



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**Estudio de ampliación de capacidad y restauración
ambiental del encauzamiento del río Segura entre la
AP – 7 y el puente de la carretera CV – 91 (T.T. M.M.
de Formentera del Segura y Rojas, Alicante)**

Presentado por

Hernández Cabrera, Bibiano

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2020/2021

Fecha: 20/07/2021

Tutor: Dr. D. Juan Bautista Marco Segura

Cotutor: Dr. D. Miguel Ángel Eguibar Galán



Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD Y
RESTAURACIÓN AMBIENTAL DEL ENCAUZAMIENTO
DEL RÍO SEGURA ENTRE LA AP – 7 Y EL PUENTE DE
LA CARRETERA CV – 91 (T.T. M.M. DE FORMENTERA
DEL SEGURA Y ROJALES, ALICANTE)**

**DOCUMENTO I DE III
TOMO I MEMORIA**

Autor:

Bibiano Hernández Cabrera

Tutor: Dr. D. Juan Bautista Marco Segura

Cotutor: D. Miguel Ángel Eguibar Galán



AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo de Fin de Grado queda dedicado a todas aquellas familias de la Vega Baja que sufrieron la inundación de septiembre de 2019. Especialmente, a mi abuelo materno, a quien el Río Segura le arrebató gran parte de sus cultivos y su vivienda.

Por otra parte, quiero agradecer a los tutores de este proyecto el apoyo y los consejos que me han dado durante todo este proceso.

Por último, agradecer a mis padres, a mi pareja y a mis seres queridos el apoyo incondicional que me han dado en cualquier etapa de mi vida.

Bibiano Hernández Cabrera

Valencia, 2021

RESUMEN

El plan de defensas contra las crecidas del río Segura, redactado en 1987 por la Confederación Hidrográfica, constaba de 12 presas y el encauzamiento integral del río, desde Murcia hasta su desembocadura. Así como las presas han funcionado adecuadamente, logrando un nivel suficiente de protección en Murcia, la crecida del 12 de septiembre de 2019 ha demostrado notables deficiencias en el encauzamiento.

Aparte, el encauzamiento es ambientalmente muy cuestionable, eliminando los sotos y meandros, rectificando y artificializando el cauce y eliminando todo el ecosistema ripario.

Además, se trata de un canal telescópico de capacidad irregular y que decrece hacia aguas abajo. En particular, el tramo aguas abajo del puente de la autopista AP – 7 tiene una capacidad del 50 % de la capacidad hidráulica aguas arriba. Si la capacidad del cauce aguas arriba es de 500 – 540 m³/s., aguas abajo no es posible superar los 340 m³/s. En dicho tramo, y hasta el puente de la carretera CV-91, existen varios estrangulamientos que corresponden al azud de Formentera del Segura, al puente histórico del S XVIII de Rojales y un estrechamiento a la salida del encauzamiento de esta última población. A partir del puente de la CV – 91 la capacidad se duplica y ya no se precisa intervención.

Parece necesaria la intervención en ese tramo con dos objetivos, incrementar y homogeneizar la capacidad hidráulica y renaturalizar el río.

El encauzamiento actual es un canal trapecial en tierras, cuya línea de agua se sitúa entre 2 y 3 m. por encima del llano de inundación. No tiene sentido incrementar la capacidad en base a seguir elevando la línea de agua, más y más sobre el terreno. Cuando se produce la rotura de las márgenes, el río se desborda con fuerza arrasándolo todo como quedó demostrado en 2019.

La solución que se propone desarrollar es un ensanchamiento del cauce, en base a una sección compuesta de planta irregular, desplazando lateralmente los diques de contención, y renaturalizando el cauce mayor. Al tiempo es necesario un by-pass en forma de colector cubierto para el puente de Rojales y su entorno que están protegidos por su valor patrimonial.



Documento n°1. Memoria



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	5
ÍNDICE.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	8
1 INTRODUCCIÓN	13
1.1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO.....	14
2 ESTADO DEL ARTE.....	15
2.1 CURSO BAJO DEL RÍO SEGURA	15
2.1.1 Confederación Hidrográfica del Segura.....	15
2.1.2 Características naturales de la Cuenca Hidrográfica del Segura.....	16
2.1.2.1 Climatología	16
2.1.2.2 Morfoestructura de la cuenca.....	17
2.1.2.3 Litología	19
2.2 MARCO LEGAL	19
2.2.1 Directiva Marco Del Agua	19
2.2.2 Directiva de Evaluación y Gestión de riesgos de inundación.....	20
2.2.3 Estrategia Nacional de Restauración de Ríos	21
2.2.4 Reglamento del Dominio Público Hidráulico	22
2.3 INUNDACIONES EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA	23
2.3.1 Cronología de inundaciones en la Cuenca del Segura	23
2.3.2 Análisis climático de la Vega Baja	25
2.3.2.1 AEMET: importancia de los sistemas de predicción y vigilancia.	25
2.3.2.2 Temporal del 11 al 14 de septiembre de 2019	26
2.3.2.3 Análisis del fenómeno meteorológico.	28
2.3.2.4 Situación climática actual	30
2.4 ESTADO DEL RÍO SEGURA A SU PASO POR LA VEGA BAJA	30
2.4.1 Encauzamiento del río en la Vega Baja	30
2.4.2 Restauración fluvial.....	32
2.4.3 Retranqueo motas del Río Segura al paso por la Vega Baja	33
2.5 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO.....	36
2.3.1 Localización	36
2.3.2 Interferencias con las infraestructuras	38
2.3.3 Características del encauzamiento.	38
2.3.4 Elementos del medio natural.	40
2.3.5 Terrenos agrícolas	41



3	DISEÑO DEL MODELO PROPUESTO	43
3.1	DISEÑO EN PLANTA.....	43
3.1.1	Antecedentes	43
3.1.2	Estado actual en planta.....	44
3.1.3	Propuesta de diseño en planta	48
3.2	MODELADO HEC-RAS	53
3.2.1	Situación actual.....	53
3.2.2	Diseño de la propuesta.....	56
3.2.2.1	Condiciones de contorno	57
3.2.3	Situación futura	58
3.3	DISEÑO HIDRAULICO BY-PASS	59
3.3.1	Puente Carlos III.....	60
3.2.2	Descripción del by-pass.....	62
3.2.3	Diseño del by-pass.....	64
3.2.4	Proceso constructivo.....	66
4	OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)	67
5	CONCLUSIONES	69
6	BIBLIOGRAFÍA.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ranking de precipitaciones en la cuenca del Segura, zona interior y Vega Baja	29
Tabla 2. Movimiento de tierras. (Fuente: elaboración propia).....	39
Tabla 3. Protecciones en el cauce. (Fuente: elaboración propia).....	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1.1.1. Demarcación Hidrográfica del Segura. (Fuente: CHS, 2008).....	16
Ilustración 1.1.2.2.1. Mapa de Altitudes. (Fuente: CHS, 2005)	18

<i>Ilustración 2.3.2.2.1. Precipitación acumulada entre el 11 y el 14 de septiembre de 2019.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 2.3.2.2.2. Altura geopotencial y temperatura en la superficie isobárica de 500 hPa. 11 de septiembre de 2019 a las 12 UTC.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 2.3.2.2.3.. Altura geopotencial en 300 hPa frente a los valores normales en Murcia.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 2.3.2.4.1. Variación de la temperatura media anual en la Comunidad Valenciana.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 2.4.1.1 Proceso de incisión del cauce. (Fuente: www.forest-monitor.com).....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 2.4.2.1. Proceso de restauración fluvial.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 2.4.3.2. Antiguo meandro Vega Baja (Fuente: Google Earth)</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 2.4.3.1. Antiguo meandro Vega Baja (Fuente: Google Earth)</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 2. Antiguos meandros Vega Baja.....¡Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Ilustración 2.4.3.3. Situación caudal bajo. (Fuente: Ecologistas en Acción).....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 2.4.3.4. Situación de crecida moderada. (Fuente: Ecologistas en Acción)</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 2.4.3.5. Situación de gran crecida. (Fuente: Ecologistas en Acción).....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 2.4.3.6. Situación de gran avenida con las motas desplazadas. (Fuente: Ecologistas en Acción).....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 2.3.1.1 Localización de las actuaciones. (Fuente: propia)</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 2.3.3.2. Sección tipo tramo de estudio. (Plan de Acción Territorial del Corredor del Segura (2005))</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 2.3.3.1. Sección tipo tramo de estudio. (Plan de Acción Territorial del Corredor del Segura (2005))</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 2.3.3.3. Escollera colocada. (Fuente: propia.)</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 2.3.4.1. Soto "Meandro de Guardamar" (Fuente: Visor GVA).....</i>	<i>41</i>



<i>Ilustración 2.3.5.2. Usos del suelo. (Fuente: Visor GVA)</i>	42
<i>Ilustración 3.1.2.1. Estado actual en planta. Desde la sección 12702 hasta la 11834</i>	45
<i>Ilustración 3.1.2.2. Estado actual en planta. Desde la sección 10701 hasta la 9784</i>	45
<i>Ilustración 3.1.2.3 Estado actual en planta. Desde la sección 8214 hasta la 7407</i>	46
<i>Ilustración 3.1.2.4. Estado actual en planta. Desde la sección 7407 hasta la 6360</i>	46
<i>Ilustración 3.1.3.1. Renaturalización en planta. Desde la sección 12702 hasta la 11834</i>	50
<i>Ilustración 3.1.3.2. Renaturalización en planta. Desde la sección 10701 hasta la 9784</i>	50
<i>Ilustración 3.1.3.3. Renaturalización en planta. Desde la sección 8214 hasta la 7407</i>	51
<i>Ilustración 3.2.3.4. Renaturalización en planta. Desde la sección 7407 hasta la 6360</i>	51
<i>Ilustración 3.2.3.5. Renaturalización en planta. Desde la sección 6360 hasta la 5565</i>	52
<i>Ilustración 3.2.3.6. Renaturalización en planta. Desde la sección 5565 hasta la 4632</i>	52
<i>Ilustración 3.2.1.1. Puente Carlos III tras la DANA en 2019 (Fuente: practicaespanol.com)</i>	54
<i>Ilustración 3.2.1.2. Puente de Almoradí tras la DANA en 2019. (Fuente: diariodealicante.net)</i>	54
<i>Ilustración 3.2.1.3. Zona urbana Formentera del Segura tras la DANA en 2019 (Fuente: propia)</i>	55
<i>Ilustración 3.2.1.4. Sección 6864 actual. (Fuente: propia con Hec-Ras)</i>	56
<i>Ilustración 3.2.2.1. Planta de la solución en Hec-Ras</i>	57
<i>Ilustración 3.2.3.1. Sección 6864 modificada. (Fuente: propia con Hec-Ras)</i>	58
<i>Ilustración 3.2.3.2. Sección 5888 modificada. (Fuente: propia con Hec-Ras)</i>	59

<i>Ilustración 3.3.1.2. Noria y azud del puente Carlos III. (Fuente: (GOING Puente de Carlos III en Rojas, s. f.)</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 3.2.2.1. Planta del by-pass sobre mapa. (Fuente: propia con AutoCad)</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 3.2.3.1. Cotas de los orificios del puente Carlos III (Fuente: elaboración propia)</i>	<i>64</i>



Documento n°1. Memoria





1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo “ESTUDIO DE AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL DEL ENCAUZAMIENTO DEL RÍO SEGURA ENTRE LA AP – 7 Y EL PUENTE DE LA CARRETERA CV – 91 (T.T. M.M. DE FORMENTERA DEL SEGURA Y ROJALES, ALICANTE)” consiste en el estudio y diseño completo de la ampliación de volumen de flujo admitido por el encauzamiento del Río Segura mediante la colaboración de dos actuaciones diseñadas conjuntamente.

En primer lugar, se mostrará la restauración ambiental y ensanchamiento del cauce, en base a una sección compuesta de planta irregular. Dicha restauración se llevará a cabo entre la Autopista del Mediterráneo (AP-7) y la carretera CV-91, la actuación se ve dividida en tres tramos, separados entre sí por los términos municipales de Formentera del Segura y Rojas.

La segunda actuación llevada a cabo para la ampliación de capacidad del cauce es el diseño de un By-Pass en forma de colector cubierto para el puente de Carlos III, situado en el casco urbano de Rojas. Esta obra es necesaria para aumentar el escaso volumen que es capaz de dejar pasar el puente anteriormente mencionado por sus tres orificios.

La Vega Baja del Segura se ha visto expuesta históricamente a desbordamientos e inundaciones en episodios de precipitaciones torrenciales. Por este motivo nace esta actuación fluvial, para proteger las zonas próximas al cauce de futuras avenidas.

Especialmente, este TFG viene motivado por la magnitud de la última gran inundación sufrida por la Vega Baja, producida por la DANA en septiembre de 2019.



1.1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO.

El presente estudio tiene por principal objeto la definición del diseño hidráulico del tramo del Río Segura comprendido entre el paso de la Autopista AP-7 sobre el río y la intersección de la carretera CV-91 con el mismo. El objetivo perseguido es dotar de capacidad amortiguadora al río en situaciones de grandes tempestades, para así solventar la actual problemática de la zona con las inundaciones.

El trabajo comprenderá el diseño completo en planta, alzado y perfil de sendas actuaciones descritas con anterioridad.

Se realizará el diseño y cálculo hidráulico, mecánico y constructivo de un corredor verde, con una sección compuesta y la renaturalización del cauce mayor de planta irregular.

Al mismo tiempo, se realizará el diseño del By-Pass del Puente de Carlos III, en Rojales, con una estructura enterrada de tipo colector. Como un marco enterrado de hormigón armado. Para dicha estructura se realizará su diseño geométrico e hidráulico, así como constructivo.



2 ESTADO DEL ARTE

2.1 CURSO BAJO DEL RÍO SEGURA

En los siguientes apartados se describirá el Río Segura a su paso por la Vega Baja, a fin de conocer en mayor profundidad las características que circunscriben la zona de estudio. La gran influencia que supone en el sistema fluvial del curso bajo del Río Segura el terreno y su comportamiento hidrológico ayudan a comprender en mayor medida la singularidad de la problemática presente en la Vega Baja del Segura.

2.1.1 Confederación Hidrográfica del Segura

La Confederación Hidrográfica del Segura (CHS) se encuentra en el Sureste de la Península Ibérica, ocupando una superficie en torno a los 20 km². Comprende principalmente a la Región de Murcia, aunque también afecta a las comunidades autónomas de Andalucía (provincias de Almería, Granada y Jaén), Comunidad Valenciana (provincia de Alicante) y Castilla-La Mancha (provincia de Albacete). De manera más concreta, tal y como se recoge en el artículo 2.2 del Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas:

“Comprende el territorio de las cuencas hidrográficas que vierten al mar Mediterráneo entre la desembocadura del río Almanzora y la margen izquierda de la Gola del Segura en su desembocadura, incluidas sus aguas de transición; además la subcuenca hidrográfica de la Rambla de Canales y las cuencas endorreicas de Yecla y Corral Rubio. Las aguas costeras tienen como límite sur la línea con orientación 122° que pasa por el Puntazo de los Ratones, al norte de la desembocadura del río Almanzora, y como límite norte la línea con orientación 100° que pasa por el límite costero entre los términos municipales de Elche y Guardamar del Segura”.



En la Ilustración 2.1.1.1 se puede observar el mapa con la delimitación oficial de la Demarcación Hidrográfica del Segura, extraído de la página web de la Confederación Hidrográfica del Segura (Ámbito territorial (chsegura.es), 2008).

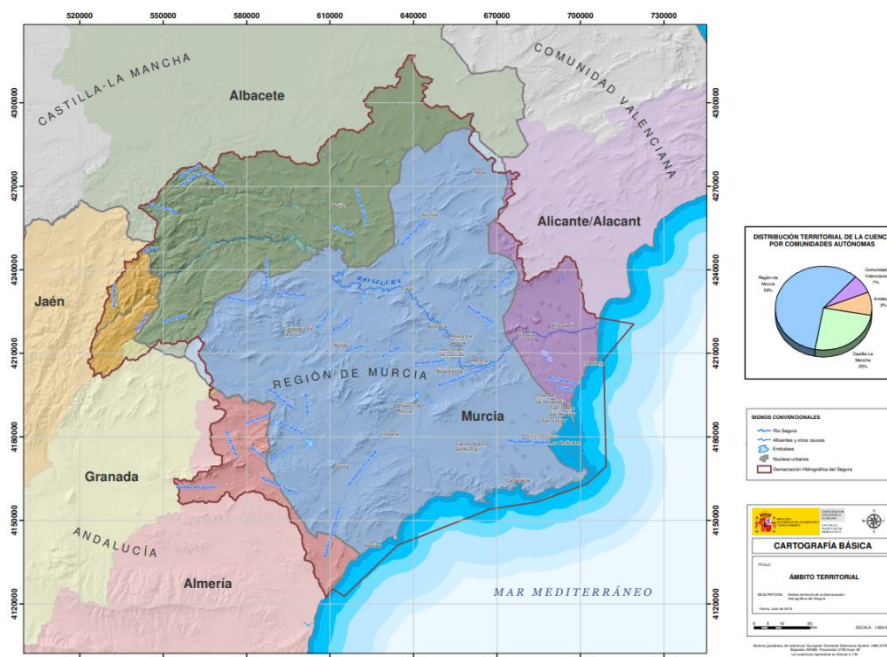


Ilustración 2.1.1.1. Demarcación Hidrográfica del Segura. (Fuente: CHS, 2008)

2.1.2 Características naturales de la Cuenca Hidrográfica del Segura

Es conveniente conocer las características naturales de la cuenca del Segura antes de comenzar con el estudio del tramo en el que se centra este documento, ya que estas son una influencia directa en el régimen hidrológico de la zona.

