

FUNDACIÓN CONDE DEL VALLE DE SALAZAR

E.T.S. INGENIEROS DE MONTES, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

# **EVOLUCIÓN DEL TERRITORIO FLUVIAL DEL RIO GUADALETE Y PROPUESTAS PARA LA MEJORA DE SU FUNCIONAMIENTO HIDRO-MORFOLÓGICO**



**POLITÉCNICA**

**Madrid, 2010**

FUNDACIÓN CONDE DEL VALLE DE SALAZAR

**EVOLUCIÓN DEL TERRITORIO FLUVIAL DEL RIO  
GUADALETE Y PROPUESTAS PARA LA MEJORA DE  
SU FUNCIONAMIENTO HIDRO-MORFOLÓGICO**

**Marta González del Tánago**

**Mercedes Román**

**Diego García de Jalón**

**Carolina Mayoral**

*Grupo de Investigación de Hidrobiología  
E.T.S. Ingenieros de Montes  
Universidad Politécnica de Madrid*

**Noviembre de 2010**

Este Trabajo ha sido financiado por la empresa de Luis Linares, Consultora de Planificación y Gestión Ambiental y Forestal de la provincia de Cádiz.

Agradecemos su colaboración, así como la de todos los Técnicos de la Agencia Andaluza del Agua de esta provincia, ofreciendo la documentación aportada y el apoyo para el desarrollo del Estudio.

# INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA</b>	
2.1. Delimitación del Territorio fluvial .....	2
2.2. Unidades morfológicas .....	4
2.3. Anchura del canal fluvial .....	5
2.4. Régimen de caudales .....	6
<b>3. RESULTADOS</b>	
3.1. Características generales del valle y corredor fluvial .....	8
3.2. Variación de la superficie del Territorio fluvial .....	12
3.3. Evolución de las distintas unidades morfológicas .....	13
3.4. Variación de la anchura del cauce .....	16
3.5. Alteración hidrológica	
3.5.1. Promedios de los caudales medios diarios .....	19
3.5.2. Otros indicadores de alteración hidrológica ...	24
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>29</b>

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En el invierno de 2010-2011 se produjeron grandes precipitaciones en una gran parte de Andalucía, y el río Guadalete desbordó e inundó una gran superficie de terreno de Jerez de la Frontera en su tramo bajo.

Los consiguientes daños y la perturbación causada por las inundaciones, que se mantuvieron durante varias semanas, han motivado un gran interés sobre el funcionamiento hidrológico del Guadalete, y propiciado la puesta en marcha, por parte de las administraciones locales y regionales, y por parte de los ciudadanos afectados, de estudios, debates y propuestas para la mejora de dicho funcionamiento.

El río Guadalete se desborda periódicamente, y así lo ha venido recogiendo la prensa local en las últimas décadas con las descripciones de las inundaciones anteriores a la de 2010. Entre ellas destacan las que tuvieron lugar en 1930 citadas en La Voz del Sur, relatando las inundaciones en toda la vega del río desde la presa de Bornos hasta la desembocadura, siendo necesario evacuar a 300 personas; las inundaciones de 1963 mencionadas en La Vanguardia, con el desbordamiento del río teniendo que evacuar un millar de personas de la zona de La Cartuja; y, finalmente, las mencionadas en Jerez información de 1996, en que cayeron más de 100 litros de lluvia en pocos días del mes de Diciembre, produciendo numerosas inundaciones en las zonas bajas de Jerez de la Frontera y cortes en las principales carreteras principales y secundarias que atraviesan la provincia de Cádiz.

El informe aportado por la empresa pública Aguas de Jerez<sup>1</sup>, del Ayuntamiento de Jerez, de donde se han extraído las reseñas de prensa antes comentadas, pone de manifiesto esta periodicidad de las crecidas del Guadalete, y resalta la transformación que ha sufrido el río en las últimas décadas debida a sucesivas intervenciones humanas, que pueden estar agravando dicha periodicidad. En esta transformación se destaca la clara disminución de la anchura del cauce, que en dicho informe se asocia a la expansión y aumento de cobertura de la vegetación de ribera, constituida principalmente por eucaliptos.

En el ámbito científico, a través de estudios y experiencias se conoce el efecto que tiene la regulación de los caudales en los cambios morfológicos de los cauces, propiciando una disminución de su tamaño en anchura.

Dicha disminución es una consecuencia de la reducción en magnitud y frecuencia de las avenidas ordinarias o de bajos periodos de retorno generada por los embalses. El espacio lateral del cauce que las avenidas ya no utilizan y “limpian” con la frecuencia anterior a la regulación, es fácilmente colonizado por vegetación riparia, que crece y se regenera hacia el interior del cauce. Dicho crecimiento de la vegetación y disminución progresiva de la anchura del cauce se ven reforzados por la llegada de sedimentos finos al canal fluvial, en la mayoría de los casos procedentes de la erosión de los suelos agrícolas.

---

<sup>1</sup> Dirección Técnica. Aguas de Jerez, E.M., S.A. *Río Guadalete. Antrópico*. 2009.

En el ámbito mediterráneo, el crecimiento de vegetación riparia se ve aún más favorecido cuando la regulación de caudales se dedica al regadío, ya que en este caso se aumentan considerablemente los caudales estivales y se incrementa la humedad del suelo, favoreciendo así el crecimiento y desarrollo de dicha vegetación.

Con este Trabajo se pretende analizar los procesos que están teniendo lugar en el río Guadalete, a través de los cuales se está produciendo la disminución de la anchura de su cauce y la invasión de la vegetación riparia hacia el interior del mismo, propiciando con ello un aumento del riesgo de inundaciones.

Para ello se ha analizado la evolución del río Guadalete comparando su estado hidromorfológico en un periodo anterior a la regulación de sus caudales, concretamente en el año 1956 del que se tienen fotografías aéreas y datos de caudales, con el estado del río en un periodo más reciente, utilizando en este caso la ortofoto de 2004. Posteriormente se ha hecho un análisis del régimen de caudales del Guadalete y de su principal afluente el río Majaceite, para interpretar los cambios observados en las dimensiones del sistema fluvial en relación a las variaciones de su régimen.

El tramo estudiado en este Trabajo corresponde al río Guadalete desde la presa de Arcos hasta la zona del Portal, en Jerez de la Frontera. El objetivo de este Informe es contribuir a una mejora de la gestión del río integrada con las actuaciones que tienen lugar en su cuenca vertiente, y aportar ideas y argumentos para justificar la puesta en marcha de medidas de rehabilitación y recuperación del río y de su corredor de vegetación.

## **2. METODOLOGÍA**

Como ya hemos comentado, el contenido del estudio recogido en este Informe se refiere a la evolución del territorio fluvial del río Guadalete desde 1956 hasta la actualidad, en el tramo comprendido entre la presa de Arcos y la zona de El Portal en Jerez de la Frontera (ver figura 1), y a la estimación del régimen de caudales que ha circulado en ese periodo, alterado sucesivamente por la construcción de diferentes presas y embalses.

