

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA Y DE MONTES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN A LOS
PROBLEMAS DE INUNDACIÓN EN UN TRAMO DEL RÍO
GUADALETE A SU PASO POR JEREZ DE LA FRONTERA
(CÁDIZ).

Autor: PASCUAL HERRERA GRIMALDI

Titulación: MÁSTER EN INGENIERÍA DE MONTES (PLAN DE ESTUDIOS 2015)

Directores: AMANDA PENÉLOPE GARCÍA MARÍN

JAVIER ESTÉVEZ GUALDA

CÓRDOBA, JUNIO 2016



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes

Universidad de Córdoba

Departamento de Ingeniería Rural

Trabajo Fin de Máster

“Diagnóstico y propuesta de solución a los problemas de inundación en un tramo del río Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera (Cádiz)”

VºBº de los directores del T.F.M.

Fdo. Dra. Amanda Penélope García Marín

Fdo. Dr. Javier Estévez Gualda

El Alumno.

Fdo. Pascual Herrera Grimaldi

Junio de 2016

Amanda Penélope García Marín, Profesora Contratada Doctora y Javier Estévez Gualda Profesor Contratado Doctor, ambos del Departamento de Ingeniería Rural de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes de la Universidad de Córdoba,

Informan:

Que el Trabajo Fin de Máster: *“Diagnóstico y propuesta de solución a los problemas de inundación en un tramo del río Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera (Cádiz)”*, del que es autor Pascual Herrera Grimaldi, alumno de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes, Plan 2015, reúne los requisitos para su defensa.

Y para que conste, firman el presente escrito en Córdoba, a 16 de junio de 2016.

Fdo. Dra. Amanda Penélope García Marín

Fdo. Dr. Javier Estévez Gualda

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo, realizado en el Departamento de Ingeniería Rural, de la E.T.S.I. Agronómica y de Montes de la Universidad de Córdoba, no habría sido posible sin la inestimable colaboración de numerosas personas que directa o indirectamente han colaborado en su consecución.

En primer lugar quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis directores de proyecto, Amanda P. García Marín y Javier Estévez Gualda por la ayuda que me han prestado en esta etapa de mi carrera profesional.

De igual forma, expreso mi más sincero agradecimiento a Don José María Sánchez García, Ingeniero de Montes de la Junta de Andalucía, por su dedicación, ayuda y preocupación en todo momento.

También he de agradecer la ayuda prestada a las personas Don Juan Vicente Giráldez Cervera, que con su predisposición, eficacia y amabilidad ha conseguido que sorteara muchas de las dificultades.

Tampoco me puedo olvidar de las personas que más me han ayudado, en este caso no académicamente, sino moralmente en forma de apoyo, a mi pareja Tatiana Castro Muñoz y como no a mis padres y hermanos.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción y Antecedentes	15
1.1. Antecedentes históricos	16
1.2. Actuaciones realizadas en la zona	18
1.3. Marco Legal	19
2. Objetivos	41
3. Estudio de la cuenca	43
3.1. Localización	43
3.2. Medio Físico	46
3.2.1. Climatología	46
3.1.2. Geología	53
3.1.3. Fisiografía	55
3.1.4. Hidrología	56
3.1.5. Usos del suelo	64
3.2. Medio biológico	66
3.2.1. Flora y vegetación potencial	66
3.2.2. Fauna	67
3.2.3. Espacios protegidos	68
3.3. Estudio hidráulico del Tramo	70
3.3.1. Análisis visual	70
3.3.2. Análisis morfológico	83
4. Propuestas	89
4.1. Medidas Puntuales	89
4.2. Medidas de ámbito general	93

5. Estudio de caso	99
6. Conclusiones	111
7. Bibliografía	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de las actuaciones desde 2010 - 2015 en el tramo objeto de estudio	19
Tabla 2. Periodo de retorno asociado a la precipitación máxima diaria en la serie de datos estudiado	51
Tabla 3. Embalses Distrito Hidrográfico Guadalete	58
Tabla 4. Listado de actuaciones prioritarias en Cádiz	61
Tabla 5. Valores mínimos, medios y máximos de anchura de lámina de agua obtenidos mediante fotointerpretación en el año 1956 y 2013	84
Tabla 6. Tabla resumen de los valores anteriormente obtenidos. Añade el valor de la media aritmética de las longitudes de onda	85
Tabla 7. Distintos valores de ancho de lámina de agua en relación a la longitud de onda medida	86
Tabla 8. Anchura y tipos de vegetación recomendados de acuerdo con diferentes objetivos	92
Tabla 9. Caudales en $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ para distintos periodos de retorno	96
Tabla 10. Dimensiones Puente La Greduela	100
Tabla 11. Cota de la lámina de agua en el año 2008	101
Tabla 12. Tabla resumen de las cotas medidas en el intervalo de tiempo Octubre de 1999 hasta Febrero 2016	106
Tabla 13. Máximas cotas correspondientes a los episodios de avenidas	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Definición del espacio fluvial según la Ley 9/2010 de Aguas de Andalucía	25
Figura 2. Plano de situación Demarcación Hidrográfica Guadalete - Barbate en Andalucía y España	44
Figura 3. Distrito Hidrográfico del Guadalete y del Barbate, señalado el tramo de estudio	45
Figura 4. Plano de situación del tramo con detalle de las poblaciones colindantes	46
Figura 5. Clasificación Climática de Köppen-Geiger en la Península Ibérica e Islas Baleares	47
Figura 6. Precipitación media mensual	48
Figura 7. Precipitación anual en el periodo 1953 - 2006	49
Figura 8. Precipitación anual en el periodo 2007 - 2015	49
Figura 9. Precipitación máxima diaria en el periodo de tiempo 1953 – 2015	50
Figura 10. Resumen de temperaturas por mes del año	53
Figura 11. Recorte del Mapa Geológico de la Hoja 1062	54
Figura 12. Plano de Pendientes del D.H. del Guadalete. Fuente. REDIAM.	56
Figura 13. Modelo 3D del nacimiento del río Guadalete en la Sierra de Cádiz. Detalle del centro urbano de Grazalema	57
Figura 14. Red hídrica del Guadalete	58
Figura 15. Distribución de la estaciones de medida en la Red Hídrica del Guadalete.	60
Figura 16. Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) en la Demarcación Hidrográfica del Guadalete – Barbate	62
Figura 17. Llanura de inundación para 10 años (A), 100 años (B) y 500 años (C)	63
Figura 18. Usos del suelo del Distrito Hidrográfico del Guadalete. Fuente. REDIAM	64
Figura 19. Usos del suelo en el tramo objeto de estudio	65
Figura 20. Espacios Naturales Protegidos del Distrito Hidrográfico del Guadalete	69

Figura 21. Plano de situación del tramo _____	70
Figura 22. Ortofotografía de 1946 _____	72
Figura 23. Ortofotografía de 1956 _____	72
Figura 24. Ortofotografía de 1977 _____	73
Figura 25. Ortofotografía de 1998 _____	73
Figura 26. Ortofotografía de 2008 _____	74
Figura 27. Ortofotografía de 2010 _____	74
Figura 28. Ortofotografía de 2013 _____	75
Figura 29. Infraestructuras transversales existentes en la actualidad _____	75
Figura 30. Infraestructuras lineales públicas y privadas. Evolución desde 1946 _____	76
Figura 31. Infraestructuras agrarias de protección de inundaciones de los propios agricultores en 1956 _____	76
Figura 32. Evolución de urbanizaciones en las inmediaciones del río Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera _____	77
Figura 33. Cambio de uso del suelo a explotación agrícola _____	78
Figura 34. Cambio en el uso del suelo _____	78
Figura 35. Avance la vegetación versus pérdida de sección disponible para la descarga de caudales _____	79
Figura 36. Avance la vegetación versus pérdida de sección disponible para la descarga de caudales _____	79
Figura 37. Relación ancho lámina de agua con anchura total del río _____	80
Figura 38. Detalle del cierre de bifurcaciones en el tramo _____	81
Figura 39. Detalle del cierre de bifurcaciones en el tramo _____	82
Figura 40. Parámetros morfológicos que definen un río _____	83

Figura 41. Distribución de frecuencia de la medida de anchura del río (en metros) para el año 1956 y 2013 respectivamente _____	84
Figura 42. Cuadrícula y numeración de los meandros para la medición de longitudes de ondas _____	86
Figura 43. Situación del muro de escollera _____	89
Figura 44. Situación del antiguo azud de La Corta _____	90
Figura 45. Situación de la Sierresuela y representación básica de la propuesta _____	91
Figura 46. Situación del Arroyo Salado de Espera y meandro de la Greduela sobre imagen del 2013 _____	96
Figura 47. Situación de la Greduela, detalle de las secciones analizadas y modificadas ____	100
Figura 48. Vista en planta de las secciones del subtramo _____	102
Figura 49. Sección del Puente La Greduela original con caudal de $150 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ _____	103
Figura 50. Secciones iniciales del subtramo _____	104
Figura 51. Sección del Puente La Greduela objetivo con caudal de $295 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ _____	108
Figura 52. Secciones definidas para el meandro La Greduela _____	110

1. Introducción y Antecedentes

El presente Trabajo Fin de Máster se enmarca dentro del **Primer Plan Propio Galileo de Innovación y Transferencia de la Universidad de Córdoba**, en la modalidad “**Semillero de Emprendedores**” del que el autor ha sido beneficiario. El objetivo principal de este Plan es poner en contacto a jóvenes universitarios que estén finalizando sus estudios de postgrado con el mundo laboral, promoviendo un intercambio de conocimientos que mejore los métodos de análisis y gestión, además de brindar una oportunidad para el futuro cercano. De esta forma, ha sido posible trabajar en la zona en cuestión (tramo del río Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera), junto a profesionales consolidados en la restauración hidrológico – forestal de la **Agencia Andaluza del Agua de la Cuenca Atlántica**, y conocer el problema *in situ*, permitiendo compartir y discutir con todos los agentes implicados en el sistema fluvial y así entender desde una perspectiva holística el problema en cuestión.

El río Guadalete, se localiza en mitad Norte de la provincia de Cádiz, en la Demarcación Hidrográfica del Guadalete - Barbate, nace en el Peñón Grande de la Sierra de Grazalema, y desemboca en el Puerto de Santa María, recorriendo la cuenca en dirección Este - Oeste. En su transcurso, el paso por Jerez de la Frontera, es considerado por la Junta de Andalucía como zona de interés principal por los problemas derivados de las frecuentes inundaciones acaecidas.

Son conocidos los daños que las crecidas del río han generado históricamente en las pedanías colindantes de Las Pachecas, La Ina y El Portal, entre otras, afectando a cientos de personas, a sus viviendas, además de provocar pérdidas en cultivos, ganadería, infraestructuras, etc. Así, son importantes los perjuicios ocasionados sobre los cultivos anexos al río, donde con cierta frecuencia se pierden grandes extensiones y por tanto el medio de subsistencia de los damnificados. Especial atención merece la situación de aislamiento de ciertas pedanías por cortes en infraestructuras como puentes o carreteras nacionales, y en concreto la Autopista del Sur y la Autovía A-381, siendo esta última la principal y casi única vía de entrada al resto de la provincia, y vía estratégica para el comercio y transporte entre Jerez de la Frontera y Algeciras.

En general, España es un país con una amplia tradición en la planificación y gestión de sus cuencas. Aun así, con la entrada en vigor de la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 (transpuesto al Real Decreto Legislativo el 20 de julio de 2001, relativo al texto refundido de la Ley de Aguas), se introdujeron novedades importantes, orientadas principalmente a prevenir el deterioro y mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos además de promover el uso sostenible del agua.

Un paso más allá se da el 23 de octubre de 2007, cuando el Parlamento Europeo aprobó la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (transpuesta al ordenamiento jurídico español a través del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación), donde se marca un antes y un después en la orientación de la gestión de inundaciones.

Las inundaciones son catástrofes naturales de gran impacto sobre la sociedad a nivel mundial. En España, según la información dada por el Consorcio de Compensación de Seguros (2015), los daños por inundaciones se estiman en una media de 800 millones de euros anuales.

Por todo esto, se considera oportuno que el presente Trabajo Final de Máster aborde de manera directa el problema de las inundaciones en el río Guadalete.

1.1. Antecedentes históricos

Tal y como se ha hecho referencia, la zona cuenta con una amplia experiencia en inundaciones. Las primeras de las que se tiene constancia en el Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera, según el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas, se remontan a 1618 (primera inundación documentada), donde los daños según la descripción fueron cuantiosos “...en Jerez de la Frontera.... hubo gran daño, en mucha suma de ducados.”

Tomando como referencia el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2006), y a partir de nuevas fuentes de información cedidas por la Junta de Andalucía (Sánchez García, 2013, Sánchez García, 2014, Blanco Rodríguez, 2013), se ha realizado una relación de las inundaciones acaecidas en Jerez de la Frontera, ocasionadas por el río Guadalete, incluyendo algunas reseñas de cada una de las catástrofes:

- *Año 1618*: fuertes daños materiales, incluso vidas humanas en otros lugares de Andalucía como es el caso de Sanlúcar de Barrameda con más de 170 muertos.
- *Año 1917*: se vertía por el aliviadero del pantano del Guadalquivir 660 m³/s, formando una lámina de 3 metros de espesor.
- *Año 1930*: se vertía por el aliviadero del pantano del Guadalquivir 1.320 m³/s, formando una lámina de 4,75 metros de espesor, *“...ocasionó respetable número de víctimas y enormes estragos en ganados, cosechas, edificios y obras públicas.”*
- *Año 1946*: las riadas causaron destrozos en el estribo izquierdo de la presa de “La Corta” y una fisura. En el resto de Andalucía los daños fueron importantes, como por ejemplo la destrucción del puente de Baena.
- *Año 1970*: las cuantiosas lluvias caídas en enero provocó inundaciones que ocasionaron graves daños en poblaciones, carreteras, caminos, canales, colectores, encauzamientos, líneas, cosechas agrícolas y ganado. En la barriada del Portal y Portalillo, 55 viviendas quedaron inundadas.
- *Año 1979*: en noviembre las lluvias llegaron a sobrepasar los 100 litros por metro cuadrado en 5 horas, provocando inundaciones en el Guadalete, que dio lugar a socavones y arrastres de importancia en los terrenos colindantes.
- *Año 1982*: las inundaciones dadas en noviembre provocaron grandes daños en canales y acequias en Jerez de la Frontera.
- *Año 1996*: las inundaciones sufridas en diciembre de 1996 son conocidas a nivel nacional, ya que fue el año de la catástrofe sucedida en el Camping “Las Nieves” de Biescas, donde mueren 87 personas y 183 resultan heridas. En Jerez de la Frontera, desaparece un joven arrastrado por las aguas, y se procede a la evacuación de las pedanías de El Portal, Las Pachecas y La Ina de unas 200 personas, además de los cultivos de los alrededores.
- *Año 2003*: se producen desbordamientos del río Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera en el mes de febrero.
- *2009/10*: las inundaciones fueron recurrentes, debido a las precipitaciones constantes. Desde diciembre del 2009 hasta enero del 2010, se ven afectados principalmente cultivos, aunque también viviendas, llevando a desalojos en la zona.

- **Año 2013:** las precipitaciones fueron solo en Grazalema de 190 mm en 24 horas. Entre los días 6 y 8 inclusive ambos, se superó en un 400% la media del mes de marzo histórica. Los daños producidos incidieron en cortes de la red viaria, daños en carreteras, pérdida de cosechas, daños en edificaciones de las barriadas colindantes, desalojo de las poblaciones de La Corta, Las Pachecas, Cejos del Inglés y los Repastaderos.

Como se puede apreciar, las inundaciones han sido recurrentes, y por tanto los daños sufridos. No obstante, la pérdida de vidas humanas en la actualidad es nula en esta zona, gracias por un lado a las capacidades de evacuación de la zona, y por otra a la labor conjunta entre la Administración y el Grupo de Defensa de Andalucía (dependiente a su vez de la Junta de Andalucía) y demás organismos como Protección Civil y Cuerpos de Seguridad. Aun así los daños en viviendas, medios de subsistencia como los terrenos agrícolas y ganaderos, siguen siendo de elevada importancia.

1.2. Actuaciones realizadas en la zona

Tal y como se ha comentado anteriormente, el río Guadalete a su paso por la ciudad de Jerez de la Frontera, ha sido el punto principal de actuaciones de la Administración con el objetivo de minimizar los daños de las crecidas.

En los últimos 6 años, la administración ha centrado parte de sus posibilidades en este tramo del río. Estas actuaciones se han centrado principalmente en la retirada de sedimentos y restos de obras anteriores, eliminación de vegetación de ribera, especialmente eucalipto (*Eucalyptus* spp.), repoblación con especies autóctonas de la zona, y no menos importante en la recuperación del terreno fluvial perdido durante años.

Enmarcando estas actuaciones en el tiempo, se muestra en la Tabla 1 la inversión que ha supuesto, el número de jornales dados, el número de pies de repoblación, el volumen de material extraído y el número de pies arbóreos extraídos.

Tabla 1. Resumen de las actuaciones desde 2010 - 2015 en el tramo objeto de estudio. Fuente: Junta de Andalucía.

Año	Descripción	Repoblación (pies)	Movimiento tierra (m ³)	Nº de árboles extraídos	Nº Jornales	Inversión (€)
2010	Obras					
2011	encomienda	-	84.700	10.000	3.065	775.678
2012	cauces					
2013	Repoblación Fondo empleo	2.680	-	10.000	185	25.655
2014	Obras encomienda cauces	-	15.300	10.000	-	42.840
2015	Obras encomienda II fase	600	30.000	-	132	150.000
TOTAL		3.280	130.000	30.000	3.382	994.173

Como se puede apreciar, ha habido una alta presión de actuaciones en la zona en estos últimos 5 años, lo cual pone de manifiesto la importancia y trascendencia de las inundaciones. Entre las actividades realizadas, el movimiento de tierras es la operación con mayores costes, especialmente el transporte de ésta a otra zona, la cual debe de cumplir con ciertas condiciones.

En relación a la inversión mostrada, comentar que en el caso de la extracción de los pies, el coste fue cero, ya que el material extraído fue vendido a la propia empresa que se encargó de la corta para la producción de biomasa, de hecho, se obtuvo algún beneficio.

Aun habiéndose concentrado estas actuaciones en el tramo de estudio, las inundaciones siguen sucediendo, aunque, según un informe interno realizado por la propia Junta de Andalucía (Blanco Rodríguez, 2013), se ha mejorado en gran medida la capacidad de desagüe del río.

1.3. Marco Legal

En las últimas décadas, la preocupación por el estado de las masas de agua ha llevado a la celebración de encuentros entre países, como por ejemplo en 1988, cuando se celebra el Seminario Ministerial sobre las Políticas de Aguas de la Comunidad en Fráncfort, donde se

pone de manifiesto la necesidad de mejorar la calidad ecológica de las aguas superficiales. En este sentido, el Seminario Ministerial sobre Aguas Subterráneas celebrado en La Haya en 1991, reconocía la necesidad de adoptar medidas para evitar el deterioro a largo plazo de los aspectos cualitativos y cuantitativos de las aguas dulces, con el fin de lograr una gestión sostenible y la protección de los recursos hídricos.

En 1992, el Tratado de la Unión Europea, firmado en Maastricht, primero en su artículo 130 R, y en posteriores ediciones en el artículo 174, dedicado al medio ambiente, ponía de manifiesto la necesidad de proteger el medio ambiente y la salud de las vidas humanas actuando allí donde se halle el problema.

Debido a la creciente preocupación, en 1995 se presentó un estudio realizado por la Agencia Europea del Medio Ambiente llamado *“El medio ambiente en la Unión Europea”*, donde se confirmaba la necesidad de tomar medidas para proteger las aguas comunitarias. Los resultados del estudio promovieron que, el 18 de diciembre de 1995, el Consejo presentara unas Conclusiones en las que se exigía entre otras cosas, la elaboración de una nueva Directiva Marco, la cual, en consonancia con el artículo 174 del Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea decía, *“...la política de la Comunidad en el ámbito del medio ambiente debe contribuir a alcanzar los objetivos siguientes: la conservación, la protección y la mejora de la calidad del medio ambiente, y la utilización prudente y racional de los recursos naturales. Asimismo, debe basarse en el principio de cautela y en los principios de acción preventiva, de corrección de los atentados al medio ambiente preferentemente en la fuente misma, y de quien contamina paga.”*

La gestión del riesgo, uno de los aspectos fundamentales que debe abordar un país moderno, es el hilo común de multitud de normativa, que persigue como objetivo la protección de las personas y los bienes, y del medio ambiente, a través de la modificación de la legislación. En el caso concreto de las inundaciones, España ha sufrido sus consecuencias tanto en repercusiones económicas como en pérdida de vidas humanas. El enfoque tradicional para abordar este riesgo, consistente en plantear soluciones estructurales (construcción de presas, encauzamientos, motas de defensa, y otros), se ha revelado insuficiente, por lo que resulta necesario profundizar en las medidas de gestión del riesgo como instrumento fundamental para mejorar la protección de la población.

La creciente y rápida presión sobre los cauces, fundamentalmente urbanística, reduce día a día el espacio fluvial, incrementa los riesgos frente a las inundaciones y menoscaba la protección medioambiental del Dominio Público Hidráulico exigida por la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

Teniendo en cuenta la importancia y la repercusión del fenómeno a escala europea, durante las últimas décadas se ha ido creando un entramado de directivas, leyes, normativas, reales decretos, etc. alrededor de la gestión del agua y las inundaciones. A continuación se recogen los aspectos más relevantes de las mismas.

DIRECTIVA MARCO DEL AGUA

El 23 de Octubre del 2000 se aprueba la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua en adelante).

El objeto de la presente Directiva es:

- Promover el uso sostenible de los recursos hídricos disponibles.
- Proteger y mejorar el medio acuático, principalmente con medidas orientadas a la reducción progresiva de los vertidos, emisiones y las pérdidas de sustancias prioritarias.
- Reducir la contaminación de aguas subterráneas y evitar nuevos focos.
- Contribuir a paliar los efectos de las inundaciones y sequías.
- Y con todas estas acciones contribuir a:
 - Garantizar el suministro suficiente de agua superficial o subterránea en buen estado, requiriendo un uso del agua sostenible, equilibrado y equitativo.
 - Proteger las aguas territoriales y marinas.

Además, se pretende la coordinación y cooperación entre las Administraciones competentes, promover una fuerte participación pública, fundamentar los programas de medidas en los análisis económicos coste-eficacia y establecer una política de precios en los servicios del agua que incentive la gestión racional y sostenible de los recursos.

En relación a las inundaciones se asume que, para alcanzar el buen estado ecológico de las masas de aguas, se podrán realizar actividades que cambien las características hidromorfológicas de las masas de aguas, donde aparece textualmente que se aceptarán para la regulación y protección contra las inundaciones, drenajes del terreno, pero siempre procurando la protección del medio ambiente acuático.

De igual manera, se asume que las zonas que sufren graves inundaciones puedan presentar un deterioro temporal, sin constituir una infracción de las disposiciones de la presente Directiva, pero se establece que:

- Se adopten todas las medidas factibles para impedir nuevos episodios.
- Que estas medidas se incluyan en el programa de medidas del Plan Hidrológico y que no pongan en riesgo la calidad de la masa de agua.
- Que haya una revisión anual de los efectos producidos y de las medidas que se hayan adoptado.

Así, en las medidas básicas solo se hace referencia a las inundaciones en términos de aquellas medidas encaminadas a reducir los daños a los ecosistemas por contaminantes, donde se propone un sistema para detectar esos fenómenos o alertar sobre ellos.

En conclusión, la Directiva Marco de Agua, aun estando más enfocada sobre la contaminación y su influencia en la calidad de las aguas, apunta las inundaciones como riesgos graves sobre el medio ambiente a tener en cuenta.

TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS

El 20 de Julio de 2001 fue aprobado por el Real Decreto Legislativo (1/2001) el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA en adelante) con motivo de la transposición de la Directiva Marco del Agua. El principal objetivo del TRLA es la regulación del dominio público hidráulico, el uso del agua y el establecimiento de las normas básicas de las aguas continentales, costeras y de transición, entre otras cosas.

El dominio público hidráulico del Estado, con las salvedades expresamente establecidas en esta Ley, está constituido por:

- Las aguas continentales, tanto las superficiales como las subterráneas renovables con independencia del tiempo de renovación.

- Los lechos de los lagos y lagunas y los de los embalses superficiales en cauces públicos.
- Los acuíferos, a los efectos de los actos de disposición o de afección de los recursos hidráulicos.
- Las aguas procedentes de la desalación de agua de mar.

El TRLA señala en su artículo 40 los objetivos de la planificación hidrológica y en su artículo 42 indica el contenido obligatorio de los planes hidrológicos, entre los cuales se especifica, los criterios sobre estudios, actuaciones y obras para prevenir y evitar los daños debidos a inundaciones, avenidas y otros fenómenos hidráulicos. También se especifica, que dentro de los servicios relacionados con el agua, las actividades derivadas de la protección de las personas y bienes frente a las inundaciones. Es importante matizar que toda obra relativa a la protección frente a inundaciones se considera obra pública, definiéndose éstas como aquellas de interés general y de competencia de la Administración General del Estado.

De acuerdo con el artículo 11, dedicado a las zonas inundables, se dicta que:

- Los terrenos que puedan resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos, conservarán la calificación jurídica y la titularidad dominical que tuvieren.
- Los Organismos de cuenca darán traslado a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo, de los datos y estudios disponibles sobre avenidas, al objeto de que se tengan en cuenta en la planificación del suelo y, en particular, en las autorizaciones de usos que se acuerden en las zonas inundables.
- El Gobierno, por Real Decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. Los Consejos de Gobierno de las Comunidades Autónomas podrán establecer, además, normas complementarias de dicha regulación.

En el artículo 47, se exponen las obligaciones de los predios, estableciendo que los predios inferiores están sujetos a recibir aguas que naturalmente y sin obras del hombre desciendan de los predios superiores, así como la tierra y piedra que arrastren en su curso. Ni el dueño

del predio inferior puede hacer obras que impidan esta servidumbre ni el del superior obras que la agraven.

De acuerdo al artículo 129, dedicado a la Evaluación de Impacto Ambiental, expone que los proyectos de obras hidráulicas de interés general se someterán al procedimiento de evaluación de impacto ambiental en los casos establecidos en la legislación de evaluación de impacto ambiental.

En relación a la contaminación de las aguas, se establece que se considerarán infracciones administrativas, según el artículo 116 de la presente Ley, todas aquellas acciones que causen daños a los bienes de dominio público hidráulico y a las obras hidráulicas, los vertidos que puedan deteriorar la calidad del agua o las condiciones de desagüe del cauce receptor.

En el artículo 103, se exponen las limitaciones de actuaciones industriales contaminantes, donde se dice que el Gobierno podrá prohibir, en zonas concretas, aquellas actividades y procesos industriales cuyos efluentes, a pesar del tratamiento a que sean sometidos (en el caso que fueran tratados), puedan constituir riesgo de contaminación para las aguas.

En resumen, el TRLA implementa las necesidades impuestas por la Directiva Marco del Agua, limitando y juzgando el uso del agua en todas sus dimensiones, además de promoviendo de forma general la lucha contra las inundaciones.

LEY ANDALUZA DEL AGUA

El 10 de Agosto del 2010 fue aprobada la Ley 9/2010, de Aguas de Andalucía, con motivo de la transposición del Texto Refundido de la Ley de Aguas aprobada por el Real Decreto Legislativo 1/2001 del 20 de Julio.

La ley de Aguas de Andalucía tiene por objeto regular el ejercicio de las competencias de la Comunidad Autónoma y de las entidades locales andaluzas en materia de agua, con el fin de lograr su protección y uso sostenible. Entre otras cosas regula las obras hidráulicas de interés de la Comunidad Autónoma y su régimen de ejecución, y la evaluación y gestión de los riesgos de inundaciones. La finalidad de esta Ley es garantizar las necesidades básicas de uso de agua de la población y hacer compatible el desarrollo económico y social de Andalucía con el buen estado de los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Dentro del apartado de definiciones aparece la definición de “Zonas asociadas al dominio público”, la cual hace referencia a la definición dada por el TRLA, como “Zonas de servidumbre de protección de cauces y zona de policía”. Dentro del dominio público hidráulico, el TRLA define las riberas como las fajas laterales de los cauces públicos situadas por encima del nivel de aguas bajas, y por márgenes los terrenos que lindan con los cauces. Dentro de las márgenes en toda su extensión longitudinal se diferencia una zona de servidumbre de cinco metros de anchura, para uso público que se regulará reglamentariamente, y a una zona de policía de 100 metros de anchura en la que se condicionará el uso del suelo y las actividades que se desarrollen.

En la Figura 1 se muestra el espacio definido como dominio público hidráulico y las bandas contiguas que lo acompañan a lo largo del perfil longitudinal del río.

