y *Halimione portulacoides*, si bien pueden aparecer especies de marisma baja y de marisma alta.

La marisma alta sólo se inunda durante las mareas de mayor coeficiente (mareas vivas equinocciales), constituyendo una zona más estable. Aquí se asientan las especies *Arthrocnemum Macrostachyum*, *Inula crithmoides* y *Artemisia terulescens*. También aparece *Limoniastrum monopetalum* en las marismas del río Piedras.

Las marismas presentan además una gran riqueza ornitológica, constituyendo zonas de paso, cría e invernada para miles de aves europeas y africanas.

En las marismas del Tinto y Odiel cabe citar la presencia de la espátula (*Platalea leucorodia*), concretamente en Isla de Enmedio, donde nidifica; también destacan ardeidas, láridos y limícolas que utilizan este espacio como zona de refugio y alimentación durante la época invernal como la Garza Real (*Ardea cinerea*) que anida directamente sobre la vegetación del suelo, Chorlitejo patinegro (*Charadrius alexandrinus*) y Ánade Real (*Anas*

platyrhynchus), entre otros. También son especialmente importantes las poblaciones de flamencos (*Phoenicopterus*) y la población invernante de Águila pescadora (*Pandion haliaetus*).

Las marismas del Piedras son lugar de invernada y paso para la espátula común, además de una importante zona para la reproducción, invernada y paso de muchas aves limícolas y otras especies de zonas húmedas. Cabe citar a especies sedentarias como la Cigüeña Blanca (*Ciconia ciconia*) y el Chorlitejo Patinegro (*Charadrius alexandrinus*), especies migradoras que utilizan este espacio para su reproducción como Aguilucho Lagunero (*Circus aeruginosus*), la Cigüeñuela Común (*Himantopus himantopus*) y otras invernantes como la Garceta Común (*Egretta garzetta*) y el Águila Pescadora (*Pandion haliaetus*), entre otras.

Debido a sus valores naturales, la mayor parte de estos espacios se encuentran protegidos bajo algún tipo de figura de protección dentro de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA). Así, las marismas del río Piedras y la Flecha del Rompido y las marismas del Odiel se encuentran catalogadas como Paraje Natural; sobre estos espacios existen además, otras figuras de protección como zona ZEPA en el caso de las marismas del río Piedras y humedal RAMSAR, además de zona ZEPA, en las marismas del Odiel.

Las aguas situadas sobre la plataforma continental, entre la costa y el talud, constituyen la llamada zona nerítica. El movimiento de estas aguas tiene una influencia importante en la dinámica costera, en la morfología de los fondos litorales y en las posibilidades de desarrollo de la vida en esta zona marina. Las diferencias de sustrato, la distinta importancia relativa de los aportes fluviales y la dinámica litoral condicionan las características biológicas y los recursos de los diferentes sectores.

▪ Paisaje y ocupación del suelo

En la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras se pueden diferenciar claramente las siguientes unidades principales de paisaje:

Unidades de paisaje
Sierra de Aracena Oriental
Sierra de Aracena Occidental
Sierra de Nerva
Valle de la Rivera de Huelva
Laderas del Guadiamar en Sierra Morena
Alto Andévalo Occidental
Alto Andévalo Oriental
Bajo Andévalo en Valverde del Camino
Bajo Andévalo Centro-Occidental
El Andévalo en La Puebla de Guzmán
Campaña de Gerena-Trigueros
Campiñas del Condado
Llanos de Cartaya
Llanos Almonteños
Marismas del río Piedras
Marismas del Tinto y del Odiel
Costas dunares de Doñana

Unidades de paisaje en la demarcación hidrográfica

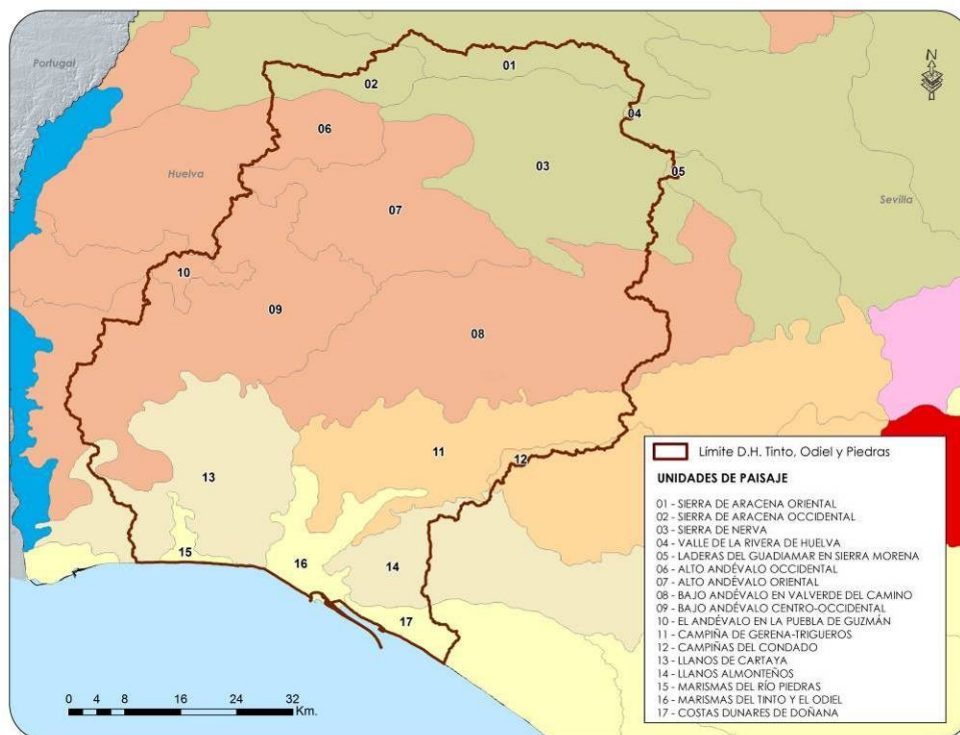


Fig. 4. Categorías y áreas paisajísticas de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

La información sobre ocupación del suelo está disponible a escala 1:25.000 para todo el territorio nacional a través del SIOSE (<http://www.siose.es/>). La información más reciente disponible (publicada en 2016) se refiere a datos de campo tomados en el año 2014.

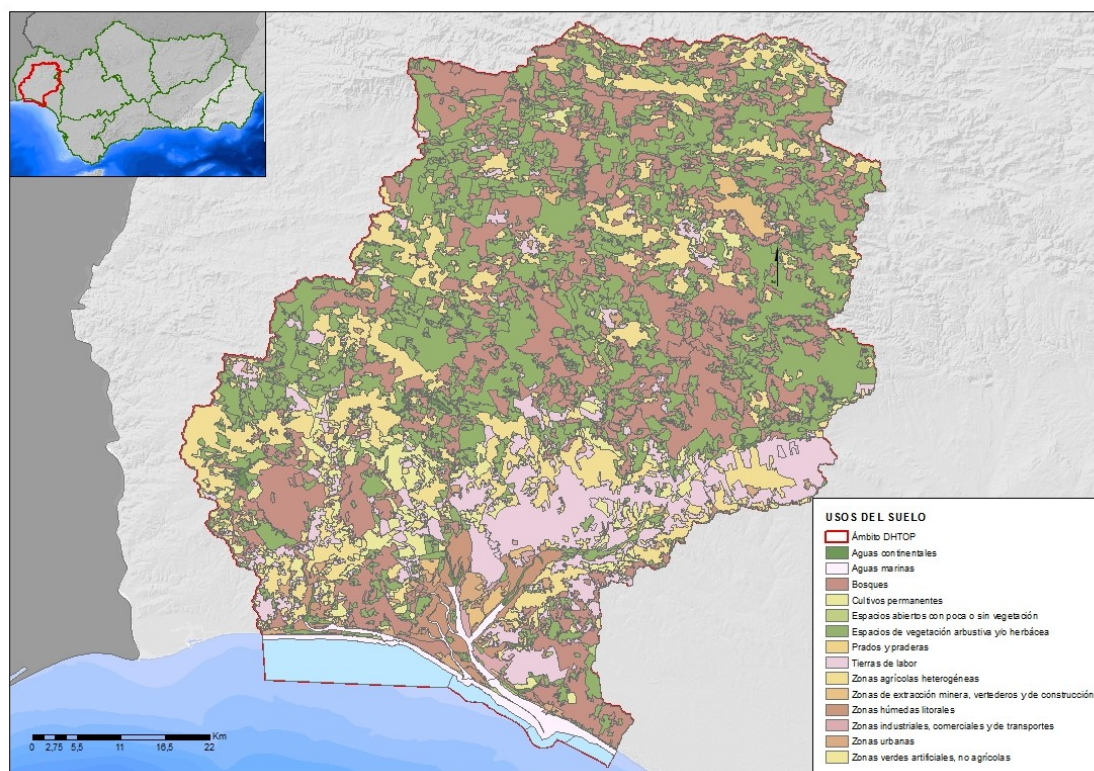


Fig. 5. Distribución de los usos del suelo en la demarcación

▪ Patrimonio hidráulico

La Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras cuenta con una serie de infraestructuras hidráulicas que conforman su patrimonio hidráulico, las cuales son titularidad de la Junta de Andalucía y están gestionadas desde la Dirección General de Infraestructuras y Explotación del Agua. Dichas infraestructuras quedaron recogidas en el Real Decreto 1560/2005, de 23 de diciembre, sobre traspaso de funciones y servicios del Estado a la Comunidad Autónoma de Andalucía en materia de recursos y aprovechamientos hidráulicos correspondientes a las cuencas andaluzas vertientes al litoral atlántico (*Confederaciones Hidrográficas del Guadalquivir y del Guadiana*).

A continuación, se recoge una tabla resumen del número de infraestructuras hidráulicas existentes en la demarcación:

Tipo de infraestructura		Nº Elementos
Estaciones de tratamiento	EDARs	48
	ERADs	0
	ETAPs	19
Depósitos		38
Obras de regulación	Azudes	91
	Presas	52
	Volumen de embalse	232 Hm ³
Desaladoras		0
Puertos		2

Inventario de Infraestructuras hidráulicas de la demarcación

En total son 8 los embalses más importantes de la demarcación que se han incluido como masas de agua superficial clasificadas como muy modificadas (embalse), debido a sus características. A continuación, se presenta un listado con las características más relevantes de los cuatro principales embalses.

Nombre	Masa de agua	Capacidad (Hm ³)	Superficie (km ²)	Uso	Año	Altura sobre cimientos (m)	Tipología
Piedras	ES064MSPF000 206720	59,5	5,07	A,R	1968	40,0	Materiales sueltos con pantalla de hormigón
Los Machos	ES064MSPF000 206680	12,0	1,36	A,R	1987	30,5	Materiales sueltos con pantalla de hormigón
Corumbel Bajo	ES064MSPF000 206670	18,0	1,63	A,R	1987	31,5	Materiales sueltos con pantalla de hormigón
Jarrama	ES064MSPF000 206710	42,6	4,34	I	1999	41,0	Materiales sueltos con núcleo de arcilla

Relación de los principales embalses presentes en la demarcación. A: Abastecimiento., R: Riego, I: Energía.

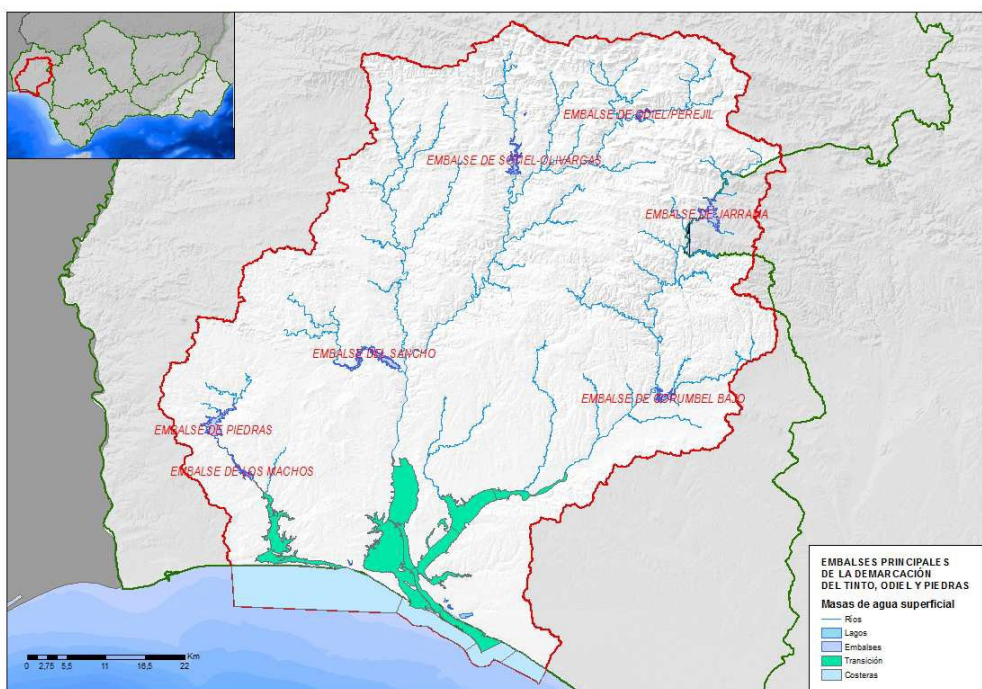


Fig. 6. Distribución de los principales embalses en la demarcación

En la cuenca existen varias conducciones de interés que vertebran los distintos sistemas de distribución con el fin de satisfacer las demandas de la demarcación. En el siguiente cuadro se recogen algunas de las más importantes.

Origen	Destino	Longitud (km)	Diámetro (mm)
DEP. C.H.G. EN HUELVA	DEP. DE VALDEMARIA	11,33	1000
INTERSECCION URB. ROSALES	INTERSECCION CABEZO DEL ARAGONES	14,43	1600
EMBALSE CORUMBEL	ETAP DEL CONDADO	8	700

Principales conducciones de la Demarcación

Existen además otras muchas infraestructuras relevantes como son: grandes depósitos y bombeos, instalaciones de potabilización (ETAP), de depuración (EDAR), de regeneración de aguas residuales (ERAD). A continuación, se recoge una tabla con estas infraestructuras.

Infraestructuras	
Trasvase Chanza-Piedras	Túnel de San Silvestre
	Canal del enlace dirigido al embalse del Piedras
Anillo Hídrico de Huelva	Canal del Piedras
	Sifón del Odiel
	Puente sifón de Santa Eulalia
	Sifón de vaciadero y salinas
	Galería forzada
	Depósitos de Huelva

Infraestructuras	
	Ramal principal
	Ramal del Tinto
	Ramal de Punta del Sebo
	Puente del Tinto
	Ramal de Torrearenillas
	Ramal de la Calle A
	Cierre del anillo hídrico
	Bombeo del Nuevo Puerto
	Bombeo antiguo del Tinto
	Depósitos Cruz del Término
	Bombeo nuevo del Tinto

Otras infraestructuras relevantes en la demarcación.

▪ Estadística climatológica e hidrológica

De los grandes tipos climáticos identificables en el territorio andaluz, en la Demarcación se pueden encontrar los siguientes:

- Clima mediterráneo oceánico: localizado en el litoral desde la desembocadura del Guadiana hasta el límite con la demarcación del Guadalquivir. El Océano Atlántico suaviza las temperaturas durante el curso del año, creando noches menos frías y días más templados con gran humedad en el ambiente.
- Clima mediterráneo subcontinental de inviernos fríos: que abarca la zona de la Sierra de Huelva, y que se caracteriza por un clima extremado, con veranos cálidos e inviernos muy fríos con un alto número de heladas, impuesto por los relieves circundantes y la altitud.
- Clima mediterráneo subcontinental de veranos cálidos que se extiende básicamente por la vega de Huelva entre el litoral y la sierra y cuyas características más importantes son temperaturas medias anuales elevadas con inviernos frescos, y veranos muy cálidos. Las precipitaciones oscilan entre los 500 y 700 litros anuales con máximos en primavera y otoño.

Sobre este territorio se desarrolla un clima que se puede clasificar como mediterráneo subhúmedo de tendencia atlántica. En el régimen pluviométrico de la zona, desempeña un papel decisivo la formación de gotas frías al SO de la península o sobre el área del Estrecho de Gibraltar.