A continuación exponemos la metodología seguida para el análisis de las diferentes características analizadas:

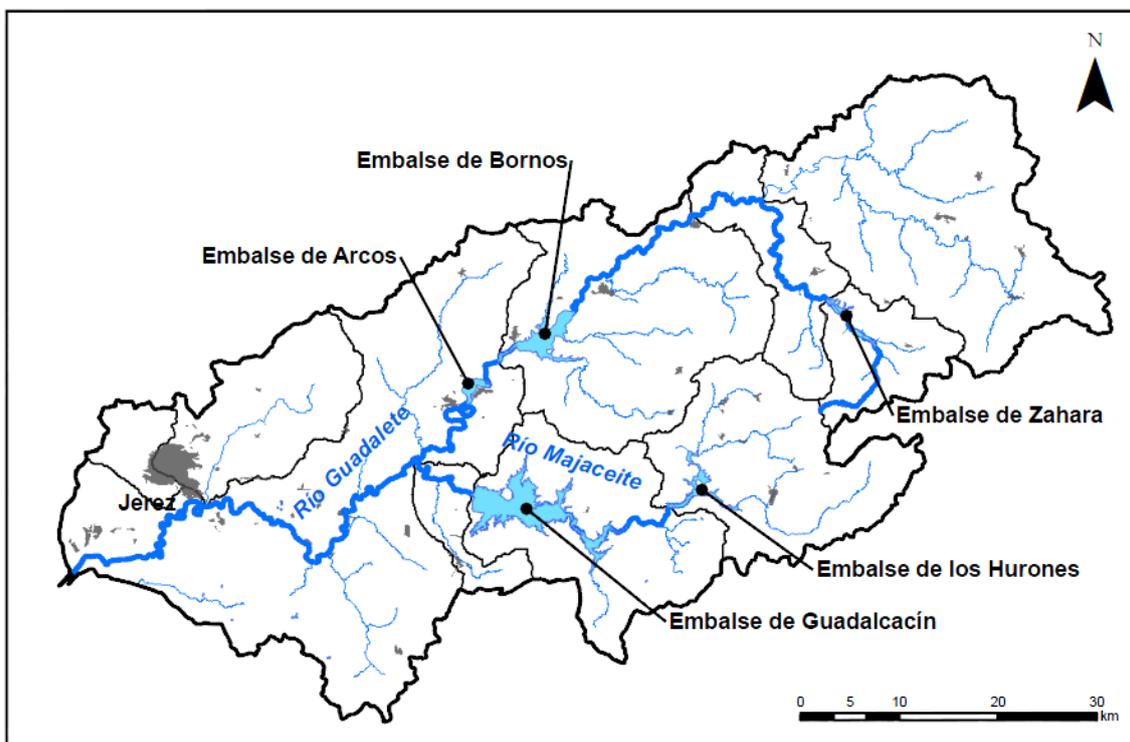
### ***2.1. Delimitación del territorio fluvial.-***

Se ha considerado "territorio fluvial" el espacio de valle disponible por el río para su circulación y desbordamientos, que corresponde al cauce y a los terrenos más próximos en ambos márgenes. Dicho espacio puede reconocerse sobre cartografía o fotos aéreas por su morfología y vegetación, mostrando la huella del paso frecuente de las aguas. A menudo queda definido externamente por caminos o vías de paso, y conecta con laderas o zonas de vega donde son frecuentes los cultivos agrícolas.

Atendiendo a estas características del territorio fluvial, se ha identificado el espacio que ocupa sobre las ortofotos de 1956, 1984 y 2004.

La delimitación del territorio fluvial sobre ortofotos plantea siempre muchas incertidumbres sobre los límites entre teselas, especialmente en las de 1956 en las que la resolución es menor. En nuestro caso, para el reconocimiento de los límites del territorio fluvial se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- Formas asociadas al paso frecuente de las avenidas
- formas y vegetación o usos del suelo de las distintas parcelas o manchas
- relieve de terreno, en base al MDT del año 2007 a partir del cual se han obtenido las curvas de nivel cada 5 metros y se ha reconocido la superficie potencialmente utilizada por los desbordamientos
- usos del suelo a partir de la cartografía suministrada de 1956, 1999 y 2003, considerados como orientativos al requerir para nuestro estudio una precisión mucho mayor



**Figura 1.-** Cuenca del río Guadalete, representando su red de afluentes y el tramo de estudio, entre la presa de Arcos y Jerez de la Frontera.

## **2.2. Unidades morfológicas.-**

Una vez delimitado el territorio fluvial, dentro del mismo se ha diferenciado una serie de *unidades geomorfológicas* a través de las cuales se puede analizar la evolución del paisaje fluvial en las épocas consideradas.

Así se han reconocido cuatro tipos de “unidades” o teselas en el territorio fluvial, diferenciadas por las formaciones vegetales dominantes con textura y color distintos sobre la fotografía aérea, siguiendo un gradiente de colonización desde los sedimentos desnudos o de colonización incipiente más expuestos a la acción constante o más frecuente de las avenidas, hasta las zonas con un grado de cobertura arbórea mayor, más desconectadas o inundadas con menor periodicidad. Estas cuatro unidades se han completado con dos más, una de ellas correspondiente a la lámina de agua, y la otra de “varios” donde se incluyen las zonas de difícil identificación.

Las unidades geomorfológicas resultantes pueden definirse como sigue:

1. *Barras de gravas y arenas desnudas o con una colonización incipiente.* Esta unidad agrupa tanto a las islas centrales y barras laterales totalmente desnudas (que son poco frecuentes) como a las barras con vegetación pionera, fundamentalmente de matorral o con algún árbol disperso. La falta de vegetación indica que se trata de zonas de inundación frecuente, en las que el río tiene capacidad para movilizar sedimentos y aporta materia orgánica y semillas, apareciendo en ocasiones una vegetación incipiente en hileras, coincidentes con los niveles de las sucesivas avenidas. En la ortofoto de 1956 se distinguen como zonas muy claras (sedimentos) con manchas puntuales más oscuras (vegetación). En la ortofoto de 2004 se distinguen claramente como zonas desprovistas de vegetación (o semi-vegetadas) de color claro.
2. *Zonas con vegetación herbácea consolidada asociada al cauce.* En este caso se trata de zonas en que la vegetación pionera está constituida por comunidades de herbáceas, que en la ortofoto de 1956 se distingue por un color gris claro. Conviene diferenciar el herbazal como vegetación colonizadora de las zonas riparias, del herbazal originado por claras en el bosque de ribera, si bien en el río Guadalete, tratándose de una zona modificada por la actividad humana ya en 1956, resulta difícil diferenciarlos. En una primera clasificación hemos diferenciado el herbazal próximo al cauce, del pastizal localizado en taludes o tras el bosque ribereño (incluidos en la unidad morfológica 6 de “otras”). Algunas zonas de herbáceas con matorral muy disperso han sido incluidas en esta categoría.
3. *Zonas con vegetación leñosa abierta.* Esta unidad reúne tanto las zonas de matorral disperso y matorral denso, como las de arbolado abierto (FCC < 60 %), todas en transición a un bosque maduro, caracterizado por mayor cobertura y mayor altura de sus individuos. En esta unidad las zonas arboladas no tienen una cobertura continua, y a menudo en ellas se localizan manchas ocupadas por matorral o por arbustos, en el interior de teselas de inundación más frecuente y receptores de sedimentos.
4. *Zonas con vegetación leñosa cerrada o de bosque.* Comprende las formaciones ribereñas continuas y de anchura variable constituidas por tarajales, alamedas, eucaliptales o choperas (FCC > 80 %). Fácilmente distinguibles para el año 2004, en la ortofoto de 1956 se

han reconocido como las zonas más oscuras, o a través de la sombra proyectada por el arbolado sobre zonas más aclaradas.

5. *Lámina de agua*. Esta unidad se refiere a la superficie ocupada por el agua dentro del canal fluvial, que queda limitada por las unidades anteriores. Depende en parte de la época en que está tomada la fotografía aérea, aguas altas o aguas bajas, pero en nuestro caso se ha visto influenciada fundamentalmente por las dimensiones del cauce impuestas por la vegetación de orilla.
6. *Otras*. En esta unidad se agrupan las teselas cuya morfología no corresponde a ninguna de las unidades anteriores, tratándose de zonas con edificaciones dispersas periurbanas, pastizales o claros localizados en el límite exterior del territorio fluvial, cultivos incluidos dentro del mismo, graveras, etc.