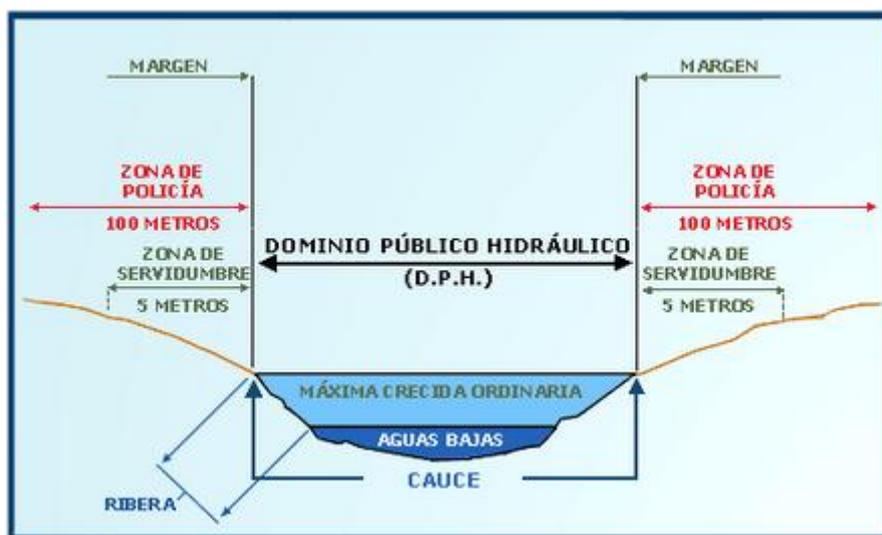


Figura 1. Definición del espacio fluvial según la Ley 9/2010 de Aguas de Andalucía.

En la zona de policía, las actividades quedan sometidas a lo dispuesto en el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, que aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico. Las siguientes actividades y usos del suelo quedan restringidos:

- Las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno.
- Las extracciones de áridos.
- Las construcciones de todo tipo, tengan carácter definitivo o provisional.
- Cualquier otro uso o actividad que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas o que pueda ser causa de degradación o deterioro del estado de

la masa de agua, del ecosistema acuático, y en general, del dominio público hidráulico.

Posteriormente, en la definición número 23 se define las zonas inundables, como los terrenos delimitados por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas, en régimen real, en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de quinientos años, atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas.

En el artículo 8, dentro de las competencias de la Administración de la Junta de Andalucía, aparece el establecimiento de normas de protección en el dominio público hidráulico, sus zonas asociadas y en las zonas inundables. También la Agencia Andaluza del Agua, tiene la obligación de establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y los bienes, autorizar la realización de cualquier actuación que afecte al régimen y aprovechamiento de las aguas o a los usos permitidos en terrenos de dominio público hidráulico y en sus zonas de servidumbre y policía, así como aprobar los deslindes del dominio público hidráulico.

Dentro de los programas de medidas, tal y como se establece en el artículo 25, se contemplarán, al menos, entre otros aspectos, iniciativas de prevención y defensa contra inundaciones. Además en materia de prevención de inundaciones tienen la obligación de:

- Elaborar un sistema de información geográfica de zonas inundables y adopción de medidas para su difusión.
- Coordinar con las Administraciones competentes en materia de protección civil y ordenación territorial y urbanística y del medio rural.

De acuerdo al artículo 26, dedicado a los programas específicos de medidas, se dará prioridad a las acciones que tiendan a proteger infraestructuras públicas y núcleos de población o a prevenir daños que puedan afectar a un gran número de usuarios. La consejería competente en materia de agua aprobará y ejecutará anualmente un programa específico de limpieza y mantenimiento de cauces, destinado a liberarlos de los obstáculos que impidan su normal desagüe.

El artículo 29, dentro obras de interés para la Comunidad Autónoma de Andalucía, incluye las obras necesarias para el control, defensa y protección del dominio público hidráulico, especialmente las que tengan por objeto hacer frente a fenómenos catastróficos como las inundaciones, sequías y otras situaciones excepcionales, así como la prevención de avenidas vinculadas a obras de regulación que afecten al aprovechamiento, protección e integridad de los bienes del dominio público hidráulico y las obras de corrección hidrológico-forestal y de restauración de ríos y riberas acordes a las prescripciones de los planes hidrológicos.

Por último, en el Título VII de prevención de efectos por fenómenos extremos, específicamente en el capítulo I, se detalla todos los estudios que deberán de elaborarse en relación al fenómeno de inundaciones en un periodo de tiempo máximo, tal y como establece la siguiente directiva (Directiva 2007/60/CE), donde se establecen:

- Evaluación preliminar del riesgo de inundaciones: se detallará la demarcación hidrográfica, información de inundaciones anteriores y se determinará las zonas de riesgo potencial.
- Zonificación del riesgo de inundación.
- Planes de gestión del riesgo de inundación: donde se especifiquen los objetivos adecuados de gestión del riesgo de inundación, las medidas para conseguir los objetivos teniendo en cuenta aspectos económicos.

Todos estos instrumentos serán aprobados por la consejería competente, y además se establecerán mecanismos que permitan la participación activa de las partes interesadas.

En resumen, en la Ley Andaluza de Aguas, referente a las inundaciones, primero define el Dominio Público Hidráulico, así como las zonas sobre las que la Administración tiene competencias y potestad para limitar su uso y aprovechamiento, además de establecer las herramientas y estudios a los cual las Administraciones tendrán que hacer frente en un periodo de tiempo máximo de acuerdo a las Directivas Europeas.

DIRECTIVA DE EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN

EL 23 de octubre del 2007, se aprueba la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.

Aunque ya en la Directiva Marco del Agua, se impone la elaboración de planes de gestión de cuencas fluviales con el objetivo de mitigar los efectos de las inundaciones, no es la reducción del riesgo de inundación uno de los pilares de esta Directiva.

El objetivo de la Directiva de Inundaciones, es establecer un marco para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, destinado a reducir las consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a las inundaciones de la comunidad.

Tal y como se ha comentado en la Ley Andaluza del Agua, ésta impone la obligación de evaluar el riesgo de inundación y tomar medidas al respecto. Además, hace hincapié en la necesidad de que los planes de gestión del riesgo de inundación deban centrarse en la prevención, la protección, preparación, y la ganancia de espacio para el río mediante el mantenimiento o establecimiento de llanuras aluviales, teniendo en cuenta las repercusiones probables del cambio climático en la incidencia de inundaciones.

Se establece la obligatoriedad de hacer:

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

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

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

Para las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) seleccionadas en la fase anterior, se elaboran los mapas de peligrosidad por inundaciones y los mapas de riesgo de inundación, que delimitan las zonas inundables, e indican los daños potenciales que una inundación pueda ocasionar a la población, a las actividades económicas y al medio ambiente y todo ello para los escenarios de probabilidad que establece la Directiva: probabilidad alta, probabilidad media

(período de retorno mayor o igual a 100 años) y probabilidad baja o escenario de eventos extremos.

– *Planes de Gestión del Riesgo de Inundación.*

Los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación se elaboran en el ámbito de las demarcaciones hidrográficas y las ARPSIs identificadas. Tienen como objetivo lograr una actuación coordinada de todas las administraciones públicas y la sociedad, para disminuir los riesgos de inundación y reducir las consecuencias negativas de las inundaciones, basándose en los programas de medidas que cada una de las administraciones debe aplicar en el ámbito de sus competencias para alcanzar el objetivo previsto, bajo los principios de solidaridad, coordinación y cooperación interadministrativa y respeto al medio ambiente.

En resumen, la Directiva 2007/60/CE, basada íntegramente en el riesgo de inundaciones, establece las medidas y herramientas que las comunidades afectadas tienen que conseguir, añadiendo algunos cambios con respecto a otra legislación como buscar el espacio necesario que el río necesita para inundar con cierta frecuencia, aunque ello suponga el deslinde de estos terrenos.

REAL DECRETO DE EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIÓN

Como fruto de la transposición de la Directiva 2007/60/CE, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, se firma el Real Decreto 903/2010, de 9 de Julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación. Dicho Real Decreto regula los procedimientos para realizar la evaluación preliminar del riesgo de inundación, los mapas de peligrosidad y riesgo y los planes de gestión de los riesgos de inundación en todo el territorio español, tal y como pide la Directiva de Inundaciones.

El objetivo de esta regulación es, por un lado obtener un adecuado conocimiento y evaluación de los riesgos asociados a las inundaciones, y por otro, lograr una actuación coordinada de todas las Administraciones Públicas y la sociedad, para reducir las consecuencias negativas sobre la salud y la seguridad de las personas y de los bienes, así como sobre el medio ambiente, patrimonio cultural, actividad económica y las infraestructuras, asociadas a las inundaciones del territorio al que afecten.

Los principios rectores y objetivos, el ámbito territorial, el procedimiento de elaboración y aprobación de los planes, así como los contenidos mínimos de cada una de las herramientas descritas en la Directiva 2007/60/CE, vienen recogidos en los siguientes capítulos:

- Capítulo II: Evaluación preliminar del riesgo de inundación.
- Capítulo III: Mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación.
- Capítulo IV: Planes de gestión del riesgo de inundación.

En estos capítulos se establece de una manera más detallada las características que deben de tener estos documentos.

En resumen, el presente Decreto, establece con un mayor grado de detalle, la información y método que debe de seguir las Administraciones, para conseguir los objetivos propuestos y buscar la coordinación de las Administraciones y la sociedad.

PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL

El 6 de Julio del 2001, se aprueba la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, de acuerdo al artículo 45.2 de la Constitución Española que establece que “... *los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva*”.

El principal objetivo de la presente Ley es, alcanzar el buen estado del dominio público hidráulico y gestionar un aprovechamiento racional, sostenible, equilibrado y equitativo del agua, que permita al mismo tiempo garantizar la suficiencia y calidad del recurso para cada uso, y la protección a largo plazo de los recursos hídricos disponibles.

De acuerdo con el artículo 28 dedicado a la *Protección del dominio público hidráulico y actuaciones en zonas inundables*, se dicta que:

- En el dominio público hidráulico se adoptarán las medidas necesarias para corregir las situaciones que afecten a su protección, incluyendo la eliminación de construcciones y demás instalaciones situadas en el mismo. El Ministerio de Medio Ambiente impulsará la tramitación de los expedientes de deslinde del dominio público hidráulico en aquellos tramos de ríos, arroyos y ramblas que se consideren necesarios para prevenir, controlar y proteger dicho dominio.

- Las Administraciones competentes delimitarán las zonas inundables teniendo en cuenta los estudios y datos disponibles, que los Organismos de cuenca deben trasladar a las mismas, de acuerdo con lo previsto en el artículo 11 de la Ley de Aguas. Para ello contarán con el apoyo técnico de estos Organismos y, en particular, con la información relativa a caudales máximos en la red fluvial, que la Administración hidráulica deberá facilitar.
- El Ministerio de Medio Ambiente promoverá convenios de colaboración con las Administraciones Autonómicas y Locales, que tengan por finalidad eliminar las construcciones y demás instalaciones situadas en dominio público hidráulico y en zonas inundables que pudieran implicar un grave riesgo para las personas y los bienes y la protección del mencionado dominio.
- Las actuaciones en cauces públicos situados en zonas urbanas corresponderán a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo, sin perjuicio de las competencias de la Administración hidráulica sobre el dominio público hidráulico. El Ministerio de Medio Ambiente y las Administraciones Autonómicas y Locales podrán suscribir convenios para la financiación de estas actuaciones.

En esta Ley, se concreta a los poderes que tienen cada una de las Administraciones en relación al Dominio Público Hidráulico, donde se definen las posibilidades de éstas y la correspondencia en materia de riesgo de inundación.

PLAN DE PREVENCIÓN DE AVENIDAS E INUNDACIONES EN CAUCES URBANOS ANDALUCES

El 2 de julio de 2002, se aprueba el Decreto 189/2002, del Plan de Prevención de avenidas e inundaciones en cauces urbanos andaluces, que tiene como objetivo general la prevención y minimización de riesgos de inundación en los núcleos urbanos andaluces.

Para ello se propone intervenir a través de la planificación territorial y urbanística, aumentando así la adaptación de los asentamientos a los cursos fluviales, siendo para ello fundamental la delimitación de los cauces públicos y de las zonas inundables. Complementariamente se impulsa la realización de actuaciones sobre los cauces que reduzcan la magnitud de las avenidas en zona urbana, lo que conlleva una intervención

integral en la cuenca que contempla actuaciones desarrolladas en suelo no urbano, en la medida que la prevención de los riesgos en las zonas urbanas depende también de las circunstancias existentes aguas arriba.

Conscientes de la gravedad del problema, se hace alusión a que junto a las actuaciones de defensa y protección contra los efectos de las avenidas e inundaciones hay que asociar la prevención de sus impactos adoptando las medidas adecuadas sobre el uso de los suelos inundables y corrigiendo, en lo posible, la incidencia sobre las zonas inundables de las infraestructuras existentes.

Así que, de acuerdo con el Plan Director de Infraestructuras de Andalucía de 1997, hay que *“Mejorar las condiciones de seguridad de las poblaciones y bienes económicos frente a los riesgos de avenidas e inundaciones”*, estableciendo para ello los siguientes criterios:

- Realizar las obras de defensa y encauzamiento de ríos, necesarias para proteger poblaciones y bienes.
- Llevar a cabo las restauraciones hidrológico-forestales dando prioridad a las zonas de riesgos de erosión y de inundación.
- Planificar y proyectar las obras de forma que se limite su impacto ambiental en los tramos rurales y se consiga su integración urbanística en las ciudades.

Por tanto, este Plan, establece cuatro capítulos:

- Capítulo I (Artículos 1 al 4): Disposiciones y Principios Generales: objetivos, coordinación, definiciones e información y participación.
- Capítulo II (Artículos 5 al 13): Programas y Acciones del Plan: actuaciones prioritarias, delimitación de zonas inundables y cauces públicos, inventario de infraestructuras, sistemas de prevención, planificación de protección civil, correcciones hidrológico-forestal y conservación de cauces.
- Capítulo III (Artículos 14 al 20): Ordenación e integración de los terrenos inundables y zonas de servidumbre y policía en el planteamiento territorial y urbanístico y su ejecución: ordenación de terrenos inundables, de zonas de policía y servidumbre, tramites adicionales en la formulación de los instrumentos de planificación territorial y planteamiento urbanístico, informes adicionales para la aprobación provisional de

los instrumentos de planificación territorial y planteamiento urbanístico, recomendaciones para el planteamiento urbanístico, aseguramiento de riesgos y tramitación de proyectos de infraestructuras de prevención de inundaciones en cauces urbanos.

- Capítulo IV (Artículos 21 al 25): Ejecución y gestión del plan: comisión de seguimiento, revisión, modificación y vigencia del plan y programa de actuaciones.

Entre las definiciones que aparecen en el Decreto actual, se considera necesario resaltar el concepto de máxima avenida ordinaria, definiéndose como aquella cuyo caudal es el valor medio de los máximos caudales anuales, en régimen natural, producidos durante 10 años consecutivos que sean representativos del régimen hidrológico del río o barranco.

En el Anexo I del presente Decreto se enumeran las zonas prioritarias en Andalucía en materia de gestión del riesgo de inundación, donde aparecen entre otros distintos tramos de río en Distrito Hidrográfico del Guadalete.

En resumen, el documento explica y define las medidas a realizar, además de las herramientas a conseguir para una mejor gestión de las avenidas, entre otras cosas.

REGLAMENTO DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

El Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica fue modificado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica (RPH). Mediante esta modificación se produjo la adaptación del Reglamento de la Planificación Hidrológica a los cambios introducidos en el texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, con motivo de la transposición de la Directiva Marco del Agua.

En el Reglamento se establece que la elaboración de los Planes Hidrológicos de Cuenca, en aquellas cuencas comprendidas íntegramente en el ámbito territorial de la comunidad autónoma, deberán ser realizados por el organismo de cuenca correspondiente, o por la administración hidráulica competente.

En el Reglamento de Planificación Hidrológica se definen las estrategias para la consecución de los objetivos de la planificación. La mayoría del articulado es de carácter básico y de

obligado cumplimiento en todo el Estado, sin perjuicio de las facultades de las Comunidades Autónomas de establecer normas adicionales de protección.

ESTATUTOS DE AUTONOMÍA Y REALES DECRETOS DE TRANSFERENCIA

De acuerdo con La Constitución, en sus artículos 148.1.4.^a y 10.^a, dispone que las Comunidades Autónomas podrán asumir competencias en materia de obras públicas de interés para la Comunidad Autónoma en su propio territorio, así como los proyectos, construcción y explotación de los aprovechamientos hidráulicos, canales y regadíos de su interés, siempre que no afecte a otra comunidad autónoma.

La Comunidad Autónoma Andaluza accedió a la autonomía a través del artículo 151 de la constitución, y como tal asumió en su Estatuto la competencia en materia de aprovechamientos hidráulicos, canales y regadíos, cuando las aguas discurren íntegramente dentro del territorio de la Comunidad Autónoma.

Así, a finales de 2004 se procede a traspasar a esta comunidad dichas funciones y servicios del Estado mediante la aprobación del Real Decreto 2130/2004, de 29 de octubre, sobre traspaso de funciones y servicios de la Administración del Estado a la Comunidad Autónoma de Andalucía en materia de recursos y aprovechamientos hidráulicos, tomando las competencias en las cuencas andaluzas que vierten al Mediterráneo.

Posteriormente, en la Ley 3/2004, de 28 de diciembre, de Medidas Tributarias, Administrativas y Financieras, se creó el organismo autónomo de carácter administrativo Agencia Andaluza del Agua, configurándose como la Administración Hidráulica de la Junta de Andalucía, correspondiéndole con carácter general, el ejercicio de las competencias de la Comunidad Autónoma en materia de aguas.

Finalmente, la Junta de Andalucía asumió el 1 de enero de 2006, las competencias plenas en la gestión del agua y del dominio público hidráulico en la totalidad del litoral andaluz, en aplicación al Real Decreto 1560/2005, de 23 de diciembre, sobre traspaso de funciones y servicios del Estado a la Comunidad Autónoma de Andalucía en materia de recursos y aprovechamientos hidráulicos correspondientes a las cuencas andaluzas vertientes al litoral atlántico. De este modo, en los años 2005 y 2006 se hacen efectivas las transferencias de las cuencas litorales que vierten al Mediterráneo, así como al Atlántico andaluz.

DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

En la actualidad, tras las modificaciones del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, que aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, la definición del Dominio Público Hidráulico, de acuerdo con Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI, VII y VIII del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, en su última modificación del 12 de septiembre del 2015, es distinto. Algunas de las novedades en la definición son:

Artículo 4.1: *“El álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias (artículo 4 del texto refundido de la Ley de Aguas). La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles.”*

Artículo 4.2: *“Se considerará como caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente y que tengan en cuenta lo establecido en el apartado 1.”*

Artículo 6.3: *“La regulación de las zonas de servidumbre y policía, tendrán como objetivos preservar el estado del dominio público hidráulico, prevenir el deterioro de los ecosistemas acuáticos, contribuyendo a su mejora, y proteger el régimen de las corrientes en avenidas, favoreciendo la función de los terrenos colindantes con los cauces en la laminación de caudales y carga sólida transportada.”*

Artículo 7.1: *“La zona de servidumbre para uso público definida en el artículo 6 tendrá los siguientes fines:*

- a) Protección del ecosistema fluvial y del dominio público hidráulico.*
- b) Paso público peatonal...”*

Artículo 9.2. *“Sin perjuicio de la modificación de los límites de la zona de policía, cuando concurra alguna de las causas señaladas en el artículo 6.2 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, la zona de policía podrá ampliarse, si ello fuese necesario, para incluir la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo, al objeto específico de proteger el régimen de*

corrientes en avenidas, y reducir el riesgo de producción de daños en personas y bienes. En estas zonas o vías de flujo preferente sólo podrán ser autorizadas por el organismo de cuenca aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dicha vía.

La zona de flujo preferente es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas.

A los efectos de la aplicación de la definición anterior, se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

- a) Que el calado sea superior a 1 m.
- b) Que la velocidad sea superior a 1 m/s.
- c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m/s.

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

En la delimitación de la zona de flujo preferente se empleará toda la información de índole histórica y geomorfológica existente, a fin de garantizar la adecuada coherencia de los resultados con las evidencias físicas disponibles sobre el comportamiento hidráulico del río.”

Artículo 14.1: “Se consideran zonas inundables las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de quinientos años, atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas, a menos que el

Ministerio de Medio Ambiente, a propuesta del organismo de cuenca fije, en expediente concreto, la delimitación que en cada caso resulte más adecuada al comportamiento de la corriente.

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

También es necesario señalar el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril. Éste a su vez, trae consigo algunas novedades a destacar como la elaboración de un Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, a desarrollar en colaboración con las comunidades autónomas, que aporta información muy valiosa para las administraciones en el ejercicio de sus competencias sobre ordenación del territorio y planificación urbanística, y que será imprescindible para incrementar la seguridad de los ciudadanos.

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

El 9 de diciembre del 2013, se aprueba Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, en la cual se pone de manifiesto que la evaluación ambiental resulta indispensable para la protección del medio ambiente, facilitando la incorporación de criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones estratégicas, a través de la evaluación de los planes y programas, y a través de la evaluación de proyectos, garantizando una adecuada prevención de los impactos ambientales concretos que se puedan generar, al tiempo que establece mecanismos eficaces de corrección o compensación.

Por tanto, en relación al espacio fluvial, se tendrán que someter a evaluación de impacto ambiental, entre otros tipos de actividad:

1. Proyectos sometidos a la evaluación ambiental ordinaria regulada en el título II, capítulo II, sección 1ª:
 - Grupo 2: Industria extractiva.
 - Explotaciones en las que la superficie de terreno afectado supere las 25 ha.
 - Explotaciones que tengan un movimiento total de tierras superior a 200.000 metros cúbicos anuales.
 - Explotaciones que se realicen por debajo del nivel freático.

- Explotaciones de depósitos ligados a la dinámica actual: fluvial, fluvio-glacial, litoral o eólica.
- Explotaciones visibles desde autopistas, autovías, carreteras nacionales y comarcales, espacios naturales protegidos, núcleos urbanos superiores a 1.000 habitantes o situadas a distancias inferiores a 2 km de tales núcleos.
- Grupo 9: Otros proyectos.
 - Los siguientes proyectos cuando se desarrollen en Espacios Naturales Protegidos, Red Natura 2000 y Áreas protegidas por instrumentos internacionales, según la regulación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad:
 - Dragados fluviales cuando el volumen extraído sea superior a 20.000 metros cúbicos anuales.
- 2. Proyectos sometidos a la evaluación ambiental simplificada regulada en el título II, capítulo II, sección 2ª:
 - Grupo 1: Agricultura, silvicultura, acuicultura y ganadería.
 - Forestaciones según la definición del artículo 6.g) de la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, que afecten a una superficie superior a 50 ha y talas de masas forestales con el propósito de cambiar a otro tipo de uso del suelo.
 - Grupo 3: Perforaciones, dragados y otras instalaciones mineras e industriales.
 - Extracción de materiales mediante dragados marinos, excepto cuando el objeto del proyecto sea mantener las condiciones hidrodinámicas o de navegabilidad.
 - Dragados fluviales (no incluidos en el anexo I) y en estuarios, cuando el volumen del producto extraído sea superior a 100.000 metros cúbicos anuales.
 - Explotaciones de áridos (no incluidas en el anexo I) que se hallen ubicadas en:
 - Terrenos de dominio público hidráulico para extracciones superiores a 20.000 metros cúbicos anuales.
 - Zona de policía de cauces y su superficie sea mayor de 5 ha.
 - Grupo 8: Proyectos de ingeniería hidráulica y de gestión del agua.

- Obras de encauzamiento y proyectos de defensa de cauces y márgenes cuando la longitud total del tramo afectado sea superior a 5 km. Se exceptúan aquellas actuaciones que se ejecuten para evitar el riesgo en zona urbana.
- Grupo 9: Otros proyectos.
 - Cualquier proyecto que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 50 ha.
- Grupo 10: Los siguientes proyectos que se desarrollen en Espacios Naturales Protegidos, Red Natura 2000 y Áreas protegidas por instrumentos internacionales, según la regulación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
 - Obras de encauzamiento y proyectos de defensa de cursos naturales cuando puedan suponer transformaciones ecológicas negativas para el espacio.
 - Cualquier proyecto no contemplado en el presente anexo II que suponga un cambio de uso del suelo en una superficie igual o superior a 10 ha.

Además, toda actividad que afecte de manera directa o indirecta un espacio de la Red Natura 2000, tendrá que someterse en un plazo determinado a una Evaluación de Impacto Ambiental conforme con la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Los ríos y montañas son zonas prioritarias para la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

2. Objetivos

Dada la trascendencia de los problemas que provocan las frecuentes inundaciones en la zona de estudio y la obligatoriedad por Ley de su análisis, el principal objetivo de este trabajo es estudiar en profundidad la problemática del área, realizando un exhaustivo diagnóstico del río Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera. Asimismo, se llevarán a cabo una serie de propuestas que minimicen los efectos de las futuras crecidas del río Guadalete sobre los habitantes afectados.

Como objetivos específicos se proponen:

- Analizar y conocer el origen del problema, tanto desde una perspectiva global de la cuenca receptora del río, como puntual del tramo.
- Estudiar la morfología del río mediante información digital, con el fin de valorar y proponer las dimensiones mínimas necesarias utilizando información LIDAR.
- Proponer actuaciones que mejoren la realidad del sistema fluvial desde una perspectiva tanto integral como específica.
- Evaluar el efecto de las actuaciones anteriores en términos de caudal en una situación hipotética mediante simulación.
- Que el presente Trabajo Fin de Máster sea un documento de apoyo que sirva como base para la gestión integral de los sistemas fluviales para presentes y futuros gestores.

3. Estudio de la cuenca

La Demarcación Hidrográfica (en adelante D.H.) Guadalete-Barbate, es una de las cuencas intracomunitarias de Andalucía, según establece el Real Decreto 357/2009, de 20 de Octubre de 2009, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas de las cuencas intracomunitarias situadas en Andalucía. Por ello es la Comunidad Autónoma de Andalucía, la que tiene competencias exclusivas en temas de aguas, tal y como atribuye el Estatuto de Autonomía para Andalucía en su artículo 50.1.

De acuerdo al citado Decreto, se delimita el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas de las cuencas internas andaluzas cuyas funciones y servicios han sido traspasadas a:

- Demarcación de las cuencas hidrográficas vertientes al mar Mediterráneo
- Demarcaciones de las cuencas hidrográficas vertientes al Atlántico
 - D. H. Guadalete y Barbate
 - D. H. Tinto, Odiel y Piedras.

3.1. Localización

La Demarcación Hidrográfica Guadalete – Barbate (Figura 2), según lo dispuesto en el artículo 3 del Decreto 357/2009 comprende el territorio de las cuencas hidrográficas de los ríos Guadalete y Barbate e intercuenas entre el límite de los términos municipales de Tarifa y Algeciras y el límite con la cuenca del Guadalquivir, así como, las aguas de transición a ellas asociadas.

Las aguas costeras la D.H. Guadalete-Barbate tienen como límite Oeste la línea con orientación 244° que pasa por la Punta Camarón en el municipio de Chipiona y como límite Este la línea con orientación de 144° que pasa por el límite costero de los términos municipales de Tarifa y Algeciras. Las Figuras presentes en el cuerpo del texto se presentarán en el Sistema de proyección UTM *ETRS89* Zona 30.



Figura 2. Plano de situación Demarcación Hidrográfica Guadalete - Barbate en Andalucía y España.

La Demarcación queda configurada y delimitada por el Valle del Guadalquivir al Norte, el extremo occidental del subsistema subbético en la parte oriental y el océano Atlántico al Sur y al Oeste. La superficie asciende a 5.969 km² que pertenecen en su mayor parte a la provincia de Cádiz (93,9%), con pequeñas fracciones en Málaga (2,7%) y Sevilla (3,5%) (Decreto 357/2009).

La zona de estudio se sitúa dentro del Distrito Hidrográfico del Guadalete (Figura 3), en la zona baja del Río Guadalete, específicamente, desde el primer meandro del cauce del Guadalete a la salida de la Barriada de La Ina (La Sierresuela), hasta el antiguo Azud construido en torno al año 1900 en la Barriada de La Corta, tal y como se muestra en la Figura 4.



Figura 3. Distrito Hidrográfico del Guadalete y del Barbate, señalado el tramo de estudio.

En la Figura 3 se aprecia la D. H. Guadalete – Barbate, remarcando el tramo conflictivo con una elipse. La ampliación de la superficie abarcada por la elipse se muestra la Figura 4.