A continuación, se recogen los valores estadísticos de precipitaciones por zona o subzona para el periodo 1940/41-2011/12.

Zona	Media aritmética	Máximo	Mínimo	Desv. Típica	Coef. Variación	Coef. sesgo
Sierra de Huelva	807	1351	372	227	0,281	0,226
Cuenca Minera	715	1231	343	202	0,283	0,110
Condado de Huelva	632	1072	296	194	0,308	0,278
Costa de Huelva-Andévalo	567	930	271	159	0,287	0,133
Total	638	1018	315	179	0,282	0,110

Datos estadísticos básicos de las series anuales de precipitación (mm/año). Serie completa 1940/41-2011/12.

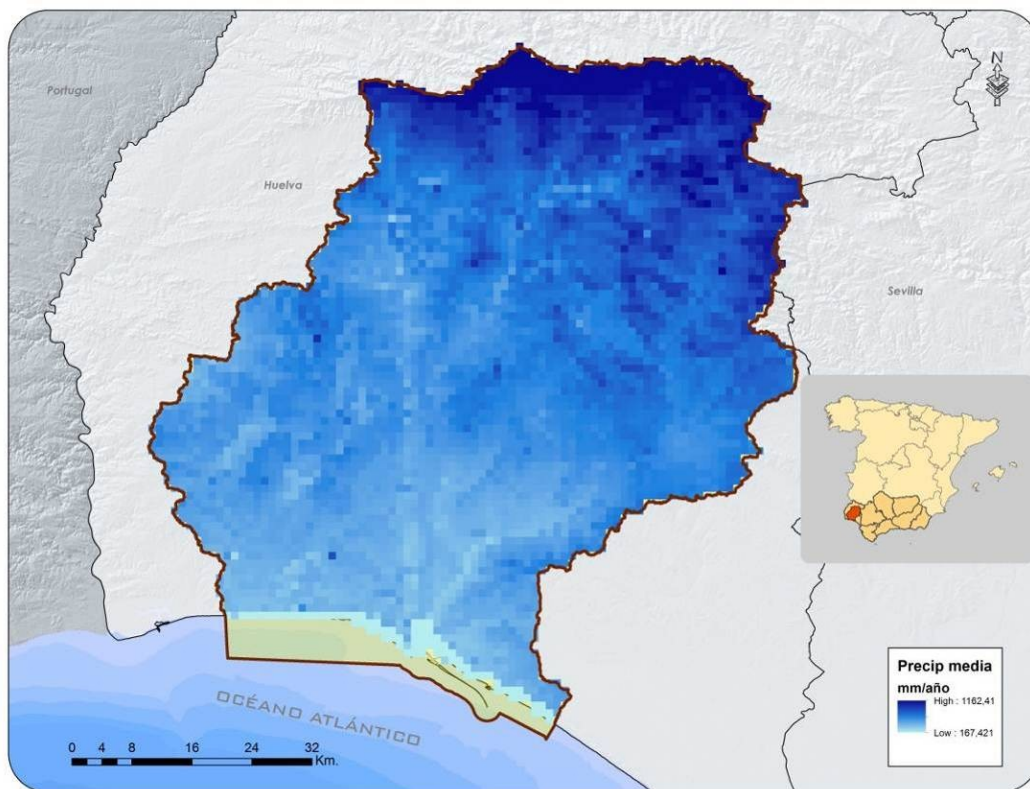


Fig. 7. Distribución espacial de la precipitación total anual (mm/año) en la demarcación hidrográfica. (Período 1940/41-2011/12)

La distribución espacial de las precipitaciones pone de manifiesto que el valor de la precipitación media varía uniformemente en el sentido SO-NE, desde los 400 mm que se registran entre el embalse del Chanza y la desembocadura en Ayamonte, hasta los 1.200 mm correspondientes a las estribaciones de la Sierra de Aracena. La precipitación media de este sector se sitúa en torno a los 700 mm/año. En cuanto a la distribución mensual de las precipitaciones, durante el período estival, la carencia de lluvias es casi total,

concentrándose las mismas en el período octubre-abril, con máximos en los meses de enero y febrero.

La precipitación total anual en la demarcación se encuentra en torno a los 636 mm, o lo que es lo mismo, 3.007 hm³/año, como media de los valores de la serie registrada en la red de pluviómetros existentes con datos desde el año 1940, oscilando entre valores máximos de 1.017 mm (año hidrológico 1962/1963) en los años más húmedos y mínimos de 315 mm (año hidrológico 2004/2005) en los años más secos (según datos del modelo SIMPA).

3 METODOLOGÍA DE LOS MAPAS DE PELIGROSIDAD Y RIESGO

Tal y como se ha indicado anteriormente el ámbito espacial del presente documento se enmarca al área comprendida dentro del ámbito territorial de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, estando recogido su ámbito geográfico en el Decreto 357/2009, de 20 de octubre, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas situadas en Andalucía, y más concretamente el ámbito de las ARPSIs declaradas en esta demarcación.

Para la elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo de Inundación se han utilizado criterios basados en la información geomorfológica e histórica, así como técnicas avanzadas en cartografía y modelización hidráulica unidimensional y bidimensional. Para ello se ha seguido el procedimiento indicado en la *Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*, así como en el documento *Propuesta de mínimos para la realización de los Mapas de Riesgo de Inundación* editados ambos por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD).

La elaboración de los Mapas de Peligrosidad y de Riesgo de Inundación se ha llevado a cabo clasificando las ARPSIs identificadas en la fase de Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación en dos grupos con el fin de aprovechar de la forma más eficiente posible los recursos disponibles, dependiendo de la información existente:

- En el primer grupo se incluyen las ARPSIs para las que se disponía de estudios hidrológicos e hidráulicos realizados en desarrollo del Programa de Actuación del Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en cauces urbanos de Andalucía, cuyos resultados siguen siendo válidos para la evaluación del riesgo de inundación de dichas áreas.
- En el segundo grupo se incluyen aquellos ámbitos de ARPSIs para los que se han realizado nuevos estudios hidrológico-hidráulicos, ya que los realizados previamente no disponían de información para los escenarios de probabilidad alta y media que define el artículo 8 artículo 8 del Real Decreto 903/2010, llevando a cabo su modelización hidráulica sobre un MDT actualizado para ajustar los resultados a los cambios recientes en los usos del suelo y el grado de vulnerabilidad de dichas áreas. Dentro de esta situación se encuentran 4 ARPSIs pertenecientes a la cuenca del río Piedras: río Piedras, aguas abajo de la Presa del Piedras hasta desembocadura; arroyo Valsequillo; arroyo Regajo 5 y Barranco La Vera y la ARPSI de la cuenca del río Odiel desde Gibraleón hasta la desembocadura. Los resultados y datos de caudales obtenidos por los nuevos estudios han sido contrastados con los resultados de otros estudios, como el Estudio hidrológico e hidráulico del Canal de la Vera y sus afluentes en el entorno del núcleo urbano de la Antilla realizado por encargo del Ayuntamiento de Lepe (enero 2021), comprobándose que los caudales resultados son muy similares aunque ligeramente superiores en este último.

3.1. RECOPIACIÓN DE ESTUDIOS DE INUNDACIÓN EXISTENTES

Como se ha comentado previamente dentro de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, antes del comienzo de los trabajos de confección de los Mapas de Riesgo y Peligrosidad de este 2º Ciclo de aplicación de la Directiva Europea de Inundaciones, se disponía de estudios relativos a las áreas inundables de diversas subcuencas que habían sido realizados por la Administración Hidráulica Andaluza, desarrollados dentro del marco del Programa de Actuación del Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en Cauces Urbanos Andaluces.

Dichos ámbitos y la denominación de los estudios existentes se muestran a continuación:

ZONA	ESTUDIO
COSTA OESTE DE CÁDIZ Y ESTE DE HUELVA	-ESTUDIO HIDRÁULICO PARA LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y LA ORDENACIÓN DE LAS CUENCAS DE LAS COSTAS OESTE DE CÁDIZ Y ESTE DE HUELVA
LITORAL OCCIDENTAL DE HUELVA	ESTUDIO HIDRÁULICO PARA LA ORDENACIÓN DE LAS CUENCAS DEL LITORAL OCCIDENTAL DE HUELVA.

El objetivo de dichos estudios fue obtener el comportamiento hidráulico de los principales cauces que discurren por su ámbito territorial mediante:

- La delimitación de las zonas inundables para distintos periodos de retorno.
- La identificación de los niveles de riesgo inundación para dichos períodos de retorno.
- La identificación de los núcleos urbanos afectados por riesgo de inundación y su clasificación en niveles de riesgo.
- El inventario de infraestructuras y edificaciones en zonas inundables rurales.
- La propuesta de aptitud de los terrenos inundables para los distintos usos.
- En algunos de los estudios la definición de la Zona de Flujo Preferente.
- El estudio de las actuaciones y medidas de carácter preventivo para minimizar la problemática de las inundaciones.

Para la obtención de la cartografía de estos trabajos se emplearon, entre otros, modelos realizados a partir del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), así como estudios con tecnología Lidar, realizados ad hoc. Dadas las elevadas dimensiones de las distintas áreas, se desarrollaron dentro de los distintos estudios trabajos de elección previa de los tramos de mayor interés desde el punto de vista de la prevención de inundaciones.

Posteriormente, mediante trabajo de gabinete, se llevaron a cabo para las distintas zonas modelos digitales de elementos sobre el terreno, fruto de restar del modelo de superficie el modelo digital de terreno (MDS–MDT). Para la obtención de los caudales necesarios y el análisis de las zonas inundables se realizaron en primer lugar los correspondientes estudios de la pluviometría, que unidos a los modelos digitales de terreno permitieron realizar los cálculos hidrológicos. A partir de los caudales obtenidos se llevaron a cabo los distintos estudios hidráulicos concluyendo con la identificación de las distintas zonas inundables.

3.2. ELABORACIÓN DE NUEVOS ESTUDIOS

En las Áreas de Riego Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) antes mencionadas en las que la información de los estudios realizados previamente era insuficiente, ya que solo permitían delimitar las áreas inundables de probabilidad baja, se han realizado nuevos estudios siguiendo los criterios de la *Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*, así como en el documento *Propuesta de mínimos para la realización de los Mapas de Riesgo de Inundación* editados ambos por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.

A continuación se describe el procedimiento y las fases de elaboración de estos estudios.

- **Recopilación de la información necesaria**

En esta fase de los trabajos se ha recopilado y analizado la información disponible relativa a cartografía, red hidrográfica, morfología, usos del suelo, información catastral, identificación de las infraestructuras hidráulicas existentes, recopilación de estudios sobre inundaciones e influencia del cambio climático sobre la problemática de las inundaciones. Además se ha añadido una nueva componente generada a partir de la información catastral que ha permitido concretar las afecciones y las valoraciones económicas de los daños generados por las inundaciones.

- **Análisis de la información preliminar**

En esta fase se ha obtenido la información necesaria para actualizar los estudios disponibles y elaborar los nuevos, que han sido empleados en la confección de los mapas para el presente ciclo de planificación (2021-2027). La recopilación de esta información se ha centrado en aquella documentación relevante para la finalidad y alcance de los trabajos.

En los ámbitos ya estudiados previamente se ha realizado una revisión de la información disponible y se ha completado con los estudios de campo, y además, en los casos necesarios se ha realizado dicho el estudio hidrológico e hidráulico al completo. A estos efectos se ha contactado con los organismos públicos implicados, completando la

información disponible de la Administración Hidráulica con los trabajos de campo y de gabinete.

Con la información recopilada se ha realizado un análisis histórico y geomorfológico de los tramos de estudio, análisis de las zonas inundables y sus antecedentes, proyectos e informes sobre obras de defensa contra inundaciones o con incidencia en la inundabilidad del área ejecutada.

Entre la documentación analizada destacan:

- Planes Generales de Ordenación y otros Instrumentos de planificación urbanística, aprobados.
- Planes sectoriales: Planes de Ordenación de los Recursos Naturales, Planes Rectores de Uso y Gestión, y los Planes de Protección del Medio Físico; Plan especial de Sequía; Plan de prevención de Avenidas e Inundaciones.
- Planificación Hidrológica y en materia de prevención del riesgo de inundación, así como cualquier información hidrológica e hidráulica de interés para el cumplimiento de los objetivos.
- Los Programas de Actuación ejecutados o previstos en la materia de los organismos presentes en el territorio afectado, de ámbito local, estatal o autonómico y sus entes asociados.
- Información de carácter ambiental, morfológica, antrópicas, cartográfica, orto-fotográfica, fotográfica y otras relacionadas con las inundaciones y los cauces de la zona.
- Estudios sobre inundaciones precedentes, para lo que se ha elaborado un inventario y base de datos de éstas, recopilando tanto la información gráfica como la audiovisual, señalando el punto de ocurrencia.
- Estudio de impacto-presiones antrópicas a las que está sometida las cuencas objeto de estudio y sus redes hidrográficas, basado fundamentalmente en la información cartográfica y orto-fotografías del ámbito de estudio. Este estudio ha sido completado con los datos de campo, en cuyo recorrido se ha realizado un inventario del Patrimonio hidráulico existente y se han localizado y definido los puntos de vertidos y captación de aguas. Se han caracterizado las diferentes tipologías de presiones para su identificación, cartografiado y estudio, definiendo los impactos y proponiendo medidas para reducir o suprimir los mismos.

Estos datos han sido contrastados con la información sobre concesiones y licencias en la zona, así con la información catastral. Con toda la información revisada y elaborada se ha creado una base de datos que ha sido implementada en un Proyecto SIG con las capas de información georreferenciadas para su análisis y gestión.

- **Determinación y análisis de las áreas de estudio.**

Los estudios disponibles en la Administración Hidráulica Andaluza han servido de base de partida para los trabajos realizados en el presente documento, habiéndose recopilado

aquella información disponible para distintas subcuencas o ámbitos fluviales de la demarcación.

Para la completa definición de los ámbitos objeto de estudio se han tenido en cuenta las actuaciones que han podido afectar a las condiciones hidráulicas de la red hidrográfica de la zona, bien directamente por haberse ejecutado en puntos colindantes a los cauces o en sus llanuras de inundación, o bien indirectamente por modificar las condiciones de generación y escorrentía de los caudales originados en la cuenca. También se han inventariado las infraestructuras de defensa y obras de fábrica con posible incidencia en las inundaciones, elaborándose una capa georreferenciada para SIG.

Una vez identificados todos los elementos de interés por su posible incidencia en las condiciones hidráulicas de la zona, en determinados casos se ha procedido a efectuar una inspección in situ mediante la toma de datos en campo de las obras de fábrica, infraestructuras de defensa y cualesquiera otros elementos presentes en el ámbito de estudio con posible incidencia en la evacuación de las avenidas.

- **Elaboración de Cartografía**

Para la realización de los estudios hidráulicos es necesario disponer de una cartografía de precisión que represente fielmente la realidad del terreno en el tramo de estudio. Para la elaboración de los mapas se ha realizado una edición y actualización de la cartografía mediante los datos facilitados por la REDIAM del vuelo LiDAR realizado por la Junta de Andalucía en julio de 2020.

- **Vuelo LiDAR fotogramétrico**

Los vuelos han proporcionado el recubrimiento fotogramétrico vertical de las zonas a levantar que han permitido obtener como producto final ortofotografías digitales con una resolución equivalente a escala 1:1.000 y la toma de datos, mediante tecnología LiDAR aerotransportado, para la elaboración de los MDT, MDS, MDE y MDI con un paso de malla de 1 m.

- **Ajuste de datos LiDAR**

Para obtener de manera precisa las coordenadas de los puntos generados se han hecho los ajustes de los datos obtenidos de los vuelos LiDAR, de modo que la cartografía y los modelos del terreno que se obtuviesen en las fases posteriores cumpliesen con los requisitos y condiciones exigibles para este tipo de estudios.

- **Generación de orto-fotos y generación de MDT's**

A partir de las imágenes del vuelo y los resultados del apoyo, se han generado las orto-fotos de cada uno de los ámbitos a estudiar. Con todos los datos obtenidos se han generado Modelos Digitales del Terreno (MDT), Modelos de Elevaciones del Terreno (MDE), Modelo de Superficies (MDS) y Modelo de Intensidades (MI).