Conviene mencionar que la calidad de las imágenes influye en el nivel de detalle alcanzado. Para que la clasificación resulte más homogénea, se ha repasado la delimitación de los polígonos de 2004 en la escala en la que es posible trabajar con la ortofoto de 1956. En un análisis posterior se podría delimitar el cauce activo, considerando no solo la lámina de agua sino las islas y barras laterales desnudas o semi-vegetadas.

La digitalización por unidades morfológicas ha permitido calcular la superficie ocupada por cada una de ellas en 1956 y en 2004, y analizar la tendencia seguida en el territorio que se ha conservado bajo la influencia del río, a través de variaciones de sus dimensiones y de su ubicación.

### **2.3. Anchura del canal fluvial.-**

Otra característica geomorfológica analizada ha sido la anchura del canal fluvial, identificada como la anchura de la lámina de agua hasta la vegetación arbórea, o la distancia entre los límites reconocibles del lecho fluvial, a partir de los cuales se visualizan las distintas unidades geomorfológicas anteriormente descritas con vegetación estabilizada. Como canal fluvial se han incluido las barras de sedimentos desnudos, que se supone forman parte del cauce activo con mayor frecuencia.

Esta anchura se ha medido sobre las ortofotos de los años 1956, 1984 y 2004, en sucesivas secciones transversales del tramo analizado separadas entre sí una distancia aproximada de 1.000 metros, seleccionando los transectos donde sus límites se han podido diferenciar con mayor precisión.

Para la interpretación de los resultados, considerando su gran variabilidad a lo largo del río, se ha utilizado el programa Statística 6.0, con el que se ha llevado un análisis ANOVA identificando el grado de significación de los distintos años considerados.

#### 2.4. Régimen de caudales.-

Las características y evolución del territorio fluvial dependen del régimen de caudales circulante, y por ello se ha incluido en este Trabajo el análisis de dicho régimen en el tramo de estudio.

El río Guadalete está regulado en la actualidad por varios embalses, construidos en diferentes épocas en su propio cauce y en el de su afluente principal, el río Majaceite, cuyas características se detallan en la Tabla I. En noviembre del año 2000 entró en funcionamiento el trasvase Guadiaro-Majaceite, el cual aporta un caudal importante al embalse de Guadalcacín e influye también notablemente en la regulación del Guadalete en el tramo considerado.

**Tabla 1.-** Datos de las principales obras de regulación de la cuenca del Guadalete que determinan el régimen de caudales del tramo de estudio.

Nombre del embalse (Rio)	Año de terminación	Volumen de embalse (Hm3)	Destino
Zahara (Guadalete)	1992	223	Riego
Bornos (Guadalete)	1961	215,4	Hidroelec/Riego
Arcos (Guadalete)	1965	14	Hidroelec /Riego
Hurones (Majaceite)	1964	135	Abastec/Hidroelec
Guadalcacín I (Majaceite)	1917	76	Riego
Guadalcacín II (Majaceite)	1995	800	Abastec /Riego
Trasvase Guadiaro-Majaceite	2000	< 110 Hm3/año	Abastecimiento

Los datos de aforos existentes de la cuenca del río Guadalete no están accesibles desde internet como lo están los aforos de muchos otros ríos españoles, y son escasos en cuanto a número de estaciones de aforos y número de años con registros.

No obstante, con los datos suministrados directamente por técnicos de la Agencia Andaluza del Agua para este Estudio, procedentes del embalse de Bornos (entradas y salidas) y del embalse del Guadalcacín (entradas y salidas) correspondientes al periodo 1960-2006, hemos tratado de reconstruir un régimen “natural” teórico en el río Guadalete en diferentes épocas, y un régimen “regulado” aguas abajo de la confluencia con el río Majaceite, partiendo de los caudales de entradas y salidas de los respectivos embalses.

Teniendo en cuenta los años de puesta en funcionamiento de las respectivas presas, se ha tratado de reconstruir el régimen de caudales natural y regulado del Guadalete a partir de las series de datos existentes, como se indica a continuación:

#### Río Guadalete en Bornos:

- Reconstrucción del régimen natural: Datos de entrada al embalse de Bornos antes de la construcción de la presa de Zahara (1960-1994)
- Régimen regulado por el embalse de Bornos: Datos de salida del embalse de Bornos antes de la construcción de la presa de Zahara (1960-1994)
- Régimen regulado actual: Datos de salida del embalse de Bornos funcionando la presa de Zahara (1995-2006)

#### Río Majaceite en Guadalcaín:

- Reconstrucción del régimen natural: Datos de entrada al embalse de Guadalcaín antes de la construcción del embalse de los Hurones (1960-1963)
- Régimen regulado por la presa de Los Hurones: Datos de entrada al embalse de Guadalcaín posteriores a la construcción de dicha presa (1964-1994)
- Régimen regulado por la presa de Guadalcaín II: Datos de salida del embalse de Guadalcaín II hasta la puesta en funcionamiento del trasvase del Guadiaro (1995-1999)
- Régimen regulado actual: Datos de salida del embalse del Guadalcaín II con el trasvase del Guadiaro (2000-2005)

#### Río Guadalete en la Junta de los ríos:

- Reconstrucción del régimen cuasi-natural: Suma de los datos de entrada al embalse de Bornos y al embalse del Guadalcaín (1960-1994). No se trata de un régimen natural propiamente dicho, ya que en este periodo existe la presa de Los Hurones en el Majaceite, y en él no se incluyen las aportaciones adicionales de ambos ríos aguas abajo de sus respectivos embalses hasta la Junta de los Ríos, pero puede servir de referencia para comparar la intensidad de la regulación.
- Régimen regulado por las presas: Suma de los datos de salida de los embalses de Bornos y de Guadalcaín, hasta el funcionamiento del trasvase (1995-2000)
- Régimen regulado actual: Suma de los datos de salida de los embalses de Bornos y de Guadalcaín desde el trasvase (2001-2006).

### 3. RESULTADOS

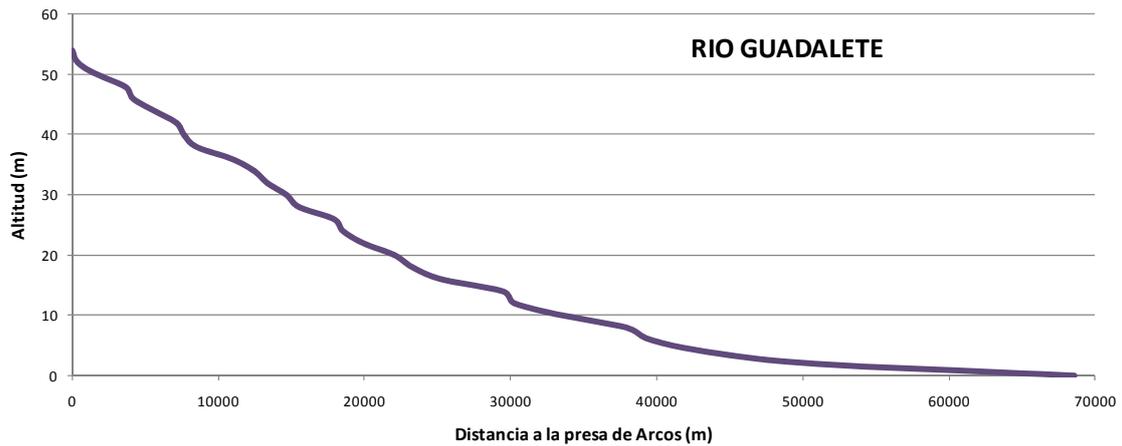
A continuación se presentan los resultados obtenidos en este Trabajo, relativos a la evolución del territorio fluvial en los periodos considerados, a los cambios en la anchura del cauce activo, y al régimen de caudales y su alteración por las presas y embalses construidos en el tramo de estudio durante dichos periodos.