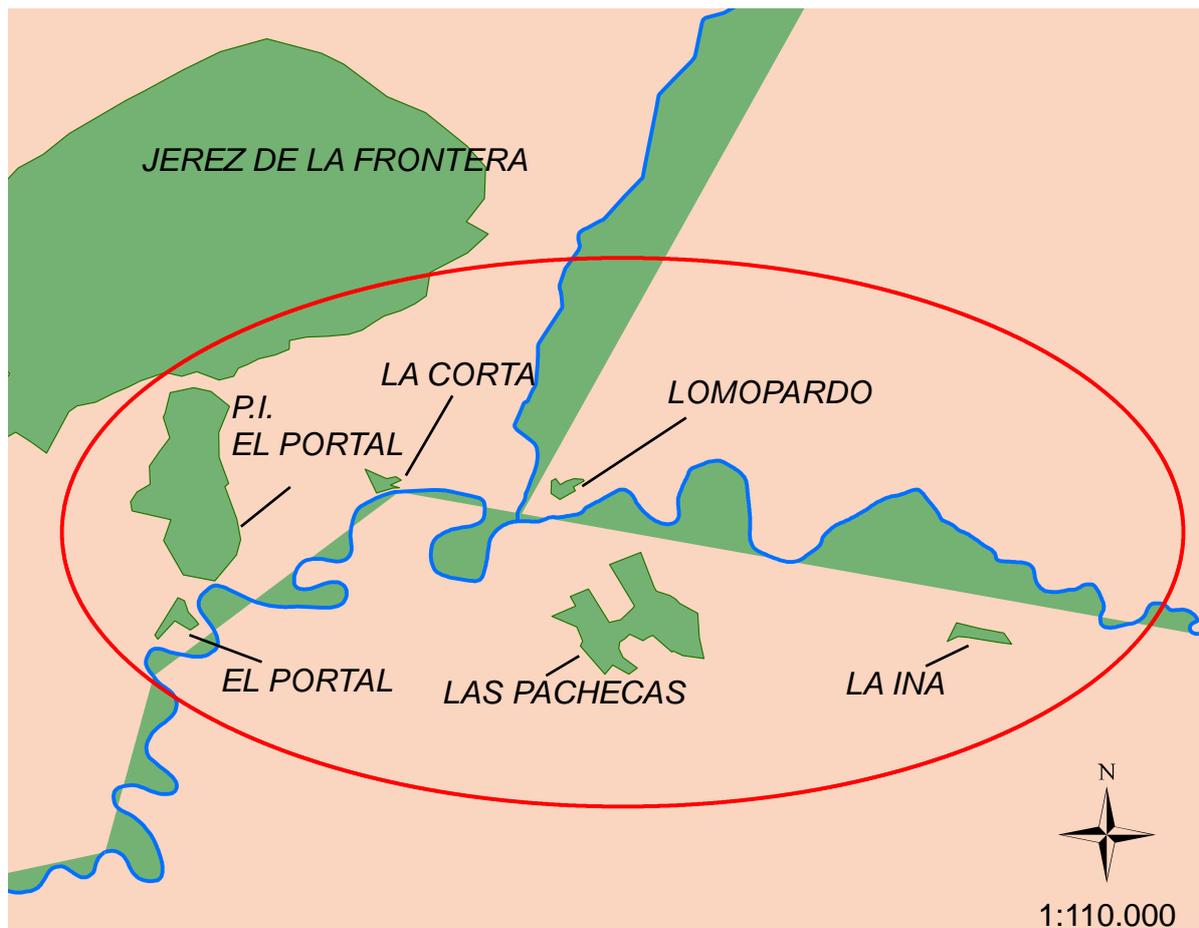


Figura 4. Plano de situación del tramo con detalle de las poblaciones colindantes.

Se aprecia la densidad de grandes núcleos urbanos que rodean el tramo, los cuales se ven afectados con las inundaciones, especialmente aquellos encontrados en la zona sur del mismo. Es importante tener en cuenta que solo se representan las mayores concentraciones, no se han representado las viviendas aisladas que se podrán apreciar en próximas figuras.

3.2. Medio Físico

3.2.1. Climatología

La Demarcación Hidrográfica del Guadalete – Barbate, se define según la Clasificación Climática de Köppen-Geiger (Chazarra *et al.*, 2011) en la Península Ibérica e Islas Baleares, cómo clima templado con verano seco y caluroso (*Csa*), dado en casi la totalidad del terreno de la provincia de Cádiz, y clima con verano seco y templado (*Csb*), en la zona de Grazalema

y terrenos cercanos al Estrecho de Gibraltar, tal y como se aprecia en la siguiente figura (Figura 5).

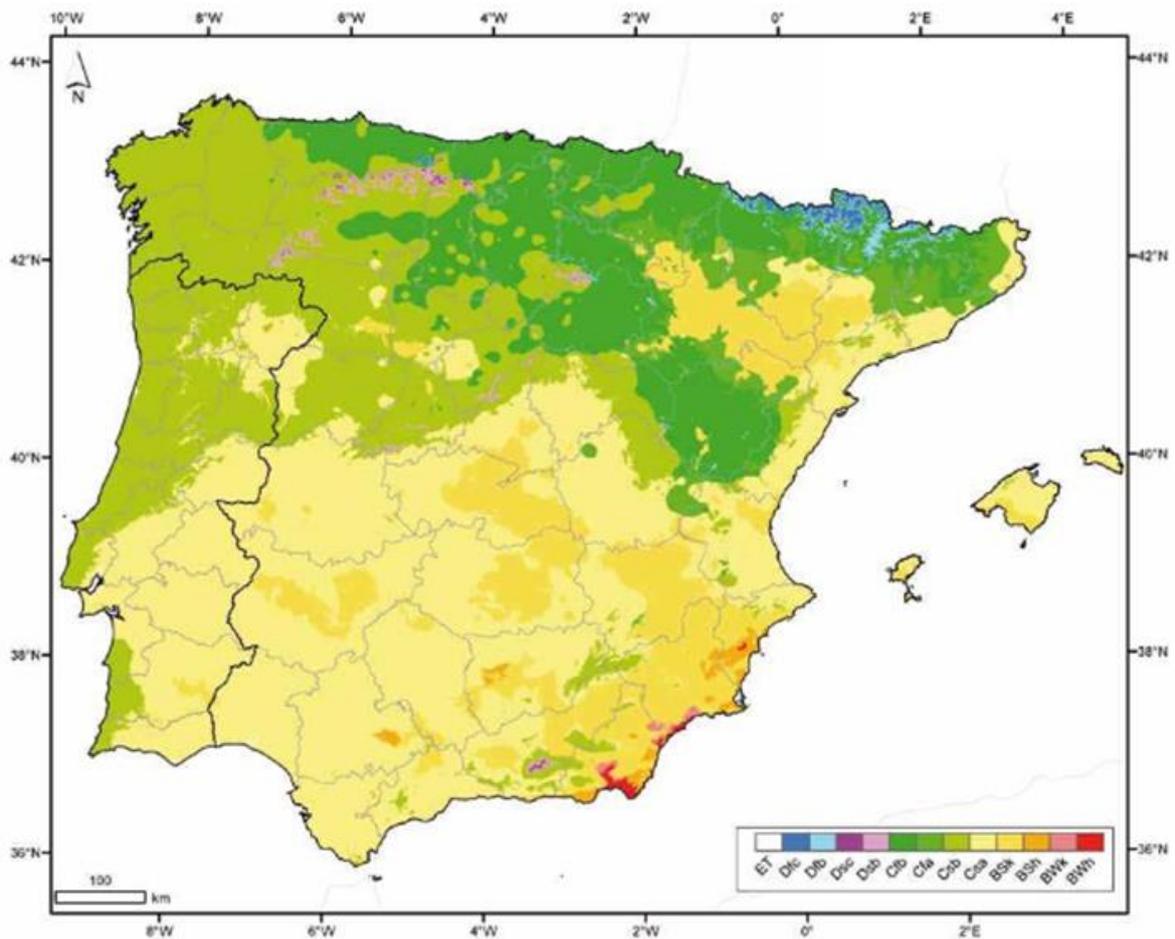


Figura 5. Clasificación Climática de Köppen-Geiger en la Península Ibérica e Islas Baleares. Fuente. Atlas Climático Ibérico, AEMET.

Cabe destacar la influencia del océano atlántico y mar Mediterráneo reduciendo la amplitud térmica anual, amortiguando las mínimas agresivas en invierno y las máximas del periodo estival.

Una vez conocido el clima general, se procede a realizar la caracterización meteorológica de la zona, para ello se ha hecho uso de distintas series de información meteorológicas, dependiendo de la variable.

3.2.1.1. Precipitación

Para la variable precipitación se cuenta con dos series de datos meteorológicos, una para el periodo comprendido entre 1953 y 2006 perteneciente a la estación meteorológica del

aeropuerto de Jerez y una segunda que comprende el periodo del 2006 hasta la actualidad, perteneciente a la base de datos disponibles de la Red de Estaciones Agroclimáticas del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, correspondiente a la estación número 2 (Jerez de la Frontera).

La precipitación media anual de los primeros 54 años de estudio ha sido de 579,7 mm, las mayores precipitaciones se concentran entre los meses de noviembre, diciembre y enero, albergando el 48,8 % de la precipitación anual. En los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre, se concentra solo el 6,6 % de la precipitación anual. El mes más lluvioso es diciembre con 102 mm de media, y el más seco julio con 1 mm de media, tal y como se aprecia en la siguiente figura (Figura 6).

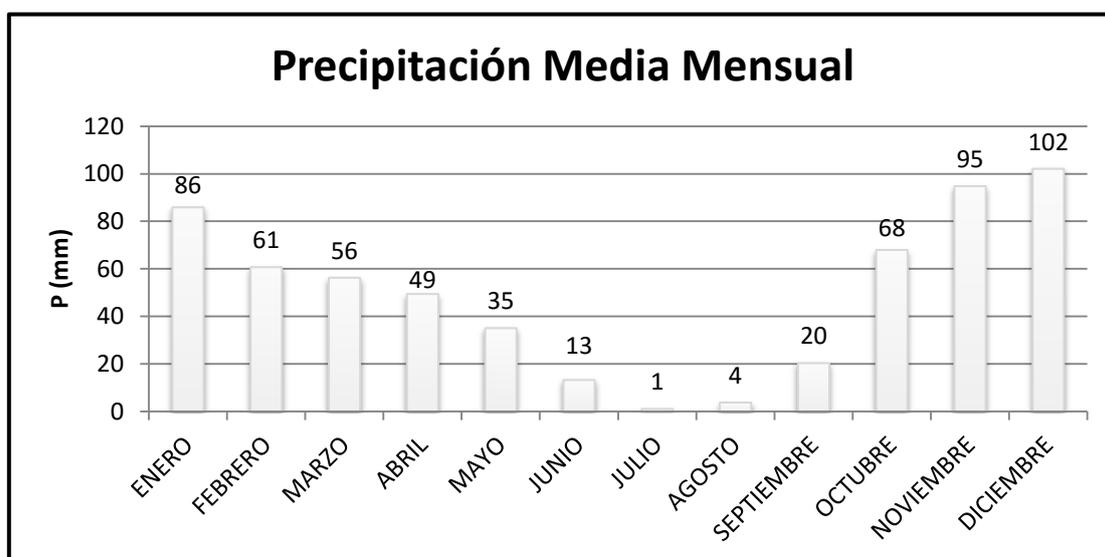


Figura 6. Precipitación media mensual.

En la Figura 7 se observa cómo ha ido variando la precipitación anual en el intervalo de tiempo analizado.

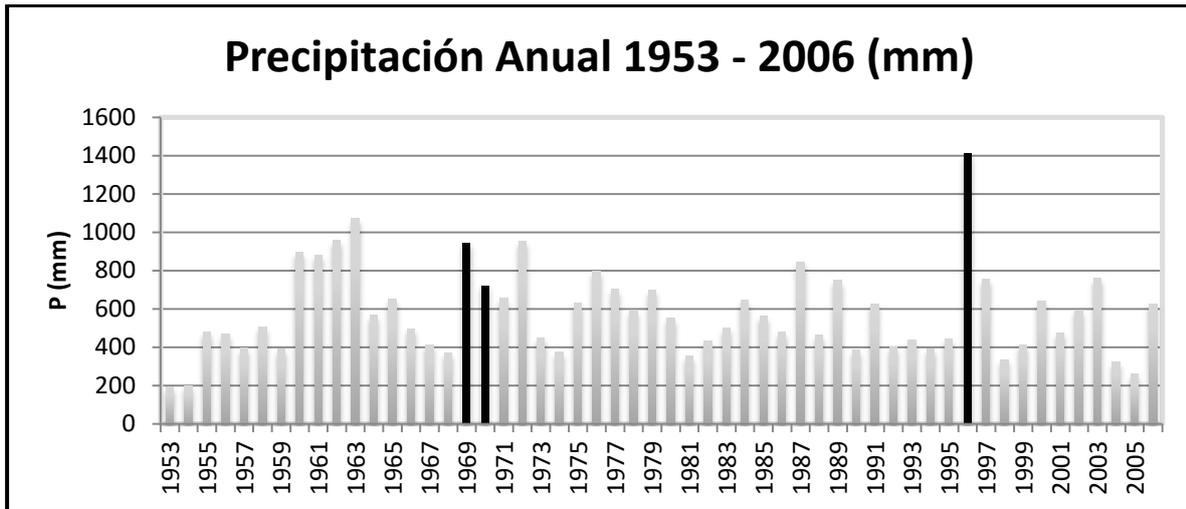


Figura 7. Precipitación anual en el periodo 1953 - 2006. Nota. Los años en negro corresponden a inundaciones.

Se aprecia la existencia de un amplio rango de valores, que oscila entre los 190,6 mm en el año 1953 hasta los 1.413,2 en el año 1996. Es necesario decir que las lluvias de 1996 fueron excepcionalmente altas en gran parte del territorio de la Península Ibérica.

Analizando las precipitaciones que ha habido desde el 2007 al 2015, se muestran los siguientes resultados (Figura 8).

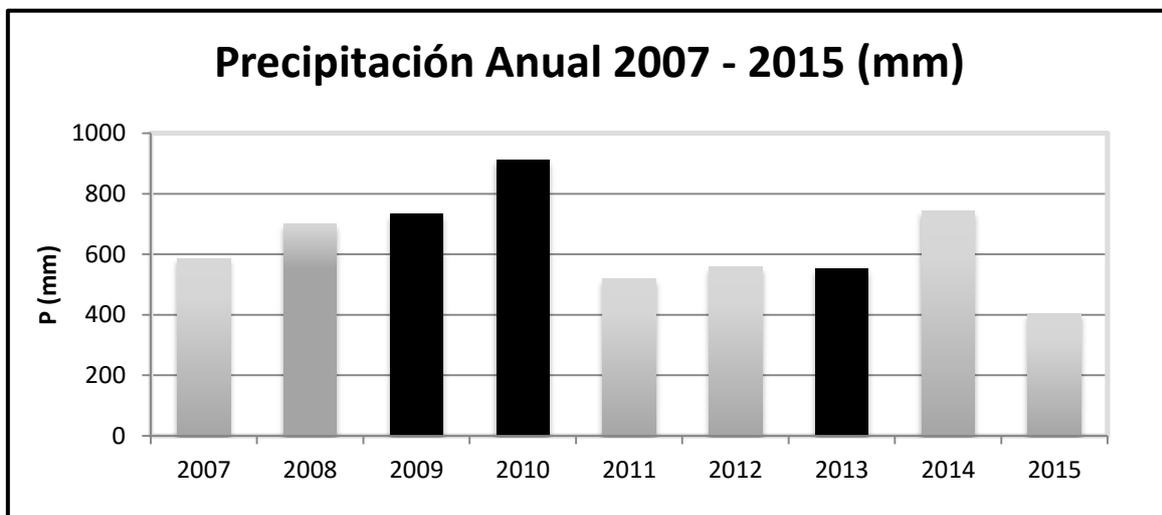


Figura 8. Precipitación anual en el periodo 2007 - 2015. Nota. Los años en negro corresponden a inundaciones

A partir de los datos de inundaciones citadas anteriormente, se pueden obtener una serie de hipótesis. Se aprecia que las inundaciones coinciden parcialmente en los años más lluviosos marcados en las figuras anteriores aunque, excepto en 1996 y 2010, estos valores no representan situaciones excepcionales. En el caso de las inundaciones sufridas en el año 1970, hay que aclarar que fueron en enero de 1970, según indica el Catálogo Nacional de

Inundaciones en España, por lo que probablemente fueron resultado de la suma de las lluvias sufridas en diciembre de 1969 (45 mm en 72 horas) y las dadas en enero del 1970 (311,8 mm en 14 días).

Como se puede apreciar, en términos de inundación, no es del todo relevante la precipitación anual, sino la concentración de esta en cortos espacios de tiempo, fenómeno relativamente frecuente en el clima mediterráneo. Esto queda demostrado en el año 1970, donde, tal y como se acaba de señalar, en solo 14 días (del 1 al 14 de enero de 1970) la precipitación alcanzó 311,8 mm, lo que supuso el 43,2% de la lluvia total de ese año.

El año 1996 fue, según las fuentes consultadas, el peor año registrado de inundaciones en la Península Ibérica, donde hay que destacar la catástrofe en el Camping “Las Nieves” situado en el cono de deyección del Torrente de Arás, en Biescas, donde murieron 87 personas y 183 resultaron heridas (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2006). En este caso, además de la intensa precipitación, el principal problema vino a causa de una mala ordenación urbanística.

A continuación (Figura 9), se muestra la precipitación máxima diaria en el intervalo de tiempo estudiado, así como la fecha en la que se obtuvieron.

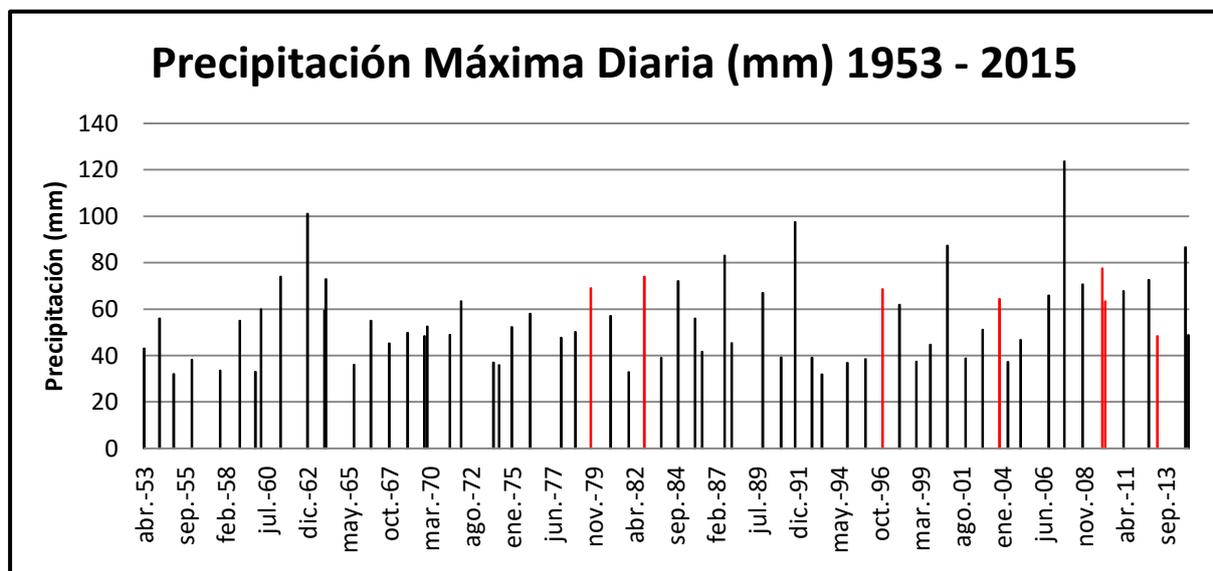


Figura 9. Precipitación máxima diaria en el periodo de tiempo 1953 – 2015. Nota. Marcas en rojo señalan años de inundación.

Se ha podido comprobar que, en la mayoría de los casos, la precipitación máxima diaria del año coincide con el momento de inundación en la zona (años marcados en rojo). Hay que

resaltar que precipitaciones superiores no causaron problemas de inundación en la zona. El motivo puede ser variado, la respuesta de la cuenca será completamente distinta para diferentes intensidades de lluvia; De gran importancia también es el estado de la capacidad de los embalses, ya sea por agua o por situaciones de colmatación (capacidad de laminación de avenidas).

Para comprobar estas hipótesis, se ha calculado el periodo de retorno asociado a las precipitaciones máximas diarias, ajustando los registros a la “Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel”. A continuación se muestran la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel (Ecuación 1), así como los parámetros alfa (Ecuación 2) y beta (Ecuación 3).

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{(e^{-\alpha(x-\beta)})} \tag{Ecuación 1}$$

$$\alpha = \frac{1,2825}{s} \tag{Ecuación 2}$$

$$\beta = x - 0,45s \tag{Ecuación 3}$$

Se parte de los datos de precipitación máxima diaria, que se pueden observar en la figura anterior (Figura 9). Conocidos éstos, dado que se cuenta con una serie de 63 años, se ha calculado el valor medio y la desviación típica de la serie, así como los valores de las constantes alfa y beta de la expresión. Por último, se calcula el periodo de retorno asociado a esas precipitaciones mediante la Ecuación 4.

$$T = \frac{1}{1-F(x)} = \frac{1}{1-e^{(e^{-\alpha(x-\beta)})}} \tag{Ecuación 4}$$

El resultado obtenido se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2. Periodo de retorno asociado a la precipitación máxima diaria en la serie de datos estudiado. Nota. Se marca en negrita aquellos valores que coinciden con inundaciones en la zona y en gris aquellos valores que no coincide en fecha con la inundación de ese año.

FECHA	P (mm)	T (años)	FECHA	P (mm)	T (años)	FECHA	P (mm)	T (años)
abr-53	43	1,3	abr-74	35,9	1,1	dic-95	38,5	1,2
mar-54	56	2,3	ene-75	52,3	2,0	dic-96	68,6	4,8
ene-55	32	1,1	feb-76	58	2,6	dic-97	61,9	3,2
feb-56	38,2	1,2	dic-77	47,7	1,6	dic-98	37,4	1,2
oct-57	33,5	1,1	oct-78	50,2	1,8	oct-99	44,7	1,4
dic-58	55	2,2	sep-79	69	4,9	oct-00	87,3	15,6
nov-59	33	1,1	nov-80	57	2,5	nov-01	38,7	1,2
mar-60	60	2,9	dic-81	32,8	1,1	nov-02	51,2	1,9

FECHA	P (mm)	T (años)	FECHA	P (mm)	T (años)	FECHA	P (mm)	T (años)
may-61	74,0	6,6	nov-82	74,0	6,6	nov-03	64,4	3,7
dic-62	101,0	38,9	nov-83	39,0	1,2	may-04	37,2	1,2
dic-63	59,4	2,8	nov-84	72,0	5,8	feb-05	46,7	1,5
ene-64	72,8	6,1	nov-85	56,0	2,3	oct-06	65,8	4,0
sep-65	36,0	1,1	abr-86	41,7	1,3	sep-07	123,6	179,6
sep-66	55,0	2,2	ago-87	83,0	11,8	oct-08	70,6	5,4
oct-67	45,2	1,5	ene-88	45,4	1,5	dic-09	77,6	8,3
nov-68	49,8	1,7	nov-89	66,9	4,3	feb-10	63,4	3,5
nov-69	48,4	1,6	dic-90	39,2	1,2	mar-11	67,8	4,5
ene-70	52,5	2,0	oct-91	97,4	30,6	sep-12	72,6	6,1
may-71	49,0	1,7	oct-92	39,0	1,2	mar-13	48,4	1,6
ene-72	63,4	3,5	may-93	31,9	1,1	nov-14	86,6	14,9
dic-73	37,0	1,2	nov-94	36,9	1,1	ene-15	48,8	1,7

Como se puede observar en la tabla anterior, el periodo de retorno para el cual se produce inundación es muy variable, no presentando ningún significado o tendencia clara, aunque de las 7 inundaciones de las que se tiene constancia en este intervalo de tiempo, seis coincide con el día de máxima lluvia anual. Se aprecian valores muy superiores a los asociados a las inundaciones (septiembre de 2007), lo cual avala la hipótesis propuesta anteriormente.

3.2.1.2. Temperaturas

Para el análisis de las temperaturas se ha hecho uso de la serie de datos meteorológicos disponibles de la Red de Estaciones Agroclimáticas de Andalucía. Tal y como se comentó al inicio del epígrafe, el régimen térmico se ve influenciado por la cercanía al Océano Atlántico y Mar Mediterráneo.

El valor promedio de la temperatura máxima de los meses más cálidos (junio, julio, agosto y septiembre) es de 31,3 °C, la temperatura media anual es de 17,6°C y el promedio de la temperatura mínima de los meses más fríos (diciembre, enero y febrero), 5,8°C. Se puede apreciar la influencia de las masas de agua que rodean la demarcación, evitando temperaturas mínimas y máximas extremas, como ocurre en zonas con un marcado carácter continental. En la Figura 10 se muestran los valores de temperatura máximos, medios y mínimos medios mensuales.

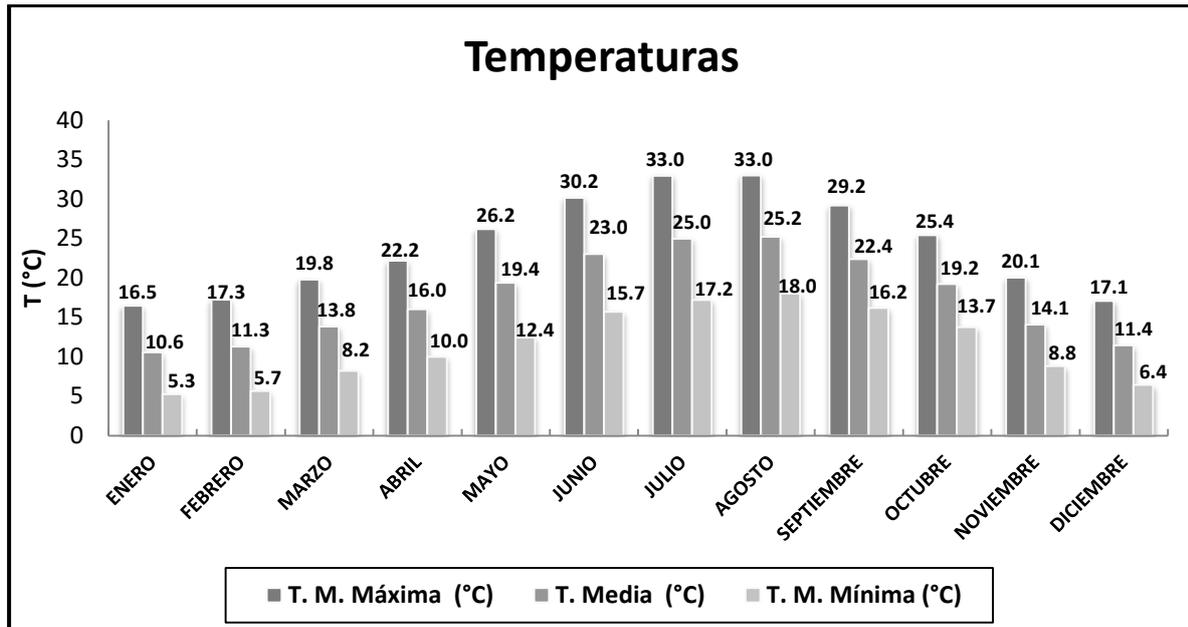


Figura 10. Resumen de temperaturas por mes del año. Nota. T.M.: Temperatura Media.

Los meses más cálidos son julio y agosto, donde la media de las temperaturas máximas está en 33 °C; En cambio el mes más frío es enero alcanzando temperaturas de 5,3 °C. Las heladas en estas zonas no son frecuentes, ya que raramente la temperatura baja por debajo de los 0 °C, y además es necesario tener en cuenta el efecto del aire en evitar fenómenos de helada.

3.1.2. Geología

Para el estudio de la geología de la zona, se ha hecho uso del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. La zona se halla dentro de la Hoja 1062 (Instituto Geológico y Minero de España, 1984), correspondiente a Paterna de Rivera. Centrando la atención en la zona de estudio, se puede distinguir, por orden de superficie los siguientes tipos de formaciones geológicas, los cuales vienen numerados, tal y como se representa en la Figura 11.



Figura 11. Recorte del Mapa Geológico de la Hoja 1062. Fuente. Mapa Geológico de España.

28. *Terrazas modernas y llanura aluvial. Litología: Cantos, arenas y limos.* Son los suelos mayormente representados en la zona. Pertenecen al periodo Cuaternario en la época del Holoceno. Se trata de los depósitos, que forman la llanura de inundación del lecho actual del Río Guadalete. Forman terrazas compuestas, que se han ido erosionando, dando lugar a un aspecto morfológico de un glacis. Los materiales se caracterizan por presentar inconsolidados y con mucha mayor proporción de la matriz limo – arenosa.

4. *Arcillas abigarradas, areniscas, dolomías y yeso.* Son también importantes por la extensión que ocupan. Pertenecen al periodo Triásico. Este sustrato tiene carácter alóctono, fácilmente reconocibles por la mezcla muchas veces caótica de sus elementos litológicos.