3.3. REVISIÓN Y ELABORACIÓN DE LOS CÁLCULOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LOS ÁMBITOS PROPUESTOS

A partir de toda la documentación recopilada y la cartografía elaborada, en los ámbitos geográficos donde la Administración Hidráulica había realizado estudios hidrológicos e hidráulicos, se ha llevado a cabo una revisión de los cálculos hidrológicos e hidráulicos. Para la determinación de los escenarios de probabilidad no existentes en dichos estudios se ha procedido a la elaboración de nuevos estudios.

- **Elaboración de estudios hidrológicos**

El objetivo de los estudios hidrológicos es el cálculo de caudales de avenida del cauce de la zona analizada en los puntos de control necesarios para su posterior simulación hidráulica y delimitación de las zonas inundables en los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación.

Para la elaboración de los estudios, se ha seguido la sistemática planteada en la “Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables” del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

En primer lugar, se ha realizado un estudio pluviométrico específico, con el fin de obtener los hietogramas asociados a la duración del aguacero y a los periodos de retorno considerados. Para ello, se ha llevado a cabo un tratamiento y un ajuste estadístico de las series de datos de las estaciones consideradas para hallar los valores de las precipitaciones máximas diarias para cada periodo de retorno en cada una de ellas y en la cuenca drenante. Seguidamente, se ha establecido la distribución temporal de la lluvia mediante la construcción de los hietogramas para la duración del aguacero determinada y los diferentes periodos de retorno considerados.

En segundo lugar, se han efectuado los cálculos hidrológicos. Tras una caracterización previa de la cuenca, y partiendo de los hietogramas del estudio pluviométrico, se han obtenido los caudales de diseño asociados a los periodos de retorno, así como para la máxima crecida ordinaria (MCO). La simulación hidrológica se ha realizado mediante el software HEC-HMS, considerando los modelos de pérdidas de precipitación y transformación lluvia-caudal, aplicados ambos a las subcuencas, y el modelo de propagación de caudales, aplicado a los tramos de tránsito de las avenidas a lo largo de la cuenca.

Los periodos de retorno que se han empleado en los estudios son los correspondientes a T= 10, 100 y 500 años.

Además, se ha estimado el periodo de retorno asociado al caudal de Máxima Crecida Ordinaria (MCO), basándose en las “*Guías metodológicas para la estimación del caudal de la máxima crecida ordinaria*” (CEDEX, 1996). En el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, se define como “caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales instantáneos anuales en su régimen natural, calculada a partir de las series de datos existentes y seleccionando un período que incluirá el máximo número de años posible y será superior a diez años consecutivos”. Dicho caudal se estima a partir de registros

foronómicos del propio cauce, o en su defecto en la misma cuenca, cuando el cauce estudiado carezca de ellos.

De esta forma, tal y como se recoge en los estudios mencionados anteriormente, se puede utilizar la siguiente expresión alternativa, en la que se relaciona el periodo de retorno correspondiente al caudal de la máxima crecida ordinaria (T_{MCO}) con el coeficiente de variación de la serie temporal (C_v):

$$T_{MCO} = 7 * C_v$$

Siendo C_v el coeficiente de variación de la serie temporal de caudales máximos anuales en régimen natural. Este valor se encuentra tabulado en función de regiones con comportamiento estadístico homogéneo respecto a los caudales máximos. A partir de la región de la Figura 8 en la que se enmarcan los cauces estudiados y del valor C_v correspondiente, se obtiene el periodo de retorno asociado a la máxima crecida ordinaria T_{MCO} (años) de cada cauce.

El coeficiente de variación (C_v) de la mayoría de los cursos de agua españoles está comprendido entre 0,3 y 1,4, lo que equivale a periodos de retorno de la MCO de entre 1,5 y 7 años. Los valores bajos corresponden a regímenes de hidrología moderada y los altos a los de hidrología extrema.



Fig. 8. División en regiones con comportamiento estadístico homogéneo respecto a los caudales máximos anuales. (Fuente: Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011 – Figura 44).

- **Estudios pluviométricos**

Con el fin de determinar la distribución temporal de la lluvia necesaria para los posteriores cálculos hidrológicos se han realizado estudios de las series de precipitaciones máximas diarias extraídas de las estaciones del entorno en las distintas áreas de estudio.

- Recopilación de datos

Se han recopilado las series de datos de las estaciones meteorológicas de Andalucía, obtenidas de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM, https://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F04_RECURSOS_NATURALES%2F03_CLIMA%2F01_REDES_DE_OBSERVACION%2F01_ESTACIONES_METEOROLÓGICAS).

Para la elección de las estaciones que resultan de interés para este estudio se ha adoptado el siguiente criterio:

- Estaciones situadas en el interior de un buffer de 20 km de radio entorno al conjunto de ARPSIs más próximas, tomado desde el centroide de cada ARPSI.
- Disponibilidad de series de datos de precipitación máxima diaria mensual de al menos 10 años consecutivos.

- Estaciones activas o cuyo fin del periodo de observación sea con fecha reciente.
- Carencia de un excesivo número de lagunas de datos.

- o Ajuste mediante distribuciones estadísticas

- Análisis de datos dudosos

Se ha llevado a cabo un análisis de la dispersión de datos de cada serie para detectar y corregir el efecto de sesgo introducido por un valor anómalo de la muestra mediante la aplicación a la media y a la desviación típica de los valores de precipitaciones unos umbrales superiores e inferiores en unidades logarítmicas y absolutas (mm), empleando la metodología descrita en el libro "Hidrología Aplicada" de Ven Te Chow, 1994, (pág. 415 y 416).

Una vez realizado el proceso para cada una de las estaciones, en el caso de que destacara algún valor fuera de esos umbrales sería necesario determinar si se trata de un episodio extremo de precipitación o simplemente de un error de lectura de la estación.

- Relleno de lagunas de información

Es frecuente encontrar lagunas de información en las series de datos de las estaciones meteorológicas, por lo que resulta primordial establecer una metodología para su tratamiento:

- Si la laguna de información corresponde a un mes que tradicionalmente no genera valores máximos (julio, agosto, septiembre), se establece un valor de precipitación de 0 mm para subsanar dicha falta de información.
- Si la laguna de información se encuentra en un mes lluvioso, se comparan las estaciones vecinas y se obtienen los datos de relleno por el método del cuadrado de la distancia recíproca.
- Si la serie de datos de una estación tiene un gran número de lagunas de información consecutivas y recurrentes, se desechará dicha serie de precipitaciones para que los datos no se basen en una generalizada estimación.
 - o Ajuste mediante distribuciones estadísticas

Para la obtención de las precipitaciones máximas diarias asociadas a los distintos periodos de retorno, se han ajustado las series de precipitaciones de cada estación mediante las distribuciones maximales de Gumbel, SQRT-ET máx. y Log-Pearson III.

- o Precipitaciones máximas diarias asociadas a las cuencas

Partiendo de los valores de precipitaciones asociados a cada periodo de retorno obtenidos de cada estación, resulta necesario hallar las precipitaciones particularizadas para cada

cuena. Para ello, se emplea el método del cuadrado de la distancia recíproca explicado para el relleno de lagunas de información y tomando como distancia la correspondiente entre cada estación y el centroide de la ARPSI.

- Corrección areal

Este coeficiente se aplica para tener en cuenta la distribución espacial de la tormenta en función de la superficie de drenaje. Se emplea la expresión de corrección areal de la Norma 5.2 IC de Drenaje Superficial:

$$K_A = 1 \quad A < 1 \text{ km}^2$$

$$K_A = 1 - \frac{\log A}{150} \quad 1 \text{ km}^2 \leq A \leq 3000 \text{ km}^2$$

- Precipitación máxima diaria corregida

La precipitación diaria máxima corregida (P_d') para la cuena es la resultante de aplicarle a la precipitación diaria máxima de la cuena los coeficientes de corrección areal (K_A).

Dicha precipitación diaria máxima corregida se calcula mediante la expresión:

$$P_d' = P_d * K_A$$

para cada uno de los periodos de retorno T(años) considerados.

- **Distribución temporal de la lluvia**

Para el cálculo hidrológico se requieren de hietogramas que reflejen la distribución temporal de la lluvia. La inexistencia de datos de episodios extremos de precipitación en ciertas zonas conlleva al empleo de la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia propuesta en la Norma 5.2-IC de Drenaje Superficial, que tiene la siguiente expresión:

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

Siendo D la duración, I_1 la intensidad para una tormenta de una hora de duración, I_d la intensidad para una tormenta de duración D e I la intensidad para una tormenta de duración de 24 horas. El índice (I_1/I_d) se denomina índice de torrencialidad.

A continuación, se emplea el método de los bloques alternos para la obtención del hietograma asociado a cada periodo de retorno, partiendo de las intensidades proporcionadas por la curva IDF para duraciones de entre 1 y 24 horas.

- **Modelo hidrológico**
 - Caracterización de la cuenca

A partir de la extensión HEC-GeoHMS del programa ArcMap, y empleando el MDT (Modelo Digital del Terreno), se ha logrado delimitar las cuencas de estudio. Los parámetros de la cuenca principales son los siguientes:

- Área de la cuenca (km^2)
- Longitud del recorrido más largo del cauce (m)
- Cotas máxima y mínima (m)
- Pendiente del cauce (m/m)
- Tiempo de concentración de la cuenca T_c (h)

Tal y como se explica en la *Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables* (2011), “la división en subcuencas deberá tener en cuenta no sólo los puntos donde es necesario obtener resultados, sino que se deberá tratar de obtener subcuencas con características suficientemente homogéneas de la precipitación y de los parámetros de infiltración”. La totalidad de las cuencas de estudio se ha dividido en subcuencas, con sus correspondientes cauces, a partir de la extensión HEC-GeoHMS. Esta distribución de subcuencas es la que se ha empleado para el cálculo con el software HEC-HMS, para las cuales se han utilizado distintos métodos hidrológicos con el fin de obtener los caudales asociados a los distintos periodos de retorno.



Fig. 9. División en subcuencas de una cuenca de estudio mediante la extensión HEC-GeoHMS. Ejemplo: cuenca del río Odiel. (Fuente: elaboración propia).

- Modelización HEC-HMS

Para realizar los trabajos hidrológicos se ha empleado el modelo hidrológico HEC-HMS 3.5 (2010), una versión actualizada del clásico modelo matemático HEC-1 Flood Hydrograph Package, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del US. Army Corps of Engineers. Se trata de un potente sistema de modelización hidrológica, diseñado para simular los procesos de precipitación-escorrentía de sistemas de cuencas dendríticas (aquellas cuencas hidrográficas cuya red de drenaje adquiere una forma arborescente).

Para las simulaciones del modelo hidrológico en HEC-HMS se ofrecen diferentes métodos de cálculo. Se han empleado los siguientes:

- **Caracterización de la lluvia:** Se ha establecido un hietograma de diseño por el método de bloques alternos asociado a cada periodo de retorno.

- **Caracterización de las pérdidas:** Se ha empleado el modelo del número de curva (CN) del SCS (*Soil Conservation Service*). El número de curva de cada subcuenca se obtiene ponderando los valores del número de curva de áreas con distinto valor de la capa descargada de la Red de Información Ambiental de la Junta de Andalucía (REDIAM).

- **Modelo de transformación precipitación – escorrentía:** Mediante el hidrograma unitario de SCS. Este modelo se define a través del tiempo de retardo (T_{lag}), que es función del tiempo de concentración de la cuenca (T_C). El T_C puede obtenerse a partir de la expresión recomendada en la Orden 298/2016 del Ministerio de Fomento, Instrucción de Carreteras 5.2-IC, Drenaje superficial, apartado 2.2.2.5. (Fórmula de Témez, 1987).

- **Laminación y tránsito en el cauce:** Los cálculos de laminación y tránsito de hidrogramas entre cuencas se realizan a partir del método Muskingum-Cunge, muy empleado en este ámbito. Los parámetros necesarios para definir el método se obtienen a partir de parámetros físicos del tramo de cauce en estudio y consideraciones hidráulicas de la sección (rugosidad, longitud, forma de la sección, dimensiones de la sección).

Para las simulaciones hidrológicas, se exporta el modelo creado con la extensión HEC-GeoHMS a HEC-HMS.

- Escorrentía superficial

- Modelo de Pérdidas

Las pérdidas son la parte de la lluvia que no interviene en la formación de la escorrentía superficial e incluyen la intercepción por la vegetación, el almacenamiento en las depresiones del suelo y la infiltración. Las pérdidas por evapotranspiración, importantes en el proceso de lluvia y escorrentía a largo plazo, se desprecian en el cálculo de avenidas. La

infiltración, que suele ser el factor más importante de las pérdidas, depende del tipo y densidad de cobertura vegetal, de las propiedades físicas del suelo (incluida su humedad) y de la duración e intensidad de la lluvia.

En estos estudios hidrológicos se ha empleado el método del Soil Conservation Service (S.C.S.) porque tal y como se indica en la *Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables* “se considera de suficiente precisión para el objetivo perseguido en la modelización hidrológica [...] y por la facilidad para estimar sus parámetros” (*Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*, 2011) de datos edafológicos y de vegetación. Según el método del S.C.S., existe un umbral por debajo del cual las precipitaciones no generan escorrentía, sino que el agua quedaría interceptada y retenida por el suelo.

- Modelo de Transformación Lluvia-Caudal

- El método del hidrograma unitario es el más habitual para transformar el hietograma de lluvia neta en hidrograma de escorrentía superficial de la cuenca. El hidrograma unitario se define como la escorrentía superficial resultante de una lluvia neta de 1 mm repartida uniformemente sobre la cuenca y con una distribución constante a lo largo de una duración D. Por tanto, la intensidad de lluvia durante ese tiempo será $1/D$ mm/h. El método del hidrograma unitario se basa en tres principios:
 - Constancia del tiempo base: la duración de la escorrentía superficial de tormentas de la misma duración es constante y no depende de la precipitación.
 - Proporcionalidad: dos aguaceros con la misma duración D, de intensidad uniforme, pero con distinta precipitación generan caudales que son proporcionales a dicha precipitación.
 - Superposición: la distribución temporal de la escorrentía superficial de un periodo dado es independiente de la concurrencia con escorrentías procedentes de otros períodos de tiempo.

Estos tres principios permiten obtener el hidrograma correspondiente a una lluvia cualquiera a partir del hidrograma unitario de D horas descomponiendo la precipitación en intervalos de intensidad uniforme y duración D.

El método del hidrograma unitario se suele admitir como válido para cuencas con superficies menores de 2.000–2.500 km², con el fin de que se asegure una distribución suficientemente uniforme de la precipitación.

Para calcular el hidrograma unitario de una cuenca se precisan hietogramas e hidrogramas correspondientes a tormentas en la misma. Al no ser habitual contar con estos datos, se recurre al empleo de

hidrogramas sintéticos, que dependen de pocos parámetros. Uno de los hidrogramas sintéticos más empleados, sino el que más, es el del S.C.S. (Soil Conservation Service), que solamente depende de un parámetro. Este método del hidrograma unitario del S.C.S. se basa en un hidrograma adimensional, en que tanto el caudal como el tiempo se expresan como una relación adimensional respecto al caudal punta (Q_p) y al tiempo punta o pico (T_p). Así, se elimina el efecto del tamaño y la forma de la cuenca.

- **Traslación y laminación de hidrogramas**

En 1969 Cunge propuso un método basado en el de Muskingum, que tradicionalmente se había estado aplicando al tránsito hidrológico de almacenamiento lineal. Se aplica el método de Muskingum-Cunge a partir de parámetros hidráulicos de la sección transversal representativa del tramo de estudio. Los parámetros hidráulicos que se requieren para poderse aplicar el método de Muskingum-Cunge son los siguientes:

- Longitud del tramo de estudio (m).
- Pendiente del tramo (m/m).
- Rugosidad (coeficiente de Manning, n , adimensional).
- Forma de la sección transversal y dimensiones de la misma (m).

- **Caudales resultantes**

Por último, tras el proceso descrito anteriormente se han obtenido los caudales punta resultantes (m^3/s) así como los hidrogramas de las cuencas de estudio en el punto de desagüe de la cuenca para cada uno de los periodos de retorno T (años) considerados en los cálculos, para posteriormente poder aplicarlos en los cálculos hidráulicos necesarios para el estudio de la inundabilidad.