Inicialmente se hace una breve descripción de las condiciones actuales del corredor ripario del Guadalete en el momento actual, y seguidamente se analizan los resultados obtenidos sobre las ortofotos correspondientes al tramo de estudio, cuyas imágenes y representación de las características analizadas se han incluido en el Anexo I.

#### ***3.1. Características generales del valle y del corredor fluvial***

En la actualidad, el río Guadalete, desde la presa de Arcos hasta las proximidades de Jerez de la Frontera, discurre por un valle parcialmente confinado en algunos sectores, atravesando un relieve alomado de campiña con suaves pendientes ocupadas por cultivos agrícolas, especialmente aguas arriba de su confluencia con el Majaceite, y por un valle no confinado en un paisaje llano y abierto, de cultivos agrícolas y entornos urbanos, en las proximidades de Jerez y hacia su desembocadura.

El trazado del río es sinuoso y meandriforme aguas arriba de la Junta de los Ríos, quedando limitado en ocasiones por escarpes del terreno, y se hace más sinuoso llegando a la zona de Jerez, donde los meandros se encajan y el trazado resulta canaliforme. En el perfil longitudinal del tramo de estudio a la escala considerada se pueden reconocer tres sectores (figura 2), el situado entre la presa de Arcos y la confluencia con el Majaceite, abarcando aproximadamente los primeros 18 km de recorrido, donde la pendiente longitudinal es mayor, con un valor medio muy próximo a 0,2 %; el sector intermedio, que abarca a partir de esta confluencia aproximadamente 20 km aguas abajo, con una pendiente longitudinal menor cuyo valor promedio es ligeramente superior a 0,1; y el sector más bajo donde la pendiente se hace mínima, con un valor promedio de 0,03 %.



**Figura 2.-** Perfil longitudinal del río Guadalete desde la presa de Arcos hasta la desembocadura.

En todo el tramo estudiado, el Guadalete presenta un corredor más o menos continuo de vegetación leñosa, si bien con características de anchura y de composición y estructura muy diferentes.

En el sector superior más cercano a la presa de Arcos, es más frecuente la alternancia de zonas de meandros y un bosque de ribera de mayor anchura, siendo en esta zona donde se han producido los mayores cambios en las dimensiones y trazado del río (ver figura 3). En las zonas intermedias o más bajas el corredor fluvial presenta una anchura de vegetación mucho menor y de dimensiones relativamente homogéneas, quedando más confinado por la acción del hombre, y en ellas las variaciones a lo largo de las últimas décadas también han sido menores que en los sectores de aguas arriba (ver apartado 3.4).

En relación a la composición y estructura de este corredor de vegetación, en términos generales puede decirse que está configurado en las zonas próximas a la presa de Arcos, aguas arriba de la junta del río con el Majaceite, por una densa saucedada mixta, donde dominan *Salix purpurea*, *Tamarix* sp. y *Populus alba*, acompañados de *Salix fragilis*, *Salix atrocinerea*, *Nerium oleander*, y numerosas macrofitas (*Phragmites communis*, *Typha dominguensis*, *Cyperus* ...) (figura 4). Hacia aguas abajo este bosque mixto se ve invadido por eucaliptus (*Eucalyptus camaldulensis*), en ocasiones de gran porte, que en algunos tramos dominan el corredor de vegetación riparia, si bien siempre acompañados, en mayor o menor medida, por *Populus alba*, *Salix alba* (x *fragilis*), *Tamarix* y *Phragmites communis* (figuras 5 y 6).



**Figura 3.-** Cambios en la anchura efectiva del corredor ripario del río Guadalete entre 1956 (izquierda) y 2004 (derecha) en uno de los meandros aguas arriba de la Junta de los ríos.



**Figura 4.-** Vistas del exterior e interior del corredor ripario del río Guadalete entre la presa de Arcos y la confluencia del Majaceite, mostrando la sauceda mixta con alameda y abundantes *Tamarix*, sobre un substrato donde dominan las gravas.



**Figura 5.-** Vistas del corredor ripario del Guadalete en la confluencia con el río Majaceite, mostrando la turbidez de los caudales circulantes.



**Figura 6.-** Río Guadalete en el tramo de la Barca de la Florida.

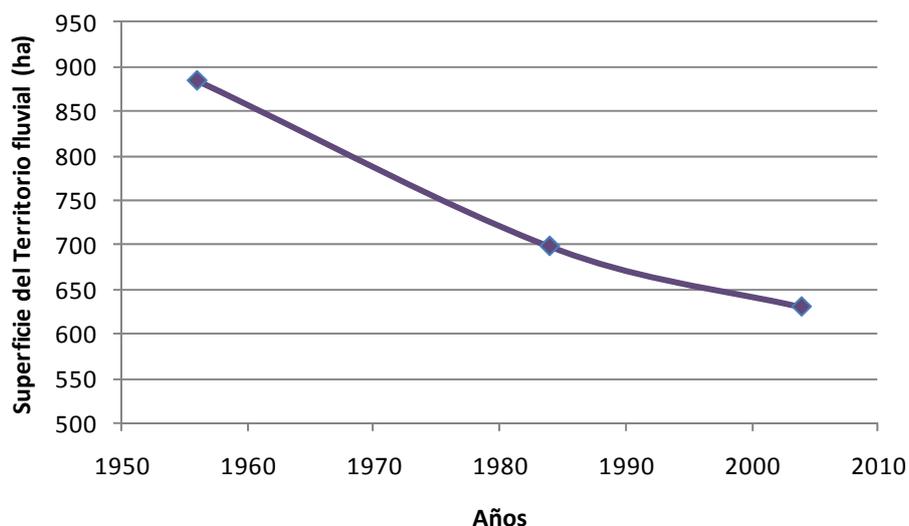
### **3.2. Variación de la superficie del territorio fluvial**

En la Tabla II se indican los valores de la superficie del territorio fluvial reconocido en los diferentes periodos estudiados, y medida sobre las correspondientes ortofotos (ver Anexo I).

Se observa que la superficie disponible para el río ha ido disminuyendo desde 1956: Entre 1956 y 1984 se perdieron aproximadamente 186 ha, mientras que en los siguientes 20 años la superficie disminuyó en una superficie cercana a 70 ha (figura 7).

**Tabla II.-** Superficie del territorio fluvial reconocida sobre las ortofotos de los periodos indicados

Año	Territorio fluvial (ha)	Variación respecto a 1956 (respecto a 1984)	
		Total	%
1956	884		
1984	698	-186 ha	-21 %
2004	630	-254 ha (-68 ha)	-29 % (-10 %)



**Figura 7.-** Evolución de la superficie de territorio fluvial en las últimas décadas.

La pérdida de territorio fluvial se debe fundamentalmente a la transformación del suelo ribereño en suelo agrícola. Esto ocurre principalmente entre los años 1956 y 1984, y en los primeros 42 km del río aguas abajo de la presa de Arcos, donde el territorio fluvial es más amplio en anchura, mientras que en los últimos 23 km del tramo estudiado las modificaciones han sido mucho menores, al estar la anchura de la ribera ya muy reducida en 1956.