12. *“Moronitas” y/o “Albarrizas”.* Litología: *Margas blancas, limos cuarzosos, con Radiolaritas y Diatomeas.* Esta tipología geológica, también bien representada en la zona, especialmente en la mitad oeste en el norte, pertenece al periodo Terciario. Conocidas en la región como albarrizas, por su color blanco, esta formación geológica está constituida por margas blancas ricas en sílice, en tamaño arena-limosa, formadas por esqueletos de organismos prehistóricos tales como Radiolarios y Diatomeas.

40. *Aluvial.* Son los depósitos que rellenan los lechos menores que desembocan en el río Guadalete, constituidos por cantos, arenas, limos y arcillas pertenecientes al periodo Cuaternario en la época del Holoceno. En la zona de estudio se corresponden con los lechos de los arroyos Morales y Salado emplazados en la margen derecha del río.

24 y 26. *Cantos y arenas en terrazas*. Estos se presentan como depósitos en el canal, y en algún caso en las llanuras de inundación, conglomerados más o menos cementados. Se encuentran relativamente aisladas, en terrazas superiores a las que se encuentra el cauce actualmente. Se trata de una formación perteneciente al periodo Cuaternario, especialmente al Pleistoceno Medio y Superior.

3.1.3. Fisiografía

El distrito Hidrográfico del Guadalete se caracteriza por presentar un elevado relieve en la cabecera de la cuenca, estando el punto más alto de la provincia de Cádiz dentro de sus límites (Pico El Torreón, 1648 m.s.n.m.). A medida que desciende, la configuración del terreno cambia a campiña acolinada. Cerca la desembocadura del Guadalete, el terreno se vuelve casi llano, donde las pendientes no superan el 1%. Esta última zona es la ocupada por el tramo final del Guadalete y las marismas de Cádiz, donde el río serpentea entre los estuarios de la provincia.

En la Figura 12 se puede observar un plano de pendientes de la zona obtenido de la Red de Información Ambiental de Andalucía (en adelante REDIAM), donde se puede comprobar cómo a medida que se desciende hacia la desembocadura del río Guadalete, la pendiente va disminuyendo, hasta hacerse casi inapreciable. Especialmente en la zona de actuación (marcada con una elipse en la figura), la pendiente del valle es de 0,00055 (m/m) tomando como punto alto las proximidades de El Torno y Torrecera, por lo que se puede considerar casi nula.

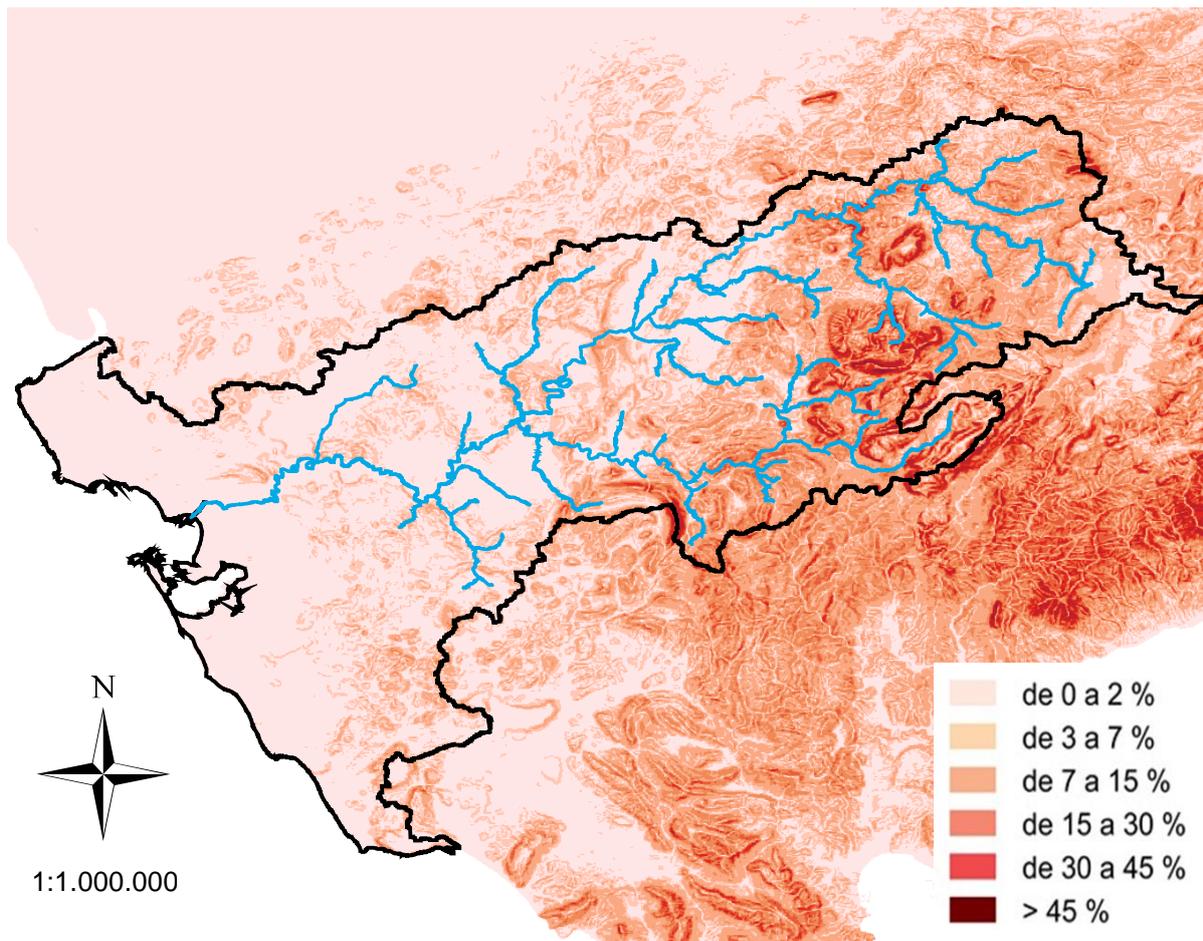


Figura 12. Plano de Pendientes del D.H. del Guadalete. Fuente. REDIAM.

Tal y como se aprecia, existe una gradiente de pendientes a medida que descendemos en la provincia hasta el Océano Atlántico. Las pendientes comienzan con valores superiores al 45% (sierra de Cádiz), hasta pasar a pendientes comprendidas entre 0 y 2% en la vega.

3.1.4. Hidrología

Dentro de los 5.969 km² que presenta la Demarcación Hidrográfica del Guadalete – Barbate, la cuenca del río Guadalete ocupa una extensión de 3.677 km², lo cual supone aproximadamente el 61% de la demarcación y casi la mitad de la superficie de la provincia de Cádiz.

El río Guadalete con 166,37 km de longitud, nace en las proximidades del Puerto del Boyar, en la Sierra del Endrinal, encajado entre la ladera noroeste del Peñón Grande y la sureste de la Sierra de las Cumbres, culminando en la Bahía de Cádiz en el Puerto de Santa María.

En la Figura 13 se presenta un modelo en tres dimensiones del nacimiento del río en la Sierra de Cádiz, donde aparece marcado en rojo el centro urbano de Grazalema.

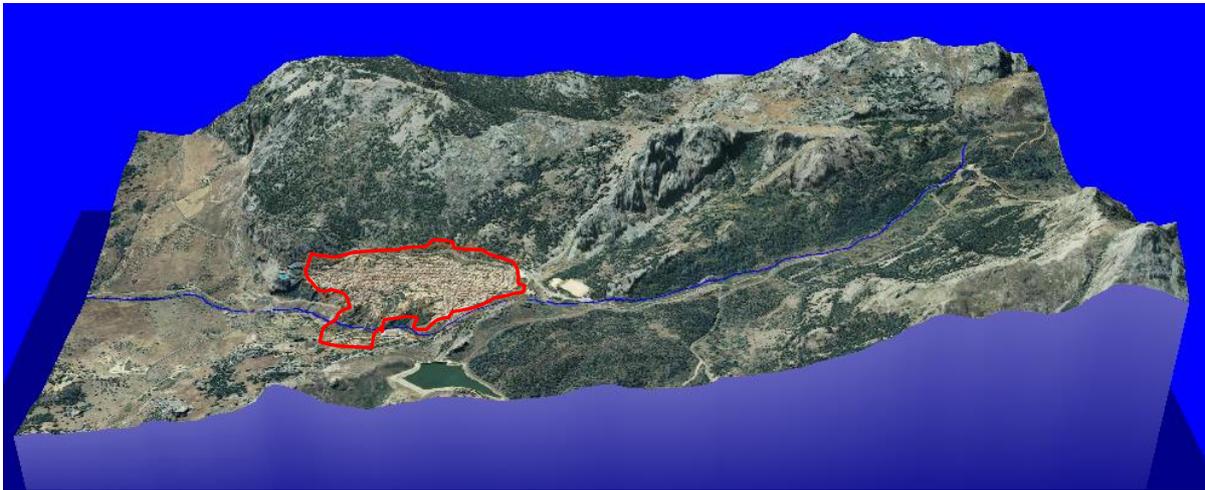


Figura 13. Modelo 3D del nacimiento del río Guadalete en la Sierra de Cádiz. Detalle del centro urbano de Grazalema.

3.1.4.1. Red Hídrica

El río Guadalete recibe diversos afluentes a lo largo de su recorrido desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Puerto de Santa María. En dirección descendente, fluyen por su margen derecha los arroyos de Pandina, Batán, Humo, Corrales, Juncales, Porcún, Salado de Espera, El Charco, Jédula y Salado de Caulina; Por su margen izquierda los arroyos de Molinos, Las Mesas, Ranchiles, Las Toscas Mora, Carretero, Alberite, el río Majaceite (que recibe aguas del Ubrique a través del Charco de los Hurones y que, a su vez, llena el embalse de Guadalcaçín, llegando al Guadalete en el paraje Junta de los Ríos), Zumajo, Cabañas, De La Sierra, Salado de Paterna y Buitrago. Entre ellos destacan por sus aportaciones el río Guadalporcún, el río Majaceite y el arroyo Salado. El Guadalete se haya regulado por los embalses de Zahara (en cabecera), Bornos y Arcos. El Río Guadalporcún nace en Torre Alháquime, en la confluencia del río Trejo y el arroyo Zumacal, atraviesa la Reserva Natural del Peñón de Zaframagón formando la llamada Garganta del Estrechón, aunque no cuenta con ningún embalse en su propio cauce, sus recursos se regulan en Bornos. El Río Majaceite, constituye el principal elemento de abastecimiento de agua de boca del sistema, gracias a los embalses de Hurones y Guadalcaçín. Nace en la Sierra de Grazalema y se une al río Guadalete por su margen izquierda al sur del término municipal de Arcos de la Frontera.

A continuación, se representa el esquema hídrico simplificado del Guadalete y del Majaceite en la Figura 14, donde aparece la regulación que existe desde su nacimiento hasta su desembocadura. La información ha sido obtenida del Sistema Automático de Información Hidrológica de las Cuencas del Guadalquivir, Guadalete – Barbate.

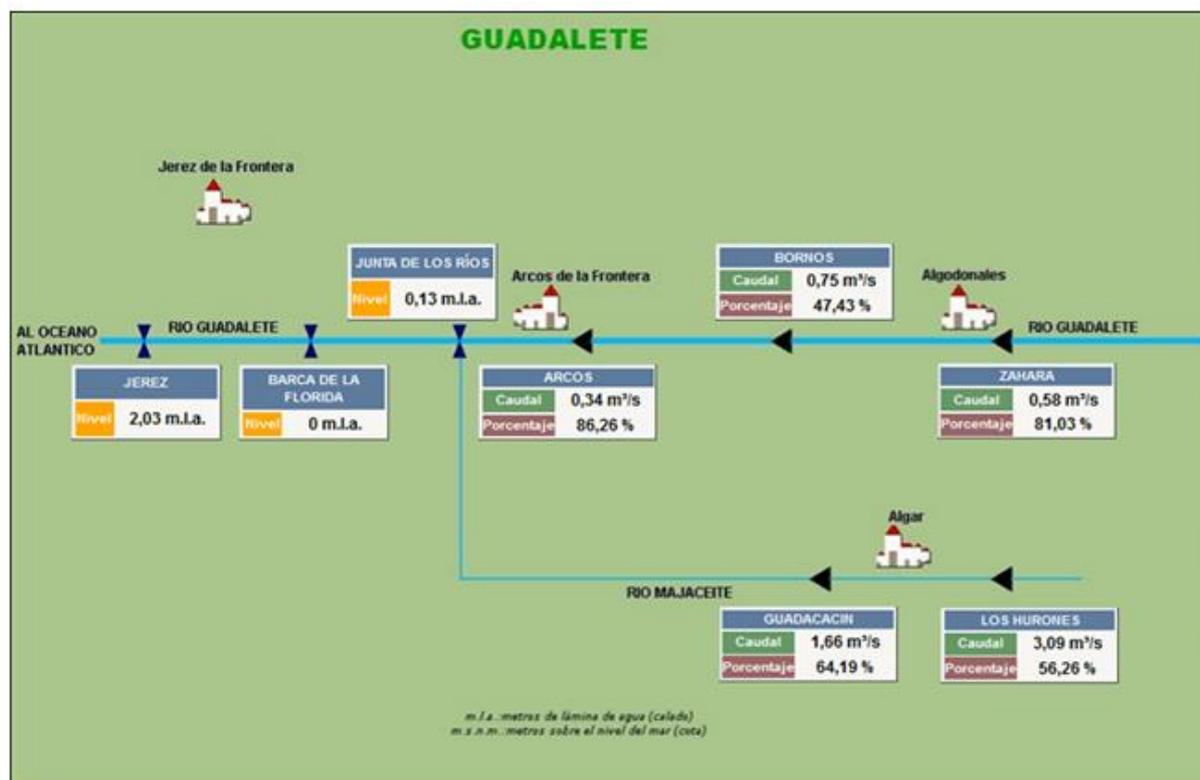


Figura 14. Red hídrica del Guadalete. Dato tomado el 01/12/2015 del SAIH del Guadalquivir, Guadalete - Barbate.

Como se acaba de hacer referencia, los embalses que regulan el río Guadalete, ya sea de manera directa o indirecta son el de Zahara, Bornos, Arcos de la Frontera, Hurones y Guadalcaçin. La Tabla 3 muestra los valores actualizados de cada uno de los embalses.

Tabla 3. Embalses Distrito Hidrográfico Guadalete. Nota. M.E.N.: Máximo Embalse Normal; * año de construcción de la presa inicial. Fuente. Dato tomado el 01/12/2015 (http://www.chguadalquivir.es/saih/av_guadalete.aspx). **Junta de Andalucía, 2015.

Embalse	M.E.N. (m.s.n.m.)	Capacidad (Hm ³)	%	Caudal medio diario (m ³ /s)	Año de construcción	Tipo**
E69 ZAHARA	351,50	222,70	81,03	0,57	1992	Gravedad Materiales Sueltos
E70 BORNOS	104,00	200,20	47,43	0,70	1961	Gravedad Hormigón

Embalse	M.E.N. (m.s.n.m.)	Capacidad (Hm ³)	%	Caudal medio diario (m ³ /s)	Año de construcción	Tipo**
E71 ARCOS DE LA FRA.	67,00	14,60	86,26	0,34	1965	Gravedad Hormigón
E72 HURONES	216,00	135,30	56,21	3,09	1964	Gravedad Hormigón
E73 GUADALCACÍN	102,00	800,30	64,19	2,59	1995 (1917*)	Gravedad Materiales Suelos

Como se aprecia, existe una amplia regulación por embalses, con una capacidad total de 1373,1 hectómetros cúbicos, lo cual interfiere en la gestión del riesgo de inundación, ya sea positivamente por su capacidad de laminación de las grandes avenidas cuando el nivel de llenado es bajo, como negativamente por el riesgo o incremento de caudales debido al desembalse en momentos de altas precipitaciones, ya sea por una ineficaz gestión de las inundaciones o por problemas de colmatación.

3.1.4.3. Monitorización

El Distrito Hidrográfico del Guadalete, cuenta con una red de estaciones meteorológicas y de aforo repartida por toda su extensión. Aun teniendo una importante red de estaciones con datos referentes a los embalses, como nivel del embalse, capacidad y volumen, y medidas de datos meteorológicos como precipitación, insolación, viento, etc., no existen datos referentes a las medidas de caudales en ríos en ninguna estación de aforo en la cuenca del Guadalete, solo algunos niveles. Además, algunas de estas series de información presentan restricciones en cuanto a su acceso, ya sea por no estar presentes, o exclusiva disponibilidad de series temporales muy cortas.

Un ejemplo de ello es la serie de caudales desembalsados en la D.H. del Guadalete – Barbate, a partir del Sistema Automático de Información Hidrológica del Guadalquivir, Guadalete – Barbate, donde los datos disponibles en esta base de datos son desde el 1 de enero de 2010 a la actualidad, además de existir ciertos lapsos de tiempo lo cual limita el análisis de los valores en momentos de las crecidas históricas.

Existen otras estaciones meteorológicas como las pertenecientes a la Agencia Estatal de Meteorología y a la Red de Alerta de Información Fitosanitaria principalmente.

En la Figura 15 aparecen las estaciones presentes en la cuenca según los datos del Ministerio de Agricultura, además se han añadido las estaciones meteorológicas de la Red de Estaciones Agroclimáticas de la Junta de Andalucía.

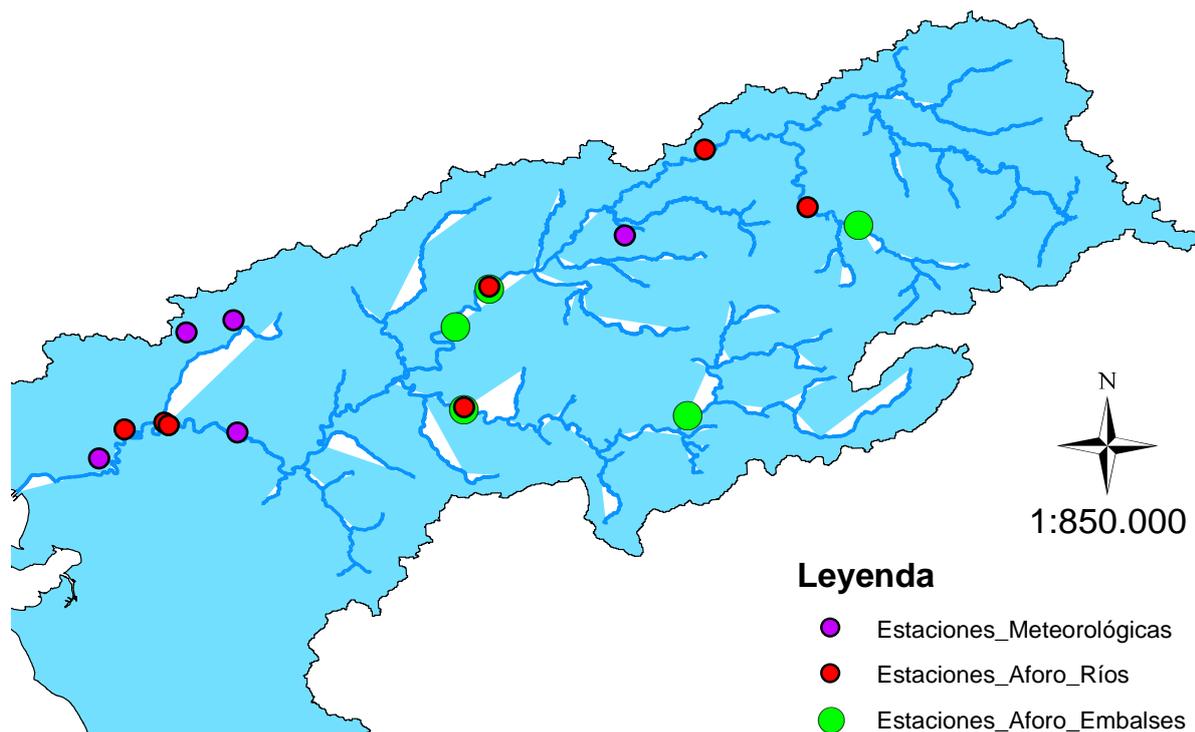


Figura 15. Distribución de la estaciones de medida en la Red Hídrica del Guadalete.

Como se puede apreciar en la Figura 15, existe una red interesante de puntos de información. En el caso de las estaciones de aforo, aunque en la figura se presentan tres estaciones en el tramo de estudio, no es así en la realidad, solo está disponible información de un nivel del agua de una de las estaciones.

3.1.4.4. Zonas inundables

El Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en Cauces Urbanos Andaluces, aprobado el 2 de julio de 2002 por el DECRETO 189/2002, en el Anexo I, dedicado a las actuaciones prioritarias en Andalucía por riesgo de inundación, aparece entre otras zonas del Distrito Hidrográfico, el río Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera, tal y como se puede apreciar en la Tabla 4. El orden de prioridad se establece en una escala de A1 (máxima

Prioridad) hasta A3 (mínima prioridad), aunque en cualquier caso con necesidad de actuación.

Tabla 4. Listado de actuaciones prioritarias en Cádiz. Fuente. PLAN DE PREVENCIÓN DE AVENIDAS E INUNDACIONES EN CAUCES URBANOS ANDALUCES. Nota. DRA (Deficiencia del alcantarillado y drenaje), FOU (Fuerte ocupación urbana), FOV (Fuerte ocupación viaria de los cauces), ISC (Insuficiente sección del cauce), ISOP (Insuficiente sección obras de fábrica en cruces de cauces), OC (Otras causas); orden de prioridad de A (muy prioritario) a A3 (menos prioritario).

Provincia	Municipio	Núcleo	Zona	Causas	Prioridad
Cádiz	Jerez de la Frontera	Jerez de la Frontera	Arroyo Morales	FOU, DRA, FOV y ISC	A2
Cádiz	Jerez de la Frontera	El Portal	Río Guadalete	ISC y OC	A3
Cádiz	Alcalá del Valle	Alcalá del Valle	Arroyo Lechar	FOU, FOV, ISC y ISOP	A2
Cádiz	Ubrique	Ubrique	Río Ubrique	ISC y ISOP	A2
Cádiz	Torre-Alháquime	Torre-Alháquime	Río Guadalporcún	FOU, FOV y ISC	A3

Se observan dos zonas de especial importancia en este trabajo. Por una parte la zona localizada en El Portal, que corresponde íntegramente a la zona de estudio, y por otra el Arroyo Morales, que es tributario del Guadalete en las inmediaciones del tramo objeto de estudio.

- El Portal (Guadalete): El principal motivo para declarar prioritarias las actuaciones en esta zona es la insuficiente sección del cauce para el desagüe de los caudales que la cuenca acumula, causada por varios motivos, entre los que está la colmatación por sedimentos o la intrusión de la agricultura en el cauce. El orden de prioridad para esta zona es A3.
- Arroyo Morales: los principales motivos para declarar prioritaria la actuación en esta zona son la deficiencia en el alcantarillado y drenaje, fuerte ocupación urbana, fuerte ocupación viaria de los cauces e insuficiencia de sección del cauce para el desagüe de los caudales. El orden de prioridad para esta zona es A2.

De acuerdo con la Directiva 2007/60/CE, es obligación de las administraciones competentes la elaboración de planos de riesgo de inundación, así como la delimitación de las zonas inundables para distintos periodos de retorno.

Las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) presentes en la Demarcación Hidrográfica del Guadalete-Barbate se muestran en la Figura 16.

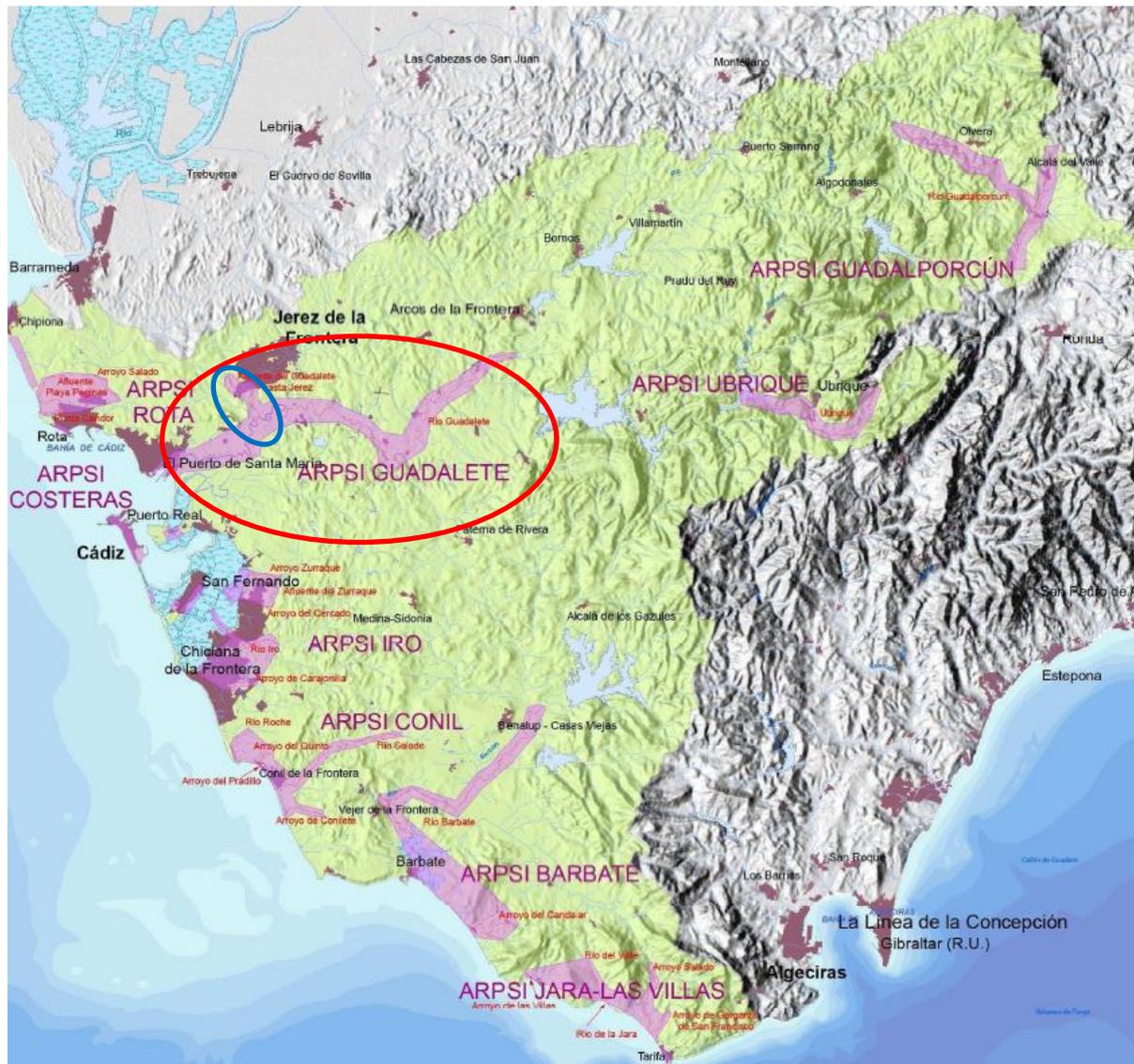


Figura 16. Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) en la Demarcación Hidrográfica del Guadalete – Barbate. Fuente. Evaluación preliminar del riesgo de inundaciones en Andalucía. Demarcación Hidrográfica del Guadalete – Barbate.

Como se puede apreciar en la figura anterior, en la demarcación existen distintas ARPSIs. Dentro del D.H. del Guadalete se hallan 5 ARPSIs, las costeras, de Rota, del Guadalete, de Ubrique y la del río Guadalporcún.

La zona de estudio se encuentra dentro de la ARPSI del Guadalete (marcado en rojo), comenzando ésta aguas abajo del embalse de Arcos, y terminando en la propia desembocadura del río.

Se observa también que el Arroyo Salado de Espera forma parte de la ARPSI (marcado en azul) del Guadalete. Según los técnicos y algunos estudios realizados por la Administración

del cálculo de caudales, el caudal de dicho arroyo en determinados momentos, llega a superar el caudal que transporta el río principal, generalmente por presentar una cuenca de una extensión elevada y sin ningún tipo de regulación.

En la Figura 17 se muestra la llanura de inundación para distintos periodos de retorno según el estudio de inundabilidad realizado por la Administración (Junta de Andalucía, 2012a).