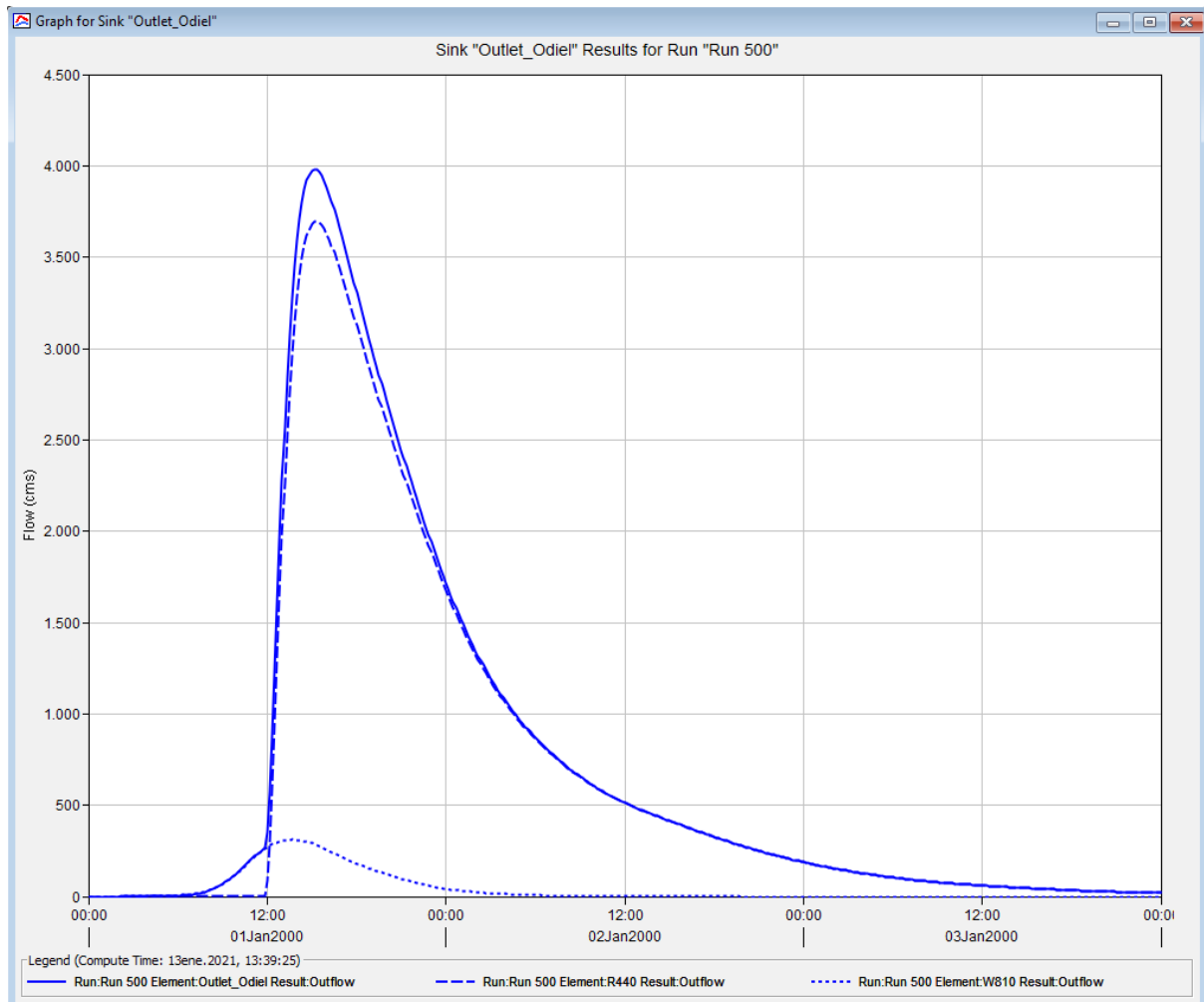


Fig. 10. Gráfica de hidrograma en el punto de desagüe y para un periodo de retorno T años. Ejemplo: punto de desagüe del río Odiel para T=500 años. (Fuente: elaboración propia).

3.2. REVISIÓN DE MODELOS HIDRÁULICOS Y ELABORACIÓN DE LOS NUEVOS

Tal y como se detalló en apartados anteriores, cuando se ha considerado necesario, los estudios hidráulicos existentes han sido revisados con la hidrología actualizada, y en caso necesario, se han realizado por completo.

El objetivo del estudio hidráulico es la obtención de los valores de calados y velocidades en cualquier punto de la zona a estudiar. Con ello se delimitarán las zonas inundables para la elaboración de los *Mapas de Peligrosidad y Riesgo de Inundación en las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI)*.

De acuerdo con el Real Decreto 903/2010, se estudian los escenarios de alta, media y baja probabilidad, correspondientes a las avenidas con periodo de retorno de 10, 100 y 500 años. Además, se obtiene la delimitación de los cauces a partir del caudal de máxima crecida

ordinaria (MCO) y la delimitación de la zona de flujo preferente a partir de la avenida de periodo de retorno de 100 años.

Para la elaboración de este estudio, se ha seguido las recomendaciones expuestas en la “Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables” del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. De forma general, la metodología empleada sigue el siguiente esquema.

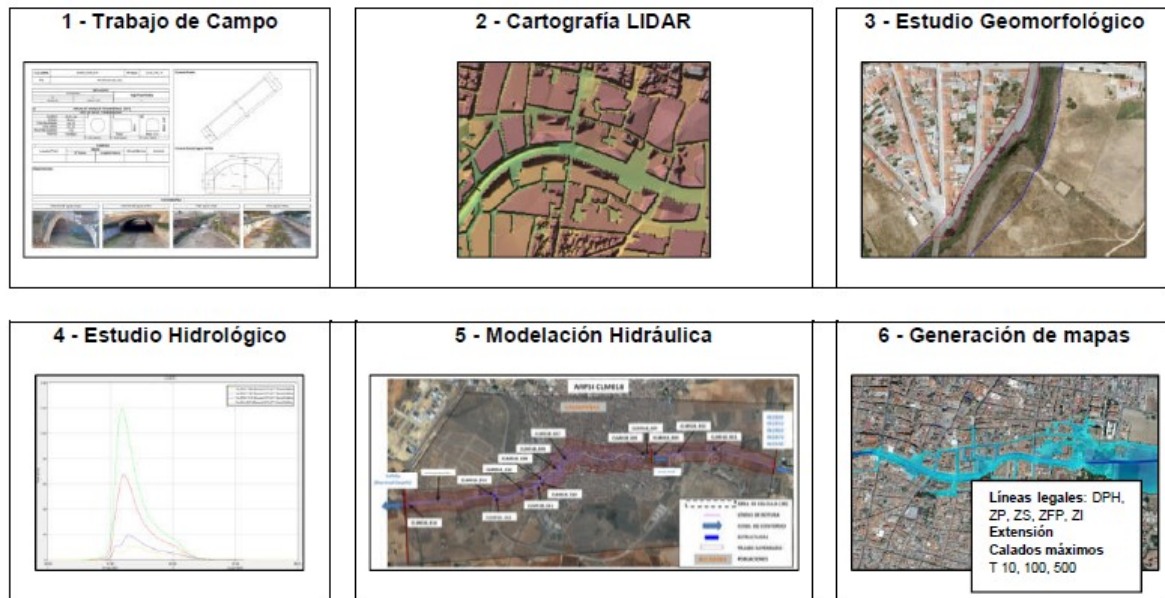


Fig. 11. Metodología para la generación de mapas de peligrosidad y riesgo de inundación.

En los siguientes apartados se define el software empleado y los diferentes pasos que se han seguido para la realización de los modelos hidráulicos, donde la información de partida para los estudios debe incluir:

- a) Datos de los hidrogramas resultantes del estudio hidrológico.
- b) Información básica de caracterización física del cauce.
- c) Información de condiciones de contorno existentes, datos de nivel del mar (en caso de ARPSIs costeras), embalses existentes, otros elementos tales como azudes, puentes, carreteras, etc.

- **Software empleado**

Para la modelización hidrodinámica se emplea el software HEC-RAS en su versión 5.0.7., modelo de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. ([US Army Corps of Engineers](#)).

HEC-RAS, en su versión 5.0.7 dispone de la capacidad para simular el flujo de agua combinando modelos 1D/2D, así como totalmente 2D. Basa su aplicación en las ecuaciones

de *onda difusiva* y *Saint Venant* (a criterio del usuario) las cuales resuelve mediante el algoritmo de *Volúmenes Finitos Implícitos*. En los modelos desarrollados para este estudio se han tenido en cuenta las ecuaciones de Saint Venant completas también denominadas *Full Moment*.

- **Datos de partida**

Para la obtención de resultados, el software HEC-RAS necesita incorporar una serie de parámetros geométricos e hidráulicos con el fin de obtener un modelo hidrodinámico que simule la realidad.

- Modelo digital del terreno

Para la realización del estudio hidráulico es necesario disponer de una cartografía de precisión que represente fielmente la realidad del terreno en el tramo de estudio.

En los ámbitos en los que se ha considerado necesaria su revisión y actualización se ha utilizado un modelo digital del terreno actual generado mediante la tecnología LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging), con vuelo realizado en 2020, el cual ha sido tratado para eliminar los valores correspondientes a elementos diferenciados del terreno como vegetación y puentes. Estos modelos empleados han sido descritos en apartados anteriores.

Se ha obtenido, entre otras, la siguiente cartografía de detalle:

- Modelo Digital del Terreno - puentes + edificios. Dicho Modelo se confecciona a partir del MDS en el que la vegetación y los puentes u otros accidentes sobre los cauces han sido retirados, pero no así los edificios. Este modelo se emplea en el cálculo de los mapas de inundabilidad de 10, 100 y 500 años en régimen real (Figura 12).
- Modelo Digital del Terreno - puentes - edificios. Se han eliminado, además de los puentes y obras de paso, los edificios. Este modelo se emplea para la delimitación del dominio público hidráulico (DPH) a partir del caudal de máxima crecida ordinaria, que se realiza en régimen natural (Figura 13).

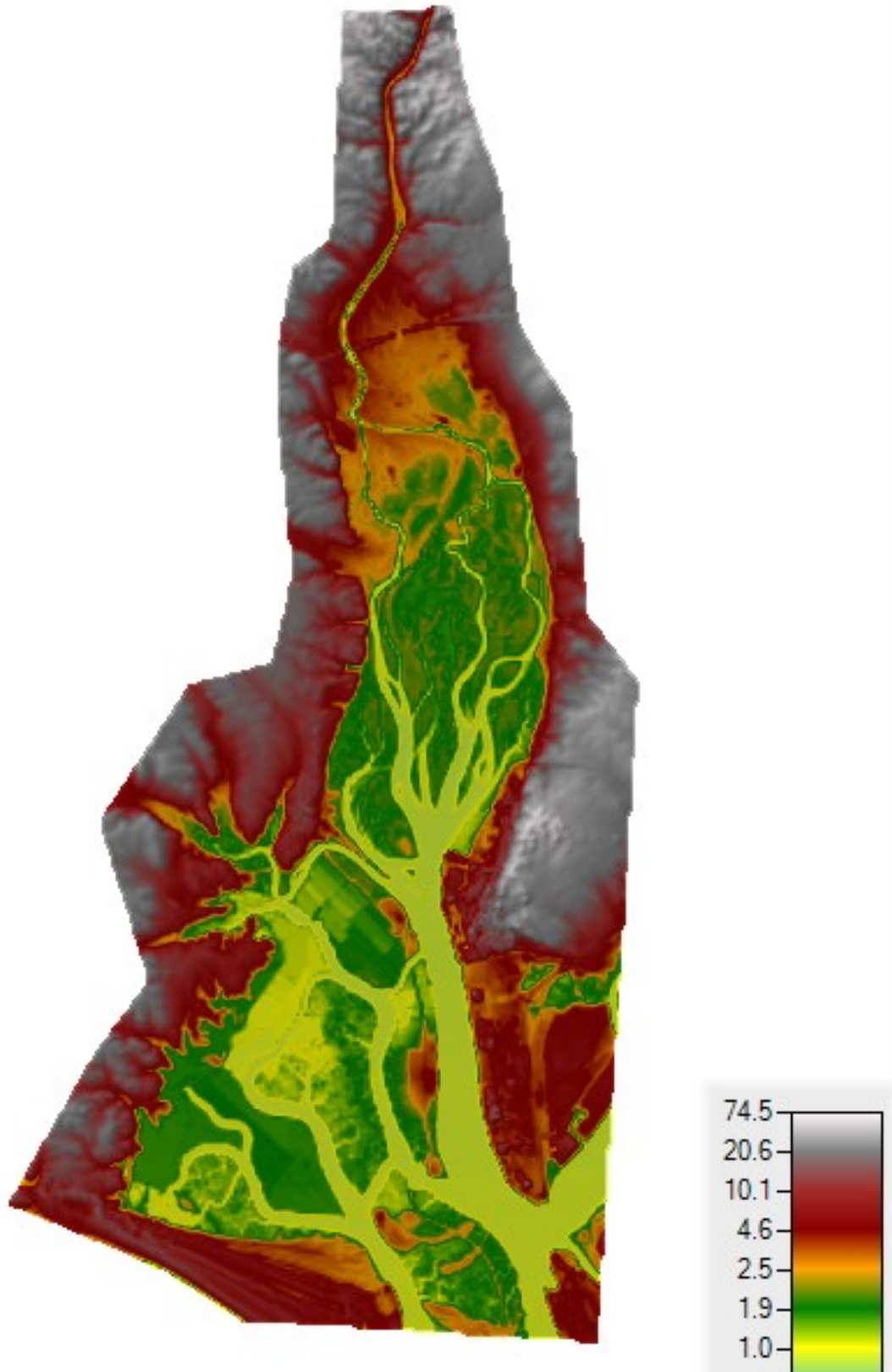


Fig. 12. Ejemplo de MDE sin puentes, con edificios en la ARPSI_0021 Río Odiel, desde Gibraleón hasta la desembocadura.

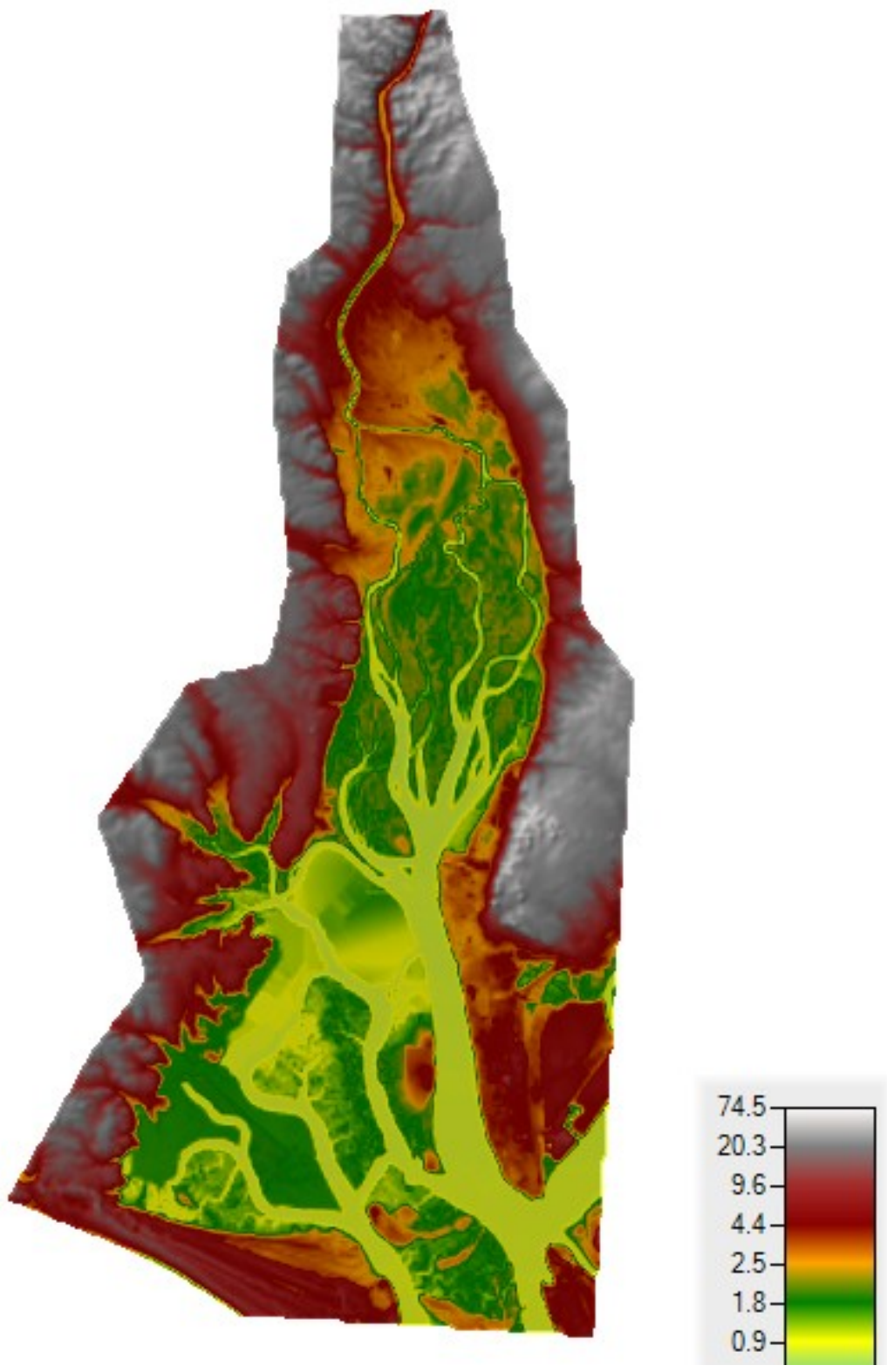


Fig. 13. MDT (sin puentes, sin edificios). en la misma ARPSI_0021 Río Odiel, desde Gibraleón hasta la desembocadura.