### 3.3. Evolución de las distintas unidades geomorfológicas

Entre 1956 y 2004 se ha producido un cambio significativo de la superficie ocupada por las distintas unidades morfológicas consideradas (ver Tabla III). Este cambio se debe en parte a la pérdida de superficie de territorio fluvial por ocupaciones desde las márgenes, habiéndose reducido la dimensión de la llanura de inundación en varios sectores, pero se refiere fundamentalmente al aumento de la superficie cubierta por una vegetación arbolada densa, desapareciendo en gran medida las superficies desnudas o con una vegetación herbácea de baja cobertura.

**Tabla III.-** Superficies totales (ha) y porcentajes (%) de las distintas unidades geomorfológicas diferenciadas en 1956 y en 2004.

Unidad morfológica	Superficie 1956 (ha)	% Total 1956	Superficie 2004 (ha)	% Total 2004	Variación respecto a 1956 (ha)
Otros	22	2	45	7	+23
Sedimentos	126	14	0	0	-125
Herbazales	102	11	26	4	-76

<b>Bosque claro</b>	292	33	64	10	-228
<b>Bosque denso</b>	140	16	430	68	+290
<b>Lámina de agua</b>	202	23	65	10	-137
<b>Territorio fluvial</b>	884	100	630	100	-254

En las figuras 8 y 9 se aprecia la evolución seguida por las unidades morfológicas, mostrando la variación de sus respectivas superficies:

- La unidad de sedimentos con colonización incipiente ha sufrido una disminución drástica, pasando de ocupar 126 ha en 1956 a tan solo 0,4 ha en 2004. Esta unidad es un indicador de la dinámica y movilidad fluvial, y su pérdida indica la estabilización de estas barras laterales del cauce y su colonización por vegetación, reduciendo la anchura del canal fluvial con mayor capacidad de desagüe.
- La unidad de herbazales se ha reducido en cerca de 76 ha. Ello quiere decir que desde 1956 hasta 2004, esta superficie ha sido invadida por especies leñosas, y hoy día corresponde a las unidades de vegetación arbórea, representando una mayor rugosidad hidráulica para el paso de las avenidas.
- La unidad de bosque abierto ha pasado de ocupar 292 ha en 1956 a 63,5 ha en 2004. Gran parte de esta superficie ha ganado en cobertura con el desarrollo progresivo del arbolado, y hoy día corresponde a la categoría de bosque denso, aumentando con ello la rugosidad frente al paso de las avenidas.
- La unidad de bosque denso ha tenido un incremento de 290 ha, siendo la de mayor variación entre 1956 y 2004, ocupando parte de la superficie que en 1956 tenía una vegetación leñosa más aclarada o de menor porte.
- La superficie de lámina de agua se ha reducido en algo más de 137 ha, al haberse reducido la anchura del cauce por la llegada masiva de sedimentos y su posterior colonización por la vegetación.
- La clase morfológica de otras ocupaciones ha aumentado su superficie en cerca de 23 ha.

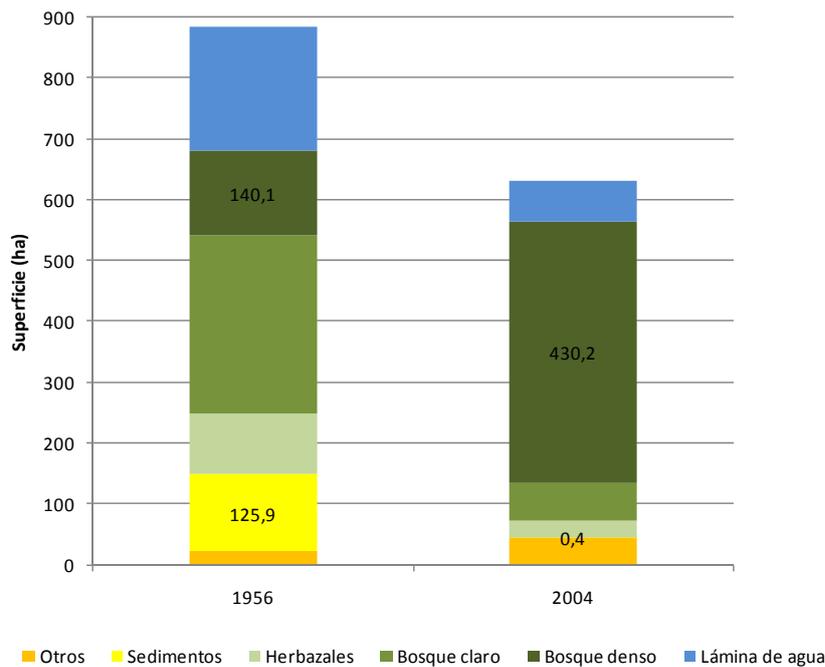


Figura 8.- Superficie total (ha) de cada unidad geomorfológica analizada en el territorio fluvial de 1956 y de 2004.

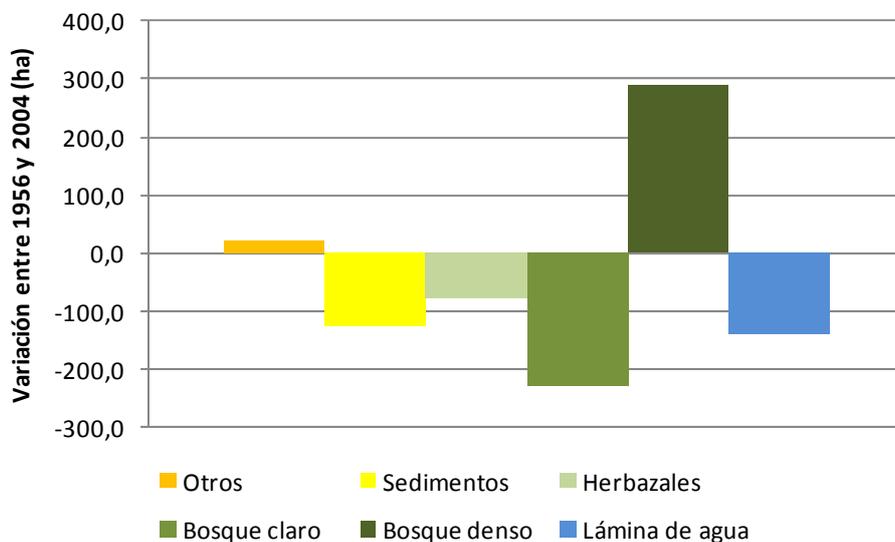
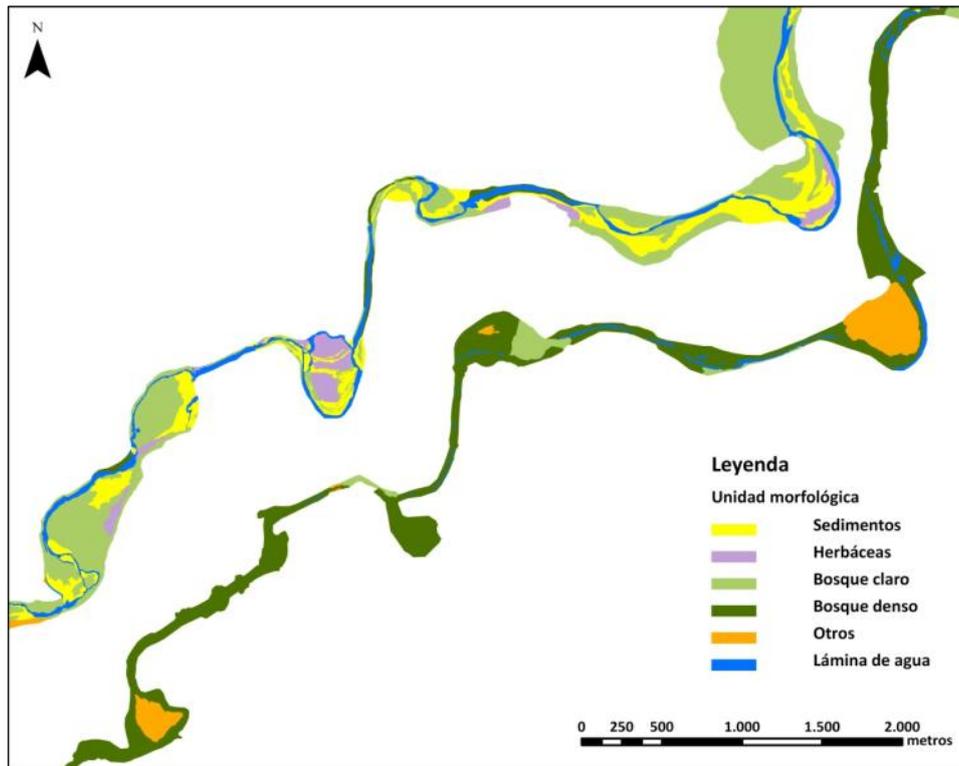