2.1.2.1 Climatología

La cuenca Hidrográfica del Segura forma parte de la vertiente Mediterránea. Por sus condiciones, en dicha vertiente el fenómeno climático más destacable es la formación de la comúnmente conocida como “gota fría” o DANA, por las siglas de Depresión Aislada en Niveles Altos, soliendo presentarse este fenómeno al comienzo del otoño y de la primavera. Esta circunstancia tiene lugar principalmente en la parte occidental del Mar mediterráneo, dado que se puede considerar relativamente pequeño al Mar Mediterráneo, tras los meses de verano en los que se registran altas temperaturas, el mar acumula y emite una gran cantidad de calor, a lo que en ocasiones se le suma la llegada de grandes masas de aire caliente procedentes de la superficie del continente africano, el cual pierde su temperatura rápidamente al chocar con la acción climatizadora del Mar



Mediterráneo. El aire, relativamente frío, entra en contacto con la masa de aire caliente, y lo arrastra hasta una de las costas de la vertiente mediterránea, dependiendo de la dirección de la que proceda desembocará en una costa u otra. Generando allí donde llegue tormentas de gran envergadura e intensidad. En el caso la cuenca del Segura, estas tormentas espontáneas ocasionan crecidas y avenidas, las cuales el río no es capaz de absorber y desaguar eficazmente.

Históricamente, la Cuenca Hidrográfica del Segura ha estado expuesto a largos episodios de sequía, los cuales se ven interrumpidos de manera brusca por las fuertes lluvias torrenciales provocadas por la gota fría.

Las precipitaciones registradas durante las últimas décadas han llegado a alcanzar valores superiores a los 100 mm, incluso superando los 200 mm en algunos casos, en márgenes muy cortos de tiempo, en muchos casos inferiores a 24 horas. Así, las precipitaciones han dado lugar a grandes caudales repentinos con puntas muy elevadas.

Esta circunstancia ha llevado al Gobierno Regional a catalogar la zona como catastrófica. Hecho que se reafirmó en septiembre de 2019, a causa de los severos daños sufridos por las inundaciones.

2.1.2.2 Morfoestructura de la cuenca

El suroeste de la Península Ibérica se caracteriza por presentar notables desniveles en su topografía, debido a la gran variedad de accidentes geográficos que se encuentran en ella, tales como depresiones, sierras y llanuras litorales. Esta morfoestructura tan variante explica el comportamiento fluvial de los cauces presentes en esta cuenca.

En la Ilustración 1.1.2.2.1. se puede observar la cartografía básica de altitudes de la cuenca del Segura (m.s.n.m), extraída de la página web de la Confederación Hidrográfica del Segura ([Ámbito territorial \(chsegura.es\)](http://chsegura.es), 2005).

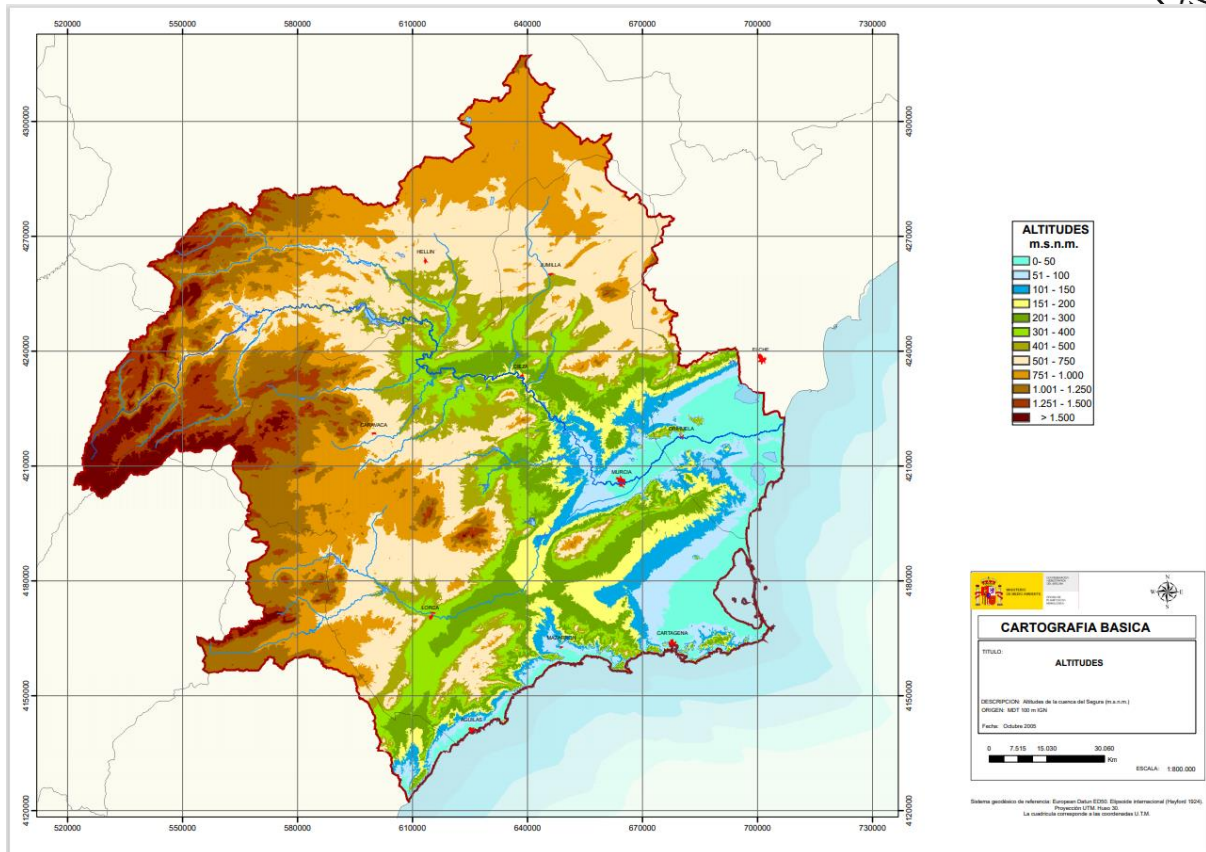


Ilustración 2.1.2.2.1. Mapa de Altitudes. (Fuente: CHS, 2005)

En la zona septentrional y oeste de la cuenca se puede observar una orografía montañosa, superando los 2.000 m.s.n.m, por otra parte, atendiendo al sureste de la cuenca, las altitudes son notablemente menores, observándose extensas llanuras cercanas a la costa mediterránea. Los ríos en su nacimiento suelen discurrir por valles, tal y como se observa en la Ilustración 3.1.2.2.1., por lo que se puede afirmar que el cauce del río queda definido por el terreno en la cabecera, se podría decir que queda encajonado entre las montañas, por lo que se produce un aumento importante de los calados y las velocidades, pues no existe espacio disponible para que el río fluctúe y para que desborde. A su vez esto provoca que aguas abajo, en el cauce principal, llegue un gran caudal.

Al salir de la zona de mayor altitud, coloreada en tonos marrones en la Ilustración 4.1.2.2.1., y acercarse a la costa, el río pierde en gran medida la pendiente y debido al poder erosivo de los ríos en la cabecera, se forman terrazas aluviales. En estas, al recibir volúmenes de agua muy superiores al régimen natural, se producen desbordamientos muy fácilmente, produciendo inundaciones en las zonas colindantes.

En último lugar, al paso del Río Segura por la vega media y baja, para luchar contra las grandes avenidas, se decidió la implementación de una



serie de medidas, como las motas de contención. Debido a las constantes inundaciones y desbordamientos en el territorio, estas fueron recreciendo y consolidándose, lo que supuso que el lecho normal del río acabase topográficamente más elevado, por lo que cuando aumenta el caudal por encima del régimen natural o se produce alguna rotura en las motas, las zonas adyacentes queden inundadas y el agua no sea capaz de retornar por sí misma al cauce.

2.1.2.3 Litología

La cuenca del Segura está compuesta, grosso modo, por tres materiales: depósitos cuaternarios, calizas y margas.

Las margas, y en menor medida también las calizas, destacan por su impermeabilidad, lo cual favorece la formación de superficies poco drenantes por las que la escorrentía se forma con facilidad, desembocando en la inundación de terrenos. En el caso de las calizas este efecto de escasa infiltración se da sobre todo cuando las lluvias son muy intensas y el suelo se satura rápidamente.

De forma similar ocurre con los depósitos cuaternarios, los cuales son de origen glacial y fluvial, caracterizados por la acumulación de arcillas y arenas, con fragmentos de material de diversos tamaños, pero mayormente bien compactados y poco drenantes, esto favorece la escorrentía como se ha comentado antes.

Consecuentemente, la geología que circunscribe la cuenca del Segura es un factor determinante a la hora de recibir grandes avenidas, ya que no permite que el agua se infiltre hacia capas inferiores con facilidad, haciendo que la gran parte del porcentaje de agua caída tenga que transcurrir por la superficie, anegando terrenos y cultivos, hasta desaguar en el mar o evaporarse.

2.2 MARCO LEGAL

El objetivo perseguido en el siguiente apartado es acotar la normativa a la que está sujeta este proyecto de restauración del cauce y recuperación de los espacios fluviales. Ante la evidente problemática a la que está expuesta la cuenca hidrográfica del Segura surgió la necesidad de crear todo un marco legal dentro del ámbito de las inundaciones.

2.2.1 Directiva Marco Del Agua

Con el propósito de unificar las actuaciones en materia de gestión del agua la Unión Europea creó la Directiva Marco del Agua (DMA), adoptada en el año



2000. *“La acción de la UE es necesaria, porque las cuencas hidrográficas y la contaminación no entienden de fronteras. El enfoque basado en las cuencas hidrográficas es el más adecuado para gestionar el agua”* (European Commission. Directorate General for the Environment., 2014). De esta manera surgió la necesidad de adoptar una serie de medidas extracomunitarias a fin de garantizar la sostenibilidad de los sistemas fluviales, permitiendo establecer unos objetivos medioambientales homogéneos para todos los países de la Unión Europea. Estas directrices tratan de asegurar un alto nivel de calidad y cantidad en las aguas de la Comunidad Europea, la exigencia de esta norma no siempre es sencilla de alcanzar.

La DMA fue aceptada en diciembre del año 2000 por la puesta en común y discusión de un consejo experto compuesto por expertos del agua, políticos, ingenieros y profesionales especializados en el medio ambiente. Esta fue la primera normativa marco en la que se establecían los principios fundamentales de la gestión de los recursos hídricos. Además, la DMA reclama a cada país miembro que elabore los llamados “planes hidrológicos de las cuencas”. A continuación, se enumeran algunos de los principios perseguidos por esta normativa:

- Promover el uso sostenible del agua.
- Contribuir a paliar los efectos de las inundaciones y sequías.
- Proteger, mejorar y prevenir el deterioro de los ecosistemas acuáticos.
- Garantizar la reducción progresiva de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

2.2.2 Directiva de Evaluación y Gestión de riesgos de inundación.

Según (Olcina & Díez-Herrero, 2017), las catástrofes naturales que mayores daños provocan en España son las inundaciones. Las competencias en cuanto a gestión y defensa frente a los efectos de las inundaciones afectan a todos los niveles de la administración pública. Empezando por el escalón superior, la Administración Estatal es encargada de la gestión del dominio público hidráulico de las cuencas que pertenecen a más de una comunidad autónoma, así como de la protección civil, después, a nivel autonómico, la administración es afectada en lo relacionado a la ordenación del territorio y la gestión de la cuenca dentro de sus delimitaciones y, por último, la administración local en labores de planteamiento urbanístico y protección civil.

Con el objetivo de reforzar la manera de proceder y las actuaciones que deben considerarse durante episodios de inundaciones, la Comisión Europea aprobó en noviembre de 2007 la Directiva 2007/60 sobre evaluación y gestión de inundaciones, transpuesta por la legislación española por el RD 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación.



El objetivo de esta Directiva es tratar de aminorar los daños sufridos en caso de inundaciones mediante la coordinación entre las administraciones, principalmente en aquellas áreas con mayor riesgo de inundación, denominadas como Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs).

La herramienta clave de esta directiva radica en la elaboración, aprobación y posterior implantación de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI), regulados por el RD 903/2010. A continuación, se establecen los objetivos generales de estos planes:

- Incremento de la percepción del riesgo de inundación y de las estrategias de autoprotección en la población, agentes sociales y económicos.
- Mejorar la coordinación administrativa entre todos los actores involucrados en la gestión del riesgo de inundación.
- Mejorar el conocimiento para la adecuada gestión del riesgo de inundación.
- Contribuir a la mejora en materia de ordenación del territorio y la gestión de la exposición en las zonas inundables.
- Mejorar la capacidad predictiva ante situaciones de avenida e inundaciones.
- Reducir, en la medida de lo posible, el riesgo a través de la disminución de la peligrosidad para la salud humana, actividades económicas, el patrimonio cultural y medioambiental en las zonas inundables.
- Disminuir la vulnerabilidad de los elementos ubicados en las zonas inundables.

Cada Demarcación Hidrográfica está obligada a presentar la evaluación anual de lo PGRI, defendiendo las características mencionadas anteriormente con el fin de establecer un horizonte futuro en el que se cumplan los objetivos marcados por esta Directiva.

2.2.3 Estrategia Nacional de Restauración de Ríos

De forma paralela a la Directiva Marco del Agua y la Directiva de Evaluación y Gestión de riesgos de inundación, el actual Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, está desarrollando el trabajo que empezó el mismo ministerio (anteriormente separado en Ministerio de Agricultura y Ministerio de Energía) en las legislaturas pasadas, llamado la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos.

Este planteamiento busca recopilar un conjunto de actuaciones preestablecidas para conservar y recuperar el buen estado de los ríos de España, así como mitigar los riesgos de inundación, potenciar su patrimonio cultural, fomentar el uso racional de los espacios fluviales e impulsar el desarrollo sostenible del medio rural.

La Estrategia Nacional de Restauración de Ríos se apoya en la Directiva Marco del Agua, siguiendo su principal objetivo de hacer que las diferentes administraciones trabajen de forma conjunta en la gestión de las cuencas.



Además de este objetivo, cabe destacar otros más específicos, como son:

- Fomentar la integración de la gestión de los ecosistemas fluviales en cuanto a políticas de uso y gestión del territorio.
- Mejorar la formación para la gestión sostenible de los ríos y su restauración.
- Aportar información y experiencias para mejorar las actuaciones de restauración fluvial.
- Implicar a colectivos sociales y fomentar la participación ciudadana en la gestión de sistemas fluviales.

Como se puede observar de los objetivos descritos, con esta Estrategia se busca mejorar el conocimiento acerca de la dinámica y el comportamiento fluvial, desde un punto de vista más integrador del río en la naturaleza, un aspecto clave que se ha de inculcar para asegurar que las futuras actuaciones estén encaminadas a una mayor sostenibilidad de los ríos. Asimismo, se deberá exigir una formación más actual y multidisciplinar para los agentes intervinientes en proyectos fluviales. Por último, mediante la participación ciudadana se busca una mejor percepción y comprensión de los problemas asociados a los ríos y la gestión de estos.

2.2.4 Reglamento del Dominio Público Hidráulico

Acorde a la tendencia establecida por las normativas descritas anteriormente, la política a seguir en las futuras actuaciones fluviales pasará por devolver al río parte del espacio que se le quitó mediante el encauzamiento, esto influye indudablemente al dominio público del agua, por lo tanto, la gestión del riego es uno de los aspectos fundamentales que se debe abordar cuando se trata de actuaciones fluviales.

El objetivo principal que se debe alcanzar es la protección de las personas, los bienes y el medio ambiente, por medio de normativa sobre inundaciones, referida en el apartado 2.2. Inicialmente, el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero supuso la modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado en 1986, para incorporar los criterios de la Directiva Marco del Agua y la Directiva de Evaluación y Gestión de los riesgos de inundación. Este reglamento establece la definición del cauce basándose en criterios geomorfológicos, ecológicos e hidrológicos. El Dominio Público Hidráulico (DPH) incluye: aguas continentales, tanto superficiales como subterráneas, los cauces de corrientes naturales continuas o discontinuas, es decir, el terreno sobre el circulan los ríos, ramblas, entre otras corrientes de agua y los lechos de embalses y lagos.

Este Reglamento del Dominio Público Hidráulico nace de la necesidad de asegurar una protección de los recursos hídricos y de los ecosistemas fluviales. Asegurando que para cualquier actuación que pueda influir al ecosistema del río, tales como extracción de áridos, plantar o cortar vegetación, etc., estén aprobadas bajo un permiso.



2.3 INUNDACIONES EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA

2.3.1 Cronología de inundaciones en la Cuenca del Segura

Las características naturales descritas en el apartado anterior han contribuido históricamente a que la Vega Baja del Segura, perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Segura, se haya visto afectada numerosas veces por fenómenos de grandes avenidas e inundaciones, según la Cronología de Riadas en la Cuenca del Segura (Cronología de riadas en la cuenca del Segura (chsegura.es), 2020), la más antigua registrada data de 1259.

Ante el conocimiento de la debilidad del bajo Segura para afrontar avenidas, antaño se han implementado sistemas de contención, tales como presas y embalses, mediante los que regular los caudales circulantes en los cauces y, en el caso de episodios extremos, tratar de paliar los daños ocasionados.

Tras el temporal del 03/11/1987, se proclamó el Real Decreto Ley 4/1987 de 13 de noviembre, donde a través de varios estudios en los que determinaron las soluciones posibles más adecuadas hidráulicamente, se establecían una serie de medidas de defensa contra inundaciones, como encauzamientos, derivaciones y rectificaciones de los cauces.

El Decreto Ley 4/1987 concluyó con la mayor parte del Río Segura encauzado, desde la Rivera del Judío hasta la desembocadura, casi 150 km.

El Río Segura se caracteriza por recoger agua de numerosas ramblas, cauces naturales con caudales esporádicos debido a las precipitaciones, cauces que ordinariamente no existen. El aporte hídrico de estas ramblas puede llegar a generar caudales torrenciales que, a su vez, se suman a los atribuidos por otros cursos, dando lugar a regímenes extremos, es decir, crecidas y avenidas.

A continuación, con el objetivo de poner en antecedentes la problemática de la cuenca del Segura, se resumirán alguno de los episodios históricos acaecidos en la cuenca en las últimas dos décadas, información recogida por Romero Díaz y Maurandi Guirado (2000).