○ Rugosidad

La rugosidad se ha introducido mediante una cobertura ráster con el coeficiente n de Manning. Este grid se ha elaborado a partir del *Mapa de Usos y Coberturas del Suelo* del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE), asignando a cada uso del terreno un valor de n de Manning, según las recomendaciones de la “*Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*”.

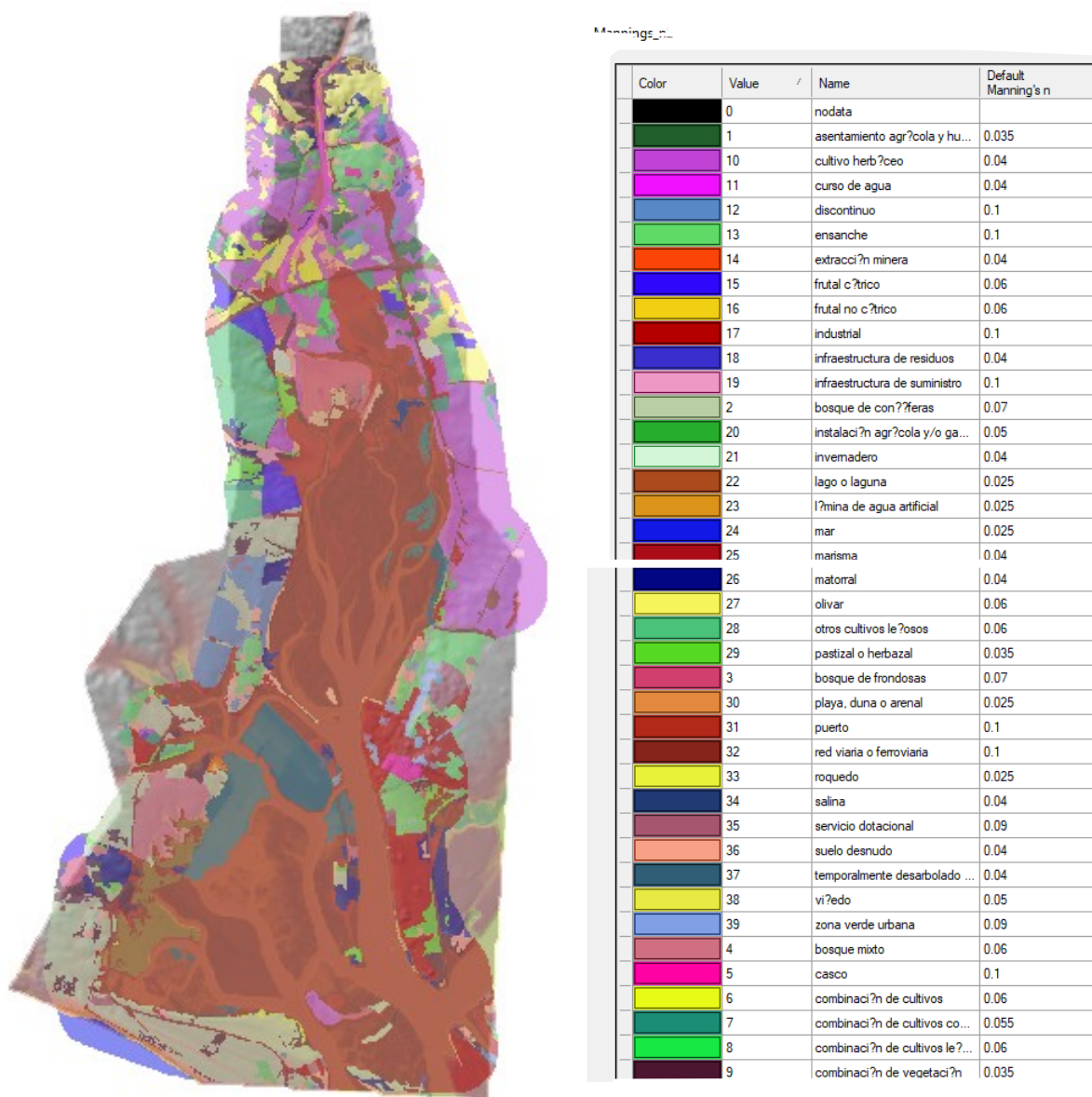


Fig. 14. Coeficiente n de Manning. ARPSI_0021 Río Odiel, desde Gibraleón hasta la desembocadura.

○ Ortofoto

En los ámbitos en lo que existían estudios previos se han empleado orto-imágenes aéreas, orto-fotos y modelos digitales de elevaciones del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Para los estudios revisados y de primera elaboración se ha empleado la ortofotografía aérea digital obtenida a partir de vuelo LiDAR específicos, como complemento para la identificación de elementos con incidencia en la inundación en el área de estudio, como edificios, puentes, carreteras, encauzamientos, etc.



Fig. 15. Ortofotografía. Ejemplo: ARPSI_0021 Río Odiel, desde Gibraleón hasta desembocadura.

- Hidrogramas de caudal

Se han empleado los hidrogramas obtenidos en las distintas cuencas en los estudios hidrológicos realizado previamente mediante HEC-HMS, para los distintos periodos de retorno empleados.

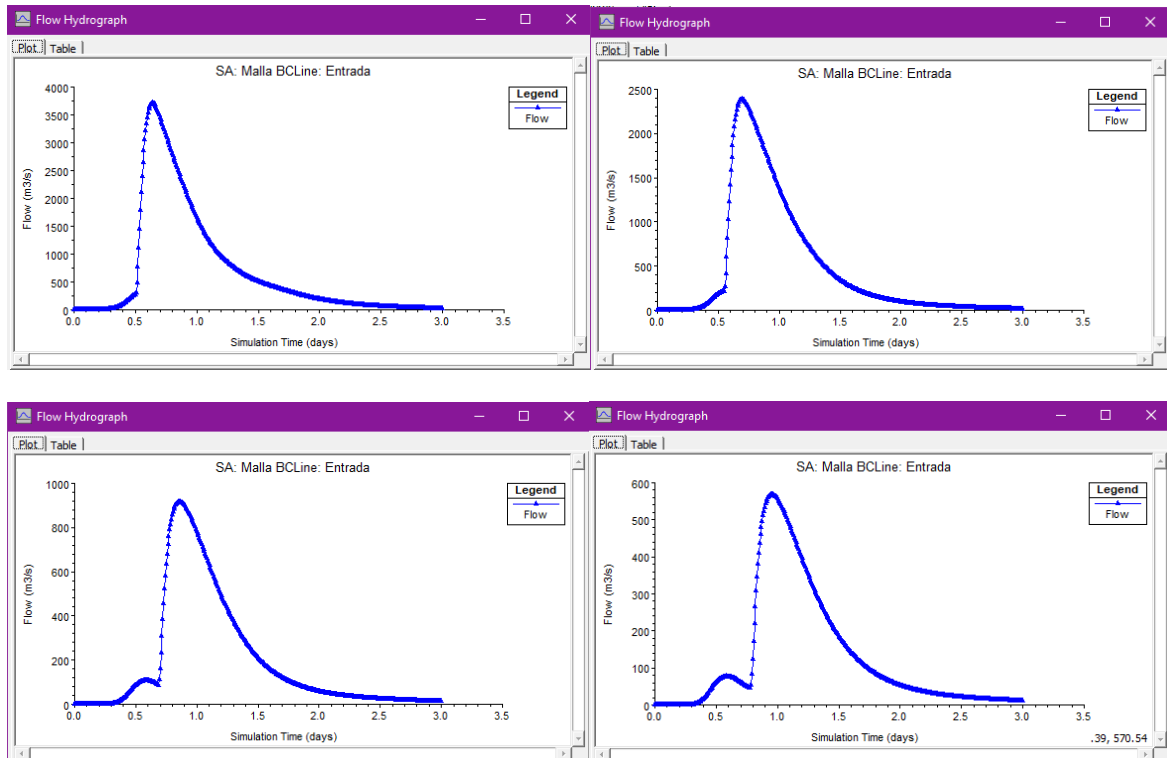


Fig. 16. Hidrograma de caudal del cauce principal del Río Odiel, para T=500, 100, 10 y 5 (MCO) años (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo).

- Geometría

Una vez incorporados el Sistema de Referencia, el MDT base del modelo y su cobertura ráster de rugosidades, se implementa la geometría que cubre el modelo hidráulico. En el caso de la modelización bidimensional, el cálculo de las variables hidráulicas se realiza en los elementos de una malla de cálculo que se confecciona a partir del MDT.

Esta geometría viene definida por una serie de configuraciones previas que se comentan a continuación:

- **Tamaño de malla (Δx)**

La finalidad de la malla es permitir que el modelo se adecue apropiadamente al terreno y de esa forma pueda incluir todas las obstrucciones presentes. Dependiendo de la orografía del terreno en cada ARPSI en estudio, se define un tamaño de malla u otro. Además, el modelo permite refinar la malla en zonas específicas. Por lo tanto,

una malla gruesa puede usarse para grandes llanuras de inundación, mientras que una malla más refinada puede usarse para áreas particulares que requieren más detalles, como encauzamientos, zonas con pendientes elevadas o cambios bruscos de pendientes, zonas con infraestructuras, etc.

En la Figura 17 se muestra, a modo de ejemplo, la geometría dispuesta en la ARPSI_0021 Río Odiel, desde Gibraleón hasta desembocadura, en la que se emplea un tamaño de malla de 20x20 m.

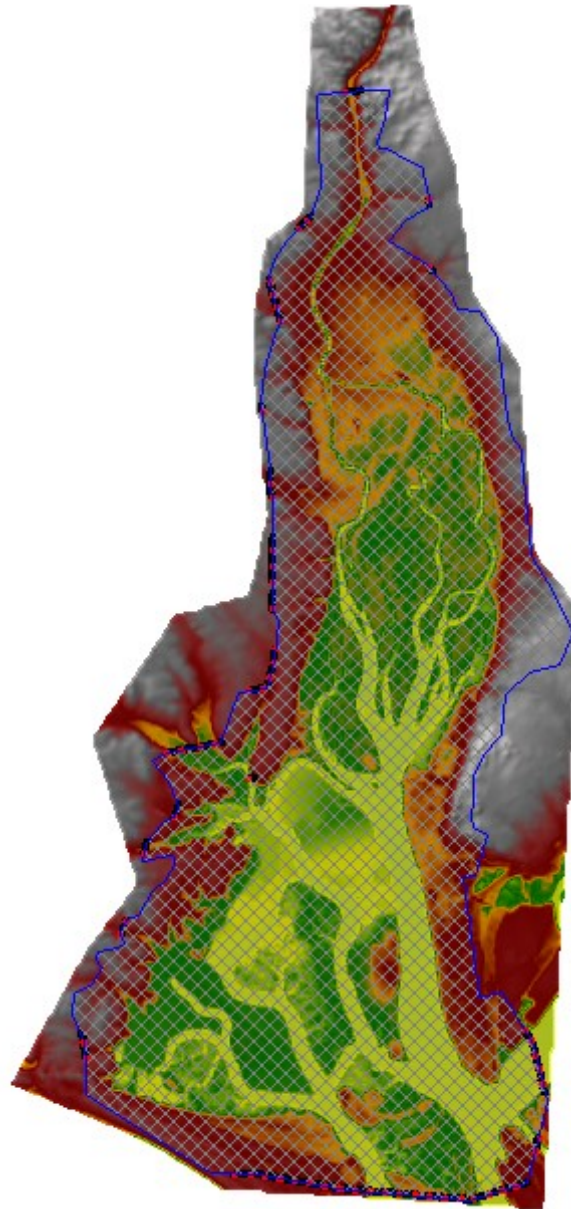


Fig. 17. Mallado del modelo en la ARPSI_0021 Río Odiel, desde Gibraleón hasta la desembocadura. Paso de malla de 20x20 metros.

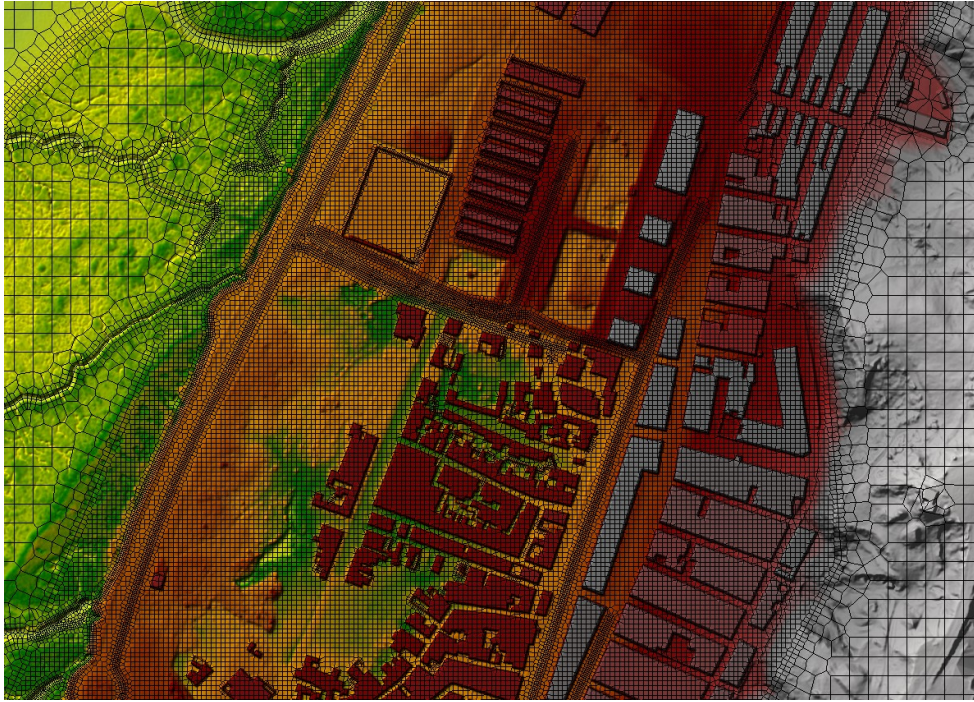


Fig. 18. Refinamiento de malla. Ejemplo: ciudad de Huelva, con paso de malla 5x5 y 2x2 metros.