Figura 9.- Variación de las superficies respectivas en el interior del territorio fluvial reconocido en 1956 y en 2004.

La figura 10 muestra la ubicación de las distintas unidades geomorfológicas en un tramo del territorio fluvial reconocido en 1956 y en 2004. Se observa fácilmente la disminución de superficie y anchura del corredor fluvial a lo largo de todo el tramo, si bien se hace más patente en las zonas cóncavas de los meandros, estando en 1956 libres de vegetación leñosa por ser ocupadas periódicamente por las avenidas, constituyendo zonas de almacenamiento

de agua y disipación de energía, y en 2004 ocupadas en gran parte por formaciones arbóreas densas.

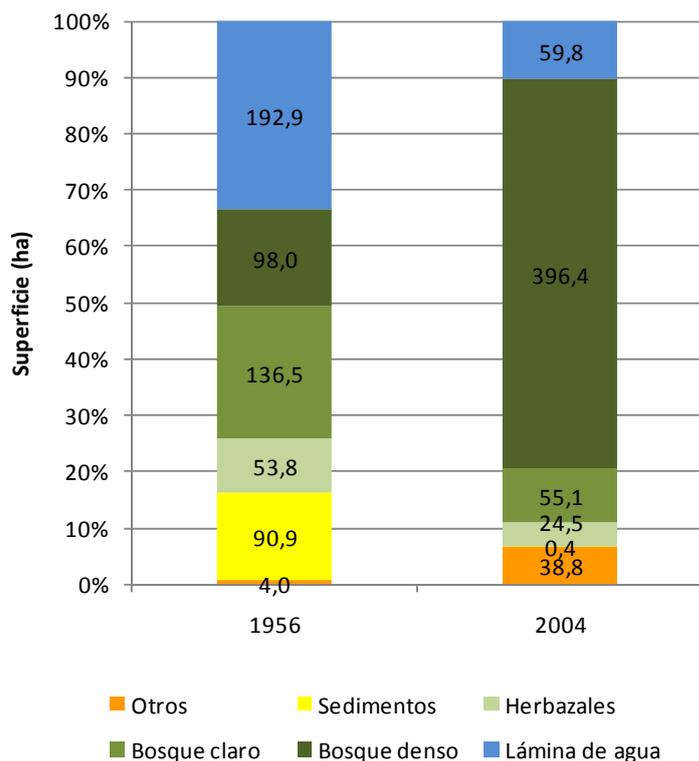


**Figura 10.-** Superficie de territorio fluvial clasificada por unidades geomorfológicas correspondiente a 1956 (superior) y a 2004 (inferior) aguas abajo del embalse de Arcos, en las proximidades de El Drago y la Junta de los Ríos.

Si se considera el territorio fluvial que se ha mantenido como tal entre 1956 y 2004, y se cuantifica la variación de la superficie ocupada por cada una de las unidades geomorfológicas estudiadas dentro de dicho espacio común en ambas fechas (ver figura 11), se observa que la unidad de sedimentos desnudos o con colonización incipiente ha desaparecido casi en su totalidad, y que las restantes unidades han ido ganando en cobertura arbórea, produciéndose un fuerte incremento del bosque denso.

En este caso se resaltan las siguientes tendencias:

- El paisaje fluvial se ha homogeneizado, disminuyendo la representación de la mayoría de unidades geomorfológicas y con ello la diversidad del paisaje fluvial.
- Las formaciones de bosque de ribera han incrementado sensiblemente su superficie, constituyendo casi el 70% del territorio fluvial.
- La unidad de gravas/arenas con colonización incipiente casi ha desaparecido, debido a una pérdida de dinámica fluvial con la falta de avenidas regulares y la expansión de la vegetación de ribera hacia el interior del cauce activo.
- La disminución del canal fluvial se refleja igualmente en una disminución de la superficie ocupada por la lámina de agua, cuyo valor actual se estima en menos de un tercio de la ocupada en 1956.



**Figura 11.-** Proporción ocupada por cada una de las unidades geomorfológicas analizadas en el territorio fluvial mantenido entre 1956 y 2004. Los números indican la superficie en hectáreas de cada una de ellas.

### 3.4. Variación de la anchura del cauce

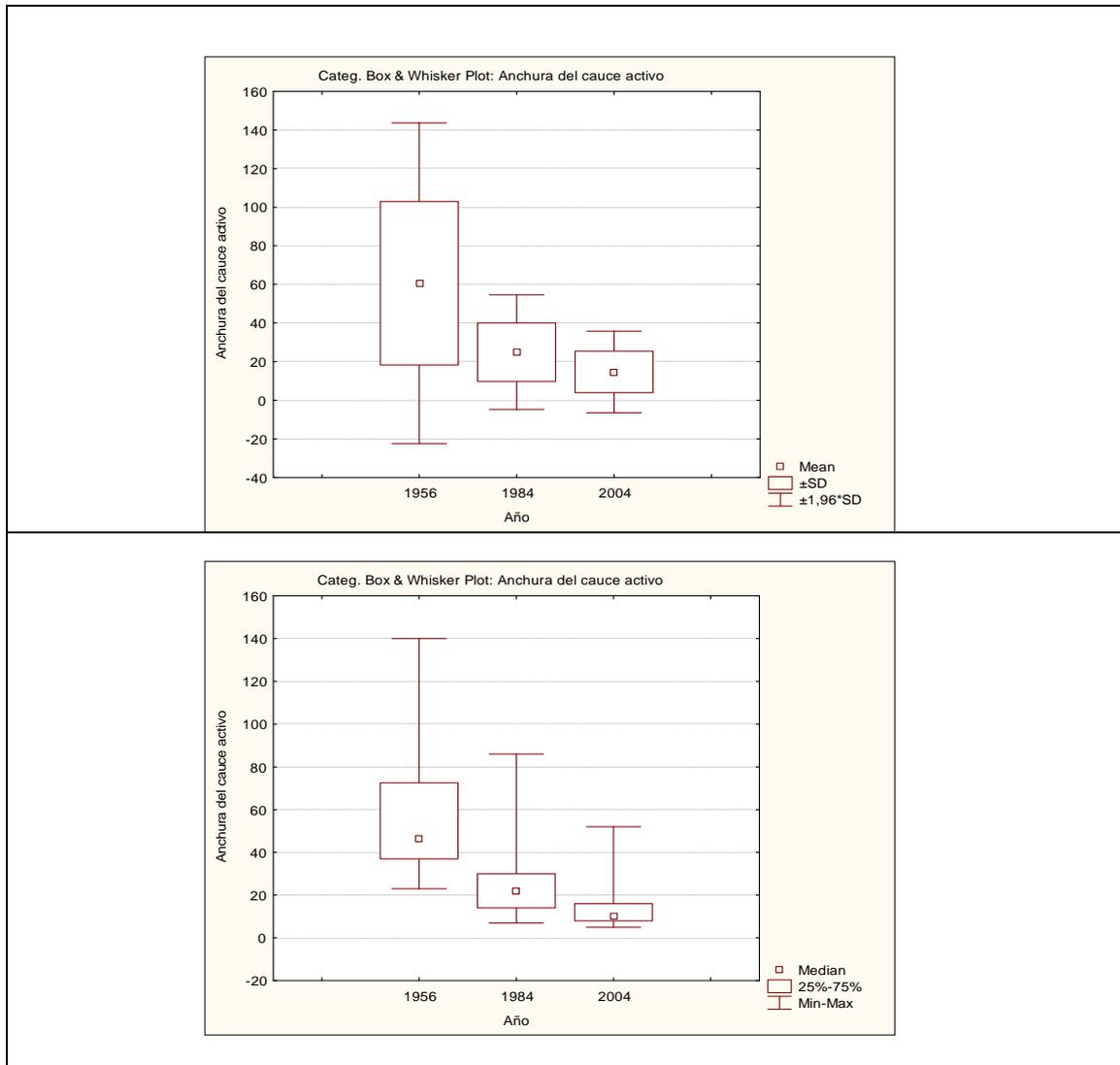
Entre 1956 y 2004 se ha reducido significativamente la anchura media del cauce del río Guadalete, pasando de un valor medio aproximado de 57 metros en 1956, a un valor de 25 m en 1984 y de 15 m en 2004 (Tabla IV). También se ha reducido considerablemente su variabilidad, reflejada en la desviación típica de los valores medidos en cada periodo, resultando ya en 1984 un cauce mucho más homogéneo y canaliforme respecto a 1956 (ver figura 12).