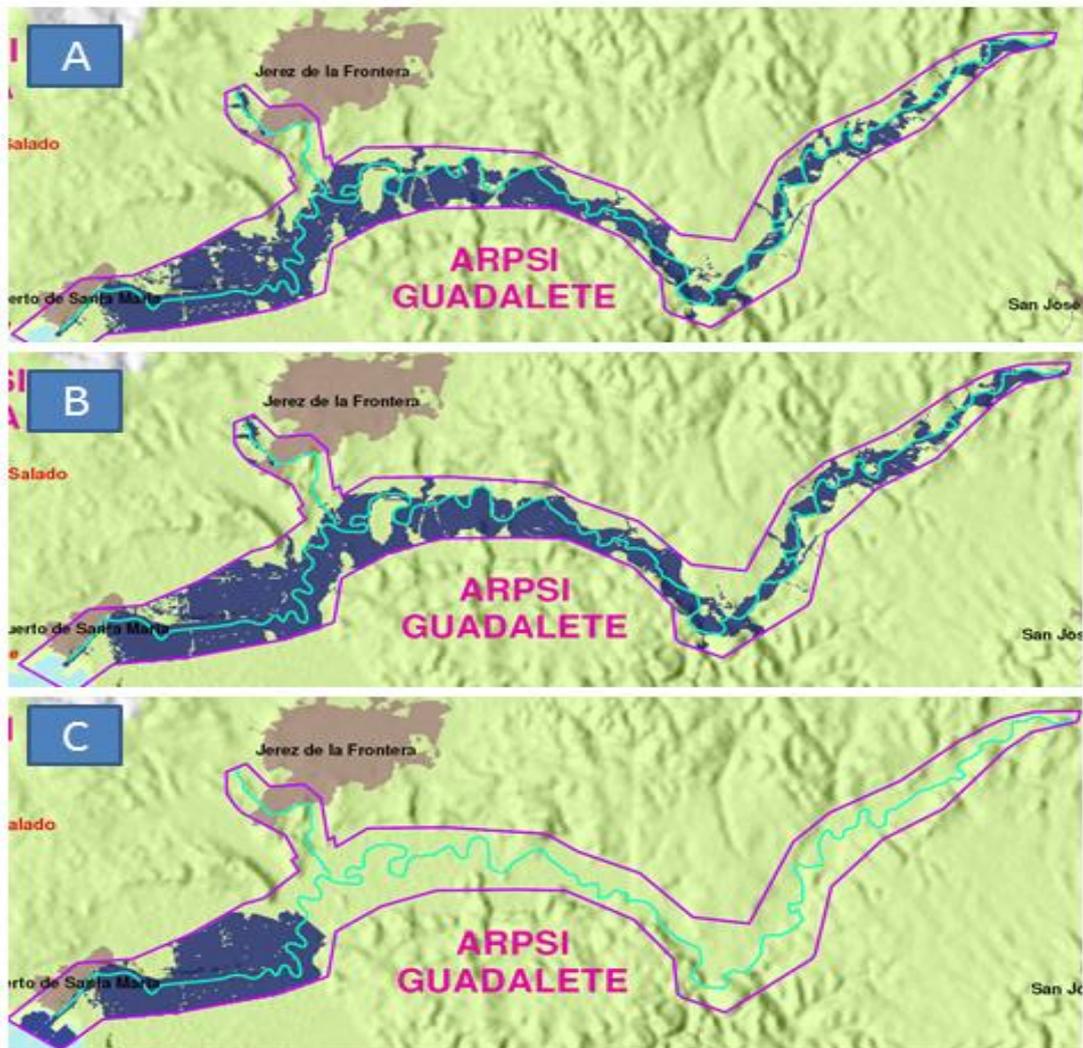


Figura 17. Llanura de inundación para 10 años (A), 100 años (B) y 500 años (C). Fuente. Junta de Andalucía, 2012a.

En la figura se muestra la llanura de inundación para 10, 100 y 500 años de periodo de retorno. Esta información pertenece a la Junta de Andalucía, pero tal y como se aprecia, los datos probablemente sean erróneos, ya que las diferencias entre la primera imagen (A) y segunda (B) figura son casi inapreciable, pero en cambio el periodo de retorno es bastante diferente, por lo que cabría esperar una mayor diferencia en cuanto a extensión, sobre todo

teniendo en cuenta el plano de pendientes anteriormente mostrado, donde se aprecia como la pendiente en esta zona es casi nula, no existiendo barreras orográficas que eviten el paso del agua, solo pudiendo haber alguna barrera física creada por el hombre. Del mismo modo, se aprecia que para un periodo de retorno de 500 años, la llanura no está bien calculada, ya que según muestra la figura (C), solo habría inundación en la desembocadura del río, y no en la zona alta, lo cual no tiene sentido.

3.1.5. Usos del suelo

Los usos del suelo del distrito hidrográfico del Guadalete son variados, tal y como se aprecia en la Figura 18. El conocimiento de los usos del suelo es necesario por dos motivos, por un lado, para conocer cuál es el comportamiento hidrológico de la zona, especialmente en términos de infiltración – escorrentía, y por otro para conocer la vulnerabilidad de la zona, ya que es necesario tener en cuenta cual es el uso de las zonas que se inundan.

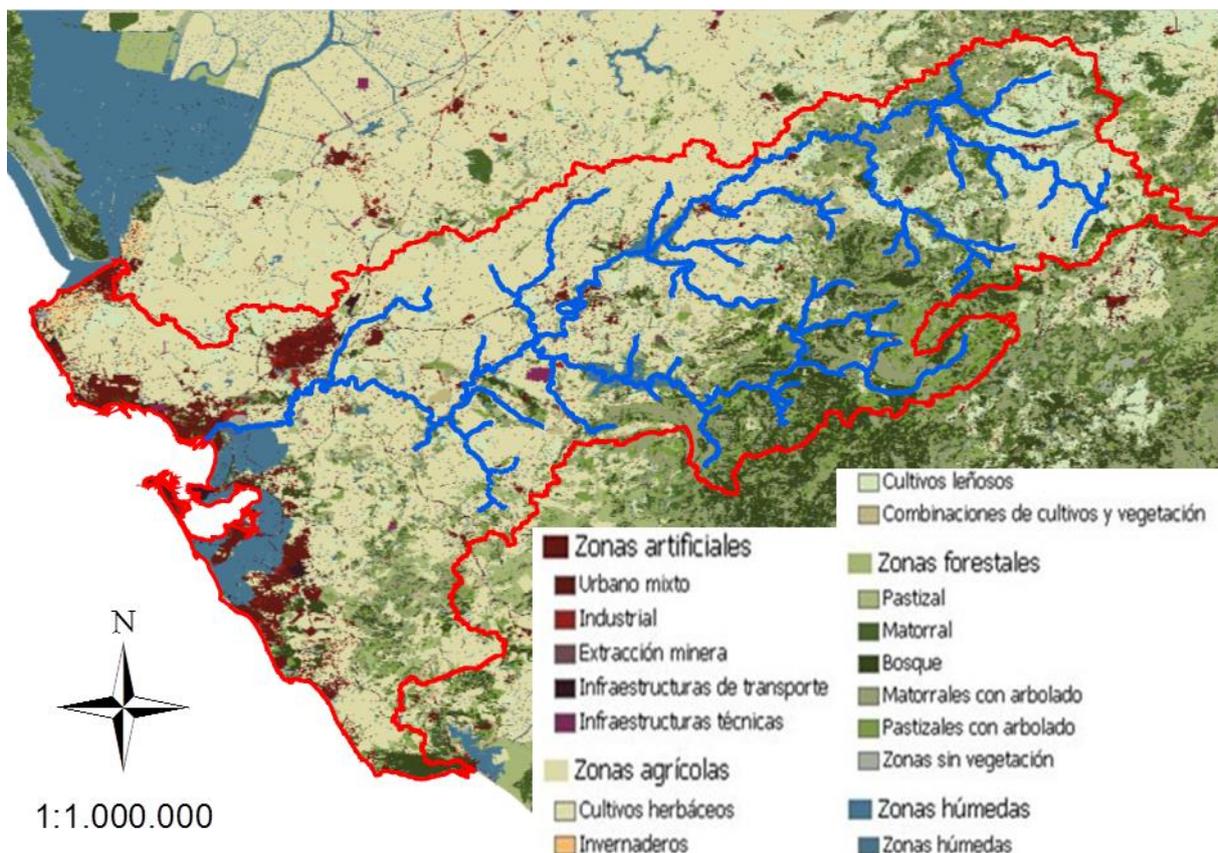


Figura 18. Usos del suelo del Distrito Hidrográfico del Guadalete. Fuente. REDIAM.

Los usos agrícolas son los más extendidos en la zona baja del río Guadalete, ocupando la mayor parte de las llanuras de inundación. El uso agrario ha sido dividido en herbáceo, leñoso e invernadero. Por orden de importancia (superficie ocupada), le siguen las zonas forestales, diferenciándose entre pastizal, matorral, bosque y zonas sin vegetación, generalmente distribuidas en la parte más sur y este del Distrito Hidrográfico. Es importante puntualizar, que las zonas húmedas (compuestas por lagunas, embalses, y especialmente la zona de estuarios) son habituales en la zona, pudiéndose diferenciar por tonos azules. Por último, aparecen las zonas artificiales, que hacen referencia principalmente a núcleos urbanos, con gran importancia en la zona costera. La Figura 19 muestra una ampliación del tramo de interés.



Figura 19. Usos del suelo en el tramo objeto de estudio. Fuente. REDIAM. Leyenda en Figura 18.

La zona está compuesta casi en su totalidad por cultivos, algunas manchas de zona forestal y zonas húmedas (Laguna de Medina, etc.) y también con cierta importancia la densidad de núcleos urbanos, tal y como se verá en posteriores capítulos. Esta figura representa la importancia de la gestión del riesgo de inundación, ya que son viviendas permanentes y cultivos los que más se ven afectados por las grandes avenidas.

3.2. Medio biológico

3.2.1. Flora y vegetación potencial

Diferenciando por estrato, se establecen dos estratos principales, el arbóreo y el arbustivo. El estrato arbóreo está compuesto principalmente por masas de eucaliptos, con carácter protector frente a avenidas. En los últimos cinco años, como medida de defensa contra las inundaciones, la Administración ha reducido el número de pies de esta especie, de acuerdo además con las actuaciones de control y erradicación poblacional de especies exóticas invasoras en el medio natural en Andalucía, donde se encuentra el eucalipto, especialmente la especie *Eucalyptus camaldulensis*. También se encuentran otras especies como el chopo (*Populus alba*), sauce (*Salix* spp.), fresno (*Fraxinus angustifolia*) y olmo (*Ulmus minor*) entre otras.

En relación al estrato arbustivo se encuentran especies como el taraje (*Tamarix* spp.), caña (*Arundo donax*), adelfa (*Nerium oleander*) y carrizo (*Phragmites australis*) principalmente.

La vegetación potencial sería aquella constituida por las especies que en condiciones naturales y sin alteraciones antrópicas cabe esperar en su etapa madura. De acuerdo con las Series de Vegetación Edafohigrófilas de los Modelos de Restauración Forestal propuestos por la Junta de Andalucía (2005), la zona de estudio se halla inmersa dentro de la EH17: Geoserie edafohigrófila termomediterránea gaditano-onubo-algarviense, jerezana y tingitana silicícola.

Esta geoserie es propia de Andalucía occidental y el norte de África, o lo que es igual el distrito Jerezano (sector Hispalense de la provincia Bética), los sectores Onubenselitoral y Algarviense (provincia Gaditano-Onubo-Algarviense), así como el norte de Marruecos (tingitana). Se da en ríos sobre materiales silíceos pero con cierta influencia de la salinidad marina. Se trata de una formación muy castigada por la actividad agrícola del hombre.

Una primera banda, más cercana al curso de agua, pertenece a la serie de las saucedas atrocinéreas (*Salix atrocinerea*), que contacta con las fresnedas. En tramos de suelos gleyzados y arcillosos puede aparecer la chopera blanca, y si los cursos de agua sufren fuertes oscilaciones de caudal y estiaje tiene lugar la serie de los tarayales subhalófilos.

Esta serie de vegetación edafohigrófila a su vez se divide en 5 tipos, entre los que se destacan las siguientes formaciones:

- En contacto con el agua formaciones de sauce (*Salix artocinerea*) con eneas (*Typha dominguensis*), carrizos (*Phragmites australis*) y juncos (*Scirpetum maritimi*, *Juncus acutus*).
- En la tercera banda de vegetación formaciones de fresnedas (*Fraxinus angustifolia*) acompañado por zarzas (*Rubus ulmifolius*), madreselvas (*Lonicera* spp.); Cuando la zona está muy humedecida aparecen especies como brezos (*Erica ciliaris*).

Esta información será útil posteriormente para la elección de especies en caso de repoblaciones en el territorio fluvial.

3.2.2. Fauna

Los bosques de ribera y las zonas húmedas que conforman las antiguas graveras que jalonan el cauce, actúan como refugio de una abundante fauna procedente de diversos hábitats circundantes: campiña, estuario del Guadalete, salinas y lagunas (Laguna de Medina, Laguna de las Quinientas, etc.).

A su vez, la campiña también da cobijo y alimento a multitud de especies granívoras e insectívoras y constituye el lugar de caza y nidificación de algunas rapaces como el aguilucho cenizo (*Circus pygargus*), el aguilucho pálido (*Circus cyaneus*), el cernícalo primilla (*Falco naumanni*), y en ocasiones, el milano negro (*Milvus migrans*).

En el medio urbano próximo al área de actuación residen especies de importancia como la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*), en El Portal, o las colonias de camaleones (*Chamaeleo chamaeleon*) en la zona de Montealegre y Los Albarizones.

A continuación se describen las principales especies a destacar de la zona:

Entre las aves las aves se encuentra una elevada diversidad de rapaces como autillo (*Otus scops*), azor (*Accipiter gentilis*), águila calzada (*Hieraetus pennatus*), águila culebrera (*Circaetus gallicus*), halcón común (*Falco peregrinus*), buho real (*Bubo bubo*), mochuelo (*Athene noctua*) y cárabo (*Strix aluco*), acompañado de cigüeña negra (*Ciconia nigra*), cuco

(*Cuculus canorus*), martín pescador (*Alcedo atthis*) y mirlo acuático (*Cinclus cinclus*). Más comunes son el abejaruco (*Merops apiaster*) y el alcaudón común (*Lanius senator*).

Los mamíferos no tienen una amplia representación. Generalmente se encuentran especies de baja talla como el conejo (*Oryctolagus cuniculus*), el zorro (*Vulpes vulpes*), el ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*), el ratón casero (*Mus musculus*) y otros roedores. Entre todos se puede resaltar la presencia del tejón (*Meles meles*).

Las principales especies de reptiles presentes son la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*), la culebra viperina (*Natrix maura*), el galápago europeo (*Emys orbicularis*), el galápago leproso (*Mauremys leprosa*), la lagartija colilarga (*Psammotromus algirus*) y la lagartija ibérica (*Podarcis hispanicus*).

Entre los anfibios están presentes la rana común (*Pelophylax perezi*), la ranita de San Antón (*Hyla arborea*), la salamandra común (*Salamandra salamandra*), el sapillo pintojo (*Discoglossus galganoi*), el sapo común (*Bufo bufo*), el sapo corredor (*Epidalea calamita*) y el tritón jaspeado (*Triturus marmoratus*) entre otros.

Por último en el grupo de los peces, se encuentra el barbo gitano (*Luciobarbus sclateri*), la boga del Guadiana (*Pseudochondrostoma willkommii*), el cachuelo (*Squalius cephalus*), la colmilleja (*Cobitis paludica*), el jarabugo (*Anaocypris hispanica*) y el pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) entre otros.

Por tanto, se trata de un hábitat que alberga una cierta diversidad de especies y de nichos, donde cabe resaltar el flujo de especies, especialmente de aves, que existe entre el río y las zonas circundantes. De las especies destaca por su importancia la malvasía (*Oxyura leucocephala*), la cerceta pardilla (*Marmaronetta angustirostris*) y la focha cornuda (*Fulica cristata*).

3.2.3. Espacios protegidos

En la provincia de Cádiz, existe una amplia cantidad y variedad de espacios naturales protegidos. Entre los más destacados, cabe resaltar el Parque Natural de Grazalema, el Parque Natural Los Alcornocales, Parque Natural del Estrecho, Parque Natural Marismas de Barbate y la Breña y el Parque Natural Bahía de Cádiz. Aun habiendo tanto espacio

protegido, las características de cada uno de estos son completamente distintas, desde bosques de parecido alpino, a llanuras en continua inundación por el Océano Atlántico, pasando por bosques con caracteres tropicales y el propio Estrecho de Gibraltar.

A continuación, se representa en la Figura 20 los espacios naturales protegidos que parcial o totalmente se encuentran inmersos en el Distrito Hidrográfico del Guadalete.

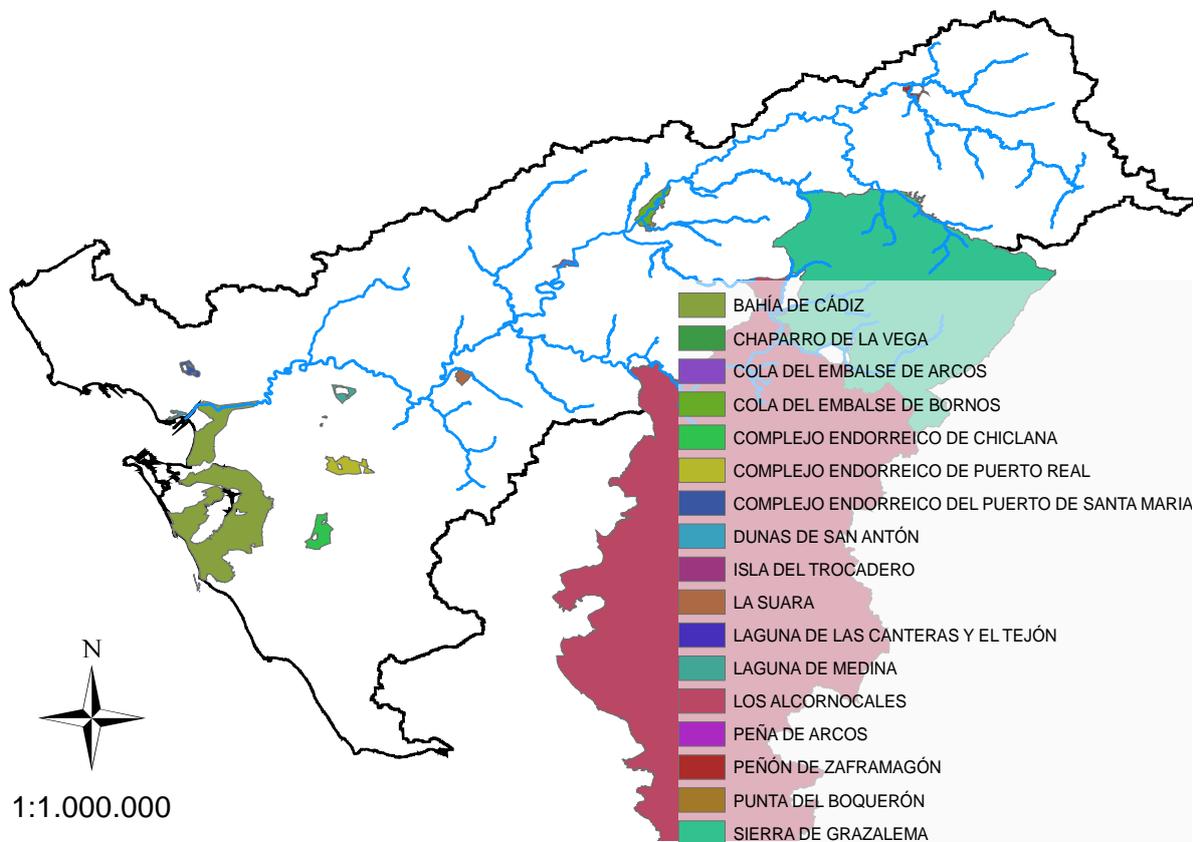


Figura 20. Espacios Naturales Protegidos del Distrito Hidrográfico del Guadalete. Fuente. REDIAM.

Dada la alta densidad de espacios naturales, una de las condiciones a tener en cuenta dentro de las actuaciones en el río Guadalete, es la repercusión positiva o negativa que éstas tendrán sobre estas superficies y sobre sus habitantes, donde la propia legislación limita las actividades tal y como se ha visto en el apartado de Marco Legal. Además, entre los objetivos de la Directiva Marco del Agua, no solo hay que proteger el ecosistema sino que se tendrá que mejorar.

3.3. Estudio hidráulico del Tramo

3.3.1. Análisis visual

En la Figura 21 se describe el tramo de aproximadamente 12 kilómetros de longitud, que comienza en el primer meandro del Guadalete desde su salida de la Barriada de La Ina, la Sierresuela, hasta el Azud construido en torno a 1900 en la Barriada de La Corta.

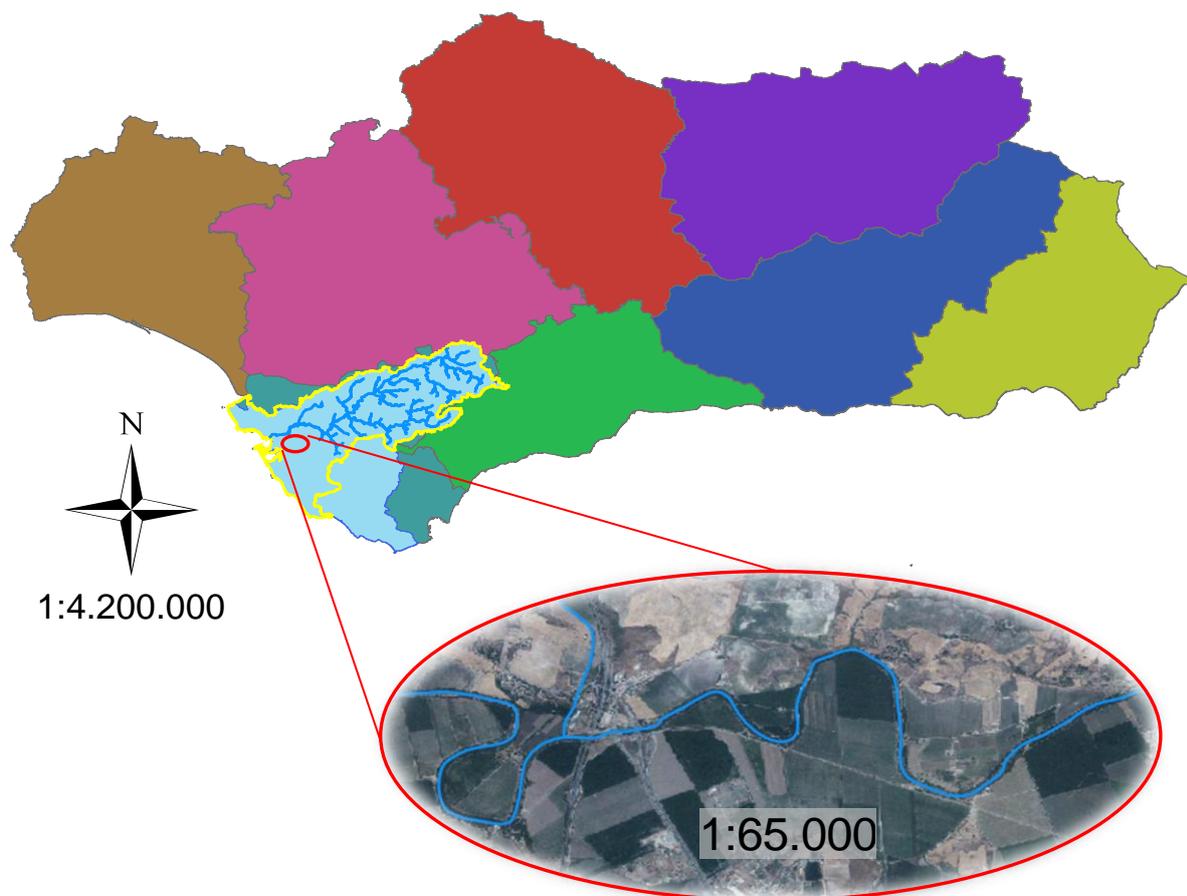


Figura 21. Plano de situación del tramo.

La limitación del tramo ha sido impuesta por la Agencia Andaluza del Agua de la provincia de Cádiz, encargada de gestionar la Cuenca Atlántica Andaluza y preocupada por este tramo en particular por todo lo comentado a lo largo del presente documento.

Para definir el tramo, se ha tomado información de las principales ortofotos disponibles en la Fototeca del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y en el centro de descargas (Line) del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía:

- Ortofotografía del Vuelo Americano Serie A de 1945 – 1946 y Serie B de 1956 – 1957
- Ortofotografía del Vuelo Interministerial de 1973 – 1986
- Ortofotografía del Vuelo Nacional de 1980 – 1986, 1998, 2001, 2004, 2007, 2008, 2010 y 2013.

Teniendo en cuenta la serie de inundaciones documentadas, se ha decidido seleccionar las principales en relación al daño causado, con el fin de evaluar mediante ortofotografía aérea los cambios que ha habido en el tramo de estudio, para posteriormente discutir cómo estos cambios han podido condicionar las inundaciones.

Las inundaciones seleccionadas han sido las de los años 1946, 1970, 1996, 2009/10 y 2013. Por tanto, las principales ortofotografías aéreas analizadas han sido la de los años 1946, 1956, 1977, 1998, 2010 y 2013.

Seguidamente, se muestra la variación del estado del espacio fluvial en el tramo de estudio. Con respecto a los cálculos realizados a partir de la información digital, es imprescindible tener en cuenta que existe cierto riesgo de error, por diferencias en resolución de las ortofotografías, y la distinta fecha (mes) de toma de imagen. Es también necesario tener en cuenta los posibles errores que se desprenden del análisis visual de imagen, como sombras, copas de árboles, fallos en la interpretación, etc.

La primera ortofotografía corresponde al año 1946 (Figura 22), siendo esta la primera ortofotografía existente en esta zona. En ella se aprecia el río casi sin vegetación en las márgenes, estando casi toda la anchura disponible ocupada por la lámina de agua. También se aprecia, una baja densidad de infraestructuras en la zona. La única infraestructura transversal es el Puente de la Cartuja, además del azud de la barriada de La Corta.



Figura 22. Ortofotografía de 1946. Fuente. CNIG.

La Figura 23 corresponde a la ortofotografía del año 1956. En ella se aprecia como la vegetación ha ido ganando terreno a la lámina de agua.



Figura 23. Ortofotografía de 1956. Fuente. Instituto Andaluz de Estadística y Cartografía.

La siguiente ortofotografía (Figura 24) fue tomada en el año 1977, en ella se aprecia la nueva construcción de la Autopista del Sur (AP-4) que une Sevilla con Cádiz y el Puente La Greduela, construido en 1975. En el caso del puente de la autopista, es interesante tener en cuenta que los pilares no fueron alineados con la dirección de avance del río, actuando estos como verdaderos obstáculos al paso de caudales. En relación al puente La Greduela, el dimensionamiento inicial no fue el adecuado, ya que en una ocasión el agua llegó al plato del puente, siendo posteriormente dimensionado para un periodo de retorno superior, y por

tanto modificado estructuralmente. Además, en el tramo de la Greduela se construyó una mota en el margen derecho del río en dirección aguas abajo, que actúa canalizando el cauce desde 1965. También cabe remarcar el avance de la vegetación.

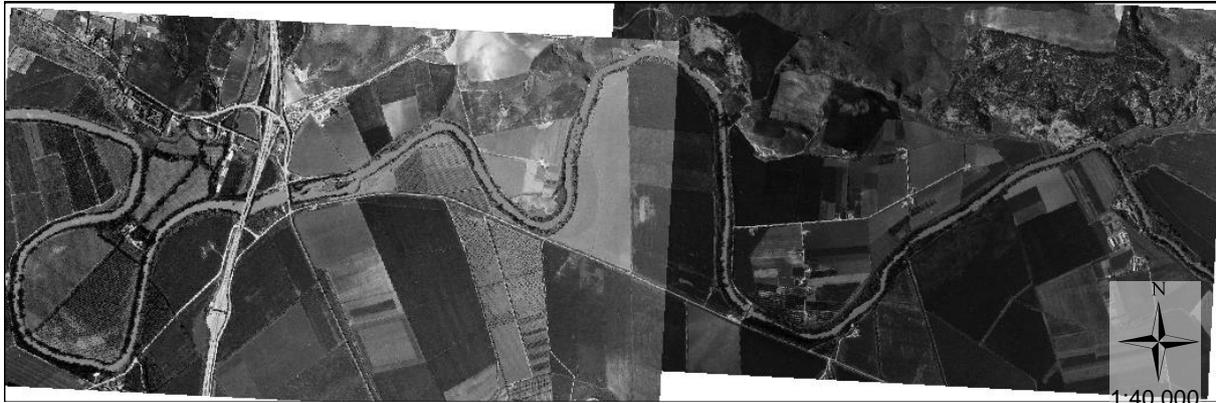


Figura 24. Ortofotografía de 1977. Fuente. CNIT.

La siguiente imagen (Figura 25) corresponde a 1998, dos años después de la gran inundación de 1996. En ella se aprecia la nueva autovía que une Jerez de la Frontera - Algeciras (A-381), siendo esta una de las pocas entradas a la provincia y ruta principal de comercio entre las dos grandes ciudades que une. Ésta se ve inutilizada con las grandes avenidas y por tanto queda cortada al tráfico, es necesario tener en cuenta que esta vía, fue diseñada para un periodo de retorno de 500 años. Otra nota importante es que una vez terminada la obra se dejaron muchos restos de su construcción en el cauce, siendo estos un obstáculo al agua y por tanto imprescindibles de eliminar. También se puede observar un aumento de la densidad de viviendas existentes en la zona, así como un aumento de la vegetación en las márgenes del río, y por tanto una menor sección de desagüe.