- **Líneas de rotura (Breaklines)**

La incorporación de líneas de rotura en los modelos es necesario para que la malla bidimensional represente correctamente elementos que supongan barreras físicas al flujo, como encauzamientos, diques, motas, carreteras elevadas, edificios, tramos con diferentes pendientes... Además, estas líneas de rotura pueden implementarse en aquellas zonas donde se necesite refinar la malla puntualmente, proporcionado a estas líneas un tamaño diferente que al modelo global.

En la Figura 19 se muestra, a modo de ejemplo, las líneas de rotura implementadas en la ARPSI_0021 Río Odiel, desde Gibrleón hasta desembocadura, para la correcta representación de edificios, muros, cauces, elevación de carreteras, terraplenes, etc. En la Figura 20 se muestra un detalle de refinamiento de malla en una zona de marisma.

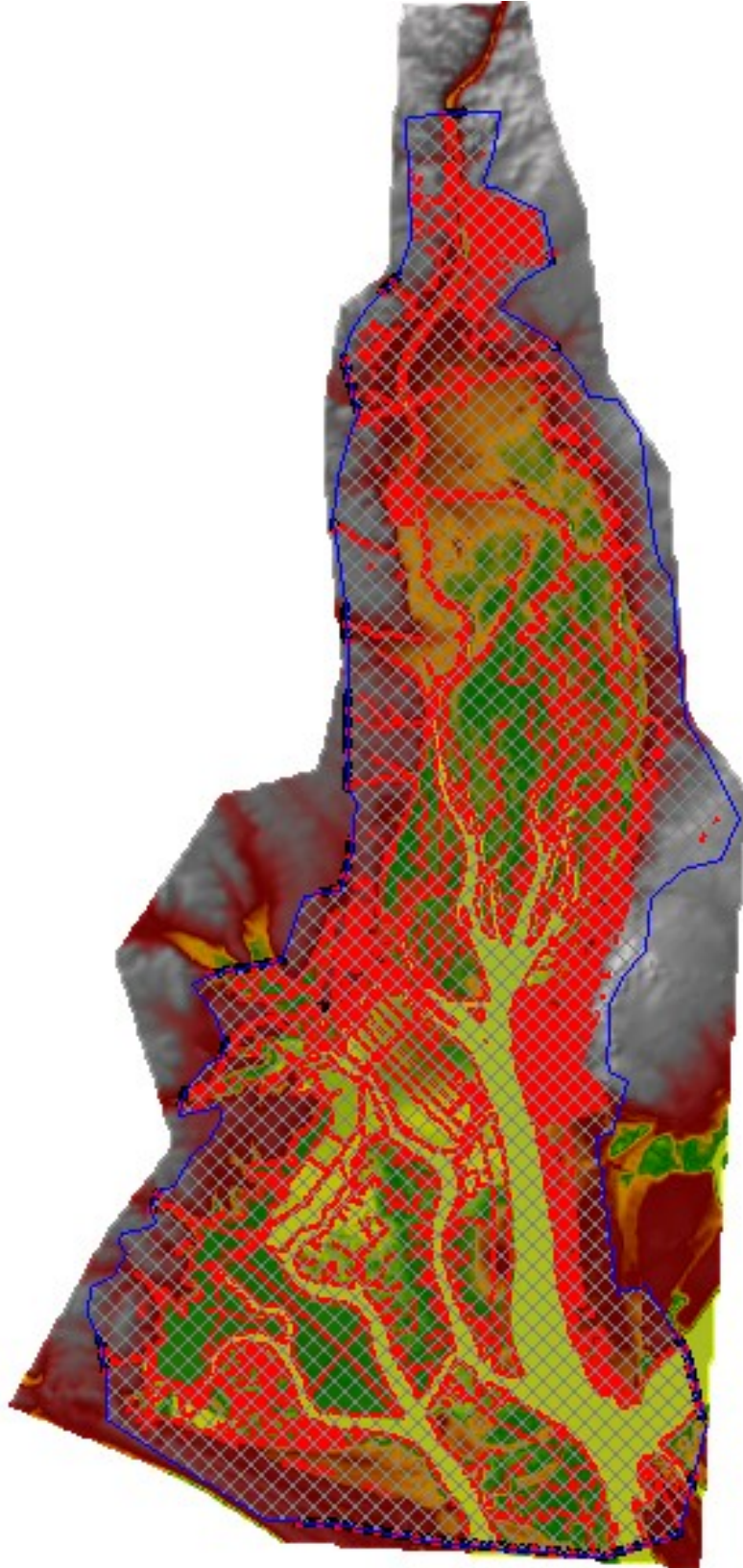


Fig. 19. Breaklines o líneas de rotura. Ejemplo: ARPSI_0021 Río Odiel.

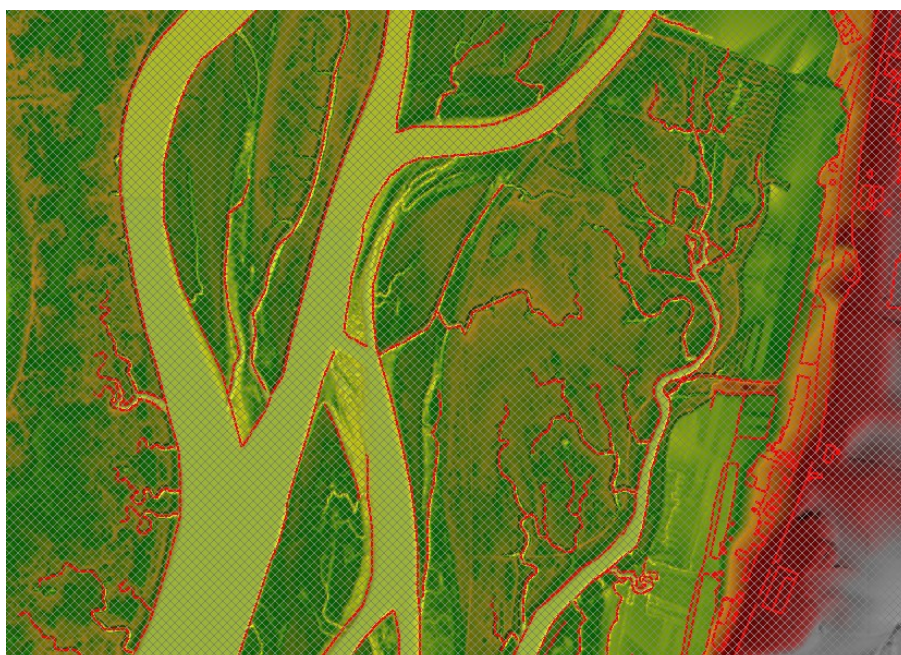


Fig. 20. Breaklines o líneas de rotura con refinamiento de malla en cauces en un sector de la marisma del Odiel

- Implementación de infraestructuras (puentes y obras de fábrica)

Identificadas las infraestructuras influyentes en la zona de estudio, estas han sido incorporadas al modelo hidráulico mediante conexión 2D en la malla definida. Según la tipología de la infraestructura, esta se modelizada como puente o alcantarilla.

Los detalles y dimensiones de las infraestructuras a incorporar se obtienen a través de las visitas de campo realizadas, además del apoyo taquimétrico para el levantamiento topográfico de las mismas, con lo que se obtienen datos de gran precisión, además de apoyarse en las ortofotografías más actuales obtenidas mediante vuelo LiDAR, para identificación de las mismas. En las siguientes imágenes se muestran algunos ejemplos de las infraestructuras implementadas en la ARPSI_0021 Río Odiel.

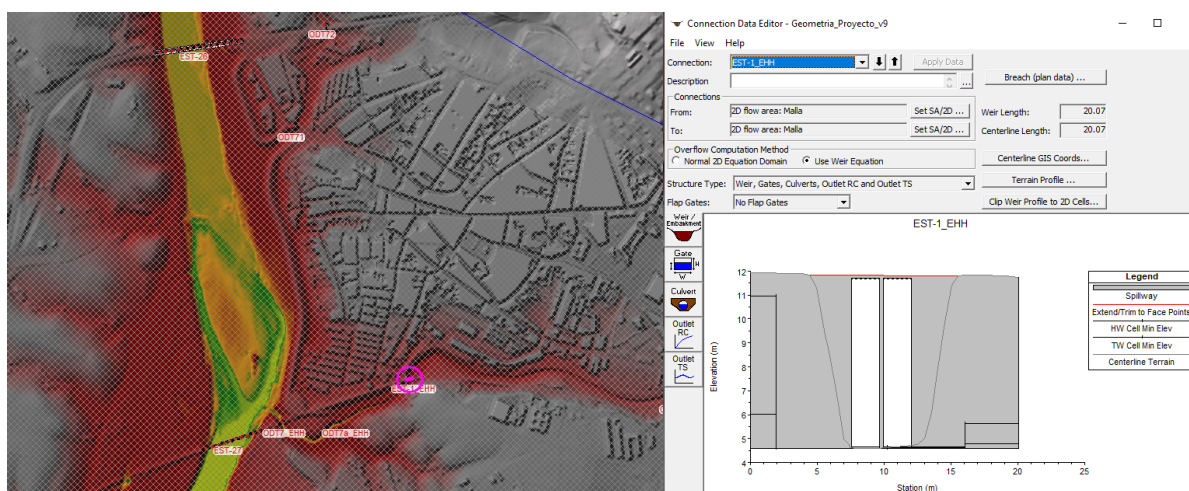


Fig. 21. Puente en Arroyo del Tejar (Gibraleón) dentro de la ARPSI_0021.

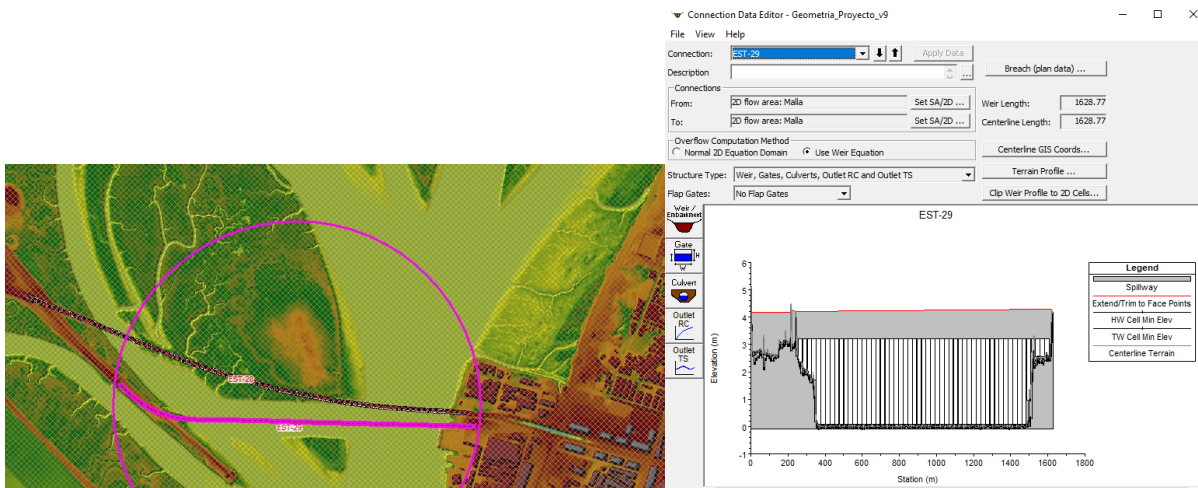


Fig. 22. Puente de Santa Eulalia (Puente Sifón) dentro de la misma ARPSI_0021.

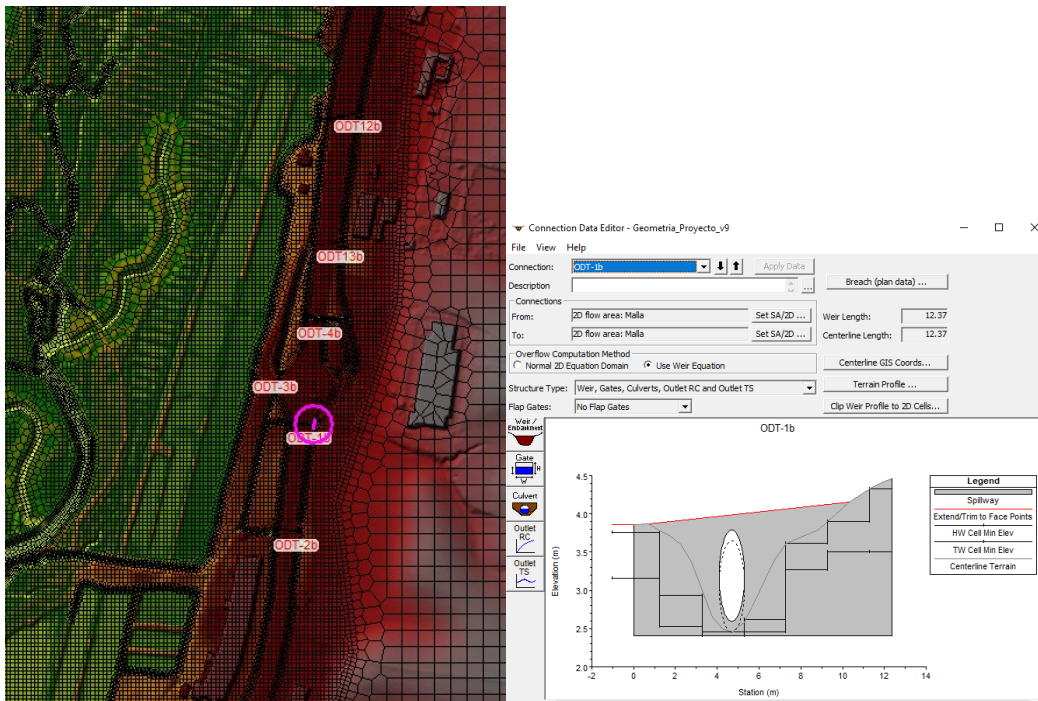


Fig. 23. Obra de paso en la carretera HU-30 dentro de la misma ARPSI_0021.

- **Modelización**

Una vez incorporada al modelo hidrodinámico la parte geométrica, se establecen las condiciones impuestas al cálculo hidráulico. Como se ha comentado anteriormente, HEC-RAS tiene la capacidad de ejecutar modelos de carácter unidimensional, bidimensional y un sistema conjunto entre ambos.

Para los cauces presentes en las ARPSIs evaluadas se ha empleado en la mayoría de ellos el modelo bidimensional debido a las llanuras de expansión presente y las zonas urbanas, realizando el cálculo mediante las ecuaciones de Saint Venant completas e implementando el régimen variable. Al tratarse de un modelo 2D se permite el inicio en seco. De forma general no se definen condiciones iniciales, aunque en determinados estudios esto sí es necesario de forma particular. En general, las condiciones de contorno definidas en los modelos son:

- Entradas: Hidrogramas de caudal variable a lo largo del tiempo y pendiente de entrada.
- Salidas: Calado normal definido por la pendiente del cauce aguas abajo de la zona de estudio. En ARPSIs costeras se considera la condición de contorno impuesta por el nivel de pleamar calculado, o en el caso de ARPSIs en las que las mareas juegan un papel importante en el proceso de inundación, como es el caso que nos ocupa, se ha de incluir un hidrograma de estado de marea.

Las entradas y salidas en los modelos pueden ser varias, dependiendo del modelo en cada caso, por ejemplo, en cauces donde el tramo en estudio está influenciado por la incorporación de afluentes, estos se tomarán como entradas independientes.

En la Figura 24 se muestran las distintas entradas y salidas establecidas para ARPSI_0021 Río Odiel.

- **Resultados**

Los resultados obtenidos se representan mediante tres mapas: calado, velocidad y cota de lámina de agua. El modelo permite visualizar el valor máximo de estas variables en cada celda de cálculo, así como la evolución en el tiempo de las mismas.

Además, es posible analizar la evolución de calados y caudal en cualquier sección de cálculo definida por el usuario, lo que permite analizar las condiciones de capacidad hidráulica de las estructuras, entre otros.

Los resultados de mapas de calado máximo y velocidad máxima obtenidos en HEC-RAS son exportados en formato ráster para ser procesados posteriormente mediante un SIG, para la obtención de la delimitación de las zonas inundables.

En las Figuras 25 y 26 se muestra la visualización en *RAS Mapper* (módulo de visualización de HEC-RAS) de los resultados de calado máximo y velocidad máxima, para el periodo de retorno de 500 años, de la ARPSI_0021 Río Odiel, desde Gibraleón hasta desembocadura.