Esta disminución de la anchura del cauce del Guadalete se observa en todos los valores calculados, medios, máximos y mínimos, y se hace especialmente patente en los valores de la mediana o anchura más frecuente, pasando de un valor de 47 m en 1956 a un valor inferior a su mitad, 22 m, en 1984, y a un valor inferior a su quinta parte, 8 m, en el año 2004.

**Tabla IV.-** Valores de la anchura del cauce del Guadalete (m) en los distintos periodos analizados. Las cifras entre paréntesis indican porcentaje de variación respecto al valor de 1956.

	1956	1984	2004
Nº secciones medidas	64	65	65
Anchura Media (m)	57	25 (- 56 %)	15 (-74 %)
Desviación típica (m)	28	15	11
Anchura máxima (m)	140	86 (- 38 %)	52 (-63 %)

Anchura mínima (m)	23	7 (- 70 %)	5 (-78 %)
Valor de la mediana (m)	47	22 (- 53 %)	8 (-83 %)
Percentil 10 %	28	11	6
Percentil 90 %	103	43	33



**Figura 12.-** Diagrama de cajas representando los valores de la media y desviación estándar, mediana, máximos y mínimos y los cuartiles superior e inferior de la anchura del cauce del Guadalete en los años estudiados.

En el reconocimiento de campo se ha observado que dicha disminución en anchura se ha producido simultáneamente a la deposición de grandes cantidades de sedimentos en las orillas del cauce, que llegan arrastrados por las avenidas y proceden en su mayoría de los cultivos agrícolas o campos adyacentes. Estos sedimentos son de granulometría fina, y al secarse quedan cohesionados constituyendo un sustrato muy estable y favorable para la germinación y desarrollo de la vegetación riparia. Una vez colonizados por esta vegetación, ya no son transportados por las siguientes avenidas, y la vegetación que sustentan contribuye a la retención de nuevas cantidades de sedimentos arrastrados por las siguientes avenidas,

viéndose así retroalimentado el proceso de progresiva disminución de la anchura del canal fluvial, y progresiva expansión del bosque ripario.

Al ser muy variable la anchura que presenta el río Guadalete en los periodos analizados, se ha hecho un análisis de varianzas para ver hasta qué punto las variaciones entre dichos periodos antes comentadas son estadísticamente significativas. Para ello se ha comprobado previamente la distribución normal de los datos tratados mediante el test de Kolmogórov-Smirnov y el test de Lillefors, y la homogeneidad de las varianzas con el test de Levene. Los resultados demuestran que las diferencias de anchura del cauce son significativas entre los periodos considerados, con una probabilidad de no serlo prácticamente nula (Tabla V).

**Tabla V.-** Análisis de varianza ANOVA de la anchura del cauce. Los resultados son significativos para  $p < 0,05$ .

	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p
ANOVA	61731,90	2	30865,95	71259,77	191	373,0878	82,73106	0,000000

Asimismo se ha empleado el test *post hoc* Tukey HSD para analizar las semejanzas de las anchuras medidas entre los tres periodos analizados. El resultado de este test reconoce tres subgrupos homogéneos según el año considerado (tabla VI). Ello sugiere que entre 1956 y 1984 se produjo la mayor disminución en la anchura del cauce activo del río Guadalete, y que esta tendencia continuó entre 1984 y 2004, al mantenerse las perturbaciones del sistema hidrológico y geomorfológico, pero en mucha menor proporción.

**Tabla VI.-** Valores del Test Tukey HSD. Los resultados son significativos para  $p < 0,05$ .

	1956	1984	2004
1956		0,000022	0,000022
1984	0,000022		0,007150
2004	0,000022	0,007150	

Finalmente, se ha hecho un análisis de la anchura del cauce del Guadalete por tramos, habiendo representado en la figura 13 los resultados obtenidos a lo largo del curso fluvial, desde la presa de Arcos hasta la desembocadura.

Se observa un primer tramo, abarcando aproximadamente 35 km, que presentaba una mayor variabilidad en 1956, y aún en 1984, haciéndose mucho más uniforme en el 2004; un tramo intermedio, aproximadamente hasta el km 62 desde la presa de Arcos, a la altura de Jerez de la Frontera, donde las variaciones de anchura del cauce han sido proporcionalmente mucho menores que aguas arriba, disminuyendo con el tiempo; y finalmente, el último tramo del río donde la anchura de cauce aumenta progresivamente hacia su desembocadura, sin que dicha anchura haya variado a lo largo de las décadas consideradas.

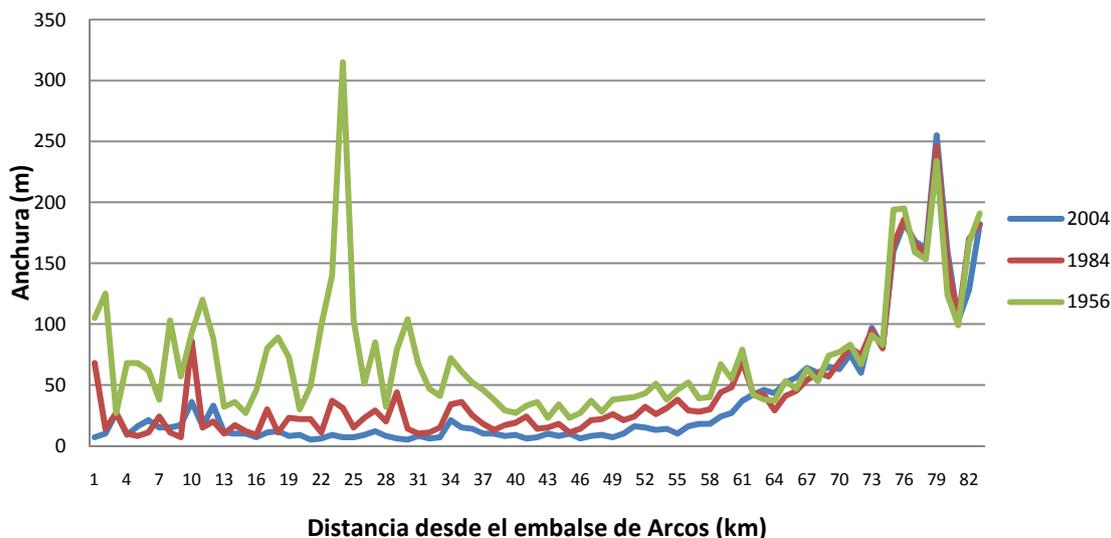


Fig. 13.- Anchura del canal fluvial del río Guadalete en 1956, 1984 y 2004.