En primer lugar, el desbordamiento del Río Segura en 1982 produjo graves daños, como la rotura de las motas. En 1986, las motas volvieron a verse afectadas por la crecida del río y en ciertos puntos se produjo la colmatación del cauce, aumentando el riesgo de inundación. Este hecho puso en manifiesto la necesidad de regular los afluentes del Río Segura y de un buen mantenimiento y limpieza del cauce.



Un año después, como ya se ha dicho con anterioridad al mencionar el Real Decreto Ley 4/1987, se produjo una de las inundaciones más catastróficas, en las que se registraron precipitaciones con períodos de retorno superiores a 500 y 1000 años, provocando la inundación de las huertas cercanas y la destrucción de muros de defensa y puentes.

En 1989, el aporte de las ramblas al cauce principal fue notablemente superior, en un momento en el que el régimen principal ya estaba muy por encima de lo normal, esto generó un gran arrastre de sólidos y un aumento considerable de la velocidad circulante de las aguas. Esta vez, como había dado tiempo a reparar las motas de la última crecida, no se tuvieron que lamentar muchas pérdidas.

Durante la década de los 90 y principios del siglo XXI se produjeron numerosas inundaciones, esta vez de menor intensidad, por lo que sus efectos no fueron tan perjudiciales como en años anteriores.

En los últimos años se han vuelto a producir de nuevo episodios considerables. En 2010, las áreas cercanas al litoral suroeste de la Región de Murcia se vieron afectadas por una inundación la cual produjo elevadas pérdidas materiales. De nuevo, en 2012, toda la región se vio afectada por fuertes avenidas, con importantes pérdidas de bienes, cultivos, ganados e incluso 3 personas perdieron la vida.

Por último, es preciso destacar la última gran inundación, motivo de este trabajo, provocada por la DANA del 11 de septiembre de 2019, la cual registró datos sin antecedentes, causando destrozos en numerosos términos municipales de la Vega Baja, de la cual se hablará con más detalle en los apartados siguientes.

Como se ha comprobado, se trata de una región con una tendencia muy acusada a los episodios de avenidas, lo cual ha forzado a llevar a cabo actuaciones continuamente, a fin de evitar, o al menos paliar, los posibles daños derivados de estos fenómenos.

Durante el siglo XX, se tomaron una serie de actuaciones tales como el *Proyecto de obras de Defensa contra las inundaciones* (1933) y el *Plan General de Defensa contra avenidas de la Cuenca del Segura* (1977). Todo ello derivó en la implantación de obras hidráulicas, como embalses, diques, muros de contención, así como desvíos, trasvases, etc.

Cabe destacar que algunas de estas medidas, como los encauzamientos, no fueron consideradas adecuadamente, ya que en muchos casos se modificó de manera considerable el espacio natural del río, reduciendo la llanura de inundación y, por tanto, aumentando el riesgo de desbordamiento ante fenómenos de crecidas.



2.3.2 Análisis climático de la Vega Baja

En este apartado se pretenden analizar los datos disponibles en la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), a partir de los cuales caracterizar y predecir las condiciones meteorológicas que se producen en la Vega Baja del Segura. Se muestra así la afección de las precipitaciones torrenciales a las que se vio afectada la Vega Baja del Segura en el histórico episodio de precipitaciones intensas de septiembre de 2019. Además, se comparan las singularidades climáticas de este episodio con las inundaciones históricas a las que se ha visto sometida la Vega Baja anteriormente.

Finalmente, se pretende obtener una perspectiva de la afección que tendrán estos fenómenos que provocan inundaciones súbitas a lo largo del siglo XXI en la comarca, teniendo en cuenta la proyección de los diferentes parámetros climáticos según los posibles escenarios de cambio climático en la Comunidad Valenciana.

2.3.2.1 AEMET: importancia de los sistemas de predicción y vigilancia.

El fundamento de la Agencia Estatal de Meteorología, como Servicio Meteorológico Nacional, es la información y alerta a la sociedad de las posibles condiciones meteorológicas, en especial de aquellas adversas. La vigilancia, predicción y emisión de avisos cobra una mayor importancia en el caso de condiciones meteorológicas extremas, como pueden ser las precipitaciones extremas a las que está expuesto el sureste español, las cuales han provocado históricamente la pérdida de vidas y elevadas pérdidas económicas (Tamayo y Núñez, 2020).

En los últimos años se está registrando un notable cambio en los fenómenos meteorológicos, especialmente en la costa mediterránea, dejando constancia de la alteración que está sufriendo el clima mediterráneo con el cambio climático. Debido a los previsibles efectos del cambio climático, estos fenómenos probablemente van a aumentar en el futuro en la región mediterránea, en cuya costa se encuentran las regiones más vulnerables al crecimiento del impacto de las inundaciones, sobre todo debido a inundaciones súbitas provocadas por lluvias torrenciales (MITECO, Ministerio para la Transición Ecológica (2018). *Inundaciones y cambio climático.*)

2.3.2.2 Temporal del 11 al 14 de septiembre de 2019

Entre los días 11 y 14 de septiembre del año 2019 se registraron precipitaciones torrenciales, fruto de la ya mentada “gota fría”. Afectó a la Comunidad Valenciana y a la Región de Murcia, dejando un episodio histórico y catastrófico en comarcas como la Vega Baja del Segura, con cantidades que llegaron a superar los 500 mm en Orihuela y los 300 mm en otras localidades de la provincia de Alicante, como Rojales o Almoradí. En la Figura 1 se puede observar la precipitación acumulada extraída de AEMET.

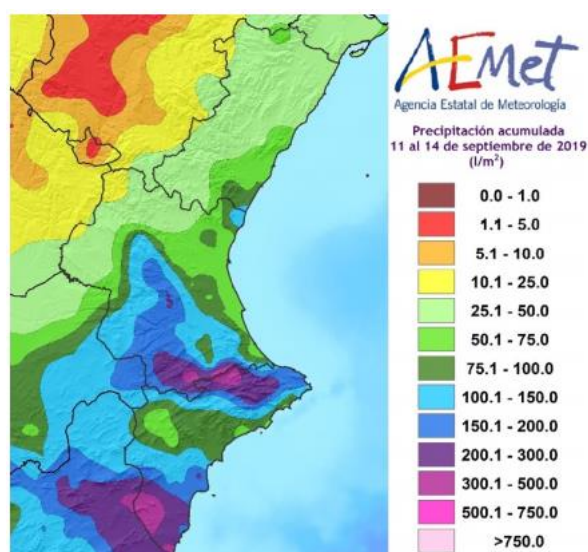


Ilustración 2.3.2.2.1. Precipitación acumulada entre el 11 y el 14 de septiembre de 2019.

Las predicciones mostradas por los sistemas de vigilancia advirtieron el día 9 de septiembre sobre el desplazamiento de una Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA) a lo largo del día siguiente, 10 de septiembre, de norte a sur por la costa española, que permanecería estacionaria entre el sureste de la Península y el norte de África hasta el 13 de septiembre, en la Ilustración 2.3.2.2.2 se puede observar su localización (Tamayo y Núñez, 2020).

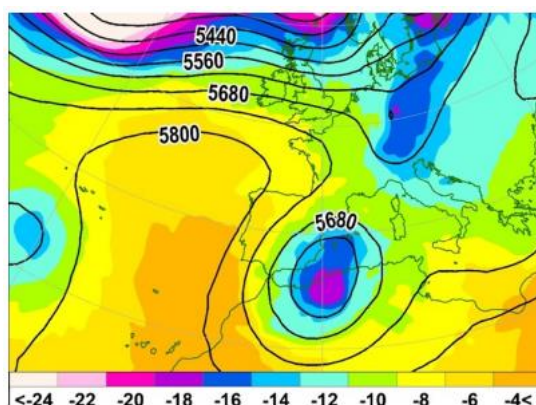


Ilustración 2.3.2.2.2. Altura geopotencial y temperatura en la superficie isobárica de 500 hPa. 11 de septiembre de 2019 a las 12 UTC

Según Tamayo y Núñez (2020), “En capas bajas se observó un intenso flujo de viento húmedo e inestable del este que generó un importante temporal de levante, con intervalos de viento del nordeste fuerza 8”. Esto contribuyó al desarrollo de las fuertes precipitaciones que llegaron a alcanzar intensidad torrencial, a la elevación del nivel del mar hasta medio metro, según los mareógrafos de Puertos del Estado, y a la formación de olas en el mar que superaron los 4 metros.

El desplazamiento de la baja en altura de norte a sur a partir del día 11 y de sur a norte a partir del 13, junto con el de un chorro de viento de componente este en capas bajas de norte a sur el día 12, fueron los elementos rectores de los sistemas convectivos que se desarrollaron y que focalizaron las precipitaciones en el sur de la provincia de Valencia, en la de Alicante y en la Región de Murcia. (López-Ortiz et al., 2020)

Cabe destacar lo anómalo que resulta la circulación de una DANA de tal nivel por la costa mediterránea en una fecha tan temprana como es el 9 de septiembre, en la Ilustración 2.3.2.2.3, extraída de AEMET, se pueden observar los valores medios de la altura geopotencial de 300 HPa frente a los valores registrados en la estación de radiosondeo de Murcia.

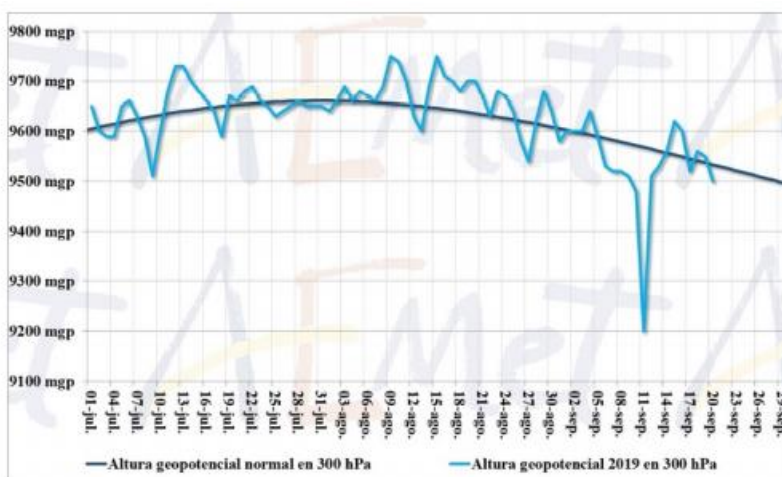


Ilustración 2.3.2.2.3.. Altura geopotencial en 300 hPa frente a los valores normales en Murcia.

2.3.2.3 Análisis del fenómeno meteorológico.

Con el objetivo de dar una visión de la importancia extraordinaria del episodio de lluvias torrenciales sufrido en septiembre de 2019 se comparan en la Tabla 1 los datos, obtenidos de la página web de la Confederación Hidrográfica del Segura, de las precipitaciones acumuladas en los 10 mayores episodios de precipitaciones de la historia de la cuenca. Se encuentran ordenados de mayor a menor volumen por superficie acumulado en la comarca de la Vega Baja.

Mes-Año	Cuenca del Segura		Interior		Vega Baja		Duración del episodio en días
	Precipitación (l/m ²)	Jerarquía	Precipitación (l/m ²)	Jerarquía	Precipitación (l/m ²)	Jerarquía	
Sep-19	163.3	2	147.7	6	267.0	1	3
Sep-89	148.3	5	134.5	14	232.2	2	4
Nov-87	118.2	13	131.5	17	193.0	3	6
Sep-09	99.8	23	55.6	214	174.7	4	4
Dic-16	173.6	1	162.4	2	174.7	5	5
Oct-72	122.1	10	105.4	50	170.6	6	4



Oct-86	149.4	4	143.2	8	158.9	7	15
Ene-91	80.5	50	45.8	290	135.5	8	6
Oct-69	153.9	3	127.2	19	129.2	9	7
Abr-19	125.2	8	145.6	7	121.4	10	5

Tabla 1. Ranking de precipitaciones en la cuenca del Segura, zona interior y Vega Baja

Atendiendo a la precipitación acumulada en episodios dispuesta en la Tabla 1, se observa que el registro en la Vega Baja en el mes de septiembre de 2019 es el primero en la jerarquía, correspondiéndole un promedio comarcal de precipitación de 267.0 l/m², siendo un 15% superior a su sucesor en la jerarquía, septiembre de 1989, con 232.2 l/m². Cabe destacar que el episodio de septiembre de 2019 supuso el puesto número 2 y número 6 en la jerarquía de la Cuenca del Segura y de la zona del interior, respectivamente. Las jornadas más destacadas en la Cuenca del Segura y en el interior fueron las correspondientes a diciembre de 2016 y diciembre de 2009, dos meses invernales, significando para la Vega Baja el quinto puesto la precipitación acumulada de 2016, y quedando la de 2009 fuera del *ranking*.

Cabe destacar que de los cuatro meses en los que se producen las mayores precipitaciones acumuladas en la comarca alicantina de la Vega Baja, tres se hayan dado en septiembre, a diferencia del interior y del conjunto de la cuenca, en los que los máximos se suelen dar en meses invernales.

Es también significativo y representativo de la problemática de la comarca de la Vega Baja el hecho de que los puestos de mayor precipitación acumulada se hayan registrado durante tan solo 3 o 4 días, es decir, el río tiene que soportar grandes cantidades de agua precipitada en espacios muy cortos de tiempo.

Según la recopilación histórica de inundaciones y precipitaciones extremas que la Confederación Hidrográfica del Segura presenta en su página web (<https://www.chsegura.es>) todos los episodios mostrados en la Tabla 1 fueron causantes de inundaciones, a excepción del de enero de 1991.

Por último, en cuanto a la precipitación máxima en 24 horas, según el registro de la Confederación Hidrográfica del Segura, el acumulado más alto de las tres zonas se registró en el episodio de septiembre de 2019, entre las 07 UTC del día 12 de septiembre de 2019 y las 07 UTC del día 13, superando todos los registros anteriores y dotando a este temporal de una excepcionalidad en cuanto a su intensidad.



2.3.2.4 Situación climática actual

En las últimas décadas se ha venido observando un cambio en las condiciones climáticas las cuales están formando un marco adecuado bajo el que desarrollarse las precipitaciones torrenciales. Las costas mediterráneas se han calentado $1,4^{\circ}\text{C}$ respecto a la mitad del siglo pasado (unos $0,03^{\circ}\text{C}$), lo que supone un 20 % más de la media global. (Ulasat Botija et al., 2020). En la Ilustración 2.3.2.4.1. se pueden observar las variaciones de temperatura media anual en la Comunidad Valenciana, en esta se puede observar cómo en promedio la temperatura de la superficie de la Comunidad Valenciana ha ascendido $1,1^{\circ}\text{C}$ desde 1950, siendo mayores los aumentos de temperatura registrados en verano ($+1,3^{\circ}\text{C}$), que en invierno ($+0,8^{\circ}\text{C}$) y que en otoño ($0,8^{\circ}\text{C}$) (López-Ortiz et al., 2020).

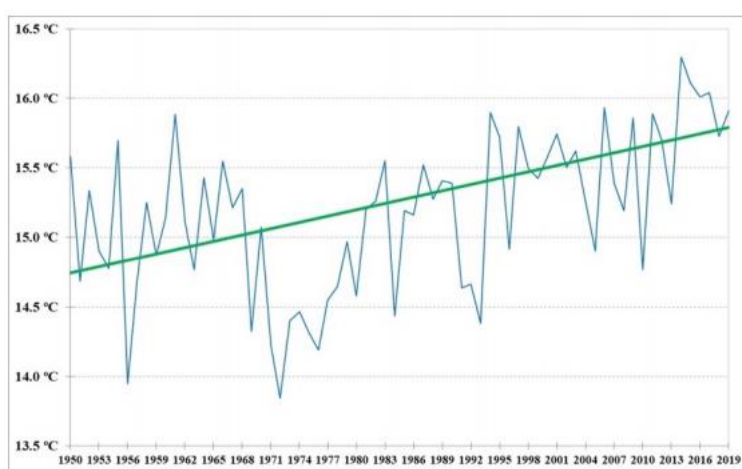


Ilustración 2.3.2.4.1. Variación de la temperatura media anual en la Comunidad Valenciana.

2.4 ESTADO DEL RÍO SEGURA A SU PASO POR LA VEGA BAJA

El principal propósito de los siguientes apartados es informar sobre el estado actual del Río Segura a su paso por la Vega Baja tras las numerosas actuaciones a las que ha sido expuesto y que se han mencionado anteriormente. Además, se explicarán los conceptos de renaturalización en los que se ha basado la filosofía perseguida en los apartados de diseño para la renaturalización del cauce de este TFG.

2.4.1 Encauzamiento del río en la Vega Baja

Como ya se ha explicado anteriormente, una de las soluciones que se han impuesto durante años en la Vega Baja del Segura es el encauzamiento del río. En este apartado se detallarán los aspectos más relevantes de este tipo de



obras, se expondrán tanto los puntos positivos de estas actuaciones, por los que se llevaron a cabo las actuaciones, como las posibles consecuencias que pueden traer.

El principal objetivo por el que se apoyó la idea de encauzar el río es la protección de las márgenes y de los terrenos en torno al río frente a las inundaciones que tienen lugar durante los episodios de avenidas, lo cual puede suponer la destrucción de huertas y plantaciones y la anegación de zonas, con las correspondientes pérdidas económicas, o en el peor de los casos, humanas. Una de las principales características que se espera de los encauzamientos es la creencia de una mejora en la capacidad de desagüe del cauce, pudiendo así aumentar el caudal admisible por este.

Con el objetivo de comprender mejor el propósito de estas actuaciones es preciso conocer los efectos hidráulicos que estos conllevan.

Hay que tener en cuenta que los ríos son sistemas dinámicos, están constantemente cambiando y modificándose con las acciones externas.

Dependiendo de las características de la cuenca, de los materiales, la pendiente del terreno y el régimen hidrológico, los cauces naturales fluctúan sus características longitudinales y verticales, es decir, cambios de planta y cambios de fondo, respectivamente.

Siempre que se respete su comportamiento hidráulico, los cauces fluyen transportando agua y sedimentos, dentro de un ecosistema autorregulado.