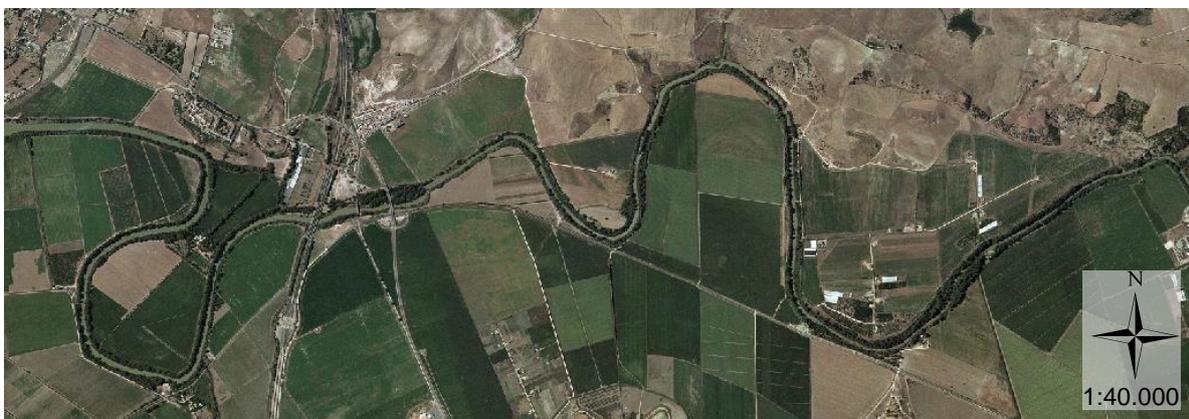


Figura 25. Ortofotografía de 1998. Fuente. Instituto Andaluz de Estadística y Cartografía.

La Figura 26 corresponde a la ortofotografía perteneciente al año 2008. Muestra una situación parecida a la existente en el 1998, siendo los principales cambios observados una mayor densidad de infraestructuras públicas, así como una densificación de la vegetación de ribera.



Figura 26. Ortofotografía de 2008. Fuente. Instituto Andaluz de Estadística y Cartografía.

La siguiente imagen (Figura 27), pertenece al año 2010. En ella se aprecia principalmente una densificación de la vegetación de ribera.



Figura 27. Ortofotografía de 2010. Fuente. Instituto Andaluz de Estadística y Cartografía.

Por último en la Figura 28, se muestra la imagen perteneciente al año 2013 (última ortofotografía disponible), donde se aprecian cambios principalmente en la densidad de vegetación, siendo esta menor a la existente en la ortofotografía anterior, gracias a las actuaciones llevadas a cabo por la Junta de Andalucía en el tramo.



Figura 28. Ortofotografía de 2013. Fuente. CNIT

Tras la presentación general de las fotografías aéreas y los principales cambios reconocidos en la zona, a continuación se presenta un análisis más exhaustivo.

Principales cambios observados en el tramo objeto de estudio:

- Aumento de las infraestructuras lineales transversales.

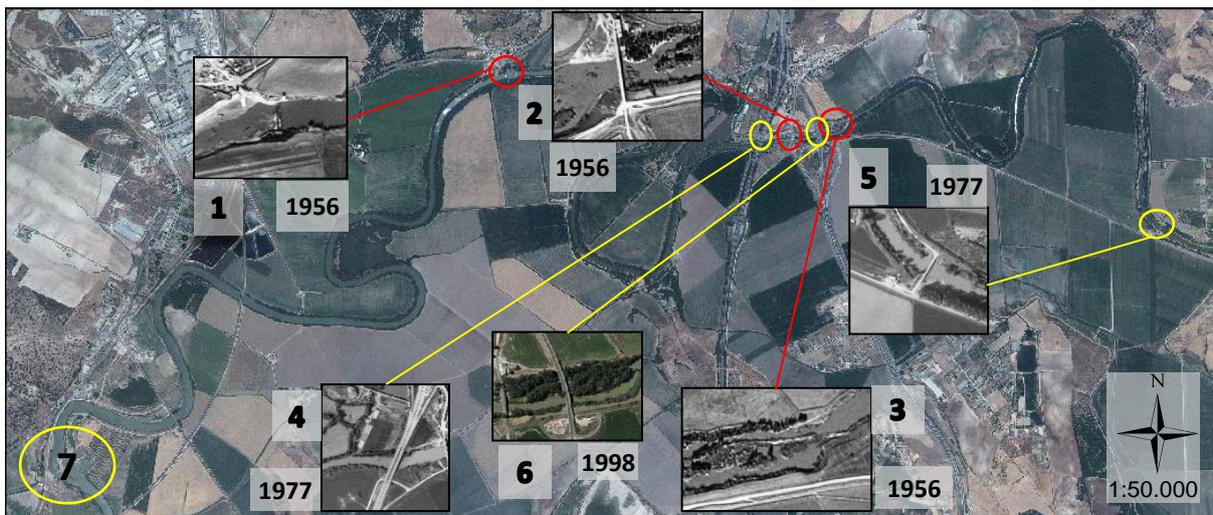


Figura 29. Infraestructuras transversales existentes en la actualidad. Nota. 1: Azud de La Corta, 2: Puente La Cartuja, 3: Antiguo muro del molino, 4: Puente de la autopista, 5: Puente de La Greduela, 6: Puente de la autovía, 7: Nuevo azud de El Portal.

Como se puede observar en la Figura 29 existe una elevada cantidad de obstáculos transversales en la zona. Algunos de ellos actualmente están en desuso como podría ser el antiguo Azud de 1900 de La Corta, así como el muro de piedra que ayudaba al abastecimiento de agua al molino. Se pretende conservar dicho azud como infraestructura histórica de la zona junto al Puente de la Cartuja.

– Aumento de las infraestructuras lineales.



Figura 30. Infraestructuras lineales públicas y privadas. Evolución desde 1946. Nota. Las líneas se muestran de distinto color dependiendo del año de construcción, diferenciándose en rojo (1946), naranja (1956), verde (1977) y amarillo (1998).

Se observa (Figura 30) una gran densidad de vías de comunicación privadas y públicas. Solo se han mostrado aquello de mayor relevancia, sin tener en cuenta caminos rurales de material natural. Es interesante mostrar las infraestructuras que en la antigüedad los agricultores construían para protegerse de las crecidas del río (Figura 31). A continuación y a partir de la ortofotografía de 1956, se representa la densidad de tales infraestructuras, lo que pone de manifiesto la convivencia de los agricultores con las crecidas, presumiblemente más frecuente, como resultado de la menor regulación de la cuenca contribuyente.

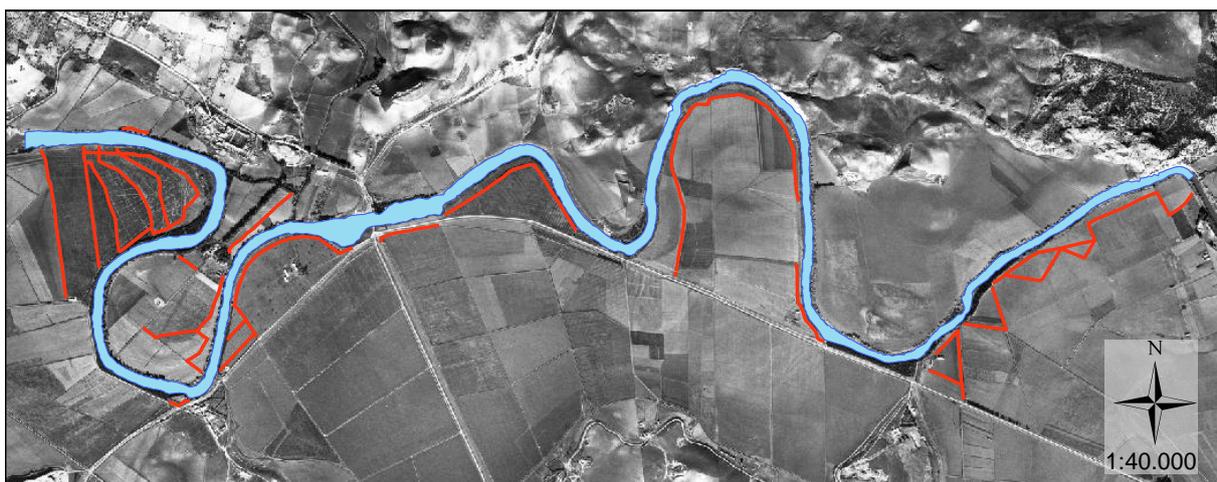


Figura 31. Infraestructuras agrarias de protección de inundaciones de los propios agricultores en 1956.

- Aumento de la ocupación por viviendas privadas.



Figura 32. Evolución de urbanizaciones en las inmediaciones del río Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera.

Como se puede observar en la Figura 32 la ocupación de la zona especialmente por viviendas ha ido creciendo de manera continua a lo largo de los años, suponiendo éstas un obstáculo a las inundaciones y especialmente un riesgo ante la posibilidad de ser afectadas por las crecidas, motivo por el que se construyó la mota en el meandro de la Greduela.

- Ocupación del espacio fluvial por propietarios privados.

En los dos siguientes ejemplos (Figura 33 y 34) se ve con claridad como los propietarios privados aprovechan ciertas zonas no inundadas para ganar terreno de siembra. En la primera imagen se ve una zona que fue utilizada anteriormente para el aprovechamiento de áridos. Tras dejar su explotación, el propietario colindante allanó el terreno con maquinaria pesada, tal y como se puede apreciar en la ortofotografía de 1998, viéndose ya en la imagen del 2010 la zona cultivada.



Figura 33. Cambio de uso del suelo a explotación agrícola.

Otra de las funciones que tenía la zona era como zona de laminación de avenidas, además de humedal, tal y como se aprecia en la imagen de 1977, siendo posiblemente ocupada por aves acuáticas. En el siguiente ejemplo se muestra una situación similar, donde una zona antes utilizada por el río con vegetación de ribera es actualmente usada como zona de cultivo.



Figura 34. Cambio en el uso del suelo.

- Aumento de la vegetación en las márgenes.

Una de las mayores causas de pérdida de sección útil en el río ha sido un desarrollo exponencial de la vegetación de ribera. En las siguientes figuras (Figura 35 y 36) se puede apreciar este detalle.



Figura 35. Avance la vegetación versus pérdida de sección disponible para la descarga de caudales.

Como se puede observar, parte la sección que antes ocupaba la lámina de agua, actualmente está siendo ocupada por la vegetación.

La siguiente imagen (Figura 36) muestra la zona llamada “La Isleta”, nombre dado por su forma de isla, situada aguas abajo de los tres puentes que se hallan en el tramo.



Figura 36. Avance la vegetación versus pérdida de sección disponible para la descarga de caudales.

Del análisis visual de las ortofotografías, se observa que el cauce ha ido perdiendo capacidad de desagüe en el periodo estudiado.

Una de las posibles causas que explican cómo en las primeras ortofotografías los cauces permanecían con una menor vegetación, era el aprovechamiento de la misma por parte de la población ligada al río. Su prohibición propició un aumento exponencial de la misma.

A continuación se presenta una gráfica (Figura 37) en la que se observa cual ha sido la dinámica de avance de la vegetación. Para ello se ha calculado la superficie del río con y sin vegetación para las distintas fechas correspondientes a la información fotogramétrica.



Figura 37. Relación ancho lámina de agua con anchura total del río.

Como se observa, en el año 1946, la lámina de agua suponía casi el 80 por ciento de la anchura total del río, en la actualidad se encuentra por debajo del 30 por ciento. Es importante comentar que la tendencia al alza que se observa en los últimos años, es consecuencia de las actividades de extracción de vegetación llevadas cabo por la Administración.

- Cierre de cauces secundarios o bifurcaciones.

Otro de los problemas encontrados es el cierre de sus cauces menores o bifurcaciones, como respuesta de una excesiva acumulación de sedimentos, acompañado de un desarrollo exponencial de la vegetación como antes se ha mostrado.

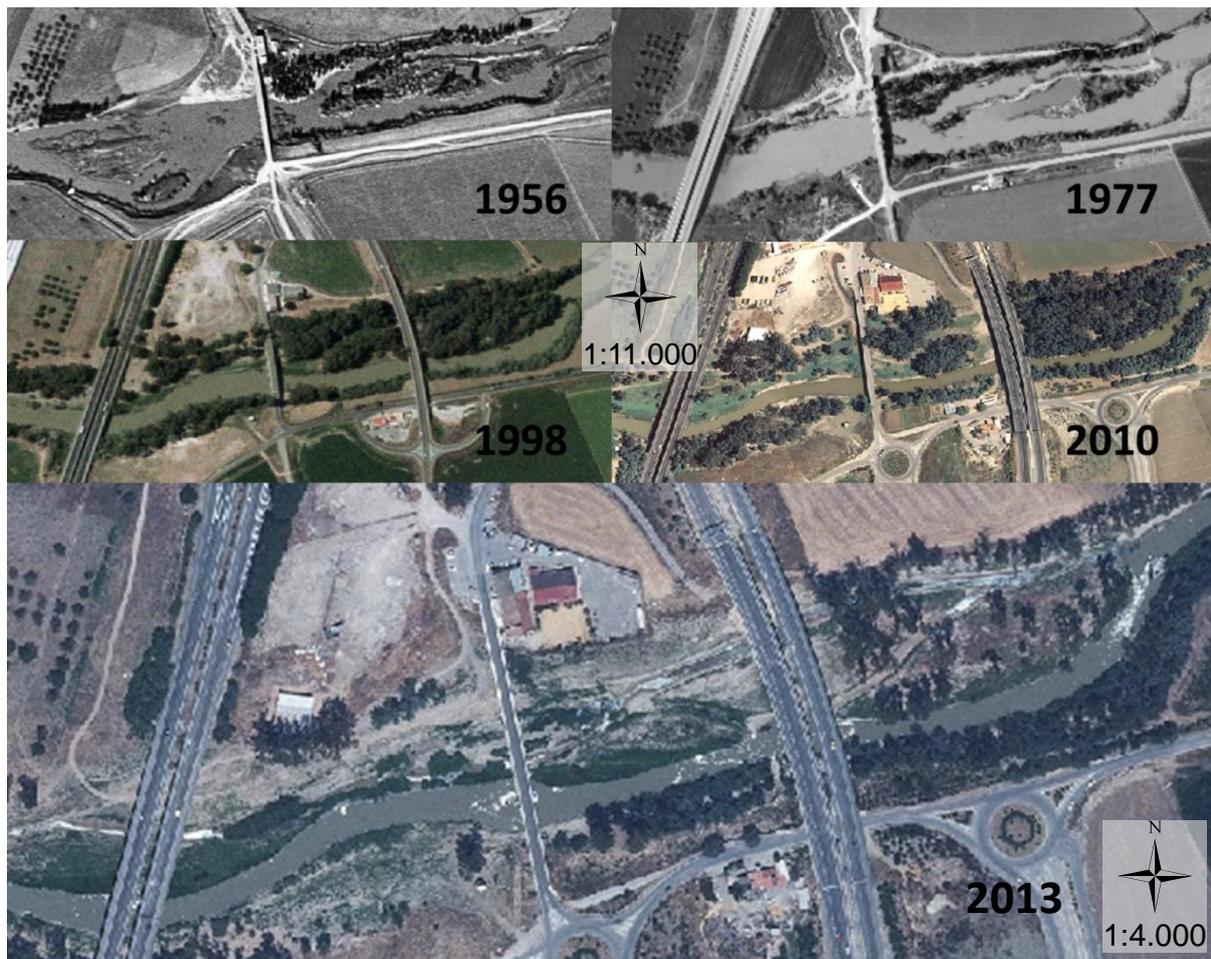


Figura 38. Detalle del cierre de bifurcaciones en el tramo.

En este primer ejemplo (Figura 38) se muestra una de las zonas más conflictiva de la zona de estudio, ya que es donde coincide la autopista, el puente de la Cartuja y la autovía (de izquierda a derecha), además de la Venta de la Cartuja. Es decir, en esta zona se concentran un mayor número de infraestructuras transversales.

En la imagen del 2013 se aprecia el cambio en la vegetación (menor cubierta) y la apertura del segundo cauce. En la actualidad, la extracción de la vegetación sigue siendo patente, aunque la apertura del segundo cauce a una mayor cota que la del cauce principal, ha propiciado su cierre por la vegetación.

A continuación, en la Figura 39 se muestra otro ejemplo de cierre de bifurcación. Se aprecia como la vegetación ha cegado uno de los cauces que conforman la bifurcación.



Figura 39. Detalle del cierre de bifurcaciones en el tramo.

Al perderse, o cegarse los cauces o bifurcaciones, se pierde sección útil y por tanto, el caudal mínimo de desbordamiento disminuye también.

3.3.2. Análisis morfológico

En este epígrafe se pretende realizar la caracterización del tramo mediante un análisis morfológico. Es necesario tener en cuenta, que todas las relaciones que a continuación van a ser usadas, se tomaron para ríos en un estado de naturalización probablemente alto, es decir, sin modificaciones antrópicas importantes. Además, son ecuaciones empíricas, y que por tanto presentan un sesgo variable según donde sean aplicadas.

Es importante considerar que el tramo objeto de estudio se sitúa casi en la desembocadura río, a tan solo 14,17 km en línea recta desde el extremo sur del tramo o a 22,81 km siguiendo el cauce, por tanto, se entiende que se trata de una zona de estuario, donde las condiciones y morfología en planta del río son ligeramente distintas dependiendo de la zona.

Según la información aportada por técnicos de la Administración, a partir de la experiencia de los ciudadanos, el efecto del océano atlántico llegaba antes de la construcción del azud de La Corta (1900) hasta el puente de la Cartuja, que posteriormente se limita aguas abajo por la nueva construcción del azud de labio fijo y móvil de El Portal, siendo esta la situación actual. Esto indica, que esa influencia marina, puede haber alterado las relaciones que posteriormente se mostrarán, pero cuyos valores serán útiles como valores representativos u orientativos.

Los principales parámetros morfológicos del río son los que aparecen en la Figura 40:

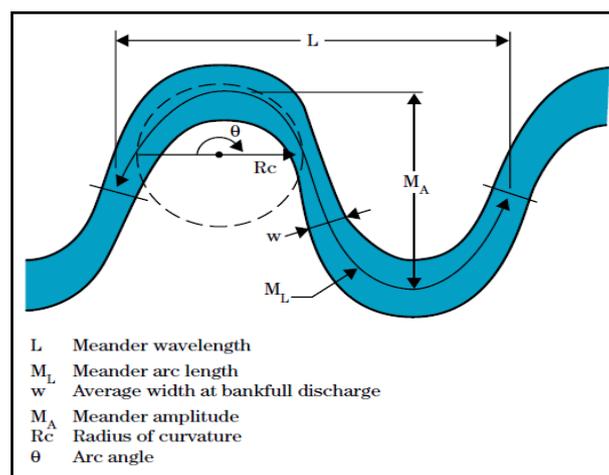


Figura 40. Parámetros morfológicos que definen un río.

De acuerdo con Leopold (1994) el grado de sinuosidad del tramo (de 12 km aproximadamente) que compone la zona de estudio es de 1,86. Éste se obtiene al dividir la longitud real del río por su longitud en línea recta (Ecuación 5):

$$\text{Sinuosidad} = \frac{\text{Longitud real del río (m)}}{\text{Longitud en línea recta (m)}} = \frac{11.478}{6.170} = 1,86 \quad \text{Ecuación 5}$$

La ecuación que más se aproxima para definir la relación entre la longitud de onda del canal (λ) y la anchura del mismo (W) según Thorne y Soar (2001) es la Ecuación 6:

$$\lambda = 11,85 \cdot W \quad \text{Ecuación 6}$$

Seguidamente se presentan dos gráficos de distribución de frecuencias del ancho de la lámina de agua correspondientes al año 1956 y 2013 obtenidas mediante fotointerpretación (Figura 41).

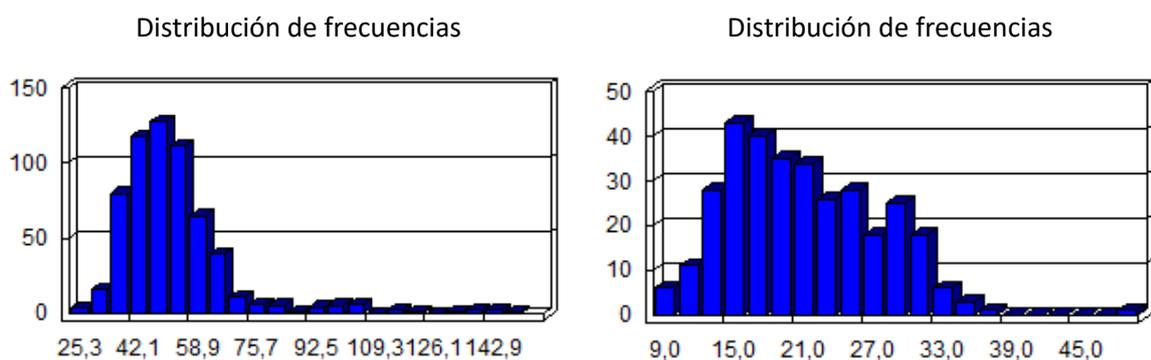


Figura 41. Distribución de frecuencia de la medida de anchura del río (en metros) para el año 1956 y 2013 respectivamente.

El resumen de mínimos, medias y máximos de los valores se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores mínimos, medios y máximos de anchura de lámina de agua obtenidos mediante fotointerpretación en el año 1956 y 2013.

	1956	2013
Mínima (m)	25,32	9,01
Media (m)	54,15	21,79
Máxima (m)	150,10	49,39

Como se puede apreciar, existe una gran diferencia en relación a la anchura mínima, media y máxima de la lámina de agua entre ambos años. Esto puede explicarse en base a los motivos expresados anteriormente en este documento (3.3.1. Análisis visual).

Por tanto, para una anchura de 21,79 metros (anchura media actual de la lámina de agua) y teniendo en cuenta el posible error que se puede cometer (grado de precisión de la ortofotografía, el mes de toma, etc.), la longitud de onda para esta anchura de lámina de agua y según esta relación sería de:

$$\lambda_1 = 11,85 \cdot W = 11,85 \cdot 21,79 = 258,21 \text{ metros}$$

Para un intervalo de confianza del 95%, las relaciones y el resultado serían (Ecuación 7 y 8):

$$\lambda_2 = 11,26 \cdot W = 245,36 \text{ metros} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\lambda_3 = 12,47 \cdot W = 271,72 \text{ metros} \quad \text{Ecuación 8}$$

Si tomamos el valor de la anchura media de la lámina de agua en el año 56, los valores de longitud de onda serían:

$$\lambda_1 = 11,85 \cdot W = 11,85 \cdot 54,15 = 641,68 \text{ metros}$$

$$\lambda_2 = 11,26 \cdot W = 609,73 \text{ metros}$$

$$\lambda_3 = 12,47 \cdot W = 675,25 \text{ metros}$$

Como era de esperar, y de acuerdo a los valores obtenidos, la longitud media del ancho de lámina de agua disminuye casi una tercera parte desde el año 1956.

La Tabla 6 resume los resultados obtenidos para los valores analizados.

Tabla 6. Tabla resumen de los valores anteriormente obtenidos. Añade el valor de la media aritmética de las longitudes de onda. Nota. W (anchura), λ (longitud de onda).

Año	W (m)	λ_1 (m)	λ_2 (m)	λ_3 (m)	λ_{media} (m)
2013	21,79	258,21	245,36	271,72	258,54
1956	54,15	641,68	609,73	675,25	642,49

Al ser la longitud de onda una característica morfológica fija en el corto plazo y difícil de modificar en magnitud, se ha decidido realizar el cálculo a la inversa. Para ello, se ha dividido el tramo mediante una malla cuadrada, de una medida aleatoria (con el fin de facilitar las medidas), y se han numerado los meandros desde aguas arriba, tal y como se aprecia en la Figura 42.

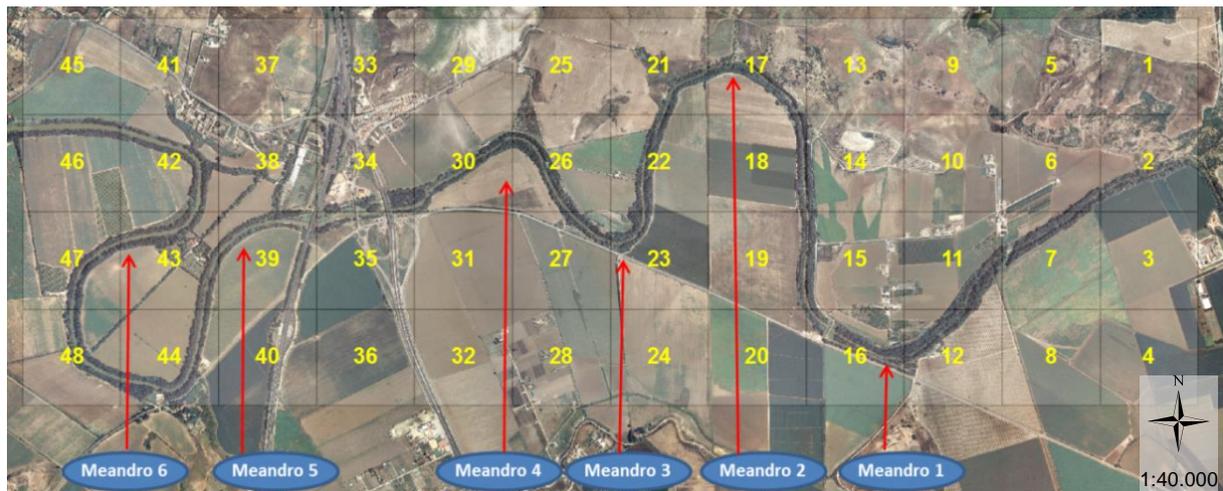


Figura 42. Cuadrícula y numeración de los meandros para la medición de longitudes de ondas.

Una vez conocida la distribución de los meandros, se han medido las longitudes de onda posibles. Con los valores de longitud de onda entre los meandros, se ha realizado la operación a la inversa, es decir, a partir de estas medidas se calcula el ancho de la lámina de agua que le correspondería, según las relaciones usadas anteriormente.

La Tabla 7 muestra los valores de longitud de onda medidos mediante un sistema de información geográfica, especificando las celdas involucradas, así como anchuras de lámina de agua calculadas y una media aritmética de éstas. Para ello se han usado las tres expresiones mencionadas anteriormente.

Tabla 7. Distintos valores de ancho de lámina de agua en relación a la longitud de onda medida. Nota. W_1 corresponde a la expresión propuesta por Thorne y Soar (2001); W_2 y W_3 corresponden a las expresiones para un intervalo de confianza del 95%.

Zona	λ (m)	W_1 (m)	W_2 (m)	W_3 (m)
2 - 17	2.294,3	193,6	203,8	184,0
2 - 21	2.311,2	195,0	205,3	185,3
6 - 21	2.204,5	186,0	195,8	176,8
7 - 22	2.052,5	173,2	182,3	164,6
11 - 22	1.747,3	147,4	155,2	140,1
12 - 23	1.588,0	134,0	141,0	127,3
16 - 23	1.242,9	104,9	110,4	99,7
15 - 27	1.091,3	92,1	96,9	87,5
19 - 26	1.227,6	103,6	109,0	98,4

Zona	λ (m)	W_1 (m)	W_2 (m)	W_3 (m)
18 - 26	1.277,5	107,8	113,5	102,4
18 - 16	1.342,4	113,3	119,2	107,7
17 - 26	1.176,6	99,3	104,5	94,4
21 - 30	899,2	75,9	79,9	72,1
22 - 30	900,9	76,0	80,0	72,2
22 - 30	909,7	76,8	80,8	72,9
22 - 30	1.031,8	87,1	91,6	82,7
39 - 42	257,1	21,7	22,8	20,6
39 - 43	699,6	59,0	62,1	56,1
43 - 42	670,2	56,6	59,5	53,7
43 - 42	911,7	76,9	81,0	73,1
44 - 46	1.225,8	103,4	108,9	98,3
44 - 46	1.460,9	123,3	129,7	117,2
44 - 50	1.519,2	128,2	134,9	121,8
48 - 50	1.246,3	105,2	110,7	99,9
Promedio	1.303,7	110,0	115,8	104,5

Como se puede observar, los valores de anchura de lámina de agua obtenidos se diferencian en gran medida de los que actualmente existen. Según estas relaciones morfológicas, para la longitud de onda media del tramo, la anchura de lámina de agua correspondiente sería de 110 metros, siendo el mínimo de 104,5 metros y el máximo 115,8. Como es comprensible, se trata de unas medidas medias poco detalladas, ya que en un sistema natural, la anchura del cauce variará en los tramos rectos y curvos, siendo mayor la anchura de la lámina de agua en los meandros y menor en los tramos rectos. Es necesario tener en cuenta que en el caso específico, no se trata de un sistema natural, sino que la cuenca presenta una alta regulación por embalses que limita los caudales transportados. Aun así, son valores que permiten apreciar como la gestión del hombre varía sustancialmente la morfología y dinámica de los ríos. Estos valores ponen de manifiesto, al igual que los problemas detectados anteriormente, que el río no presenta las condiciones óptimas necesarias para una buena dinámica lo cual se traduce, en este caso en particular, es un alto riesgo de inundación.