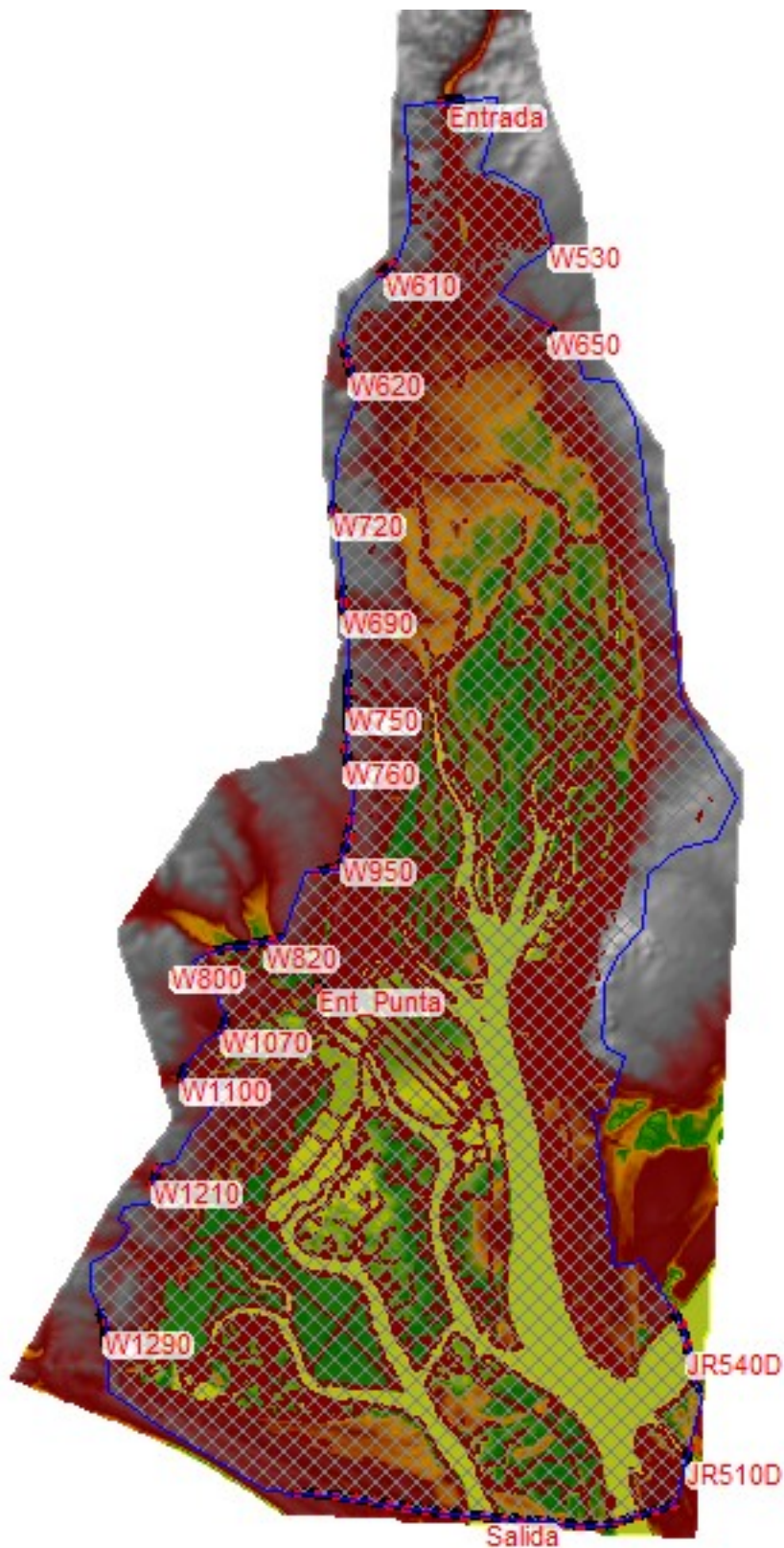


Fig. 24. Mallado y líneas de contorno para las entradas y salidas de flujo en el modelo de la ARPSI_0021 Río Odiel, desde Gibraleón hasta la desembocadura.

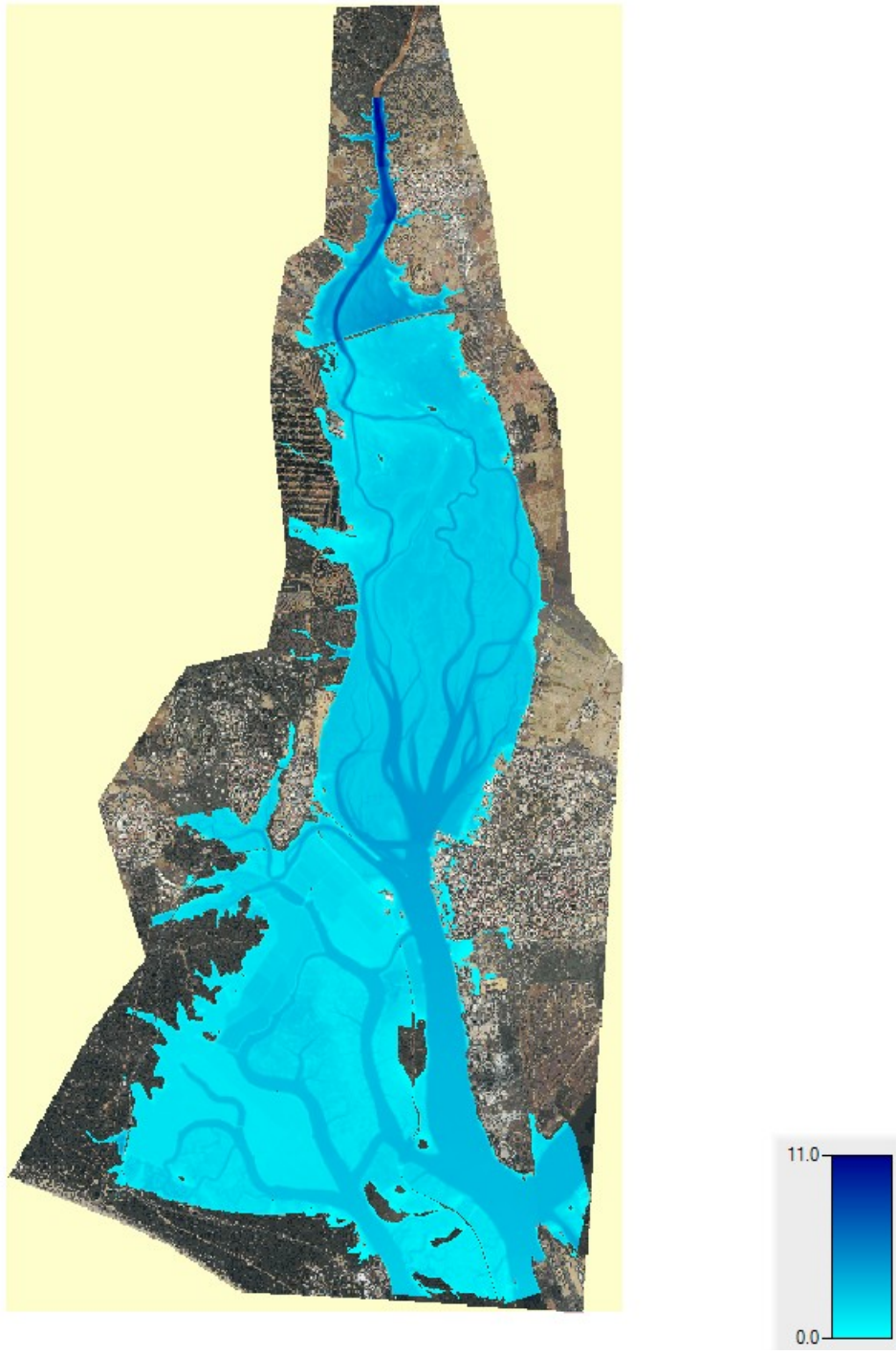


Fig. 25. Mapa de calados máximos para T=500 años. Ejemplo: ARPSI_0021

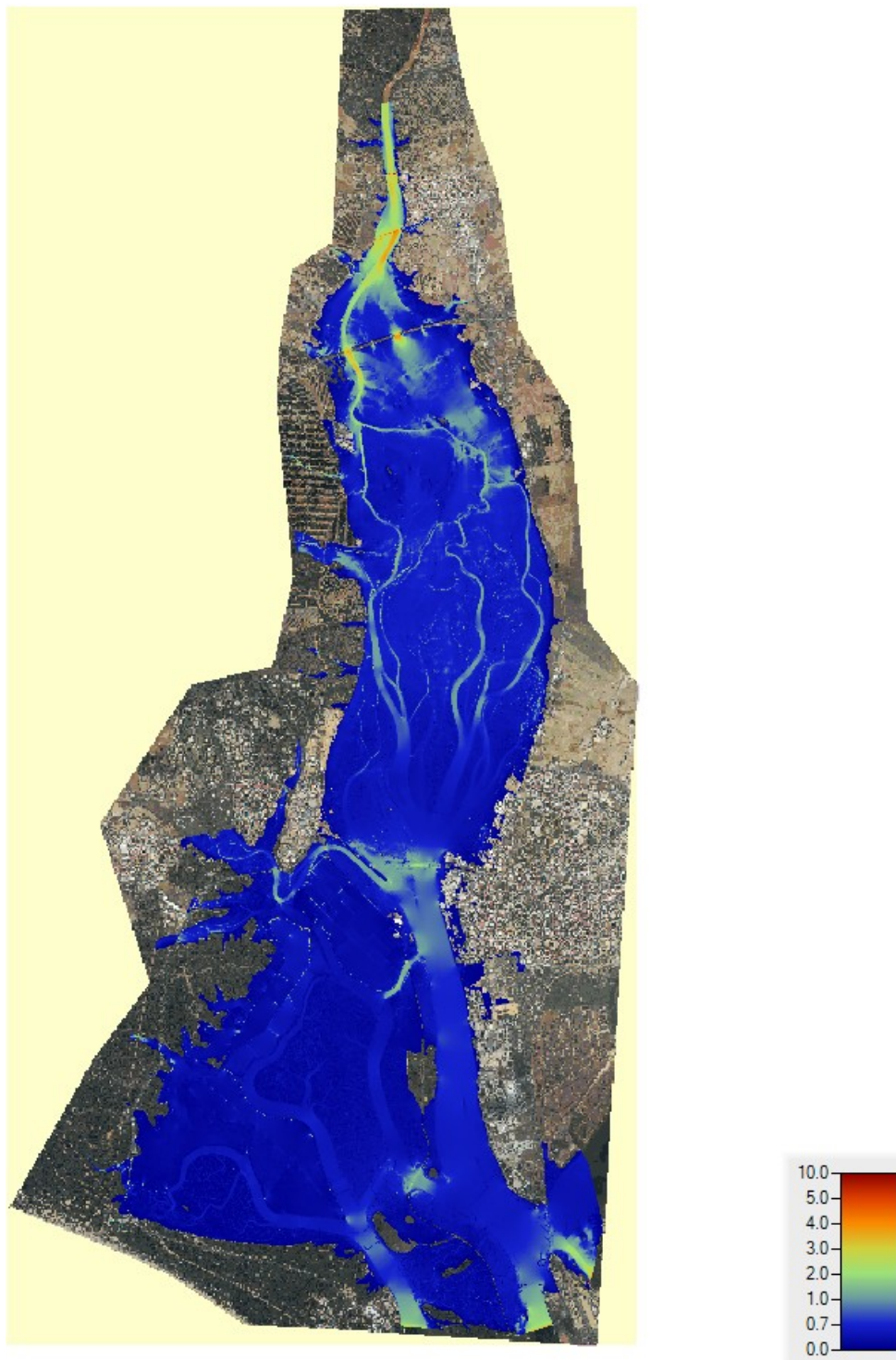


Fig. 26. Mapa de velocidades máximas para T=500 años. Ejemplo: ARPSI_0021

4 ELABORACIÓN DE LOS MAPAS

4.1 MAPAS DE PELIGROSIDAD POR INUNDACIÓN

Conforme al artículo 8 del RD 903/2010, para cada demarcación hidrográfica se han elaborado mapas de peligrosidad por inundación para las zonas determinadas conforme a lo establecido en el artículo 5 del RD 903/2010. Estos mapas contemplan los siguientes escenarios:

- Alta probabilidad de inundación, para el que se adopta como criterio el período de retorno de 10 años.
- Probabilidad media de inundación (período de retorno de 100 años)
- Baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos (período de retorno de 500 años)

En las zonas costeras donde exista un nivel adecuado de protección, el mapa de peligrosidad se limitará al escenario de baja probabilidad de inundación.

Para cada uno de los escenarios anteriores los mapas contienen:

- La extensión previsible de la inundación y calados del agua o nivel de agua, según proceda.
- En aquellos casos en que se considere necesario, se podrá incluir también información adicional relevante como los caudales y/o velocidades máximas alcanzadas por la corriente en la zona inundable, siguiendo las directrices, criterios y formatos de las capas para su integración en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) que marca el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Adicionalmente, en los mapas de peligrosidad se representa la delimitación de los cauces públicos y sus zonas de protección adyacentes, como son las zonas de servidumbre y policía. Se recogen en capas independientes aquellos tramos dentro de ARPSIs que disponen de deslinde administrativo de los que no están deslindados, en cuyo caso la delimitación corresponde al dominio público hidráulico probable.

Entre otra información complementaria se ha representado también la superficie inundable para el período de retorno de 50 años, la zona de flujo preferente y valores de calados (en aquellos ámbitos para los que dicha información ha sido obtenida en los estudios hidrológicos específicos), así como la delimitación de la zona de dominio público marítimo-terrestre y su zona de protección.

De acuerdo con los escenarios de probabilidad establecidos en el Real Decreto 903/2010, como resultado de las modelizaciones hidráulicas anteriores se han obtenido los rasters de superficies inundables de los periodos de retorno asignados a cada uno de los tres escenarios contemplados:

- Alta probabilidad: T = 10 años

- Media probabilidad: T = 100 años
- Baja probabilidad: T = 500 años

Posteriormente se ha generado una capa vectorial representativa de la envolvente de la superficie inundable obtenida para cada escenario de probabilidad, siguiendo los criterios recogidos en la *Propuesta de mínimos para la realización de los Mapas de Riesgo de Inundación* del segundo ciclo, editada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. En concreto:

- Se han eliminado las zonas con muy bajo calado (alrededor de 10 cm) en las zonas próximas a los límites exteriores de la zona inundable.
 - Se han suavizado los contornos y eliminado las islas resultantes del modelo hidráulico, con áreas de poca cuantía y que suelen deberse a errores producidos por la propia resolución del programa.
 - Se ha verificado la coherencia entre las envolventes de los distintos periodos de retorno y dentro del mismo tramo de estudio.
 - Cuando la simulación hidráulica ha sido prolongada para incluir longitudes de acomodamiento, se ha eliminado la parte de la zona inundable correspondiente a estos tramos adicionales, dejando únicamente la parte del cauce que se ajusta al tramo estudiado.
- [Delimitación del dominio público probable y zonas de servidumbre y policía](#)

Tal y como se indica en el punto 4 del art.8 del Real Decreto 903/2010, en los mapas de peligrosidad se representará la delimitación de los cauces públicos. Para aquellos tramos que no disponen de deslinde administrativo se ha representado la delimitación del dominio público probable, superficie de terreno equivalente al álveo o cauce natural de las corrientes continuas o discontinuas, cubiertas por los caudales obtenidos para la máxima crecida ordinaria, para cuya determinación se han tenido en cuenta además de las informaciones hidrológicas e hidráulicas, sus características geomorfológicas, ecológicas y otras fuentes fotográficas y cartográficas existentes, así como las referencias históricas disponibles. La delimitación así definida no ha sido objeto de un procedimiento de deslinde administrativo, por lo que se trata de una información fundamentalmente destinada a determinar el alcance de las avenidas ordinarias, de utilidad para la gestión del dominio público hidráulico y del riesgo de inundación. No tiene, por tanto, la validez jurídica del deslinde y sus efectos están limitados a las finalidades que la Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas de Andalucía, establece para las determinaciones técnicas sin que dicha delimitación pueda alterar la posesión ni la titularidad dominical de los terrenos (art. 43 de la Ley de Aguas de Andalucía).