Estos sedimentos son los que producen las modificaciones en la forma del cauce, dependiendo de la velocidad del agua y de donde se asienten. Es por eso por lo que la intervención antrópica, a modo de implantación de infraestructuras (puentes, presas, encauzamientos...) conllevan una importante alteración en la dinámica fluvial.

Uno de los principales factores negativos que suponen estas actuaciones es la pérdida del espacio del río, impidiendo que fluctúe y la dinámica fluvial siga su curso, lo cual provoca los desbordamientos y situaciones ya descritas anteriormente.

Otra mala respuesta por parte del río al encauzamiento se da en la desembocadura, pues es más probable las formaciones de deltas, de manera que la pendiente del río disminuye, favoreciendo la sedimentación de materiales en el fondo, y la consecuente subida de nivel del lecho, facilitando los desbordamientos.

En contraposición a la problemática de la desembocadura en la que el aporte de sedimentos aumenta, cabe destacar la problemática de la incisión del cauce, esto es, que, al confinar el agua, adquiere mayor poder erosivo, produciendo calados más profundos, lo que puede generar la reducción de la diversidad de la vegetación de ribera.

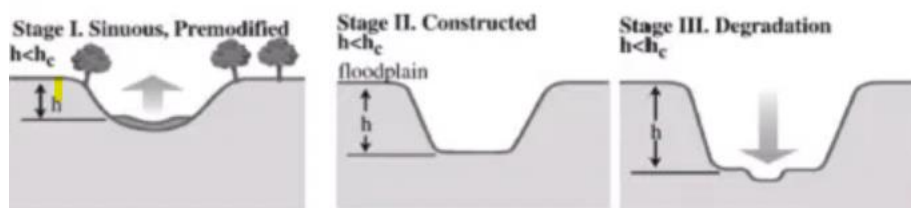


Ilustración 2.4.1.1 Proceso de incisión del cauce. (Fuente: www.forest-monitor.com)

2.4.2 Restauración fluvial

Restaurar consiste en restablecer los procesos de un sistema natural, como pudiera ser un río, devolviéndole su estructura original, así como su función, su territorio y sus procesos dinámicos (Ollero, 2015). El papel que la restauración fluvial ha de desempeñar es el de eliminar todos aquellos impactos que degradan el sistema fluvial y tomar las medidas necesarias para que el río recupere su autoequilibrio.

Obviamente esta tarea de recuperación de espacios fluviales suele acarrear conflictos en materias políticas, legales ingenieriles o ecológicas. Un claro ejemplo de esto es el tramo de estudio, el cual se concretará posteriormente, en la Vega Baja del Segura, en el que resultaría imposible una restauración fluvial completa puesto que parte del tramo encauzado atraviesa la ciudad de Rojales, donde el cauce está altamente integrado con el territorio y se ha visto considerablemente reducido en aras de la extensión urbanística y agraria.

Esto no quiere decir que una restauración fluvial parcial no deba ser llevada a cabo, ya que el concepto de restauración atiende a la búsqueda de un sistema equivalente. Próximo al original, pero no idéntico.

A modo de resumen, se detallan a continuación los objetivos que persigue la restauración fluvial:

- Recuperar el espacio fluvial. Resulta un factor fundamental, ya que con la recuperación del territorio el río podría recobrar su dinámica natural.
- Recuperar los procesos y las formas fluviales. Devolverle al río su forma original supondría un mejor comportamiento de este ante situaciones extremas, tales como episodios de avenidas.
- Garantizar la continuidad de los ríos.



Se explica en la Ilustración 2.4.2.1 las tres fases del proceso de la restauración fluvial en relación con los encauzamientos. En la primera de las figuras se puede observar el río encauzado en el terreno, en estas condiciones el río es incapaz de realizar sus procesos dinámicos de manera natural, pues su espacio está consideradamente reducido. En la segunda figura se observa el resultado de eliminar las estructuras de rigidez del cauce, permitiendo que este recupere poco a poco su espacio. Finalmente, en la tercera figura se observa la situación futura, en la que con el tiempo el río ha reestablecido su dinámica natural, aumentando también la vegetación riparia y consiguiendo una mayor conexión con el entorno.

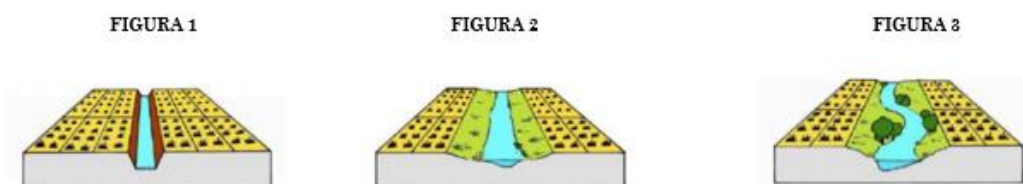


Ilustración 2.4.2.1. Proceso de restauración fluvial (Fuente: www.forest-monitor.com)

2.4.3 Retranqueo motas del Río Segura al paso por la Vega Baja

Una de las principales actuaciones que permitirían la restauración fluvial es el Río Segura es el retranqueo de las motas. Esto constituye una forma simple de devolverle al río el espacio que anteriormente poseía. Con esto se lograría tanto la mitigación de daños producidos por las avenidas como una restauración medioambiental autorregulada.

Las motas son defensas longitudinales que transcurren por las márgenes del río y cuya principal función es evitar los desbordamientos y defender las zonas aledañas.

En el caso del curso bajo del Segura, al paso por la Vega Baja, las motas presentan una altura que oscila entre los 1.5 y 2.5 metros por encima del terreno y una anchura de coronación variable, entre 10 y 12 metros, ya que se dispusieron para ser aprovechadas como caminos en las riberas del propio río. Asimismo, las motas dispuestas en el curso bajo del Segura, y más concretamente en el tramo en



cuestión, el cual se definirá posteriormente, no presentan refuerzos de hormigón, sino que están hechos a partir de materiales propios de la zona.

En las Ilustraciones 9 y 10 se puede intuir el transcurso que seguía anteriormente el río, y como mediante el encauzamiento se han cortado los meandros existentes antaño.



Ilustración 2.4.3.1. Antiguo meandro Vega Baja (Fuente: Google Earth)



Ilustración 2.4.3.2. Antiguo meandro Vega Baja (Fuente: Google Earth)

En las anteriores imágenes se puede observar como las zonas que ocupaban anteriormente los meandros fueron sustituidas por zonas boscosas, por lo que las actuaciones de replanteo de las motas no supondrán apenas pérdidas de terrenos de cultivo.

Estas estructuras han provocado desde su implantación problemas como:

- Sobreelevación del flujo durante las crecidas
- Alteración de la distribución de los sedimentos del lecho y los transportados por el flujo, pues tienden a concentrarlos en el cauce menor.
- Alteración en la dinámica lateral del sistema fluvial.
- Problemas para el retorno del agua al cauce principal tras desbordamientos.



- Disminución de la capacidad de laminación en la llanura de laminación, ya que dificultan el desbordamiento del cauce, lo cual puede conllevar efectos más devastadores.

Mediante esta actuación de reubicación de las motas se pretende se pretendan conseguir:

- Incrementar la anchura del cauce, rebajando así la energía de la corriente durante las crecidas.
- Mejor distribución de los sedimentos transportados por el flujo de las crecidas, de forma similar a la que lo hacía antes de las actuaciones de encauzamiento.
- Ralentizar la velocidad del flujo en episodios de crecida, al dotar de más espacio al río se favorece la laminación, además esta reducción de velocidad reduce el riesgo de arrastre de obstáculos por parte del flujo.

Con el objetivo de que quede claro el concepto de retranqueo, se muestran a continuación unos esquemas obtenidos de la página web de Ecologistas en Acción.

En las Ilustraciones 2.4.3.3 y 2.4.3.4 se muestra la situación caudal bajo y de crecida moderada, respectivamente, para estos las motas cumplen su función perfectamente, protegiendo los cultivos y demás zonas cercanas.



Ilustración 2.4.3.3. Situación caudal bajo. (Fuente: Ecologistas en Acción)



Ilustración 2.4.3.4. Situación de crecida moderada. (Fuente: Ecologistas en Acción)

En la siguiente Ilustración se puede observar la deficiencia de las motas en la situación de gran crecida, el principal problema reside en la cercanía de las

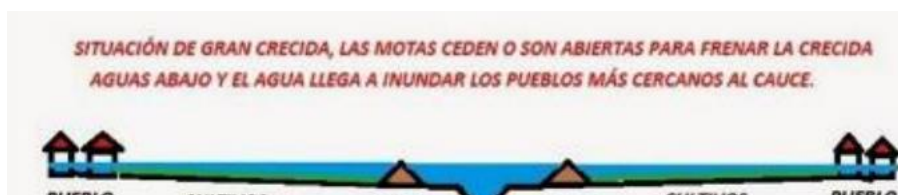


Ilustración 2.4.3.5. Situación de gran crecida. (Fuente: Ecologistas en Acción)



motas con respecto al cauce. Se pierde el efecto de laminación, generando que el agua se desborde precipitadamente y con mayor energía, pudiendo afectar severamente a los municipios y demás servicios.

Finalmente, con la actuación que se plantea en este trabajo, retranqueando las motas, se conseguiría una situación semejante a la mostrada en la Ilustración 2.4.3.6, de esta forma las parcelas más próximas al río se verán afectadas por la inundación, pero los efectos devastadores de las crecidas se ven disminuidos.



Ilustración 2.4.3.6. Situación de gran avenida con las motas desplazadas. (Fuente: Ecologistas en Acción)

Esta metodología de actuación es la base en la que se apoya el diseño en planta mostrado en el apartado 6, en el cual se detallará cuáles serán las zonas en las que se aplicará el retranqueo de las motas y la recuperación de antiguos meandros. El criterio seguido pasa por minimizar las expropiaciones y sobre todo ensanchar las zonas críticas por las que se produjeron desbordamientos en el último episodio de lluvias torrenciales.

2.5 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

El objetivo de este apartado es esclarecer de una manera profunda y concreta cual es el tramo en el que se desarrollan las acciones propuestas en este TFG, así como describir las principales características de la zona.

2.3.1 Localización

El área de estudio comprende el tramo del Río Segura entre la AP-7 y el puente de la carretera CV-9191 perteneciente a los términos municipales de Formentera del Segura y Rojales, sendos pertenecientes a la provincia de Alicante. Ambos términos municipales pertenecen a la comarca Vega Baja del Segura, en el extremo sur de la Comunidad Valenciana y colindando con la Región de Murcia.



Este tramo se encuentra a unos 4 km de la desembocadura del Río Segura, en Guardamar del Segura.

Para solucionar la gran problemática a la que está expuesta esta zona, la cual se ha mencionado repetidas veces, se proponen dos actuaciones, diseñadas para funcionar conjuntamente:

- Renaturalización del cauce en tres tramos, separados por los términos municipales de Rojales y Formentera del Segura.
- By-pass al puente de Carlos III, situado en el núcleo urbano de Rojales

En la Ilustración siguiente se muestra la localización de las dos actuaciones propuestas en este trabajo de final de grado.

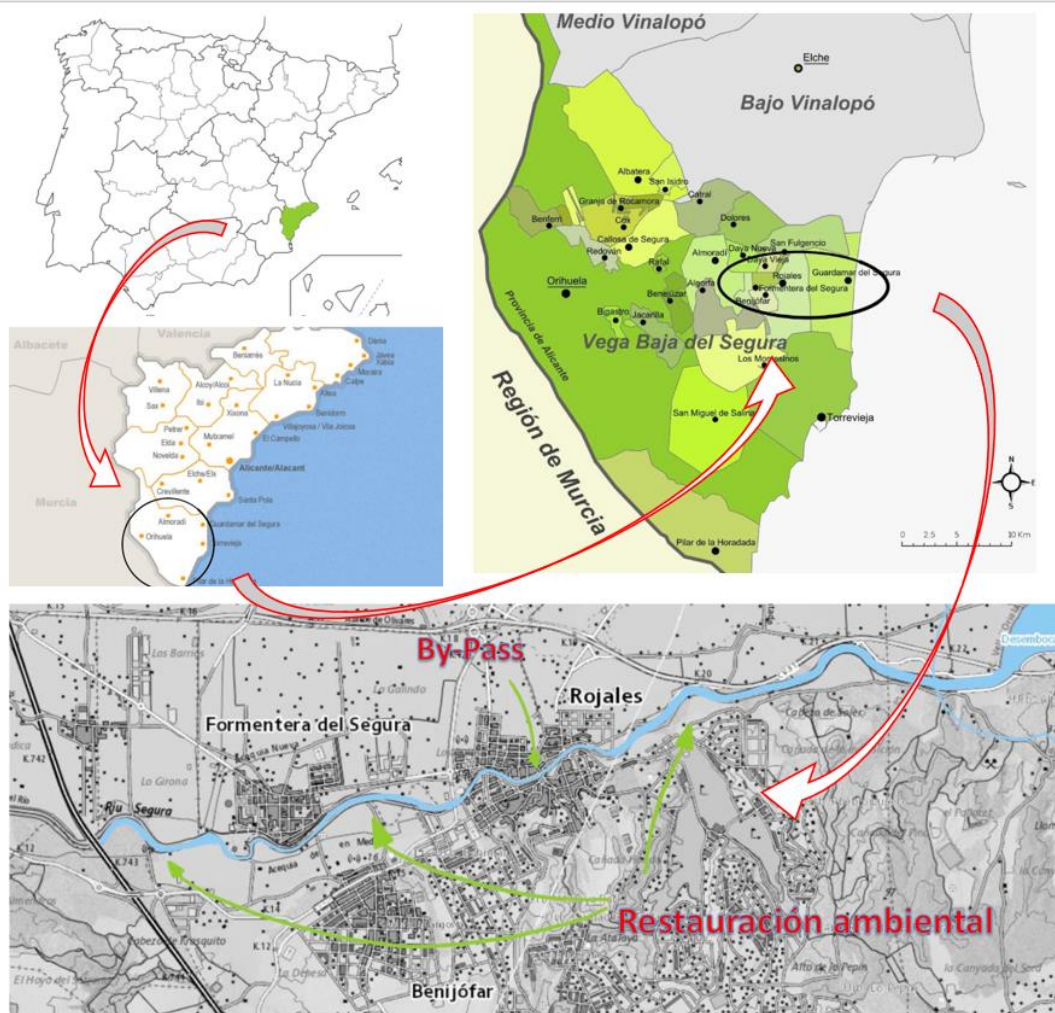


Ilustración 2.3.1.1 Localización de las actuaciones. (Fuente: propia)



2.3.2 Interferencias con las infraestructuras

El tramo anteriormente descrito se ve limitado por dos importantes infraestructuras viales:

- Autopista del Mediterráneo o AP-7, la cual comunica toda la costa mediterránea, limitando el tramo por el oeste.
- Vía rápida (CV-91) Orihuela – Guardamar del Segura, la cual discurre paralelamente junto a sendas márgenes del río, existiendo un puente para cruzar el encauzamiento. Esta carretera limita el tramo por el este, el lado más próximo a la desembocadura.

Ambas infraestructuras viales cruzan el río mediante un paso superior.

Además, este tramo se ve intersecado por la carretera CV-920 y por la CV-9050, la cual atraviesa el río por el puente de Carlos III.

2.3.3 Características del encauzamiento.

Según el Plan de Acción Territorial del Corredor Del Río Segura (2005), en el tramo comprendido entre el término municipal de Rojales y la desembocadura en el mar, el encauzamiento del Río Segura ocupa una extensión de 988.686 m².

En este tramo la sección es bastante uniforme, siguiendo un trazado trapezoidal, en el que la anchura total varía. Los taludes son 5H:1V y las motas tienen sección variable. A continuación, en las Ilustraciones 1 y 2, se muestran dos secciones tipo del tramo de estudio.

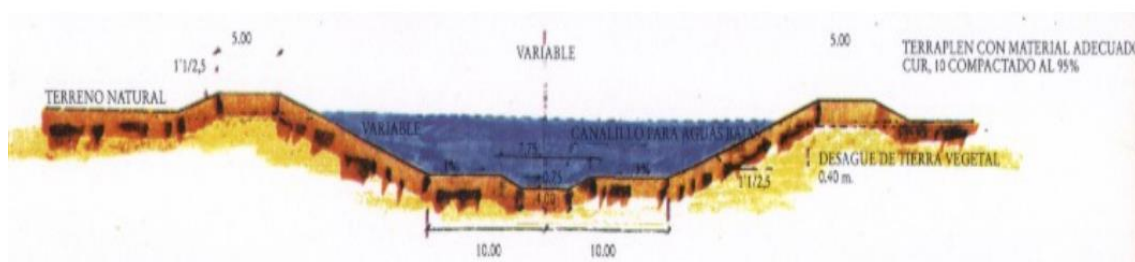


Ilustración 2.3.3.1. Sección tipo tramo de estudio. (Plan de Acción Territorial del Corredor del Segura (2005))

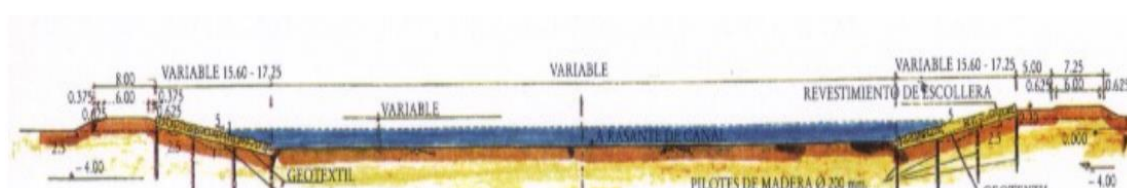


Ilustración 2.3.3.2. Sección tipo tramo de estudio. (Plan de Acción Territorial del Corredor del Segura (2005))



A continuación, se recogen los datos técnicos del encauzamiento recogidos por la Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana:

Longitud Original: 12.241 metros

Longitud Actual: 8.674 metros

MOVIMIENTO DE TIERRAS	
Excavación	1.641.700 m ³
Terraplén	397.900 m ³

Tabla 2. Movimiento de tierras. (Fuente: elaboración propia)

PROTECCIONES EN EL CAUCE	
Volumen de escollera de consolidación	43.500 m ³
Volumen de escollera en protección de taludes	181.900 m ³
Metro lineal de protección de pie de talud	430 m
Pilotes de madera (6m)	3.243 m
DIQUE	
Longitud	533 m
Volumen de escollera	65.911 m
Volumen de todo uno	49.317 m

Tabla 3. Protecciones en el cauce. (Fuente: elaboración propia)

En la Ilustración 2.3.3.3 se puede observar un ejemplo de escollera colocada de consolidación, de 28 cm de diámetro medio. Esta dota de especial protección al cauce en los meandros, donde el flujo alcanza mayores velocidades. En los tramos rectos del trazado no se haya dispuesta ninguna protección especial.