4. Propuestas

Tras el análisis de la situación en el Río Guadalete, en especial el tramo limitado por la barriada de La Ina y la barriada de La Corta, se proponen una serie de medidas para la mejora de la capacidad de desagüe del río, que minimice el riesgo de inundación en la zona.

Se diferenciará entre propuestas puntuales y generales.

4.1. Medidas Puntuales

Son aquellas destinadas a una zona específica del tramo, con problemas específicos. A continuación se citan:

Eliminación de los restos de escollera en el meandro de La Greduela.

La construcción del muro de escollera en el meandro La Greduela, en el lado izquierdo dirección aguas abajo, se realizó con una estabilidad insuficiente, dando lugar al desprendimiento del mismo y a la entrada de los bloques de piedra al cauce. Esto supone un obstáculo al paso del agua y una zona prioritaria de depósito de sedimentos, con la consiguiente pérdida de sección. Actualmente el talud se mantiene estable, ocupado por vegetación, sin la necesidad de estructuras permanentes. En la Figura 43 se muestra la situación de la zona en cuestión.



Figura 43. Situación del muro de escollera.

Según el histórico de inundaciones, éste es el primer meandro por el que el agua desborda en las zonas bajas de la vega del río, especialmente justo antes en la primera curva de casi noventa grados, pudiendo ser este el motivo que llevó a la protección con escollera de la

zona. También se propone disminuir la pendiente de los taludes, con el objetivo de evitar posibles deslizamientos de ladera y problemas de erosión.

Retranqueo de la mota en el meandro de la Greduela.

Tras la colonización de la zona interna al meandro por propietarios privados, en torno a 1970 se construyó una mota de protección longitudinal en el margen derecho del río en dirección aguas abajo, para evitar la entrada del agua. Dicha mota, presente en la misma zona mostrada en la figura anterior, limita el espacio fluvial por ese margen, y por tanto obliga al agua a tomar espacio por el margen izquierdo, también limitado por una vía pública e infraestructuras privadas.

Ante tales limitaciones, la anchura media de la zona está aproximadamente en 90 metros, que según los cálculos morfológicos anteriores son insuficientes, además de la experiencia. Por tanto, se propone el retranqueo de la misma, de manera que la sección útil permita una anchura similar a la necesaria según los cálculos.

Eliminación del Azud obsoleto de la barriada de La Corta.

Actualmente existe un antiguo azud del año 1900 aproximadamente (Figura 44), que se encuentra sumergido en su totalidad durante todo el año, y que además con la construcción del nuevo azud de labio fijo y móvil pierde toda posibilidad de uso. Se propone su retirada, al igual que se ha realizado en multitud de lugares del territorio español, ya que supone una barrera y por tanto una zona de depósito de sedimentos y por ende, pérdida de sección útil.

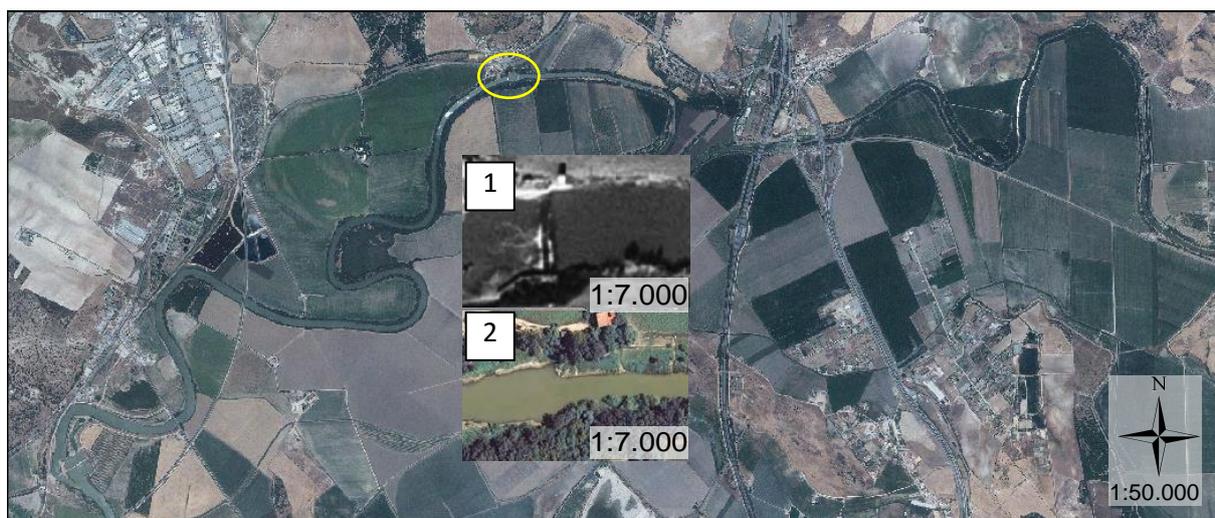


Figura 44. Situación del antiguo azud de La Corta. Nota. 1: imagen de 1956 donde se aprecia el azud, 2: Imagen actual donde ya no se aprecia el azud.

Apertura de un canal secundario en la zona de la Sierresuela.

En la zona denominada la Sierresuela, el canal presenta un alto riesgo de cegarse por la inminente caída de una masa rocosa de grandes dimensiones que cuelga de la zona alta. Se propone la apertura de un canal con las dimensiones adecuadas antes de llegar al punto conflictivo, con el objetivo de evitar el atasco que se podría producir ante la caída de tal masa de material y los consecuentes daños en las zonas colindantes. En la siguiente imagen (Figura 45) aparece la zona de riesgo, además de una representación básica de la propuesta.



Figura 45. Situación de la Sierresuela y representación básica de la propuesta.

Creación de Balsas de Resguardo ante grandes avenidas.

Se propone la creación de balsas de resguardo aguas arriba de la zona, con el fin de evitar la entrada de grandes caudales en el tramo con riesgo de inundación. Aunque la cuenca vertiente presente una amplia regulación, es necesario recordar que en periodos de grandes avenidas, los embalses han desaguado mayores caudales por motivos de seguridad, ya que la lámina de agua ha llegado a cotas máximas. Esta situación ha aumentado los efectos de las inundaciones, al aportar mayor caudal al ya existente aportado por la cuenca no regulada. Por tanto, se propone además el dragado de los embalses según su estado de colmatación así como una posible mejora y coordinación en la gestión de los caudales.

Buffer de vegetación en zonas de especial riesgo de contaminación.

De acuerdo con la Directiva Marco del Agua, conocida las zonas de riesgo de contaminación, se propone la creación de buffers de vegetación en dichas zonas con el fin de minimizar los contaminantes que lleguen al agua. Para ello es interesante contar con las especies más adecuadas en función del tipo de contaminante.

Las franjas vegetales riparias pueden definirse como superficies vegetadas que rodean cursos y masas de agua, y que cumplen una función de protección de la calidad del recurso hídrico, reducción de la erosión de los cauces, y la mejora del hábitat de las especies de flora y fauna asociadas (Magdaleno, 2011). En la Tabla 8 se detallan la anchura y tipos de vegetación recomendados de acuerdo con diferentes objetivos.

Tabla 8. Anchura y tipos de vegetación recomendados de acuerdo con diferentes objetivos (Magdaleno, 2011).

Objetivo	Vegetación	Anchura
Eliminación de sedimentos	Herbácea	9 – 30 m
Eliminación de nitrógeno	Arbolada y arbustiva	15 – 30 m
Eliminación de fósforo	Herbácea	9 – 30 m
Mejora de la distribución del régimen hidrológico	Arbolada y arbustivo o herbácea	Toda la llanura de inundación
Estabilización del cauce	Arbolada y arbustiva	Según la densidad de raíces
Mejora de hábitats en el cauce	Arbolada y arbustiva	20 – 30 m
Mejora de hábitats en las márgenes	Arbolada y arbustiva	100 m
Reducción de la temperatura del agua	Arbolada y arbustiva	10 m (mínimo)
Eliminación de pesticidas	Arbolada y arbustiva	15 m (mínimo)

Aunque en la tabla anterior se dan valores de anchura, esta varía en función de muchos factores según Wenger (1999):

- Pendiente de las márgenes.
- Superficie de terreno cuya escorrentía superficial llega directamente al tramo.
- Régimen de precipitaciones.
- Tasa de infiltración del suelo, así como otras características del mismo (potencial redox, pH, temperatura).
- Tamaño de la cuenca.

- Porcentaje de superficies impermeable.
- Características de la vegetación.

4.2. Medidas de ámbito general

Se detallan a continuación una serie de medidas aplicables a todo el tramo de estudio:

Apertura de segundos cauces cegados.

Se propone la apertura de los segundos cauces o bifurcaciones existentes en la zona, siempre que no sea posible la ganancia total de la sección, ya sea por materiales excesivamente duros o por otros motivos. Esto permitirá un mejor desagüe de la zona al ampliar la sección útil, además de una mayor naturalización del tramo. Algunos de los ejemplos se han mostrado en las figuras 38 y 39.

Uso de vegetación herbácea en primera línea desde la lámina de agua.

Se propone el uso y mantenimiento de vegetación herbácea variada, capaz de retener el material ante el efecto erosivo del río, y que además no ocupe sección útil de desagüe. De manera análoga, se aceptarían especies de vegetación arbustiva del tipo *Salix purpurea*, que presenta unas buenas características ante avenidas.

Entre las especies que se utilizan con mayor frecuencia se encuentra el lirio amarillo (*Iris pseudacorus*), el carrizo (*Phragmites australis*), el junco (*Juncus acutus*) y la espadaña (*Typha* spp.) entre otras. En esta zona en particular, debido a su ya presencia, se propone el uso del carrizo y la espadaña (*Typha dominguensis*), especies que proporcionan a su vez buenas condiciones para la nidificación de especies avícolas.

Uso de la sombra proporcionada por la vegetación arbórea.

Se propone la repoblación de las riberas, la línea más externa, con especies de vegetación arbórea que provean una alta densidad de sombra, de manera que evite la explosión de especies arbustivas y arbóreas leñosas no deseadas. En la zona es común la especie *Tamarix canariensis*. Esta especie en estadios adultos conforma una red de ramas y denso follaje que actúa como un verdadero freno al paso de residuos y demás materiales sólidos, que terminan dando lugar a tapones que incrementan el riesgo de inundación. Por tanto, mediante esta técnica se evitaría o minimizaría la colonización parcial de las márgenes

fluviales por esta especie, no entendiéndose esta propuesta como la eliminación completa de la especie, sino como especie necesaria de controlar especialmente en las zonas más cercanas a la lámina de agua.

Entre las especies arbóreas propuestas se encuentran el chopo (*Populus alba*), el fresno (*Fraxinus angustifolia*), el sauce (*Salix purpurea*, *S. alba*) y el olmo (*Ulmus minor*) entre otras especies, dependiendo de la distancia a la zona saturada, de acuerdo a la vegetación por sectores propuesta por el CEDEX en su *Guía visual interactiva de la vegetación de ribera española* (CEDEX, 2010), además de la vegetación definida en las *Series de vegetación edafohigrófila de Andalucía* (Junta de Andalucía, 2005) dentro de la obra *Modelos de restauración forestal* (Junta de Andalucía, 2004).

Eliminación parcial de la vegetación actualmente existente.

En consonancia con la anterior propuesta, se propone la eliminación parcial de algunas especies de vegetación existentes, con el fin de ganar sección y por tanto disminuir el riesgo de inundación. Especial interés presentan los pies pequeños y densos de las especies de *Tamarix* spp. en primera línea por su efecto barrera, tal y como se ha explicado, y los pies de *Eucalyptus camaldulensis* también en zonas cercanas al cauce, ya que debido a su gran porte, al mantenimiento de las hojas en invierno, y a su pequeño y superficial sistema radicular en estas zonas con abundante agua, presenta un riesgo alto de caída, como se ha podido comprobar en otras zonas del río por técnicos de la Administración, donde su voluminosa copa ciega los cauces y genera ciertos problemas.

Además, se propone que parte de la madera que haya sido obtenida en las claras realizadas, sea puesta a disposición de los propietarios privados durante un periodo de tiempo, con el fin de que éstos aprovechen la madera y junto con otros beneficios derivados de las actuaciones, se vean motivados a colaborar con la Administración en pro de un mejor estado del espacio fluvial.

Retirada de sedimentos en el ancho del río.

Actualmente el río cuenta con una lámina de agua de entre 9 y 50 metros. En aquellas zonas donde el río presente secciones inferiores a 20 metros de ancho en la lámina de agua, se propone la apertura del mismo a este ancho. La limitación de 20 metros es resultado de las

limitaciones de alcance de las máquinas necesarias para el mantenimiento del río en buenas condiciones.

Mantenimiento de las zonas inundables aguas arriba del tramo y en el propio tramo.

Se propone el mantenimiento de las zonas de laminación existentes aguas arriba del tramo, controlando un depósito excesivo de sedimentos, y la ocupación por vegetación no deseada. Para ello se propone una situación de encharcamiento continuo, favoreciendo el control que ejerce éste sobre la ocupación por vegetación, especialmente leñosa. Con esta mejora se propicia la pérdida de energía y la disminución del calado, además de los beneficios ecológicos, ya que mejoraría la zona desde un punto de vista del hábitat para las especies.

Deslinde de los terrenos pertenecientes al río ocupados por propietarios privados.

Se propone el deslinde de las zonas que han sido ocupadas por propietarios privados sin la autorización pertinente, tomando como referencia la imagen de 1946, además de las necesidades hidráulicas del río (análisis morfológico). En la actualidad, se conoce que la Administración ha sido capaz de ganar terreno a los propietarios en esta zona en particular. El principal objetivo de esta medida es minimizar el riesgo de inundación, así como permitir al río llevar parte de su dinámica natural, de acuerdo a la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) y la Directiva de Inundaciones (Directiva 2007/60/CE), donde queda explícitamente dicho que *“...se garantizará en la medida de lo posible un espacio suficientemente grande como para que el río lo inunde de manera ocasiona, ya que este régimen de inundaciones debe promoverse, al tratarse de un proceso natural y necesario para los ecosistemas fluviales...”*.

Algunas de estas zonas se aprecian en las figuras 33 y 34.

Regulación de los arroyos contribuyentes al tramo.

Se propone la mejora de los arroyos contribuyentes al tramo (Arroyo Salado de Espera y Arroyo Morales), en especial el arroyo Salado de Espera, debido a la gran superficie de su cuenca contribuyente. Se plantea la implementación de medidas de revegetación con el fin de disminuir la carga de sedimentos, así como llevar un control de los caudales que estas cuencas generan, ya que se trata de una cuenca de carácter agrícola y que según algunos

estudios de la Junta de Andalucía, llegan a introducir un mayor caudal que el del propio río Guadalete en ciertas épocas.

En la Tabla 9 se muestran los caudales para distintos periodos de retorno en dos tramos del Guadalete, teniendo en cuenta únicamente la zona por debajo de los embalses presentes en la cuenca, es decir, la zona no regulada, y tomando por un lado como punto de desagüe el meandro de la Greduela y por otro la intersección del arroyo Salado de Espera y el Guadalete (Figura 46). En rojo representa el Arroyo Salado de Espera y en amarillo el meandro de La Greduela, puntos de medida de caudales.



Figura 46. Situación del Arroyo Salado de Espera y meandro de la Greduela sobre imagen del 2013.

Tabla 9. Caudales en $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ para distintos periodos de retorno. Fuente: Junta de Andalucía (2016).

T (años)	2	2,33	5	10	25	50	100	250	500	1000
Greduela	457,8	505,3	733,1	941	1.226,2	1.441,5	1.661,8	1.958,9	2.183,8	2.435,6
Greduela + A. Salado	570,8	631,3	911,2	1.164,0	1.512,4	1.779,9	2.053,1	2.412,5	2.687	2.987,4
A. Salado	113,0	126,0	178,1	223,0	286,2	338,4	391,3	453,6	503,2	551,8

Como se observa en la tabla, los valores de caudal para el arroyo Salado no son despreciables. Como se verá más adelante, el caudal capaz de evacuar la sección actual es bastante menor al primero expuesto, en este caso $457,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, esperando en ese caso inundaciones con mayor frecuencia.

Caudal de equilibrio.

Se propone la fijación de un caudal de equilibrio, que mejore las condiciones de las especies que habitan en la zona, así como la dinámica natural del río. Al tratarse de una cuenca muy

regulada y de fuerte carácter agrícola, el caudal que circula por el río Guadalete a su paso por el tramo de estudio permanece casi constante a lo largo del año, siendo éste algo superior en los meses de verano, obedeciendo a la mayor demanda de la agricultura, lo cual no corresponde a una dinámica natural del ecosistema. Por tanto, se considera necesario y de gran importancia caracterizar el caudal, simulando una situación relativamente natural, con objeto de mejorar la dinámica natural del río así como las condiciones de hábitats de las especies.

Medidas para disminuir el tiempo de residencia del agua en la vega tras inundaciones.

Se propone la construcción y mantenimiento de una efectiva red de drenaje, que permita disminuir el tiempo de residencia del agua en la llanura, ya que el principal problema de las avenidas en esta zona, es el deterioro de las producciones agrícolas y bienes materiales por el mantenimiento de estos en condiciones saturadas e inundadas. Se propone la construcción de badenes y el mantenimiento de cauces de arroyos en buen estado, de manera que se fomente el uso de éstos como flujos preferentes de retorno de los caudales al río.

Uso del nuevo azud con fines hidráulicos.

Se propone realizar aperturas y cierres del azud de labio fijo y móvil construido recientemente en la barriada de El Portal, cada corto periodo de tiempo, con el fin de promover el arranque de sedimentos y limpieza del cauce como respuesta a su apertura. Para ello será necesaria una buena organización y análisis de los efectos, tanto positivos como negativos que esta actividad provocaría en la zona, con especial atención sobre los momentos de cría y desove de las especies, así como sobre las condiciones hidráulicas del canal aguas abajo.

5. Estudio de caso

Tras haber analizado la problemática de la zona, y haber propuesto actuaciones generales y puntuales, se ha llevado a cabo el estudio de un caso concreto, el meandro La Greduela, primer punto crítico en el tramo de estudio.

La Greduela presenta una estructura compleja por varios motivos, la limitación del espacio que supone la mota en el lado derecho en dirección aguas abajo y la carretera provincial en el izquierdo. Además, es la zona donde el muro de escollera se deslizó siendo finalmente éste un obstáculo al paso del agua. También en este mismo tramo, se encuentra el puente homónimo al meandro, que fue modificado estructuralmente por motivos de crecidas que superaron la cota superior del plato. Es además el primer punto por donde el agua inunda la vega del tramo, según se ha podido confirmar por la experiencia en la zona.

Por todos estos motivos, se ha decidido que podría ser un punto interesante donde con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica, junto con la herramienta HEC-RAS, además de los datos proporcionados por la Administración, se podría simular con datos del cauce una situación inicial, sin cambios, y otra posterior con modificaciones en la sección para comprobar qué mejora, en términos de caudal, supondrían las actuaciones propuestas.

En primer lugar, es necesario comentar que los datos de partida son insuficientes, lo cual limita su uso y practicidad, así como la fiabilidad de los resultados. Como información geográfica se ha hecho uso de modelos digitales de elevaciones obtenidos a partir de un vuelo LIDAR realizado en el 2008, con una precisión de 1 metro cuadrado de píxel. En relación al tipo y calidad de los datos, no se tiene información, por lo que durante el transcurso del proceso de análisis se han tenido que tomar decisiones basadas en la suposición, que serán explicadas posteriormente. Toda la información fue obtenida en el 2008, por lo que no considera los cambios que ha habido en la zona con posterioridad.

Los datos relacionados con el río se han obtenido de fuentes de información poco validadas, como algunos estudios sencillos realizados por la propia Junta de Andalucía, o a partir de datos obtenidos por los técnicos de la misma de forma poco detallada. Este es el caso el calado medio del tramo, que se estima en torno a 1,5 metros.

Para definir las dimensiones del Puente La Greduela (Tabla 10), se ha usado información aportada por la Administración (Blanco Rodríguez, 2013). Los cambios propuestos podrían comprometer la estabilidad del puente, por lo que a efectos de simulación se ha supuesto un mayor número de pilas, situadas a la misma distancia a la que se disponen en la actualidad.

Tabla 10. Dimensiones Puente La Greduela

Dimensiones del puente La Greduela	
Altura superior plato (m)	8
Espesor plato (m)	0,85
Distancia entre pilas (m)	14
Anchura del plato (m)	6

Tras las premisas expresadas en los párrafos anteriores, se explica a continuación el proceso seguido y los resultados obtenidos.

En la Figura 47 aparece la zona de actuación, donde se puede distinguir la situación del meandro, las secciones a analizar, así como un modelo digital de elevaciones en formato TIN (*Triangulation Irregular Network*) o Red de Triangulación Irregular, que representa el modelo digital de elevaciones (dato de entrada en la aplicación HEC-GeoRAS).

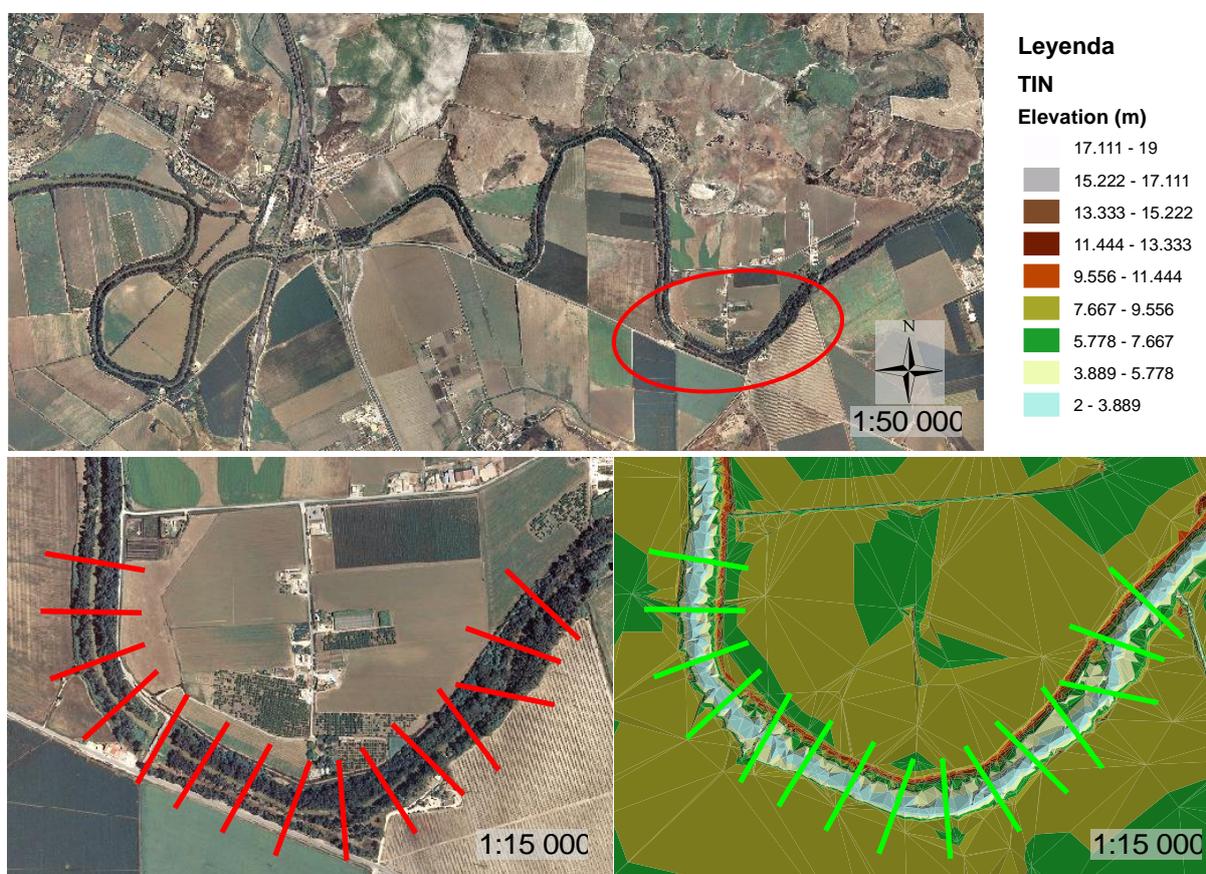


Figura 47. Situación de la Greduela, con detalle de las secciones analizadas y modificadas.

Tal y como se mencionó en párrafos anteriores, no se ha dispuesto de la información característica del vuelo LIDAR. Para poder trabajar con los datos, se ha supuesto que la información aportada corresponde, en el caso de la masa de agua, a la superficie de la lámina de agua, y no al lecho del cauce. Se ha llegado a tal conclusión por presentar la cota mínima de dos metros, coincidente con la altura de la lámina de agua en ese periodo según se aprecia en los datos de nivel de agua de la estación del Guadalete mostrado (Tabla 11).

Tabla 11. Cota de la lámina de agua en el año 2008. Fuente. Sistema Automático de Información Hidrológica de las Cuencas del Guadalquivir - Guadalete y Barbate.

Mes	Cota (m)	Mes	Cota (m)
ene-08	2,02	jul-08	1,79
feb-08	1,95	ago-08	1,69
mar-08	1,91	sep-08	1,81
abr-08	2,1	oct-08	2,18
may-08	1,98	nov-08	2,22
jun-08	1,92	dic-08	2,14

Los valores están en torno a 2 metros, correspondiendo con la cota mínima de los datos LIDAR.

Como secciones se han tomado todas las mostradas en las figuras anteriores, teniendo especial importancia la anterior y posterior al puente La Greduela, al ser el puente una condición imprescindible y limitante a tener en cuenta, en tanto que los caudales no sobrepasen el plato del puente y éste entre en carga.

Las secciones se han tomado a una distancia de 100 metros entre secciones. La anchura de perfiles ha sido de 200 metros, con el fin de poder ver la sección completa, así como el terreno colindante al río.

Una vez definidas las secciones con el programa HEC-GeoRAS, se ha hecho uso del programa HEC-RAS, con el fin de visualizar las secciones iniciales y caracterizar las nuevas secciones, que mejoren las condiciones hidráulicas del tramo y por tanto minimice el riesgo de inundación.

A continuación se muestran las secciones en planta. En la Figura 48 se aprecia tanto las secciones tenidas en cuenta, el puente La Greduela así como la dirección de flujo.

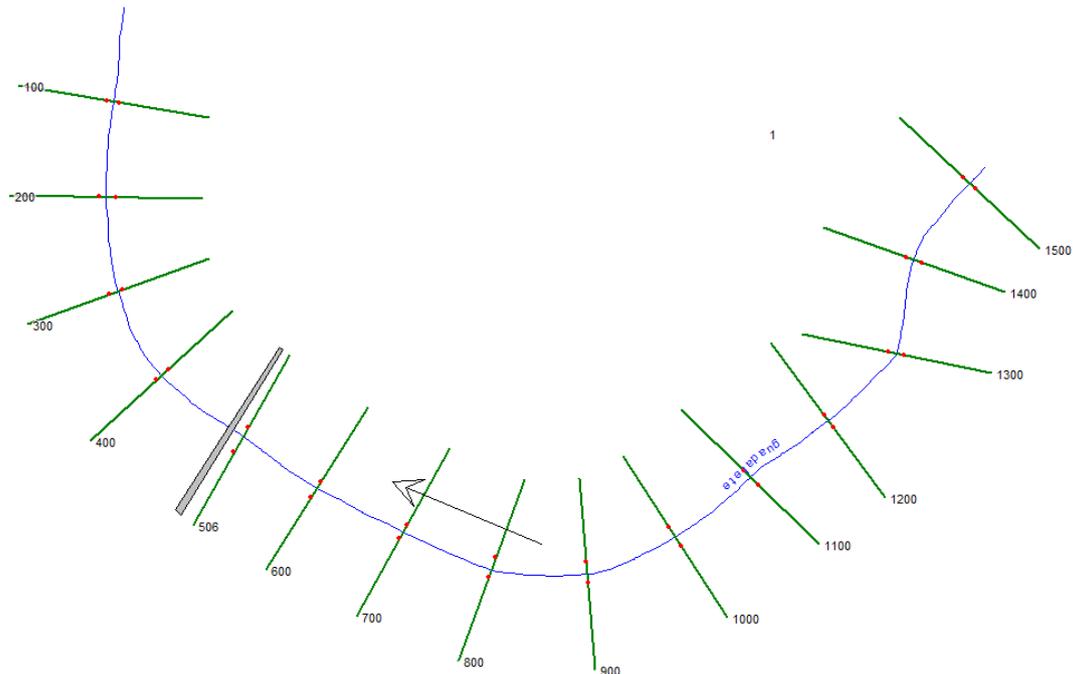


Figura 48. Vista en planta de las secciones del subtramo.