A partir de las superficies delimitadas para los lechos de los cauces, lagunas y embalses de titularidad pública se ha determinado mediante la adición de sendas franjas, una de cinco metros de anchura y otra de 100 metros de anchura, las áreas correspondientes a la Zona de Servidumbre y la Zona de Policía, de acuerdo con lo establecido en el artículo 6 del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público

Hidráulico y las determinaciones establecidas para dichas zonas en los artículos 40 y 41 de la Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas de Andalucía. La delimitación de dichas franjas se ha generado mediante procedimiento automático con herramientas del Sistema de Información Geográfica (función buffer). La delimitación del dph probable dentro de cada ARPSI se ha efectuado para aquellos cauces que presentan riesgo de inundación. En aquellos tramos fluviales donde coexisten deslindes antiguos con encauzamientos y obras de rectificación del cauce se han delimitado las zonas de protección adyacentes siguiendo el trazado actual del cauce.

4.2 MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN

El principal objetivo de los Mapas de Riesgo por inundación es aportar la información necesaria para la elaboración de los planes de gestión del riesgo de inundación. Estos mapas sirven además, según la Directiva de Inundaciones, como “herramienta para establecer prioridades y la toma de decisiones adicionales de índole técnica, económica y política relativas a la gestión del riesgo de inundación”.

De esta forma, se podrían priorizar las ARPSIs con mayor necesidad de medidas de gestión o las propias medidas a implantar en las Áreas con Riesgo, en función de los resultados de los análisis coste-beneficio. También son la base para que las autoridades de Protección Civil indiquen a nivel local las medidas de autoprotección, evacuación, etc., desarrolladas en los planes específicos de Protección Civil. El riesgo asociado a los eventos de avenida se establece en función de la vulnerabilidad del elemento amenazado y la peligrosidad a la que está expuesto.

Así, el riesgo en un área determinada se calcula valorando la relación existente entre la vulnerabilidad (según las actividades económicas, número de habitantes o el patrimonio cultural afectado, entre otros) y la peligrosidad en la superficie de la zona inundable. Este estudio de la peligrosidad viene determinado por la extensión de la inundación, los calados de agua y, cuando proceda, la velocidad de la corriente o el caudal de agua correspondiente.

La Directiva de Inundaciones indica que este análisis se realizará para los distintos escenarios de probabilidad contemplados en los Mapas de Peligrosidad: probabilidad alta, media y baja. En España, estos escenarios se han hecho corresponder con los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, respectivamente.

Según se establece en la Directiva de Inundaciones (2007/60/CE), los Mapas de Riesgo de inundación “mostrarán las consecuencias adversas potenciales asociadas a la inundación en los escenarios indicados”, en base a los siguientes parámetros o categorías:

- Número indicativo de habitantes que pueden verse afectados.
- Tipo de actividad económica de la zona que puede verse afectada.
- Instalaciones a que se refiere el anexo I de la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación que puedan ocasionar contaminación accidental en caso de inundación y zonas protegidas que puedan

verse afectadas indicadas en el anexo IV, punto 1, incisos i), iii) y v) de la Directiva 2000/60/CE.

- Cualquier otra información que el Estado miembro considere útil, como la indicación de zonas en las que puedan producirse inundaciones con alto contenido de sedimentos transportados o flujos de derrubio e información sobre otras fuentes importantes de contaminación.

A diferencia del ciclo anterior, los Mapas de Riesgo de este ciclo contienen una información más completa, al haberse elaborado para cada uno de los escenarios de peligrosidad, y también más precisa, al analizar con criterios de mayor detalle los diferentes parámetros sobre población, actividades económicas, puntos de especial importancia (que se incorporan en este ciclo) y patrimonio natural y cultural afectados, exponiéndose a continuación la metodología seguida en su elaboración.

● **Afección a la población**

Tal y como se indica en el artículo 6 de la Directiva 2007/60/CE, deberá incluirse un número indicativo de habitantes que pueden verse afectados dentro de los perímetros de inundabilidad. Para dicho cálculo se ha utilizado como fuente de información la malla de población 250 m x 250 m a 1 de Enero de 2018, elaborada por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, fuente que permite disponer de una información minuciosa y actualizada de la distribución espacial de la población en Andalucía, con independencia de las divisiones administrativas. Se trata de una malla de celdillas habitadas de 250 m x 250 m a las que, mediante georreferenciación, se les ha asignado la población del ámbito que ocupan tomando como referencia el número de residentes inscrito a 1 de enero de 2018 en la Base de Datos Longitudinal de Población de Andalucía. Para la obtención del número de habitantes afectados se ha procedido al análisis espacial mediante el cruce de los mapas de inundabilidad con los datos de dicha malla. Siguiendo las directrices del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, para este segundo ciclo la unidad básica de análisis de la población afectada han sido las secciones censales dentro de cada término municipal, añadiendo tantos registros como secciones censales afectadas, siempre respetando los tramos ARPSI para la asignación del identificador. En consecuencia, se añade un campo para indicar el número de habitantes afectados por la zona inundable a nivel de distrito censal, aunque también se mantiene el número de habitantes afectados para el conjunto del término municipal.

● **Afección a la actividad económica**

Otro de los parámetros a mostrar de acuerdo con la Directiva 2007/60/CE, en su punto 5, es el tipo de actividad económica de la zona que puede verse afectada. La actividad económica, queda asignada en categorías en función de los usos del suelo, otorgándose un valor del riesgo por m² a cada una de ellas.

Como se ha indicado antes, se ha utilizado como fuente de información para el análisis de los usos del suelo afectados la base cartográfica del Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España Andalucía (SIOSE Andalucía), atendiendo a los porcentajes

mayoritarios de usos presentes en cada polígono. SIOSE Andalucía es una cartografía a escala de detalle 1:10.000 que integra una serie de fuentes de información en una sola capa ajustada a los límites de la propiedad, con el fin último de conseguir una geometría única para todo el territorio, que además sea útil para la gestión del mismo. Esta información se encuentra recogida en la Red de Información Ambiental de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía.

Con esta información como base se realiza un cruce espacial con el software de Sistema de Información Geográfica (GIS) para comprobar qué categorías de usos del suelo según SIOSE Andalucía resultan afectados dentro de cada zona inundable.

Los usos del suelo están agrupados en las siguientes categorías:

- Urbano concentrado: Edificaciones principalmente destinadas a viviendas, generalmente ubicadas en el casco (zona urbana mixta consolidada caracterizada por presentar trama irregular, viales estrechos y pocas zonas verdes) o en ensanches urbanos (zonas consolidadas o no que siguen un planeamiento urbano definido, generalmente en torno al casco existente).
- Urbano disperso: Edificaciones en zona urbana consolidada o en vías de consolidación, de trama regular y producida por un planeamiento urbanístico definido, que suelen conectar con la trama caso/ensanche a través de una vía de comunicación. También pueden ser edificaciones aisladas o en vías de construcción.
- Asociado a urbano: En esta categoría se incluirían los elementos generalmente presentes en superficies urbanizadas, sin ser edificaciones. Por ejemplo, serían zonas de arbolado urbano, láminas de agua artificiales tipo piscinas o estanques, viales, aparcamientos, zonas peatonales, suelos no edificados (se aprecie o no una intención futura de edificación), etc.
- Infraestructura social: Edificaciones o áreas destinadas al uso público, tales como edificios administrativos (ayuntamientos, parques de bomberos, albergues, refugios de montaña...), sanitarios, cementerios, centros de enseñanza, centros penitenciarios, religiosos, culturales, deportivos o parques urbanos.
- Terciario: Edificaciones o áreas destinadas a servicios no productivos de bienes que se prestan a los ciudadanos. En esta categoría se incluirían las tipologías de comercial y oficinas, parques recreativos, complejos hoteleros, campos de golf, campings, zonas de acampada libre o merenderos, entre otros.
- Industrial concentrado: Instalaciones destinadas a la obtención, elaboración, transformación, reparación, almacenamiento y distribución de productos. Normalmente se encuentran siguiendo una estructura definida, próximos a núcleos urbanos, con zonas verdes, equipamientos y servicios.
- Industrial disperso: Instalaciones de la misma tipología que el uso “industrial concentrado”, las cuales pueden encontrarse en un área industrial sin aparente planificación o directamente aisladas.
- Agrícola-secano: Áreas cultivadas sin aporte artificial de agua o con algún riego de forma esporádica. Por ejemplo, se asignará este uso a la superficie ocupada con cultivos herbáceos y/o leñosos donde no se aprecian infraestructuras de riego ni

humedad en el terreno, superficie ocupada con praderas no regadas o de forma eventual, o superficies ocupadas con praderas inundadas en primavera por estar próximas al cauce de un río pero donde no existan infraestructuras de riego.

- Agrícola-regadío: Áreas de cultivo donde se realiza un aporte artificial de agua o existen estructuras permanentes de riego. Por ejemplo, serían las propias zonas de riego con cobertura total, las superficies de cultivos herbáceos y/o leñosos donde se aprecian infraestructuras de riego y humedad en el terreno, algunas zonas de vega (aporte de agua desde el río mediante sistemas de acequia), etc.
- Otros usos rurales: Edificaciones o superficies artificiales destinadas a actividades ligadas al sector primario de producción (agricultura y ganadería, forestal, minería, zonas de extracción o vertido o piscifactorías).
- Forestal: Superficie con especies forestales arbóreas como manifestación vegetal de estructura vertical dominante que, en condiciones climáticas normales, superan los 5 metros de altura. Se incluyen las formaciones de ribera, repoblaciones o zonas en regeneración, y ya se trate de especies caducifolias o perennifolias.
- Infraestructuras-carreteras: Infraestructuras de transporte incluidas en la red viaria (carreteras asfaltadas del tipo autopista, autovía, carretera del Estado y autonómica de primer orden). Se incluyen los terrenos asociados a ellas.
- Infraestructuras-ferrocarriles: Infraestructuras viarias de tipo tren y sus terrenos asociados.
- Infraestructuras-puertos y aeropuertos: Infraestructuras de áreas portuarias de tipo marítimo (muelles, zonas de atraque, etc.) y aeroportuarias (incluyendo terminales, pistas de aterrizaje, hangares, zonas de carga, etc.).
- Infraestructuras-energía: Áreas con instalaciones destinadas a la producción de energía eólica, solar, hidroeléctrica (no la lámina de agua), nuclear, térmica, eléctrica o instalaciones asociadas. También se incluyen las conducciones utilizadas para transportar o contener fluidos combustibles y derivados.
- Infraestructuras-comunicaciones: Áreas con instalaciones destinadas a dar cobertura a los servicios de comunicaciones de televisión, radiofónicas, telegráficas, radiotelegráficas y demás análogas.
- Infraestructuras hidráulico-sanitarias: Áreas con instalaciones destinadas a la depuración o potabilización del agua y a la desalación de aguas marinas y salobres y las conducciones o canalizaciones destinadas al transporte de agua.
- Infraestructuras-residuos: Área destinada al vertido de basuras y escombros (vertederos públicos e industriales, balsas de aguas residuales o vertidos líquidos procedentes de procesos químicos, etc.) y las áreas con instalaciones destinadas a la clasificación y recuperación de residuos.
- Masas de agua: Superficies de agua permanentes o de carácter temporal, ya se trate de aguas dulces o marinas. En esta categoría se incluirían las aguas y humedales continentales y marinos (con alguna excepción).

- Otras áreas sin riesgo: Se trata de superficies de terreno incluidas dentro de las zonas inundables de cada periodo de retorno y, por tanto, afectadas por la inundación, pero que no se encontrarían representadas por ninguna de las categorías anteriores, principalmente por el nulo valor económico que supone su afección. Se incluirían en esta categoría: playas, arenales, zonas quemadas, acantilados, suelos desnudos o sin vegetación, etc.

- Afección a puntos de especial importancia

En el apartado c) del artículo 9 del Real Decreto 903/2010 se indica que los Mapas de Riesgo deberán incluir los siguientes aspectos:

- Emisiones industriales. En España, el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR) es el mecanismo de control que contiene el inventario de instalaciones sujetas a PRTR, por lo que será la fuente de información fundamental para localizar estos puntos de interés para los Mapas de Riesgo.

En este Registro se recoge información sobre las emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo de las sustancias contaminantes y datos de transferencias de residuos de las principales industrias y otras fuentes puntuales y difusas, de acuerdo con lo establecido en la legislación internacional (Protocolo de Kiev y Convenio de Aarhus), en la legislación europea (Reglamento E-PRTR) y a nivel nacional (RD 508/2007 y modificaciones posteriores).

- Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR): para este apartado se ha utilizado como fuente la información disponible en la Red de Información Ambiental (REDIAM) y de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía.
- Patrimonio Cultural: para este apartado se ha utilizado como fuente la información obtenida a partir del Área de Desarrollo de la Información del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico de la Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico de la Junta de Andalucía.
- Elementos significativos para Protección Civil: listado de puntos de “afecciones de importancia para las labores de protección civil” especificados por Protección Civil, que se dividen en los siguientes tipos y subtipos:
 - Seguridad: Bomberos, Policía y Guardia Civil.
 - Sanidad: Hospitales.
 - Educación: Educación Infantil, Escuelas y Campus.
 - Residencial Especial: Residencias de ancianos, Centros Penitenciarios y Campings.
 - Concurrencia Pública Destacada: Centros Comerciales, Instalaciones Deportivas, Centros de Ocio y Centros Religiosos.

- Servicios Básicos: Energía y Agua.
- Transporte: Estaciones de Autobuses y Ferrocarriles, Puertos y Aeropuertos.
- Industria: Nuclear, Radiactiva y Química.

● **Afección a las áreas de importancia medioambiental**

Para las áreas de importancia medioambiental la capa correspondiente se ha obtenido superponiendo cada envolvente a las capas GIS que contienen dicha información. Según la Directiva 2007/60/CE, como zonas protegidas a incluir en los mapas de riesgo, es necesario tener en cuenta las indicadas en el anexo IV, punto I, incisos i), iii) y v). En consecuencia se han considerado cuatro categorías diferentes:

- 2 Masas de agua de la Directiva Marco del Agua, de acuerdo con la información recogida en el Plan Hidrológico de la demarcación.
- 3 Zonas protegidas para la captación de aguas destinadas al consumo humano: obtenidas del área de descargas del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y capa de zonas protegidas de aguas potables recogidas en el Plan Hidrológico de la demarcación.
- 4 Masas de agua de uso recreativo. Son las declaradas como “aguas de baño” en la Directiva 2006/7/CE. El censo de estas se ha obtenido a través del Sistema de Información Nacional de Aguas de Baño (Náyade).
- 5 Zonas para la protección de hábitats y especies: incluye las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAs) y las Zonas de Especial Conservación (ZEC) designadas por la Comisión Europea a partir de Lugares de Interés Comunitario (LICs). La información se ha obtenido del área de descargas de la Red de Información Ambiental (REDIAM), que las recopila en la capa de Red Natura 2000.

5. RESULTADO Y TRAMITACIÓN

Los Mapas de Peligrosidad y Riesgo de inundación de esta demarcación del Tinto, Odiel y Piedras, obtenidos como resultado del procedimiento antes descrito, deben someterse a un periodo de consulta pública durante un plazo mínimo de tres meses, conforme a lo establecido en el artículo 10 del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio. Para facilitar dicha consulta se ha establecido un visor de Mapas específico en la dirección web:

<https://lajunta.es/3a6pg>

Terminado el periodo de consulta pública y una vez analizadas las alegaciones, se continuará con el procedimiento previsto en el artículo 10.2. del Real Decreto 903/2010. Una vez validada la información recogida en los Mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación se remitirá al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico para su integración en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

Para que tenga la condición de cartografía oficial, se inscribirá en el Registro Central de Cartografía, de conformidad con lo establecido en el Real Decreto 1545/2007, de 23 de noviembre, por el que se regula el Sistema Cartográfico Nacional. Dichos Mapas constituirán la base para la elaboración del Plan de Gestión del riesgo de inundación de la demarcación.