Ilustración 2.3.3.3. Escollera colocada. (Fuente: propia.)

2.3.4 Elementos del medio natural.

En el tramo de estudio del encauzamiento la vegetación presenta las comunidades ruderales en los márgenes del talud, en la mayor parte de este predomina la Caña (*Arundo donax*) y el Carrizo (*Phragmites australis*). Ocasionalmente también se pueden observar Tamarices (*Tamarix spp.*) y Juncos (*Juncus spp.*). Con respecto a la vegetación plantada en la parte superior de los taludes, está formada por alineaciones donde se han utilizado Palmera canaria (*Phoenix canariensis*), Falso pimentero (*Schinus molle*), Salado (*Atriplex halimus*), Retama de olor (*Spartium junceum*) y Pino carrasco (*Pinus halepensis*).

A lo largo de este tramo tan solo se pueden apreciar algunas especies propias del ecosistema de ribera propio del sur de la Comunidad Valenciana, estas crecen de forma aislada y esporádica. Lo más destacable es la presencia de algunos olmos



Estudio de ampliación de capacidad y restauración ambiental del encauzamiento del río Segura entre la AP – 7 y el puente de la carretera CV – 91 (T.T. M.M. de Formentera del Segura y Rojales, Alicante)

(*Ulmus minor*), la mayoría de talla mediana, que crecen en las cercanías de la margen izquierda del Río Segura. Además, destaca algún matorral de Zarza (*Ulmus ulmifolius*) y pequeños grupos de Tamariz (*Tamarix spp.*) en el propio encauzamiento del río (Plan de Acción Territorial del Corredor Del Río Segura, 2005).

La vegetación situada en las lindes del río se puede separar en 13 sotos, ocupando una superficie total de 121.924 m², los cuales quedaron divididos tras el encauzamiento del Río Segura. De tales sotos tan sólo se conserva íntegramente el denominado meandro de Guardamar, cercano a la desembocadura en el mar, incluido en el Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana, y siendo el de mayor superficie, como se puede observar en la Ilustración 2.3.4.1.

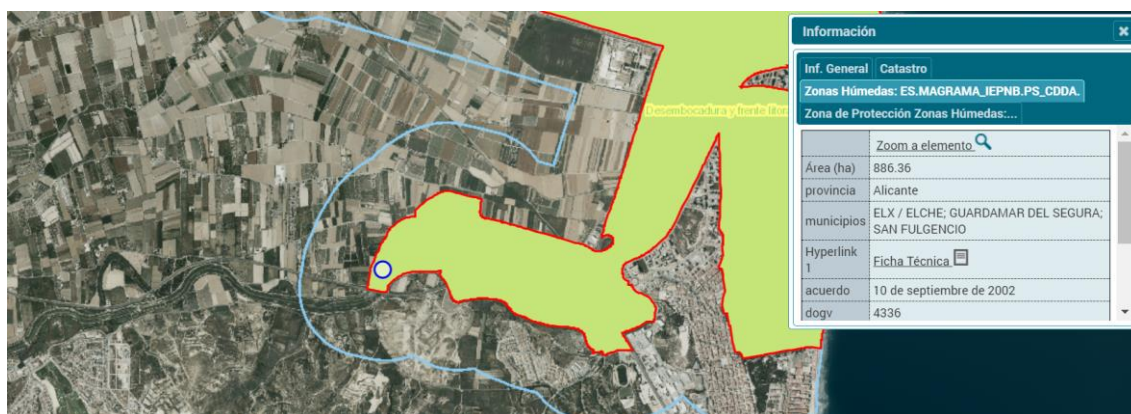


Ilustración 2.3.4.1. Soto "Meandro de Guardamar" (Fuente: Visor GVA)

El resto de los sotos han sido revegetados tras el encauzamiento del río en repetidas ocasiones. Se pueden destacar distintas especies de jardín como Pino piñonero (*Pinus pinea*), Palmera canaria (*Phoenix canariensis*), Morera (*Morus nigra*) y Pino carrasco (*Pinus halepensis*).

Por otra parte, en los sotos aledaños a la zona urbana de Formentera del Segura y Rojales se encuentran cubiertos por tierra y grava en la mayor parte de su extensión. Aunque se pueden observar algunas especies de árboles como las mencionadas anteriormente: Palmera canaria, Morera, Falso pimentero, Álamo blanco, Pino carrasco o Pino piñonero.

2.3.5 Terrenos agrícolas

Dadas las condiciones climáticas dadas en la Vega Baja del Segura las poblaciones instaladas junto al río han desarrollado su economía principalmente gracias a la agricultura. Según Rubén Mínguez (2019), el 30% del PIB de la Vega Baja depende directamente del sector agrario.



La mayor parte de los cultivos en el bajo segura están constituidos por huertos de cítricos y terrenos destinados a los cultivos de regadío herbáceo, aunque estos segundos en menor medida.

Tras la DANA de 2019, el sector agrícola estima unas pérdidas de cerca de 1.200 millones de euros en la Vega Baja, donde se produce la mayoría de los cultivos de cítricos y hortalizas de la provincia, según los datos aportados por el sindicato agrario Asaja, y que comparte la Cámara de Comercio de Orihuela.

Observando la clasificación de los usos del suelo SIOSE (2015), consultada a través del Visor GVA, se puede ver como predominan los cultivos de cítricos (naranjas y limones) y seguido a esto los cultivos herbáceos (diferentes de arroz). En la Ilustración 2.3.5.2 se observan en naranja los cultivos de cítricos, y en verde claro los herbáceos.

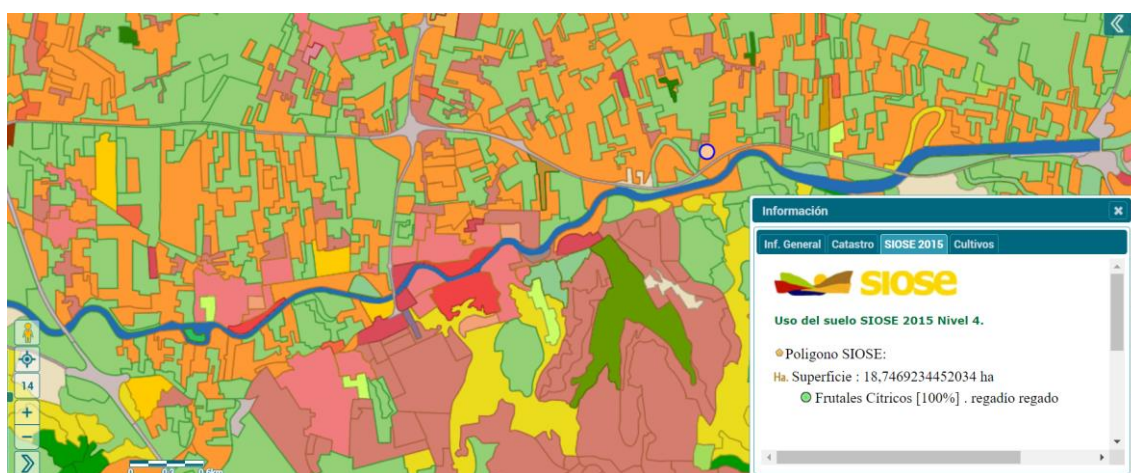


Ilustración 2.3.5.2. Usos del suelo. (Fuente: Visor GVA)



3 DISEÑO DEL MODELO PROPUESTO

3.1 DISEÑO EN PLANTA

El diseño en planta de la solución expuesta en este documento viene motivado por la intención de cambio de paradigma en las actuaciones de prevención contra inundaciones, seguido hasta el momento para resolver la evidente problemática a la que está expuesto el Río Segura.

3.1.1 Antecedentes

Un importante porcentaje de las lluvias registradas anualmente en el Río Segura se deben a las precipitaciones torrenciales, grandes volúmenes de agua precipitada en espacios muy cortos de tiempo. Históricamente el Río Segura ha estado expuesto a largos episodios de sequía, los cuales se ven interrumpidos de manera brusca por las fuertes lluvias torrenciales, fenómeno conocido como “Gota fría” o por las siglas DANA (Depresión Aislada a Niveles Altos), las cuales alteran significativamente el volumen de agua transportada por el río durante la mayor parte del año. («Río Segura», 2021)

Las irregularidades en las lluvias producen que el agua aprovechable de forma natural para el riego se vea limitada a una pequeña porción del agua fluyente, de manera que la gran parte del agua precipitada se dirige directamente al mar, produciendo, en la mayoría de los casos, desbordamiento e inundaciones.

Con la construcción de los cinco embalses de cabecera del río Segura: Fuensanta, Cenajo, Talave, Camarillas y Alfonso XIII (Quípar), se consiguió, a mitad del s. XX, una importante acción laminadora de las avenidas, la cual permitió a la agricultura instalarse en terreno anteriormente ocupado por el cauce del Río Segura. (Cartagena, s. f.)

Gracias a la floreciente agricultura en estas zonas fértiles desocupadas por el cauce del río, proliferaron numerosos núcleos de población, de gran entidad muchos de ellos hoy en día, como Formentera del Segura o Rojales.

Sin embargo, en los años 80 del siglo pasado quedó constancia de las aun presentes deficiencias del Río Segura en cuanto a la defensa de inundaciones. Seis grandes inundaciones asolaron distintas zonas de la cuenca debido a la profusión de lluvias torrenciales de gran intensidad.



En 1987 el Gobierno de la Nación elaboró un Decreto-Ley aprobando la ejecución del “Plan de Defensa frente a inundaciones en la cuenca del Segura”, el cual incluía la construcción de doce nuevas presas de laminación junto a un nuevo encauzamiento del río hasta su desembocadura. (Cartagena, s. f.)

El encauzamiento del río supuso la elevación de los márgenes y la rectificación del cauce, dotando de especial protección a las zonas vulnerables de desbordamiento. Tras este proyecto el río quedó “encajonado”, con secciones regulares y poco variables longitudinalmente.

3.1.2 Estado actual en planta

En las imágenes siguientes se puede observar el estado actual del tramo de estudio. El tramo de estudio se divide en tres subtramos, divididos entre sí por los términos municipales de Formentera del Segura y Rojas:

En primer lugar, desde la Autopista AP-7 hasta Formentera Segura, después el tramo intermedio entre los dos términos municipales, y finalmente desde la salida del núcleo urbano de Rojas hasta la intersección del Río Segura con la carretera autonómica CV-91. El nombre de las secciones viene dado por la distancia en metros hasta la desembocadura, siguiendo el cauce desde el mar hasta cada sección.

En éstas se puede observar lo mencionado anteriormente: cauce artificial de secciones con anchos regulares, población instalada junto al cauce y expansión de los campos de cultivo hasta alcanzar las márgenes del río. En rojo quedan representadas las motas de sendas márgenes del río.



- **Subtramo 1: Autopista AP-7 – Formentera del Segura**



Ilustración 3.1.2.1. Estado actual en planta. Desde la sección 12702 hasta la 11834

- **Subtramo 2: Formentera del Segura – Rojales**



Ilustración 3.1.2.2. Estado actual en planta. Desde la sección 10701 hasta la 9784.



- **Subtramo 3: Rojales – Carretera CV-91**



Ilustración 3.1.2.3 Estado actual en planta. Desde la sección 8214 hasta la 7407.

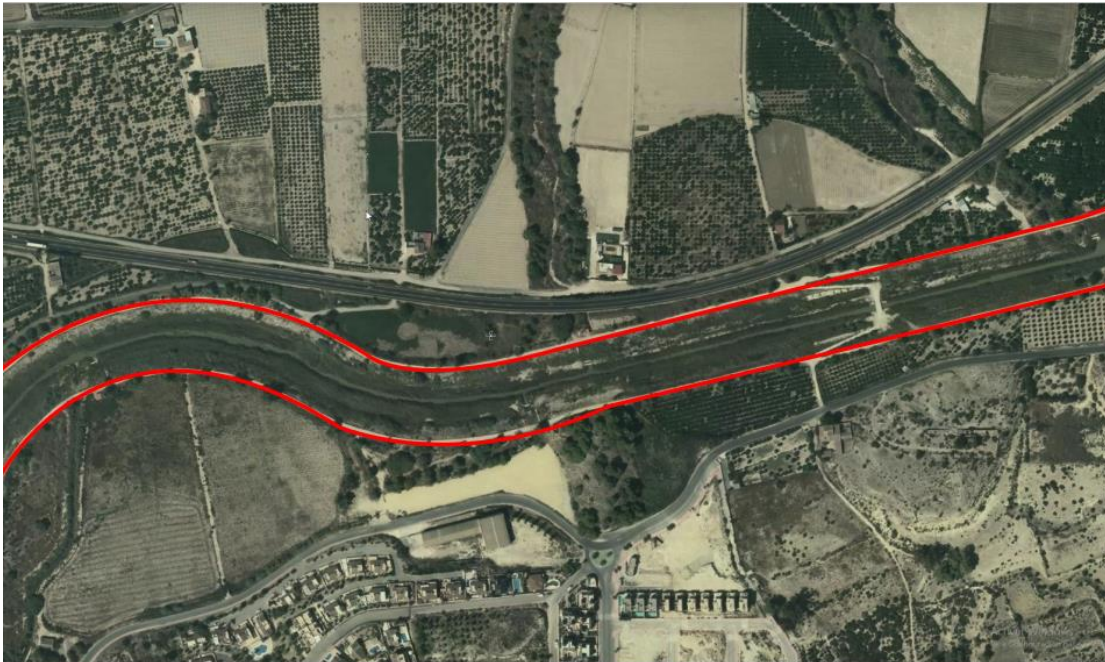


Ilustración 3.1.2.4. Estado actual en planta. Desde la sección 7407 hasta la 6360.

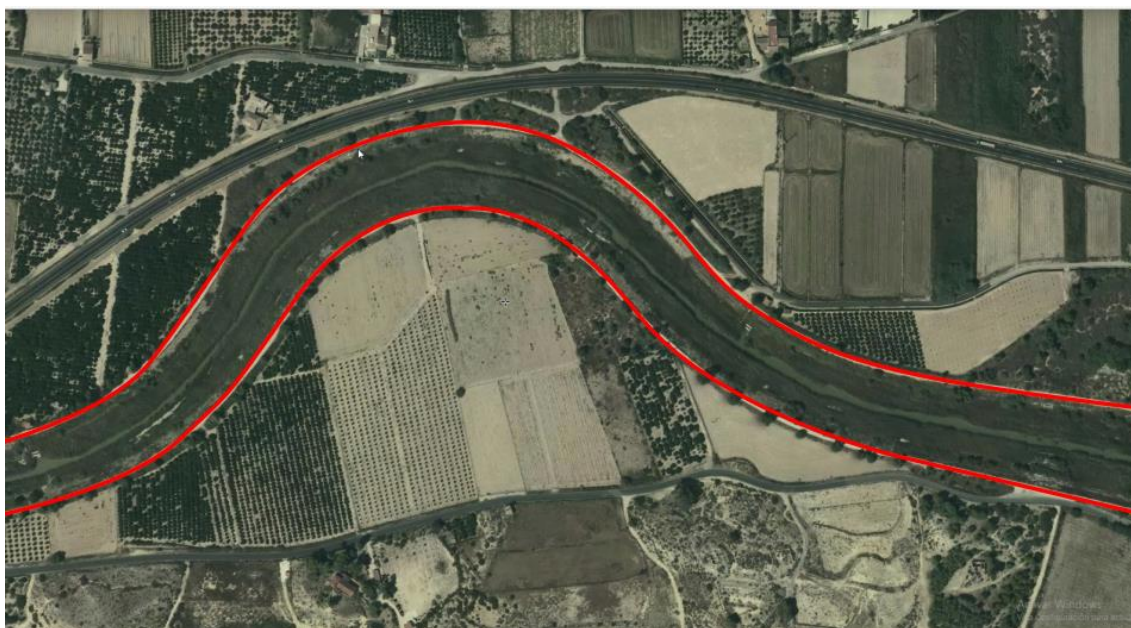


Ilustración 3.1.2.4. Estado actual en planta. Desde la sección 6360 hasta la 5565.