Estas secciones se caracterizan por presentar una estrecha lámina de agua, tal y como se comentaba en apartados anteriores. La sección disponible para el paso de caudales, ha sido ocupada por vegetación, principalmente taraje, acompañado de álamo blanco, sauce y eucalipto principalmente. Teniendo en cuenta tales condiciones, se ha decidido que los valores del coeficiente de rugosidad “n” de Manning para las secciones sean los siguientes, según Chow (1956).

- Lámina de agua (lecho del río): 0,027.
- Zona arbórea – arbustiva densa de sauces: 0,150.

Por tanto, teniendo en cuenta estas condiciones, el caudal aproximado para la entrada en carga del puente La Greduela, sería de $150 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. En la Figura 49 se aprecia el detalle de la sección del puente obtenida mediante HEC-RAS 4.1. sin ningún tipo de modificación.

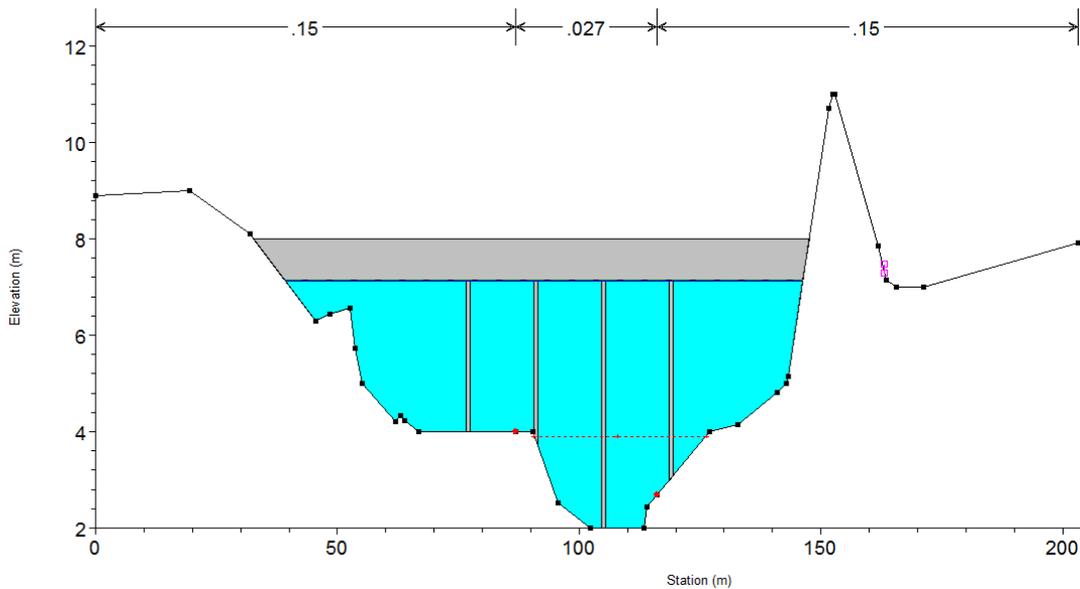


Figura 49. Sección del Puente La Greduela original con caudal de $150 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

En la figura se aprecia:

- Elevación (m) en el eje de ordenadas.
- Longitud de la sección medida (m) en el eje de abscisas.
- Puente La Greduela.
- Valores de rugosidad 'n' de Manning en el eje de abscisas superior.

Tal y como se comentó en relación a los caudales dados por la Administración para los distintos periodos de retorno, éstos parecen demasiado elevados, especialmente teniendo en cuenta la capacidad de desagüe del río, y que en tal situación, la frecuencia de inundaciones aparentemente sería mayor a la existente en la actualidad.

En la Figura 50 se muestran el resto de secciones que forman el subtramo determinado sin modificaciones.

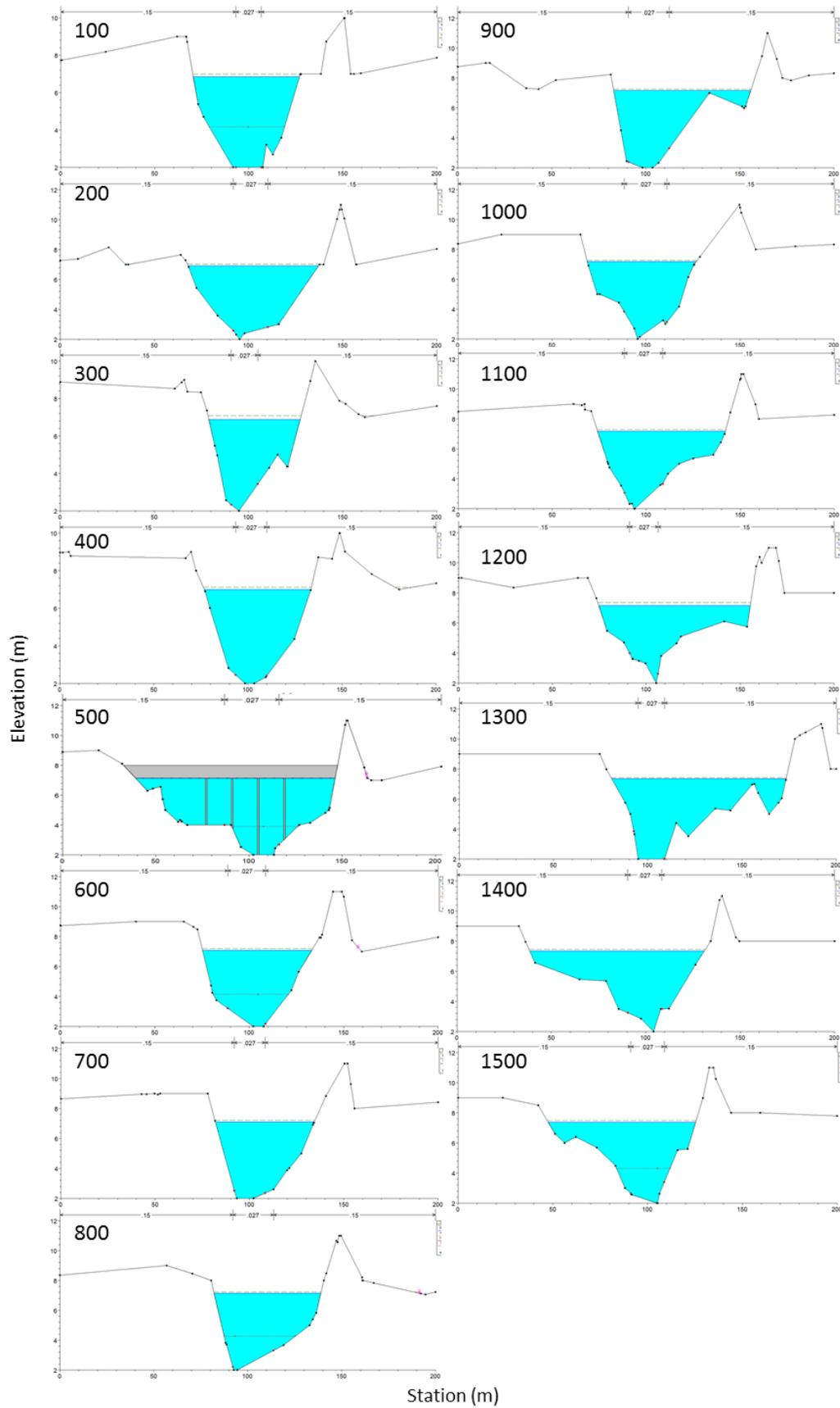


Figura 50. Secciones iniciales del subtramo.

Se observa la variabilidad entre secciones, tanto en forma como en superficie de agua. También se puede diferenciar la mota en el lado derecho de las secciones, tal y como se comentaba en apartados anteriores. Es interesante ver también, como en la sección 300 (especialmente) y 200, se observa una mota de baja altura en el margen izquierdo, probablemente hecha por el propietario como protección ante las crecidas. Por último señalar, como en las secciones 1200 y 1300, se aprecia los restos de un antiguo cauce cegado por el paso del tiempo, el cual puede verse relativamente bien en la ortofotografía de 1946.

Una vez definida y visualizada la situación inicial, se procede a la caracterización morfológica de las nuevas secciones. Para ello se han tenido en cuenta varias condiciones que limitan las dimensiones de cada zona de la sección, así como recomendaciones hechas por técnicos de la Administración.

La lámina de agua se limita a una anchura de 20 metros, limitación impuesta por la maquinaria necesaria para el mantenimiento de las secciones. La maquinaria pesada, tiene un alcance máximo del brazo de aproximadamente 10 metros, suponiendo la entrada de la máquina por ambos márgenes, la longitud cubierta sería de 20 metros.

Dada la falta de información del río, como pendientes de los taludes se han tomado dos, la primera, correspondiente al talud del cuenco ocupado por la masa de agua, se ha definido en 1 H: 1 V, lo que supone un ángulo de 45 grados sexagesimales. Este valor está basado en observaciones y comprobaciones en campo; se ha podido comprobar igualmente que el río presenta materiales bastante cohesivos y cementados, confiriéndole una alta resistencia ante la erosión del agua. Otro hecho que justifica este tipo de talud son las oscilaciones ascendentes – descendentes de la propia lámina de agua de manera continua, debido a que el caudal permanece regulado casi completamente por los embalses, y por tanto con poca variación, exceptuando la provocada por la demanda agrícola.

En la Tabla 12 aparecen el valor máximo, mínimo y medio de la cota de agua en la serie de datos disponible (octubre de 1999 – actualmente). Se aprecia que la cota media del periodo estudiado, coincide perfectamente con la hipótesis de que la información dada por el vuelo LIDAR correspondía con la superficie de la lámina de agua y no con el lecho del cauce.

Tabla 12. Tabla resumen de las cotas medidas en el intervalo de tiempo Octubre de 1999 hasta Febrero 2016. Fuente. Sistema Automático de Información Hidrológica de las Cuencas del Guadalquivir - Guadalete y Barbate.

	Cota (m)
Máximo	2,79
Mínimo	0,84
Media	2,00
Desviación	0,24

La cota máxima que se muestra en la tabla no corresponde a la máxima del periodo, ya que ha habido episodios de grandes avenidas, coincidiendo en la mayor parte de las fechas de tales cotas, tal y como se aprecia en la Tabla 13.

Tabla 13. Máximas cotas correspondientes a los episodios de avenidas. Fuente. Sistema Automático de Información Hidrológica de las Cuencas del Guadalquivir - Guadalete y Barbate.

Fecha	Cota (m)	Fecha	Cota (m)
mar-13	4,66	abr-13	3,49
feb-10	4,48	mar-10	3,45
ene-10	4,02	dic-09	3,39

La segunda medida del talud es la correspondiente al resto de taludes que definen la sección, en este segundo caso es de 2,5 H: 1 V, según propone De Salas Regalado en 1996, como pendiente estable.

A una cota de 2 metros (misma cota de la lámina de agua) se creará una llanura de anchura variable entre 0 y 5 metros, dependiendo de la disponibilidad en cada sección, que durante parte del año se cubra de agua y por tanto de vegetación herbácea y alguna leñosa. Las condiciones de saturación de los horizontes superficiales permiten y potencian el establecimiento de vegetación herbácea y en menor medida de vegetación leñosa. En caso de alcanzarse altas densidades de vegetación leñosa, será necesaria la extracción de individuos.

La vegetación herbácea propuesta (*Typha dominguensis*, *Juncus acutus*, *Phragmites australis*) permite el mantenimiento de la máxima sección útil en momentos de avenidas, gracias a sus características morfológicas, en contraposición de la pérdida de sección que podrían provocar especies del tipo *Tamarix canariensis*, actuando así como tapón.

Posteriormente, se creará una segunda llanura a una cota de 2,5 metros, dedicada al establecimiento de la maquinaria en los momentos necesarios para la eliminación de

sedimentos y vegetación. La cota ha sido establecida de acuerdo a la experiencia aportada por los técnicos de la Administración, como cota mínima a la cual la maquinaria no presenta problemas de estancamiento por materiales poco compactos. La anchura de esta llanura tendrá una dimensión mínima de 4 metros (dimensión mínima necesaria para las maniobras de la máquina) y la máxima será variable dependiendo también de la disponibilidad de espacio. Esta llanura se mantendrá con una vegetación poco densa, compuesta principalmente por *Tamarix canariensis*, especialmente en aquellos momentos en que se considere necesaria la entrada de máquinas en el cauce.

Posteriormente, se creará una llanura de un máximo de 4 metros, también dependiendo de las posibilidades, dirigida a senderos secundarios, a una cota de 3,5 metros.

Consecutivamente, se dispondrá de un talud de anchura variable, dependiendo de la cota máxima del margen externo. Este talud será repoblado por especies típicas de riberas como *Fraxinus angustifolia*, *Populus alba*, *Ulmus minor*, planteándose además el uso de especies de bajo porte con el objetivo de posibilitar ventanas de paisaje al eje central del río.

Una vez alcanzada las cotas superiores en las márgenes, especialmente en la izquierda (dirección descendente) por la mayor disponibilidad de terreno, la zona será dedicada a caminos y vías destinadas al paseo de los ciudadanos, uso de bicicletas así como vías para paseos a caballo, también practicado en la zona (Granja Escuela). La anchura de éstas variará dependiendo de la disponibilidad de terreno. Se ha considerado como anchura mínima 2 metros, orientada al paseo a pie.

Una vez definida la sección tipo, se procede a la introducción de la misma en HEC-RAS. Como datos de entrada en el programa son:

- Coeficiente de rugosidad “n” de Manning (Chow, 1956).
 - Vegetación arbórea – arbustiva poco densa: 0,060
 - Zona de pasto en planicies: 0,035
 - Canales excavados o dragados: 0,027

El valor del coeficiente de rugosidad será el valor ponderado en función de la longitud de cada tipo de superficie.

- Pendiente media del cauce: 0,0003 (m/m)

Para la definición de la pendiente media del cauce, se ha tomado la pendiente media del valle (facilitada por la Administración), ya que la información existente no presenta suficiente precisión como para definirla en la longitud del tramo.

Introducidos estos valores en el programa, el caudal con el que entra en carga el puente La Greduela, es de $295 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, esto supone un aumento de $145 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, es decir, el caudal capaz de desaguar la nueva sección es el doble del que circula en la actualidad.

En la Figura 51 se aprecia el detalle de la nueva sección propuesta con todos los cambios realizados.

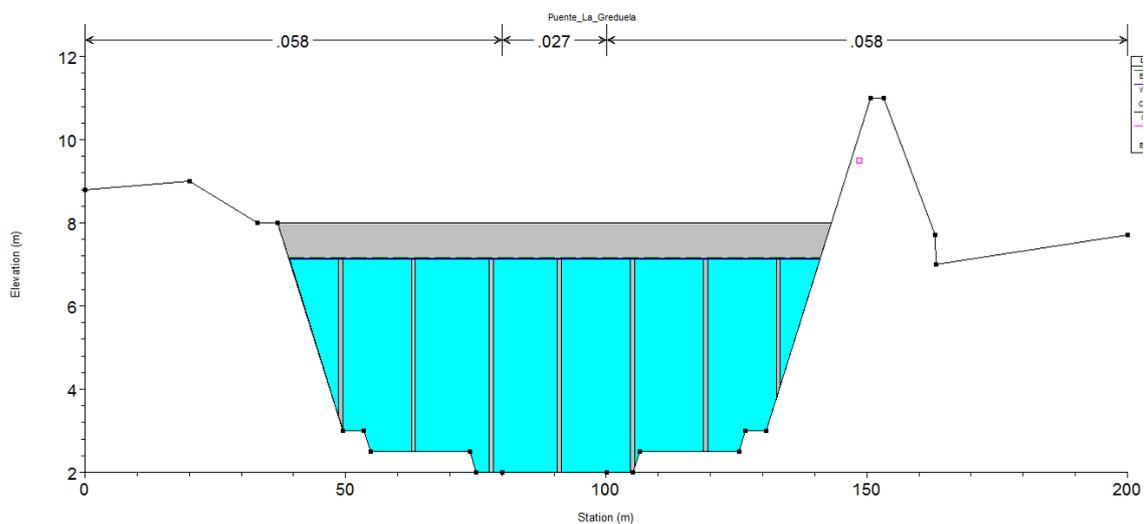


Figura 51. Sección del Puente La Greduela objetivo con caudal de $295 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

La figura muestra:

- Elevación (m) en el eje de ordenadas.
- Longitud de la sección medida (m) en el eje de abscisas.
- Puente La Greduela.
- Valores de rugosidad 'n' de Manning en el eje de abscisas superior.

Como se puede apreciar, los cambios realizados en la sección son notables, lo que posibilita la obtención de una gran mejora hidráulica, y la consecución del objetivo del presente trabajo, disminuir la frecuencia de inundaciones en la zona o el alcance de las mismas. Es importante tener en cuenta que en base a los datos de caudales, en ambos casos, el periodo de retorno sería inferior a los dos años. A continuación (Figura 52) se muestran el resto de secciones que conforman el subtramo analizado con las modificaciones realizadas.

En la figura se observan los cambios realizados en todas las secciones, teniendo en cuenta las premisas anteriormente expuestas. Se observa una ganancia importante sección útil, y por tanto un mayor caudal posible a desaguar.

Es importante comentar, que tras obtener la imagen objetivo, es necesario un mantenimiento de la sección, si se quiere perpetuar la capacidad de desagüe en el tiempo.

Aunque los cambios podrían considerarse agresivos, es necesario tener en cuenta, que la vegetación de ribera presenta una resiliencia elevada, es decir, es capaz de volver a su estado inicial en un corto periodo de tiempo. Además, en el caso de la masa arbórea, se respetaría aquellos pies que tengan una especial relevancia en cualquier sentido del ecosistema, además de su valor intrínseco.

Es necesario remarcar, que se trata de una gestión integral del sistema fluvial, donde se tiene en cuenta no solo las condiciones hidráulicas del medio, sino que está acompañada de una visión paisajística y ecológica.

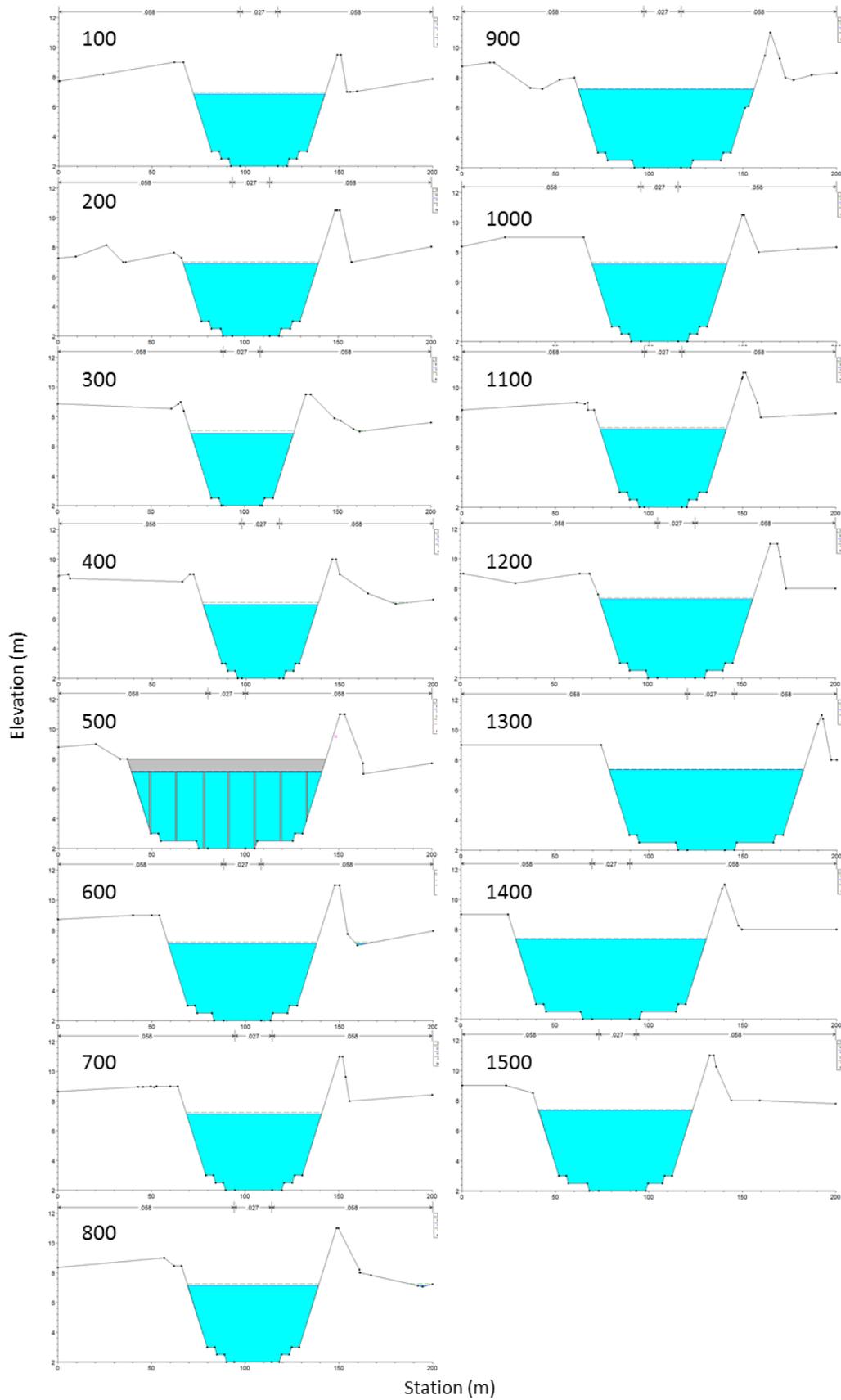


Figura 52. Secciones definidas para el meandro La Greduela

6. Conclusiones

- Tras el diagnóstico del río Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera llevado a cabo en el presente trabajo, se constata la necesidad de una gestión integral del sistema fluvial, con dos objetivos: minimizar el riesgo de inundación, considerando el uso paisajístico y recreativo, y mejorar los ecosistemas fluviales. El estudio hidráulico y de inundaciones históricas, revela la baja capacidad de desagüe del río Guadalete y de sus arroyos confluentes para los caudales dados, así como la pobre calidad de sus ecosistemas, poniendo en riesgo los bienes y sustentos de personas y demás seres vivos.
- El espacio disponible a garantizar, de acuerdo a la Directiva (CE/60/2007) relativa a las Inundaciones, para una buena dinámica natural del río se muestra claramente insuficiente. La actuación de la Administración en este sentido debe de ser prioritaria, de manera que se permita una gestión hidrológico – forestal adecuada de acuerdo a las Directivas Europeas.
- Tras la simulación de las actuaciones propuestas, se pone de manifiesto las posibilidades que el espacio fluvial presenta, aumentado casi al doble el caudal capaz de transportar y por tanto disminuyendo el riesgo de inundación.
- Durante el análisis pormenorizado de la información disponible, se ha percibido de manera generalizada en todas las áreas que intervienen en la gestión de los sistemas fluviales una insuficiente base de datos. Esto ha supuesto y supone un hándicap para la precisa evaluación de la magnitud e impacto de los problemas reales en la zona.
- La experiencia personal en la zona, el diagnóstico y la posterior realización de propuestas, pone de manifiesto la alta dificultad que supone la gestión de los sistemas fluviales, dado el gran número de agentes implicados y los distintos intereses en el uso del agua.

7. Bibliografía

- Baena Pérez J, Cazo G, Goy JL (1984) Mapa geológico de España escala 1:50.000 Hoja 1062 Paterna de Rivera. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Blanco Rodriguez J (2013) Reflexiones sobre las principales causas que han influido en las inundaciones provocadas por el desbordamiento del río Guadalete en Marzo de 2013. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Cádiz.
- CEDEX (2010) Guía visual interactiva de la vegetación de ribera española. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Chazarra A, Mestre Barcelo A, Cunha S, et al (2011) Atlas climático ibérico. Agencia Estatal de Meteorología de España, Instituto de Meteorología de Portugal.
- Chow VT (1956) Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, Illinois.
- Consortio de Compensación de Seguros (2015) Informe Anual 2014. Madrid.
- Constitución Española 29 de Diciembre de 1978, Madrid, España.
- De Salas Regalado L (1996) Análisis comparativo entre los distintos métodos de cálculo de escollera. Montes, 34-38.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2007) Part 654 Stream Restoration Design Capítulo 12. National Engineering Handbook, Washington.
- Decreto 189/2002 de 2 de julio relativo al Plan de prevención de avenidas e inundaciones en cauces urbanos andaluces, Sevilla, España.
- Decreto 357/2009 de 20 de octubre por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas de las cuencas intracomunitarias situadas en Andalucía. Sevilla, España.

Dirección General de Protección Civil y Emergencias. (2006). *Catálogo nacional de inundaciones históricas*. Madrid: Ministerio de Interior.

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea. Por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, Estrasburgo (Francia), Bruselas (Bélgica), Luxemburgo, 23 de octubre de 2000.

Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea. Evaluación y gestión de los riesgos de inundación, Estrasburgo (Francia), Bruselas (Bélgica), Luxemburgo, 23 de octubre de 2007.

Junta de Andalucía (2004) Modelos de restauración forestal. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Sevilla.

Junta de Andalucía (2005) Series de vegetación edafohigrófila de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Sevilla.

Junta de Andalucía (2012a) Evaluación preliminar del riesgo de inundaciones en Andalucía. Demarcación hidrográfica Guadalete y Barbate. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Sevilla.

Junta de Andalucía (2012b) Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalete y Barbate periodo 2009 - 2015. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Cádiz.

Junta de Andalucía. (2015). Río Guadalete. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Cádiz.

Junta de Andalucía (2016) Estudio de caudales del río Guadalete. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Cádiz.

Leopold LB (1994) *A View of the River*. Harvard University Press, Berkeley.

Ley 10/2001 de 5 de julio relativa al Plan Hidrológico Nacional, Madrid, España.

Ley 21/2013 de 9 de diciembre de Evaluación ambiental, Madrid, España.

Ley 3/2004 de 28 de diciembre relativa a las Medidas Tributarias, Administrativas y Financieras, Sevilla, España.

Ley 42/2007 de 13 de diciembre relativo al Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Madrid, España.

Ley 43/2003 de 21 de noviembre de Montes. Madrid, España.

Ley 9/2010 de 30 de julio de aguas de Andalucía, Sevilla, España.

Magdaleno Mas F (2011) Manual de técnicas de restauración fluvial, Segunda Edición. CEDEX, España.

Real Decreto 1560/2005 de 23 de diciembre relativo al Traspaso de funciones y servicios del Estado a la Comunidad Autónoma de Andalucía en materia de recursos y aprovechamientos hidráulicos correspondientes a las cuencas andaluzas vertientes al litoral atlántico (Confederaciones Hidrográficas del Guadalquivir y del Guadiana). Madrid, España.

Real Decreto 206/1889 de 24 de julio por el que se establece el Código Civil, última modificación 6 de octubre de 2015, Madrid, España.

Real Decreto 2130/2004, de 29 de octubre, sobre traspaso de funciones y servicios de la Administración del Estado a la Comunidad Autónoma de Andalucía en materia de recursos y aprovechamientos hidráulicos (Confederación Hidrográfica del Sur), Madrid, España.

Real Decreto 849/1986 de 11 de abril relativo al Reglamento del dominio público hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1982 de 2 de agosto de agua, Madrid, España.

Real Decreto 9/2008 de 11 de enero relativo a la Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril. Madrid, España.

Real Decreto 907/2007 de 6 de julio relativo al Reglamento de la Planificación Hidrológica. Madrid, España.

Real Decreto 927/1988 de 29 de julio relativo al Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas. Madrid, España.

Real Decreto Legislativo 1/2001 20 de julio por el que se aprueba el Texto refundido de la Ley de Aguas, Madrid, España.

Real Decreto Legislativo 903/2010 9 de julio relativo a la Evaluación y gestión de riesgos de inundación, Madrid, España.

Sánchez García JM (2012) Intervención en el río Guadalete, en torno al puente de Cartuja (Jerez de la Frontera, Cádiz) 2010 - 2011. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Cádiz.

Sánchez García JM (2014) Actuaciones de restauración fluvial en la provincia de Cádiz 2010 - 2014. Consejo Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Cádiz.

Sánchez García JM (2013) Informe sobre los episodios de inundaciones por crecidas del río Guadalete a su paso por Jerez de la Frontera (Marzo de 2013). Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Cádiz.

Seminario Ministerial sobre Aguas Subterráneas de 1991, La Haya, Holanda.

Seminario Ministerial sobre Políticas de Aguas de 1988 de la Comunidad, Fráncfort, Alemania.

Soar PJ, Thorne CR (2001) Channel Restoration Design for Meandering Rivers. U.S. Army Corps of Engineers, Nottingham.

Tratado de la Unión Europea de 7 de febrero de 1992, Maastricht, Países Bajos.

Unión Europea (1995) El Medio Ambiente en la Unión Europea. Agencia Europea de Medio Ambiente, Luxemburgo.

Wenger S (1999) A review of the scientific literature on riparian buffer width, extent and vegetation. Institute of Ecology, University of Georgia, Atenas.