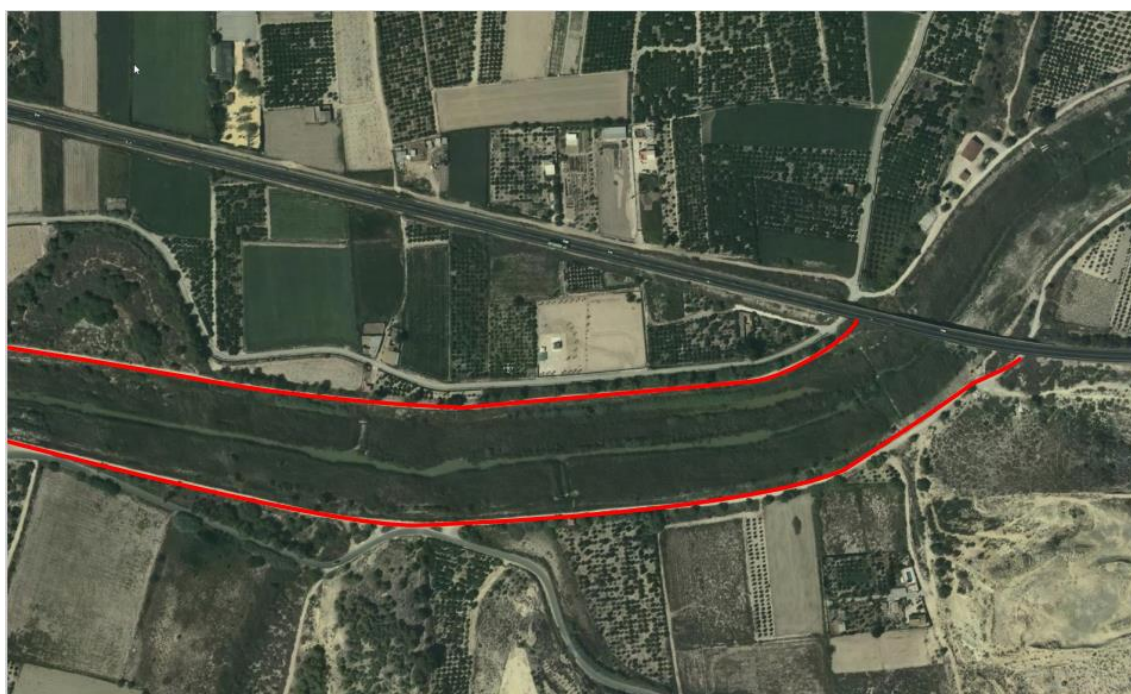


Ilustración 3.1.2.5. Estado actual en planta. Desde la sección 5565 hasta la 4632.



3.1.3 Propuesta de diseño en planta

En el diseño se evitará analizar el río como un conjunto de elementos individuales, así como también se evitarán las actuaciones puntuales exclusivamente en los puntos críticos, ya que la solución propuesta en planta pretende estudiar al río como un conjunto en el que cada parte depende directamente de las demás.

La crecida del 12 de septiembre de 2019 demostró las notables deficiencias en el encauzamiento. No tiene sentido tratar de incrementar la capacidad del río en base a seguir elevando las motas y con ello, la línea de agua, más y más. Esto impediría al agua desbordada el retorno al cauce, hecho que prolongó el desastre de 2019 notablemente, creando problemas en la zona hasta una semana después de las precipitaciones. Por ello, se optará por desplazar lateralmente las motas en aquellas zonas donde el terreno y las infraestructuras lo permitan.

La filosofía perseguida pasa por devolver al río la movilidad y el recorrido que tendría de forma natural, teniendo en cuenta el camino que el río llevaría si no hubiese sido encauzado artificialmente.

La planta estará formada por secciones compuestas de planta irregular, desplazando lateralmente los diques de contención, y renaturalizando el cauce mayor, de tal manera que el río se integre de forma natural con el paisaje. Mediante esta actuación se persiguen tres objetivos:

- Incremento de capacidad del río en caso de crecida.
- Renaturalización del cauce.
- Facilidad para el retorno del agua en el caso de desbordamiento del cauce principal.

El cauce principal actualmente dispuesto en el río no se verá modificado, solamente se desplazarán las motas laterales todo lo posible para crear a los lados del cauce una llanura de inundación. "Una franja de tierra relativamente plana, junto a un río y que sufre desborde de las aguas durante las crecidas" (Leopold et al., 1964).

En el caso del interior de los meandros se han diferenciado tres niveles. El primer nivel corresponde con el cauce principal, después, se dispondrá una berma intermedia, la cual entre en funcionamiento en el caso de desbordamientos leves. Y en el tercer nivel, la segunda llanura de inundación, a varios metros del cauce principal. Ésta podrá ser utilizada para actividades de ocio natural, como un carril ciclable o zonas de *picnic*, mientras el río se encuentre con su caudal habitual, y solo entrar en funcionamiento en el caso de inundaciones de mayor nivel. Se deberá tener en cuenta que estas posibles zonas de ocio han de estar preparadas para sufrir una inundación en un momento dado.

En todo momento se han tenido en cuenta las características del terreno y la disposición de los cultivos. En la mayor parte del tramo la margen izquierda del río se ajustará a la carretera CV-91, utilizando el talud de la carretera como dique de



contención para el cauce. En la margen derecha se ha tenido en cuenta la división de los campos de cultivo para minimizar las expropiaciones y el movimiento de tierras.

A la salida del pueblo de Rojas, coincidente con el fin del tramo que está encauzado mediante una sección trapezoidal hormigonada, el criterio de desplazamiento lateral de las motas se basa en respetar las divisiones parcelarias, para aminorar las expropiaciones, así como respetar, en la margen derecha, la proximidad a las viviendas y construcciones, con el fin de reducir las afecciones en estas.

El resto del trazado no presenta peculiaridades más allá de respetar la división actual de los campos de cultivo e intentar aprovechar el talud de la carretera y el crecimiento de la ladera en la margen derecha para aminorar el movimiento de tierras y asegurar una mota estable.

En las imágenes siguientes se puede observar la misma planta dispuesta anteriormente por subtramos, con restauración ambiental del cauce, con el retranqueo de las motas.

En estas imágenes se pueden observar tres tonalidades de azul, las cuales indican los niveles diferenciados. En primer lugar, el azul más oscuro, representa el cauce principal, el mismo que anteriormente se ha representado con líneas rojas. El tono intermedio tan solo se puede observar en el interior de algunos meandros, en los que se dispondría la berma intermedia. Finalmente, el área cubierta por la tonalidad mas suave de azul representa la localización final de las motas tras el retranqueo. El área total encerrada bajo el tono más claro es el espacio que se le está devolviendo al río tras la renaturalización propuesta.



- **Subtramo 1: Autopista AP-7 – Formentera del Segura**

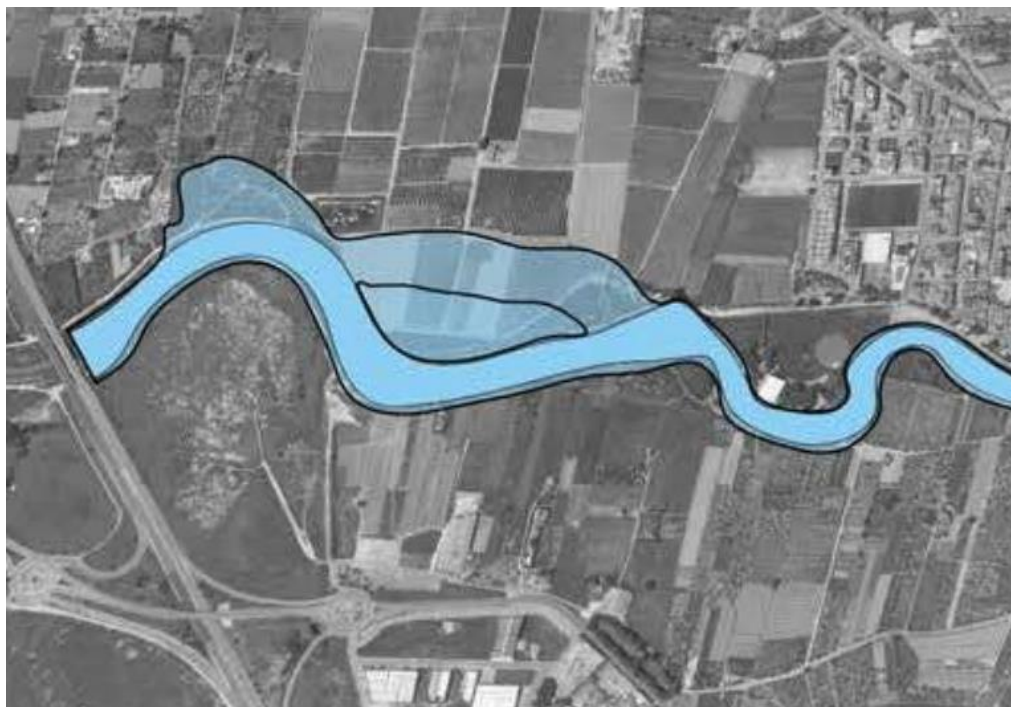


Ilustración 5.1.3.1. Renaturalización en planta. Desde la sección 12702 hasta la 11834

- **Subtramo 2: Formentera del Segura – Rojales**



Ilustración 3.1.3.2. Renaturalización en planta. Desde la sección 10701 hasta la 9784



- **Subtramo 3: Rojales – Carretera CV-91**



Ilustración 3.1.3.3. Renaturalización en planta. Desde la sección 8214 hasta la 7407

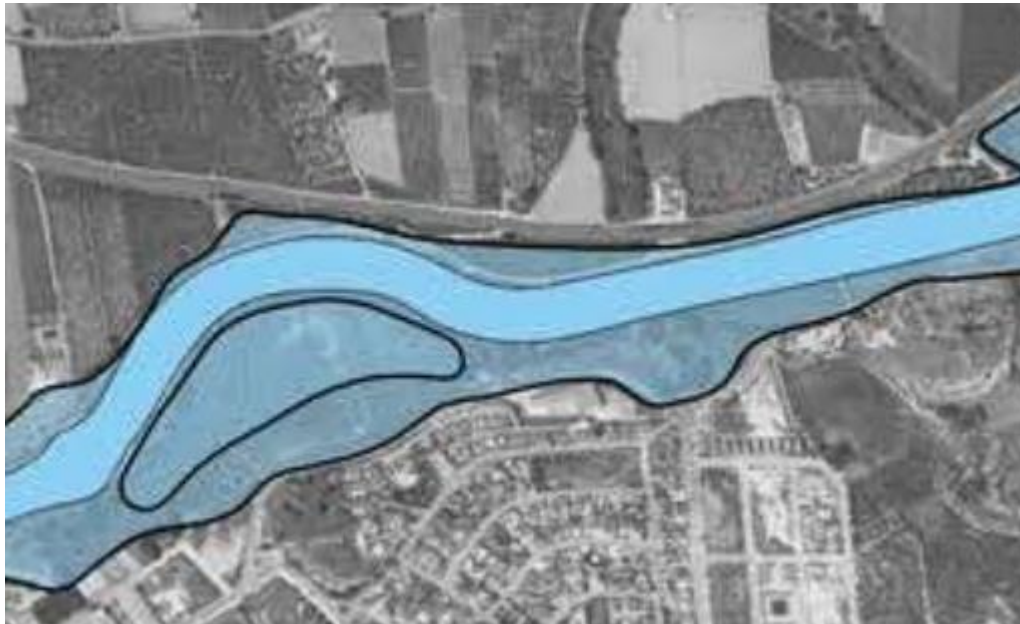


Ilustración 3.2.3.4. Renaturalización en planta. Desde la sección 7407 hasta la 6360.

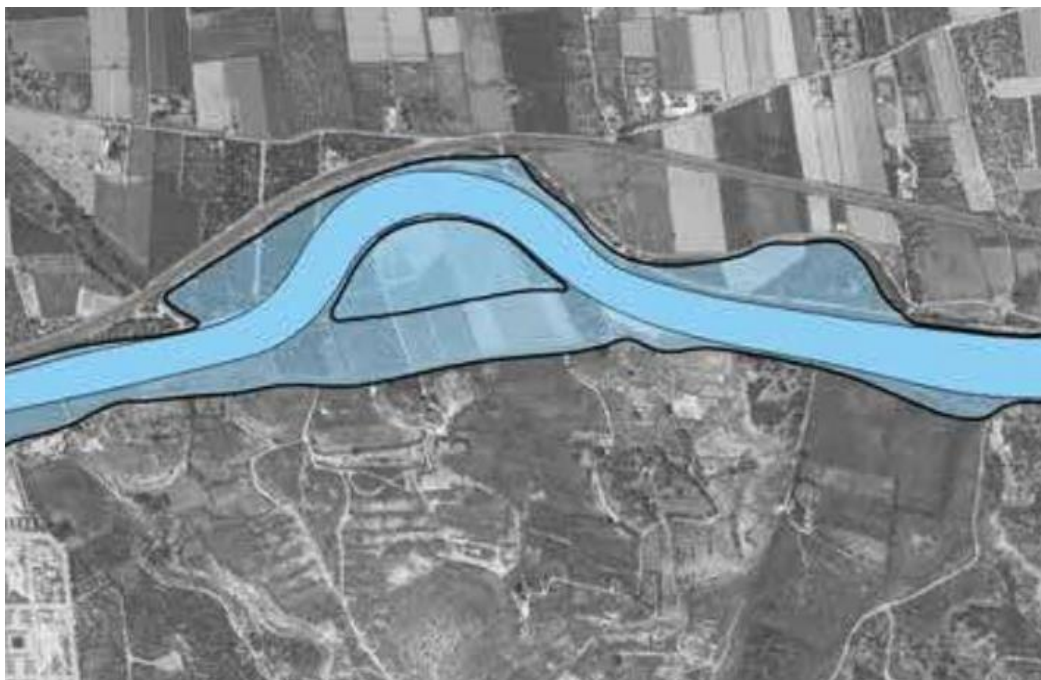


Ilustración 3.2.3.5. Renaturalización en planta. Desde la sección 6360 hasta la 5565.

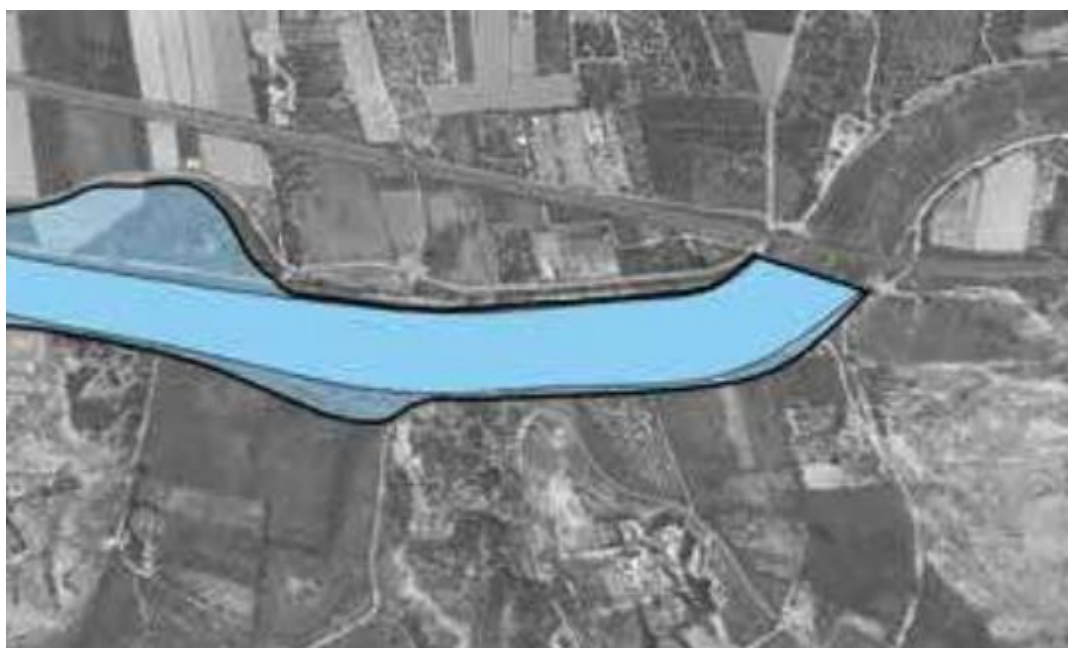


Ilustración 3.2.3.6. Renaturalización en planta. Desde la sección 5565 hasta la 4632.



3.2 MODELADO HEC-RAS

Tras el diseño en planta mostrado en el apartado anterior se muestra a continuación el proceso seguido para la simulación de esta propuesta. En este apartado se pretende sintetizar lo expuesto en el Anejo Hidráulico, en el que se muestran los pasos seguidos para la modelización en el *software* Hec-Ras, versión 5.0.3, así como los resultados obtenidos al ejecutar la simulación.

En primer lugar, se mostrará la respuesta del estado actual del tramo de estudio, ante las condiciones a las que se vio expuesto en septiembre de 2019.

Después de esto se explicarán las modificaciones llevadas a cabo para lograr una planta semejante a la planteada en el apartado anterior, creando un nuevo modelo hidráulico del mismo tramo de estudio. El objetivo es lograr un diseño realista que sea capaz de absorber la energía y caudal precipitado, eliminando los desbordamientos e inundaciones.

Finalmente se mostrarán algunos ejemplos del correcto funcionamiento las nuevas secciones renaturalizadas y el análisis de los resultados.

3.2.1 Situación actual

Como se ha descrito anteriormente, en el episodio sufrido el 11 de septiembre de 2019 se registraron precipitaciones de hasta 267 l/m², llegándose a superar los 300 mm precipitados en localidades como Rojales o Almoradí.

Quedó entonces constante que el estado actual del río es incapaz de absorber el volumen precipitado y de desaguarlo al mar.

En las siguientes Ilustraciones se mostrará el estado en el que se encontraban algunas zonas de la Vega Baja tras las intensas precipitaciones.



- Puente de Rojas Carlos III:



Ilustración 3.2.1.1. Puente Carlos III tras la DANA en 2019 (Fuente: practicaespanol.com)

- Puente de Almoradí:



Ilustración 3.2.1.2. Puente de Almoradí tras la DANA en 2019. (Fuente: diariodealicante.net)



- Polígono Formentera del Segura:



Ilustración 3.2.1.3. Zona urbana Formentera del Segura tras la DANA en 2019 (Fuente: propia)

Esto son solo alguno de los ejemplos de las deficiencias del encauzamiento ante situaciones críticas.

En el modelo unidimensional Hec-Ras se ha simulado la situación de avenida con $320 \text{ m}^3/\text{s}$, caudal fijado en todo el proyecto tras varios ensayos con diferentes caudales. Para la situación actual de las motas se puede observar en varias partes del tramo zonas en las que la lámina de agua se encuentra muy próxima a la altura de las motas. Teniendo en cuenta que el modelo está simulando una situación de avenida en régimen lento, se puede dar por hecho que este mismo caudal supondría desbordamientos en dichas zonas en el caso de tratarse de una situación real, en la que se tendría un régimen rápido, con fuertes velocidades del flujo e importantes arrastres de sedimentos.

En la Ilustración 3.2.1.4 se puede observar la sección 6864 tal y como se encuentra actualmente, siendo expuesta a una situación de avenida de $320 \text{ m}^3/\text{s}$.

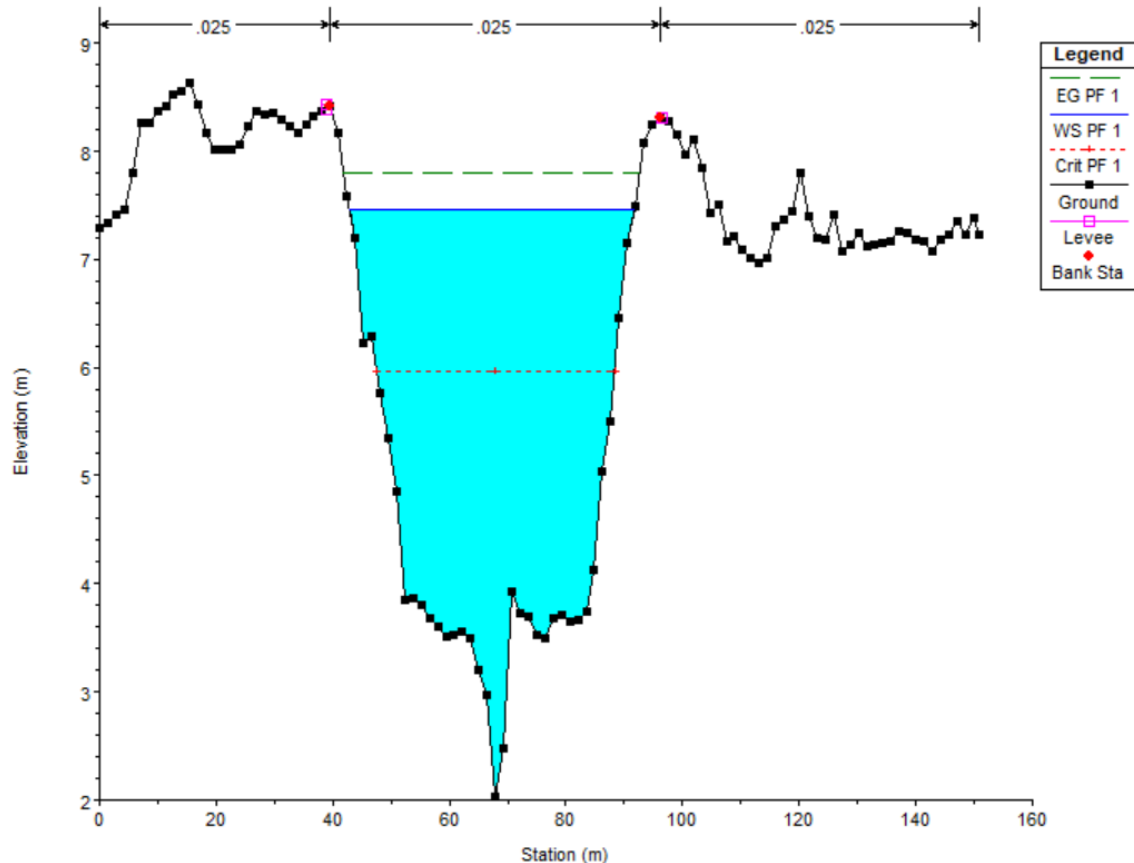


Ilustración 3.2.1.4. Sección 6864 actual. (Fuente: propia con Hec-Ras)

Posteriormente se mostrará la respuesta de esta misma sección a las mismas condiciones tras las modificaciones laterales de las motas.

3.2.2 Diseño de la propuesta

Como se explica detalladamente en el Anejo Hidráulico, para llevar a cabo la propuesta de renaturalización del cauce se ha hecho uso de dos *software* diferentes. En primer lugar, QGis, versión 3.10, ha permitido la extracción de las secciones del cauce del Río Segura, mediante el corte de la superficie MDT. Mediante esta opción de QGis, se han podido obtener las coordenadas de los puntos que conforman la solera de cada sección transversal del río.

Una vez obtenidas las coordenadas de las secciones características del tramo de estudio, se han importado a Hec-Ras, donde ha sido posible su modificación en el editor de secciones.

Es aquí donde se ha llevado a cabo la labor del retranqueo de las motas del río, siguiendo los criterios explicados en el apartado de diseño en planta para respetar las infraestructuras y las zonas de cultivo en la mayor medida posible.



En la siguiente Ilustración se puede observar la planta resultante de este desplazamiento de las motas en Hec-Ras. La línea de puntos roja indica el cauce principal, el cual no ha sido modificado, y la línea rosa indica la nueva localización de las motas.

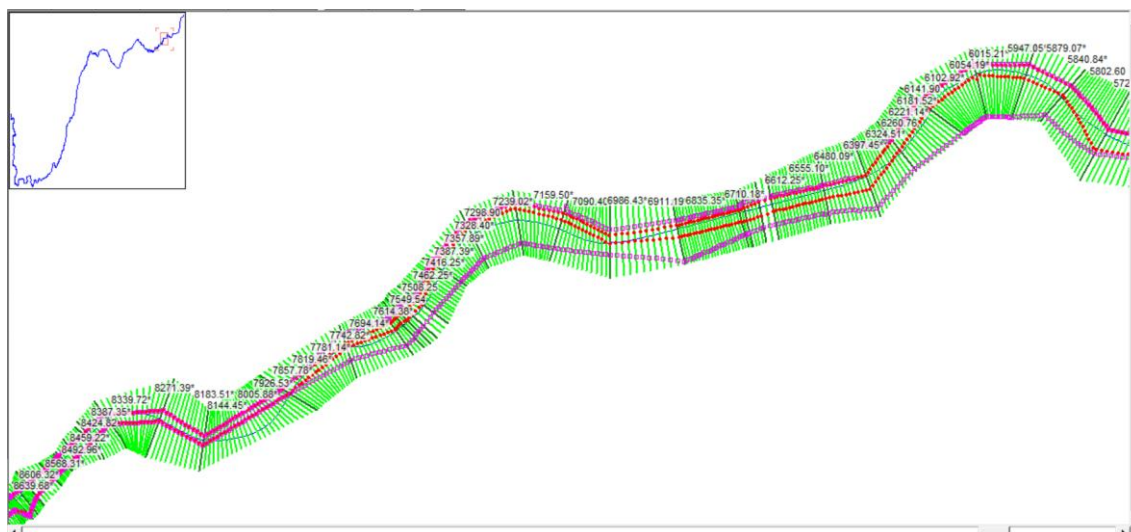


Ilustración 3.2.2.1. Planta de la solución en Hec-Ras.

Esto, al igual que se explica en el Anejo con más detalle, es tan solo una representación aproximada generada por Hec-Ras del estado en planta del modelo. El programa no realiza la simulación a partir del estado de esta planta, sino que trabaja de forma unidimensional, con cada una de las secciones introducidas en el modelo.

3.2.2.1 Condiciones de contorno

El modelo se ha condicionado por ambos extremos, en cuanto a las condiciones de contorno aguas abajo se ha tomado como referencia el propio nivel del mar en la desembocadura. Por otra parte, para las condiciones de contorno aguas arriba se ha supuesto régimen uniforme con la pendiente de la solera del cauce, es decir, las CC aguas arriba se ajustan mediante la fórmula de Manning.

De cualquier manera, cabe destacar que, dada la amplitud del modelo, y que el tramo de estudio se encuentra bastante alejado del comienzo del modelo, estas condiciones no afectan prácticamente a los resultados obtenidos.

El mayor condicionante para el análisis de resultados y comprobación del modelo propuesto es la introducción del caudal. En este caso, para la situación del cauce con las motas retranqueadas, se han simulado cuatro situaciones de avenida, semejantes a las registradas en los episodios de desbordamientos. Los cuatro caudales para los cuales se ha simulado el modelo: 340 m³/s, 320 m³/s, 300 m³/s y 250 m³/s. Aunque finalmente se ha decidido trabajar únicamente con los resultados de 320 m³/s.



3.2.3 Situación futura

Una vez ampliada la sección transversal del cauce se ha vuelto a simular la situación crítica de 320 m³/s para comprobar si así se consigue una reducción del riesgo de desbordamiento en las lindes del río.

El diseño final de todas las secciones se encuentra en el Anejo Hidráulico, este diseño ha sido fruto de varias modificaciones de las secciones, alcanzando finalmente un modelo en el que las secciones producen transiciones suaves en el flujo y en el que no se observan zonas críticas en cuanto al desbordamiento.

En la siguiente Ilustración se muestra el mismo ejemplo de sección dispuesto en el apartado de la situación actual, la sección 6864, pero esta vez con el retranqueo de motas efectuado.

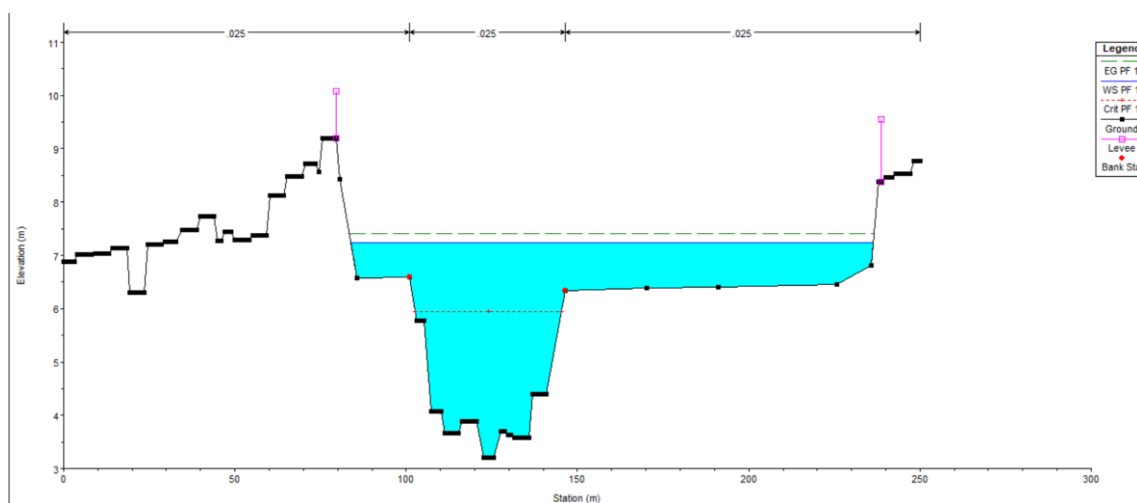


Ilustración 3.2.3.1. Sección 6864 modificada. (Fuente: propia con Hec-Ras)

Esta ilustración corresponde a la sección intermedia de un tramo recto, en ella se puede observar el desplazamiento de ambas motas. La mota izquierda se ha desplazado a penas unos 30 metros, por la cercanía con la carretera CV-91. En el caso de la mota izquierda se ha podido desplazar en algunos casos hasta 250 metros, ya que en las proximidades de esta margen se encuentran solamente campos de cultivo. En este caso la mota se ha retranqueado a unos 100 metros de su posición original.

Se puede observar en la Ilustración anterior una mejora en la distribución del caudal con respecto a la situación actual. La lámina de agua baja, reduciendo el



riesgo en las motas. Además, al aumentar el ancho del canal, la velocidad disminuye notablemente. Esto supone un menor arrastre de sedimentos grandes y con menos fuerza, hecho que reduce la posibilidad de impacto de estos contra infraestructuras o partes vulnerables del río.

A continuación, se muestra una sección representativa de la metodología seguida en las curvas. En concreto la sección 5888. Como se explicó anteriormente en las curvas se ha dispuesto una berma intermedia, creando dos llanuras de inundación por encima del cauce principal. Se ha diseñado así dado el espacio disponible en el interior de los meandros, ya que en la mayor parte del año estas llanuras van a encontrarse inactivas, esto posibilitaría el uso de estas llanuras como zonas verdes, zonas ciclables, parques o zonas de *picnic*.

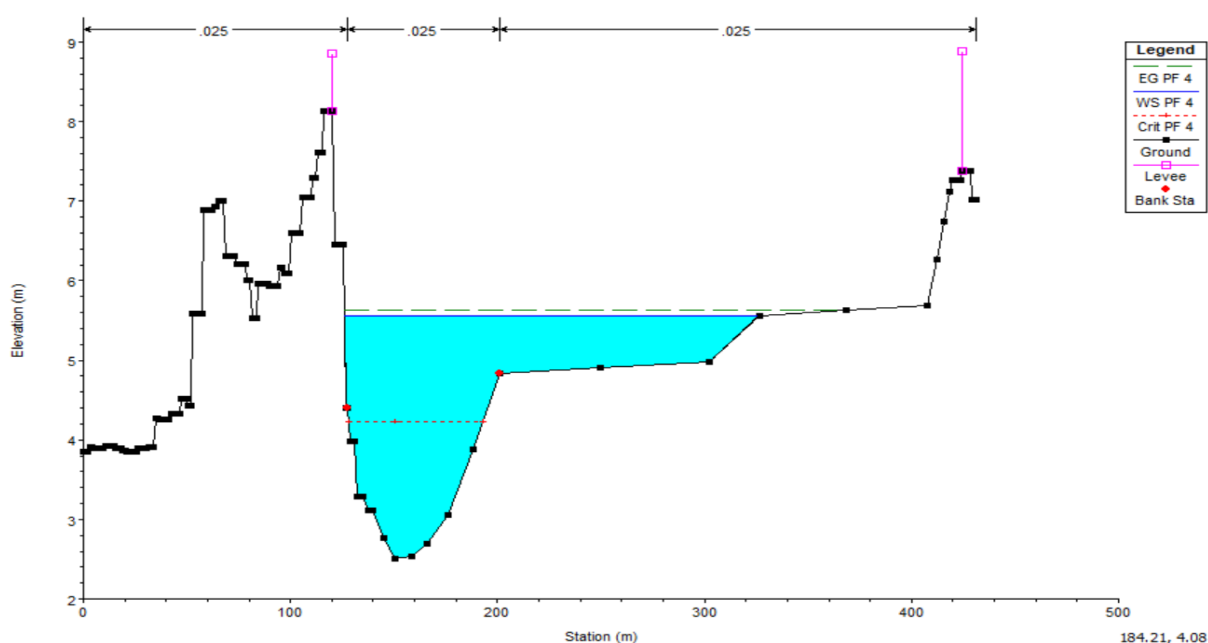


Ilustración 3.2.3.2. Sección 5888 modificada. (Fuente: propia con Hec-Ras)

Al igual que en la modificación de la sección 6864, mediante el desplazamiento de la mota derecha del río se aumenta la capacidad del río y se amplía el margen de desbordamiento, dotando así de especial protección a los meandros, zona especialmente conflictiva a la hora de afrontar las grandes avenidas.

Además, como se explicaba anteriormente, se puede observar como en la situación crítica de 320 m³/s, entra en funcionamiento la primera berma, amortiguando la inundación y los desbordamientos y la segunda berma queda a disposición de una mayor crecida.

3.3 DISEÑO HIDRAULICO BY-PASS



Una vez finalizada la restauración ambiental y la ampliación del cauce en el trazado del río, se procede con el diseño del by-pass en el puente Carlos III, situado en el centro urbano de Rojasles.

El diseño de éste se realiza después y no antes de la ampliación del cauce ya que está pensado para que ambas actuaciones funcionen de forma conjunta. Ha sido necesario estimar cuales serían las condiciones que se darían en la zona del puente teniendo en cuenta el estado modificado del trazado para el dimensionamiento del trazado.

En este apartado se describirá el estado actual del puente Carlos III así como los condicionantes que se han tenido en cuenta para el diseño del by-pass. Seguidamente, se esclarecerá exactamente como es la obra que se propone, dada su singularidad es necesaria esta descripción. Se explicarán de forma sintetizada los pasos seguidos para el diseño, los cuales quedan totalmente definidos en el Anejo de diseño hidráulico del by-pass. Finalmente, se describirá el procedimiento constructivo recomendado para esta obra.

3.3.1 Puente Carlos III

El puente de Carlos III, de 24,5 m de largo por 7 m de ancho, se encuentra en el centro del casco urbano de Rojasles, en la carretera C-3323. Este es uno de los símbolos mas representativos de Rojasles. Su construcción, que data del siglo XVIII, supuso quebrantar la separación natural impuesta por el río y establecer, a través de sus tres orificios bajo bóvedas de arco de campanel, la unión de las dos mitades del municipio. (*Puente de Carlos III | Ayuntamiento de Rojasles*, 2018)



Ilustración 3.3.1.1. Puente Carlos III (Fuente: (*GOING | Puente de Carlos III en Rojasles*, s. f.))



Además, cabe destacar la importancia del azud y la noria que acompañan al puente Carlos III. El sistema de canalización del Río Segura, iniciado por la sociedad musulmana andalusí, se perfeccionó en el siglo XVI con la construcción del Azud, una presa de sillería encargada de elevar el nivel de la corriente del río, para desviar el agua por un canal hacia las acequias mayores.

El conjunto de aprovechamiento del caudal del Segura culminó con la construcción de la Noria, a finales del siglo XIX, que actúa como puente de nivelación entre el río y las tierras altas de la margen derecha del municipio. Cabe destacar la monumental obra de sillería que la resguarda de las crecidas del Segura. (*Azud y Noria | Ayuntamiento de Rojales*, 2018)

El puente, junto con la noria y el azud en el río Segura, están declarados Conjunto Histórico Artístico desde 1983, según la *Guía de puentes de la provincia de Alicante* (2012).



Ilustración 3.3.1.2. Noria y azud del puente Carlos III. (Fuente: (GOING | Puente de Carlos III en Rojales, s. f.)

Dado este reconocimiento histórico, la zona se encuentra especialmente protegida, por lo que las obras llevadas a cabo en sus cercanías están sometidas a un especial control y cuidado.

En todo momento se han tenido en cuenta estas características especiales, por esto, se ha asegurado que las medidas propuestas para el by-pass son



respetuosas con las infraestructuras históricas existentes, así como la realización de numerosas visitas en las que se ha comprobado la disponibilidad de espacio tanto para la infraestructura propuesta como para la maquinaria necesaria para su realización.

El objetivo perseguido por esta obra es el aumento de capacidad admisible por el tramo del puente Carlos III. Actualmente, se estima que la capacidad capaz de desaguar el puente en condiciones de avenida extrema es de $210 \text{ m}^3/\text{s}$ como máximo. Mediante la ejecución del by-pass se conseguiría que las infraestructuras, puente y by-pass, fueran capaces de permitir el paso de hasta $320 \text{ m}^3/\text{s}$, caudal de diseño utilizado en el apartado anterior “Modelado en Hec-Ras”.

El by-pass sería capaz de aliviar casi el 40% del caudal en una situación crítica de avenida, hasta $123 \text{ m}^3/\text{s}$, el resto, los $197 \text{ m}^3/\text{s}$, en el caso de los $320 \text{ m}^3/\text{s}$ proyectados, serían desaguados por el puente Carlos III.

Este reparto de caudales se ve justificado tras numerosas pruebas por las dimensiones posibles para el by-pass, como se ha explicado antes, se trata de una zona históricamente protegida. Además, el ancho del by-pass se ve limitado por las edificaciones existentes al otro lado de la calzada paralela al río.

El ancho disponible es de 18 metros entre el cauce y las edificaciones, este ancho se mantiene constante en la zona propuesta para el by-pass.

3.2.2 Descripción del by-pass

El by-pass diseñado en este TFG es una estructura enterrada de tipo colector. Como un marco enterrado de hormigón armado.

El by-pass transcurre de forma paralela al río, por debajo de la calzada situada en la margen izquierda del río, en el sentido del flujo. En la Ilustración 3.2.2.1 se muestra la planta de la zona del puente Carlos III con el by-pass integrado en esta.

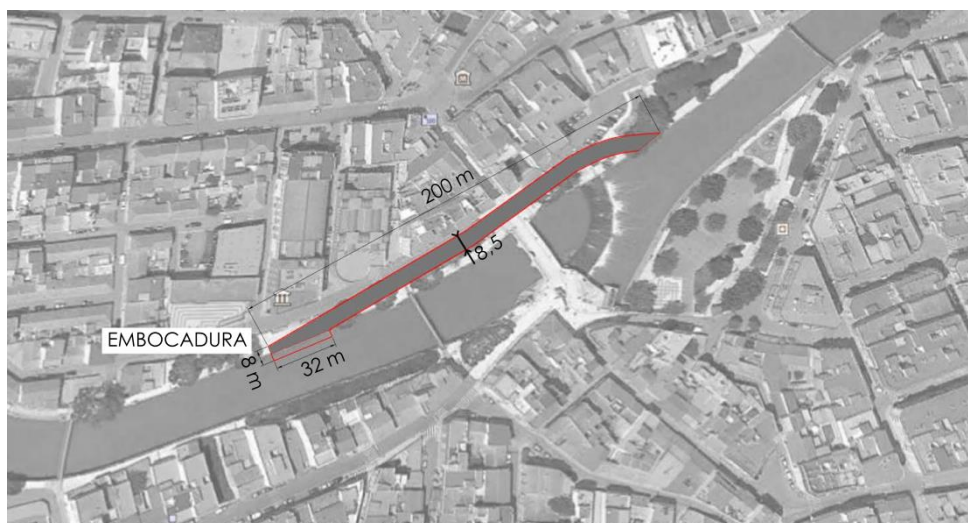


Ilustración 3.2.2.1. Planta del by-pass sobre mapa. (Fuente: propia con AutoCad)

Aguas arriba del puente Carlos III, a 100 metros aproximadamente de este, se sitúa la embocadura del by-pass. Se trata de una ventana de alivio lateral, de 32 metros de largo y 1,20 metros de alto, de labio fijo. Esta ventana estará dividida por 6 columnas, de 30 centímetros cada una, encargadas de sostener la parte superior de la ventana y el paquete de firmes situado sobre el by-pass.

Tras la división de la ventana por las columnas, quedan 7 ventanas de 4,20x1,20 metros. Por estas pasará el agua dentro del by-pass en caso de avenida. En el Documento nº2 Planos, plano 3.1, la sección transversal de la embocadura del by-pass, en el que se puede observar la relación de la ventana de alivio con el cauce del río.

A lo largo de los 32 metros de la ventana de la embocadura se dispone una rampa de escasa pendiente con caída paralela al río, encargada de ayudar a redirigir al flujo en la dirección del by-pass. Con esta rampa se asegura el no estancamiento del agua a la entrada en el by-pass. En el plano 3.2 se puede observar la sección interior de la embocadura, en esta se puede observar la rampa descrita, además de las 7 ventanas anteriormente mencionadas.

Aguas abajo del puente, a 200 metros de la embocadura, se encuentra el reintegro del flujo al cauce principal del río, la desembocadura. Se ha tenido en cuenta que las características del by-pass favorezcan el reintegro al cauce permitiendo unas condiciones de velocidad semejantes a las del cauce principal, para evitar resaltos hidráulicos y regímenes rápidos. Para conseguir estas condiciones, se ha diseñado una pendiente del 0,086%, es decir, un desnivel de 17 centímetros entre embocadura y desembocadura.

En el plano 3.2 se puede observar una sección transversal tipo del tramo intermedio del by-pass.



3.2.3 Diseño del by-pass

En este apartado se sintetizará el procedimiento seguido para el diseño del by-pass, justificando así los valores expuestos en la descripción del by-pass.

Todas las medidas finalmente adoptadas han sido elegidas tras numerosas pruebas en las que se han ido descartando otros valores por motivos prácticos o de cálculo.

El primer paso para el diseño del by-pass ha sido la recogida de datos y medidas, tanto del puente Carlos III como del cauce en las zonas de embocadura y desembocadura. La mayoría de las medidas se han podido extraer del Visor GVA o del modelo hidráulico de Hec-Ras, alguna otras, como la profundidad real del azud o la altura de los orificios del puente, se han tomado *in situ*.

En la siguiente Ilustración se muestran las cotas de los orificios del puente determinadas:

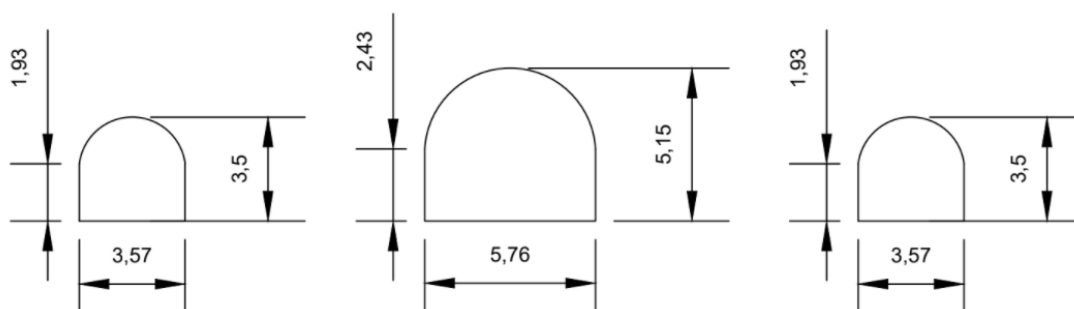


Ilustración 3.2.3.1. Cotas de los orificios del puente Carlos III (Fuente: elaboración propia)

Y las cotas del azud:



- Cota A: 5,27 m.
- Cota B: 6,38 m.
- Cota C: 4,30 m.

Siendo la cota A la más cercana al puente, la cota B el punto de inflexión del azud, a partir del cual el azud deja de almacenar agua y la cota C la del cauce.

Una vez finalizada la toma de datos se procede al diseño del by-pass. Se pueden definir dos fases en el proceso de diseño, en primer lugar, se ha realizado el cálculo



aguas abajo del puente, para determinar la cota de la parte inferior de la ventana y después, el cálculo aguas arriba del puente, para determinar la cota de la parte superior de la ventana.

El primero de estos se ha llevado a cabo igualando las energías entre la sección del cauce más próxima a la zona de desembocadura del by-pass y la sección última del by-pass.

En este paso se ha determinado que el ancho óptimo del by-pass es de 8,50 metros, para asegurar un calado considerable y una transición suave en el reintegro.

Además, una vez determinado el ancho del by-pass y el calado en el interior de este, se ha obtenido la velocidad a la que se encontrará el flujo en su interior y el desnivel existente entre embocadura y desembocadura.

El resultado final de esta primera fase de diseño es que 8,18 metros es la cota máxima a la que se puede poner la parte inferior de la ventana de desagüe, para que exista vertido libre y por tanto el caudal quede fijado y controlado.

En segundo lugar, se ha realizado el cálculo aguas arriba del puente, para determinar la cota superior de la ventana lateral. Para ello, hay que comprobar si alguno de los dos ensanchamientos existentes al salir de los orificios del puente (primero, la sección inmediata al salir del puente y después, el ancho total del azud) produce que la lámina de agua que proviene del puente en carga tiene más energía que la impuesta aguas abajo por el río. Resumiendo, hay que comprobar si alguna de las secciones produce que no se anegue el flujo proveniente del puente ante el calado aguas abajo del puente.

Como se muestra en el Anejo Hidráulico del by-pass, ninguna de las dos secciones produce que el flujo al salir del puente tenga más energía que la impuesta aguas abajo por el calado normal del cauce. Es decir, ninguna de las dos secciones produce que el régimen del flujo cambie de lento a rápido.

Después de estas comprobaciones se procede a determinar la energía que posee el flujo a la salida del puente, suponiendo que este se encuentra en carga en la situación crítica supuesta.

El objetivo que se persigue una vez obtenida la energía es determinar la altura de velocidad producida por el puente en presión, es decir, cuánto sube la lámina de agua sobre los orificios del puente.

La altura subida sobre los orificios del puente se determina como la producida por el estrechamiento de los ojos del puente menos la correspondiente a la sección del ensanchamiento del puente, más un 10% por pérdidas por rozamiento.

Una vez calculada la cota de la lámina de agua, y comprobado que esta se encuentra por debajo de la cota de las zonas subyacentes al río, hecho que se puede afirmar gracias a las dimensiones escogidas, se puede determinar la altura a la que se encontrará la parte superior de la ventana lateral.



Por último, por razones hidráulicas y constructivas el labio por el que ha de verter el agua el cauce principal al by-pass queda definido en 30 metros útiles. A partir de esta longitud se puede calcular el caudal específico admitido por el by-pass, y de este el calado crítico del flujo al paso por la ventana, lo que determina que la altura de la ventana ha de ser de 1,20 metros y estar situada la parte inferior de esta en la cota 7,30 metros.

Con estas condiciones y características, como se explica en el anejo correspondiente, finaliza el diseño del by-pass.

3.2.4 Proceso constructivo

En la fase de construcción del by-pass se ha de tener en cuenta la singularidad de la obra, y sobre todo diseñar el proceso constructivo en base a dos grandes condicionantes.

En primer lugar, se ha de preservar en todo momento la integridad de la zona constituida por puente, azud y noria, dada su riqueza histórica. Se ha de proceder mediante un método constructivo que sea capaz de reducir las vibraciones.

El otro gran condicionante para tener en cuenta es la poca disponibilidad de espacio existente en la zona en la que se ha de construir el by-pass. Asimismo, al tratarse una excavación semiprofunda a poca distancia de las edificaciones y del río, habrá que tener en cuenta el empuje producido por los edificios y la presencia del nivel freático.

Dadas estas condiciones, el mejor procedimiento para llevar a cabo la construcción del by-pass es mediante la implementación de **muros pantalla** a ambos lados del by-pass.

Con estos se conseguirá evitar los problemas relacionados con el empuje de los edificios, y a su vez permitirán la introducción de bombas de desagüe para controlar el nivel freático.

Los pasos a seguir para la construcción del cajón enterrado de hormigón armado se enumeran a continuación:

- Trabajos previos: preparación de la plataforma de trabajo, ejecución de muretes guía y desvío de servicios.
- Excavación por bataches con cuchara bivalva, se puede considerar la necesidad de utilizar lodos bentoníticos.
- Introducción de la armadura.
- Hormigonado del muro pantalla
- Construcción viga de coronación
- Vaciado del terreno existente entre los dos muros pantalla.
- Hormigonado de la superficie inferior



- Construcción de la parte superior del cajón.
- Relleno con tierras reutilizadas y reposición de servicios

4 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Relación del TFG “Estudio de ampliación de capacidad y restauración ambiental del encauzamiento del río Segura entre la AP – 7 y el puente de la carretera CV – 91 (T.T. M.M. de Formentera del Segura y Rojales, Alicante)” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.			X	
ODS 3. Salud y bienestar.	X			
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.		X		
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.		X		
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.			X	
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.		X		
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.	X			
ODS 14. Vida submarina.		X		



ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.		X		
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible tienen una relación directa con el TFG presente son los denominados “Salud y bienestar” y “Acción por el clima”, aunque hay varios marcados como relación media que podrían considerarse también como alta.

Estos dos ODS tienen una relación directa con las actuaciones propuestas en este documento debido a que el propósito final de este trabajo es conseguir una estabilidad entre le Río Segura y su cauce. Es decir, renaturalizarlo, deshaciendo parte del encauzamiento al que está sometido, consiguiendo la vuelta de numerosas especies vegetales y animales que antaño habitaban en el río. Además, siendo el principal motivo del trabajo, se pretende lograr una situación en la que se reduzca al máximo el riesgo de desbordamiento, de tal manera que la salud y el bienestar de las ciudadanos que se han visto históricamente expuestos a las grandes crecidas del río no se vea amenazada de nuevo.

Por otra parte, como se comentaba anteriormente, algunos ODS como **Agua limpia y saneamiento, Trabajo decente y crecimiento económico, Ciudades y comunidades sostenibles o Vida de ecosistemas terrestres**, se han marcado como relación media, a pesar de que, si se llevarán a cabo las actuaciones diseñadas, todos estos aspectos mejorarían indudablemente.

Mediante un cauce renaturalizado se conseguiría un río más limpio, con más vida, en el que la propia fauna y flora del río se encargarían de que el río estuviera en buenas condiciones para su uso y disfrute.

Además, con una mejora en el encauzamiento se reduciría el riesgo de inundación, hecho que supone en gran medida, dada la zona de estudio, la pérdida de cultivos y huertos. Así como de viviendas y negocios. Estas situaciones en las que las ciudades se ven obligadas a restaurar enormes cantidades de bienes materiales suponen un retraso económico importante.

Finalmente, se han marcado como poca relevancia algunas ODS como **Hambre cero** ya que se podría considerar este objetivo como la búsqueda de cero desperdicio de alimentos y, como se ha mencionado en el párrafo anterior, las inundaciones en la Vega Baja del Segura siempre conllevan la pérdida de cultivos y consecuentemente, de alimentos.



5 CONCLUSIONES

Gracias a las simulaciones llevadas a cabo mediante el uso de Hec-Ras se ha podido conocer en mayor detalle el grave problema al que esta zona de la península ha de enfrentarse. El régimen hidrológico extremo al que ha de hacer frente en las grandes situaciones de avenida, provocadas por la gota fría, unido a las características físicas a las que ha llegado la cuenca por la acción antrópica, suponen un grave peligro para los habitantes de la zona y la preservación de la Vega Baja del Segura.

Queda así justificada la necesidad de integrar el río de nuevo en su tramo antes de la desembocadura.

Cabe destacar que el problema hidráulico que se trata de resolver en este documento es de gran complejidad, por lo tanto, para el correcto diseño de estas actuaciones sería necesaria la maquetación de la zona y puesta a prueba.

Ni los modelos digitales ni los cálculos presentes en este Trabajo de Fin de Grado son capaces de vaticinar el efecto que tendría un episodio de tempestad equivalente al vivido el pasado septiembre de 2019.

6 BIBLIOGRAFÍA

- *Azud y Noria | Ayuntamiento de Rojales.* (2018, septiembre 21).
<http://www.rojales.es/azud-y-noria/>
- Cartagena, J. E. (s. f.). *ENCAUZAMIENTO DEL RÍO SEGURA DESDE LA CONTRAPARADA (MURCIA) HASTA GUARDAMAR DEL SEGURA (ALICANTE) Y RECUPERACIÓN DE LOS SOTOS DEL RÍO. ESPAÑA.*



- European Commission. Directorate General for the Environment. (2014). *La directiva marco del agua de la UE*. Publications Office.

<https://data.europa.eu/doi/10.2779/75335>
- García-Herrera, R. (2010). *AEMET y el cambio climático*.
- GOING | *Puente de Carlos III en Rojas*. (s. f.). Recuperado 18 de julio de 2021, de <http://ingenieria-civil.org/GOING/obra.php?id=37>
- López-Ortiz, M. I. (ed), Melgarejo, J. (ed), & Fernández-Aracil, P. (coord). (2020). *Riesgo de inundación en España: Análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*. Universitat d'Alacant. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/109017>
- MITECO, Ministerio para la Transición Ecológica (2018). *Inundaciones y cambio climático. Madrid—Bing*. (s. f.-a).
- Olcina, J., & Díez-Herrero, A. (2017). *Cartografía de inundaciones en España*.
- Ollero, A. (2015). Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial (manual para gestores). *Zaragoza: Contrato de río del Matarraña*.
- *Puente de Carlos III | Ayuntamiento de Rojas*. (2018, septiembre 21).

<http://www.rojales.es/puente-de-carlos-iii/>
- Río Segura. (2021). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*.

https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%ADo_Segura&oldid=136074145
- Romero Díaz, A., & Maurandi Guirado, A. (2000). *Las inundaciones en la cuenca del Segura en las dos últimas décadas del siglo XX: Actuaciones de prevención*.
- Bates, B., Wu, S., Kundzewicz, Z. & Palutikof, J. (2008). El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico VI del IPCC. In Library.
- Romero Díaz, A., & Maurandi Guirado, A. (2000). *Las inundaciones en la cuenca del Segura en las dos últimas décadas del siglo XX: Actuaciones de prevención*.



Estudio de ampliación de capacidad y restauración ambiental del encauzamiento del río Segura entre la AP – 7 y el puente de la carretera CV – 91 (T.T. M.M. de Formentera del Segura y Rojas, Alicante)