### 3.5. Alteración hidrológica

Con el fin de relacionar la evolución del territorio fluvial del Guadalete en las últimas décadas con sus posibles causas, se ha analizado la alteración hidrológica del régimen de caudales circulante, originada por las infraestructuras de regulación existentes.

A continuación se presenta la comparación del régimen natural de caudales del río Guadalete con el régimen regulado actual, considerando los tramos y periodos de tiempo ya expuestos en el apartado 2.4 relativo a la metodología de estudio. Suponemos que los datos de aforos manejados han sido verificados y son fiables, no estando avalados por su disponibilidad a través de las páginas web usuales de la red de aforos de ríos españoles.

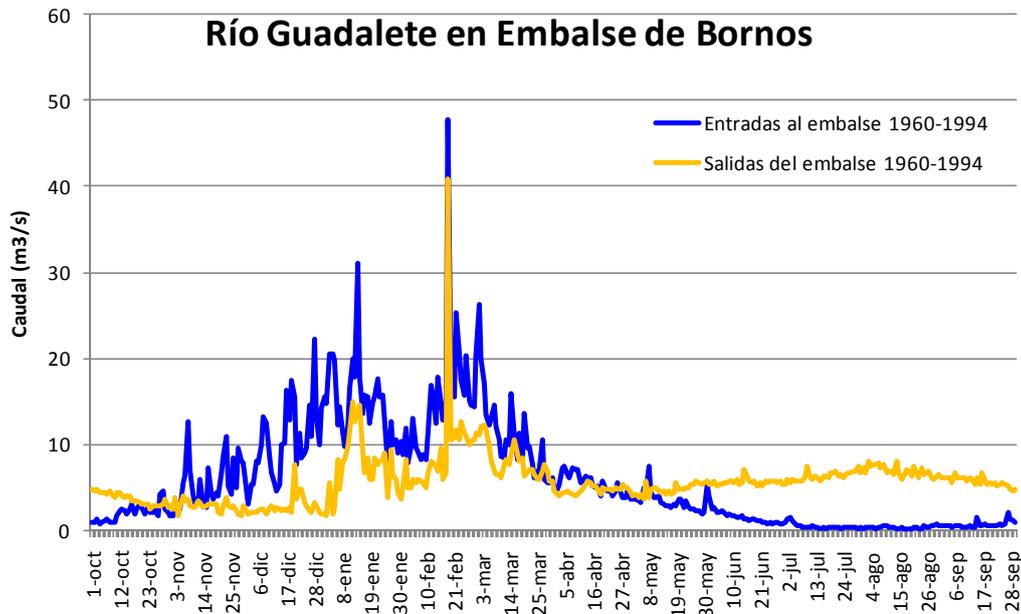
#### 3.5.1. Promedios de los caudales medios diarios.-

##### a) Guadalete en Bornos.-

En la figura 14 se representan los valores promedio de los caudales medios diarios del río Guadalete en el embalse de Bornos para el periodo 1960-1994 antes de la puesta en funcionamiento de la presa de Zahara, considerando régimen natural los datos de entrada al embalse, y régimen regulado los datos de caudales de salida.

En condiciones naturales, el Guadalete muestra un régimen típicamente mediterráneo pluvial, con caudales máximos en otoño e invierno, caudales mínimos durante el estiaje, y máximos absolutos en febrero, al final de la estación húmeda coincidente con la mayor humedad del suelo. El embalse de Bornos modifica este régimen natural, disminuyendo los caudales de

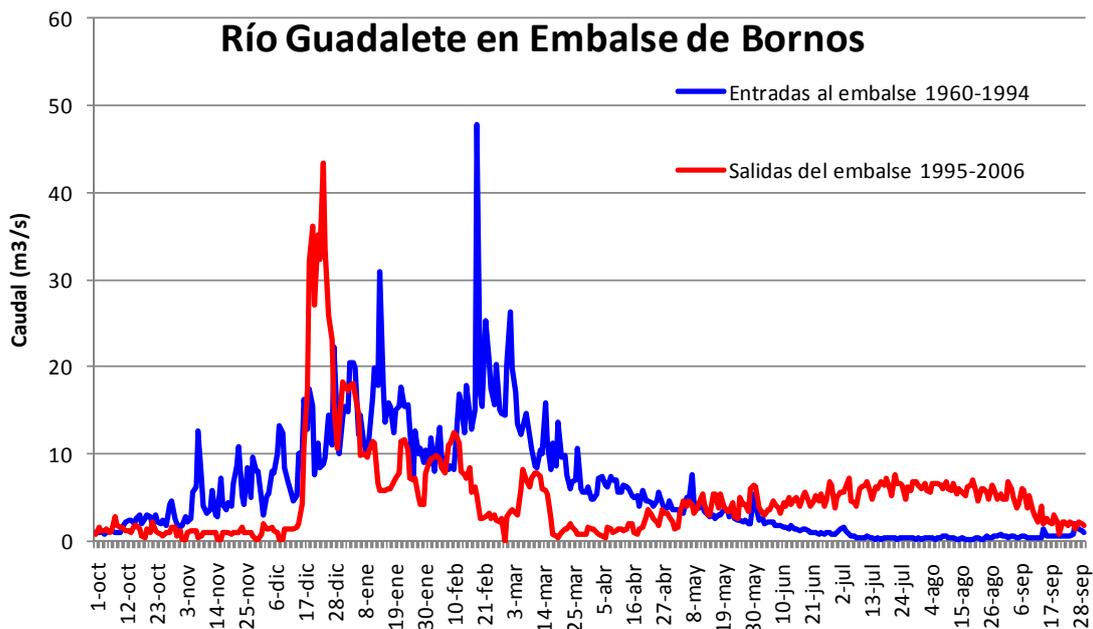
otoño e invierno, aumentando los de la época estival o de estiaje, coincidente con el periodo de riego, y concentrando en un periodo más corto la fluctuación de caudales, a la vez que reduciendo su magnitud. No obstante, en este periodo todavía se mantienen las crecidas anuales de cierta magnitud y su estacionalidad, que sigue siendo al final de la estación húmeda.



**Figura 14.-** Valores promedio de los caudales medios diarios del río Guadalete en el embalse de Bornos. Los datos de entrada al embalse pueden considerarse como régimen “natural”, mientras que los de salida indican la regulación del embalse de Bornos, en el periodo anterior a la puesta en marcha de la presa de Zahara.

A partir de 1994, y con la presa de Zahara en funcionamiento, se hacen más patentes los efectos de la regulación de los caudales del Guadalete, y el río muestra un régimen de caudales significativamente alterado en su magnitud y épocas de crecidas y estiajes. Así, en la figura 15 se muestra el régimen de caudales del río circulante en las últimas décadas, con la regulación de Bornos y de Zahara, en contraste con el considerado “natural” del periodo anterior.

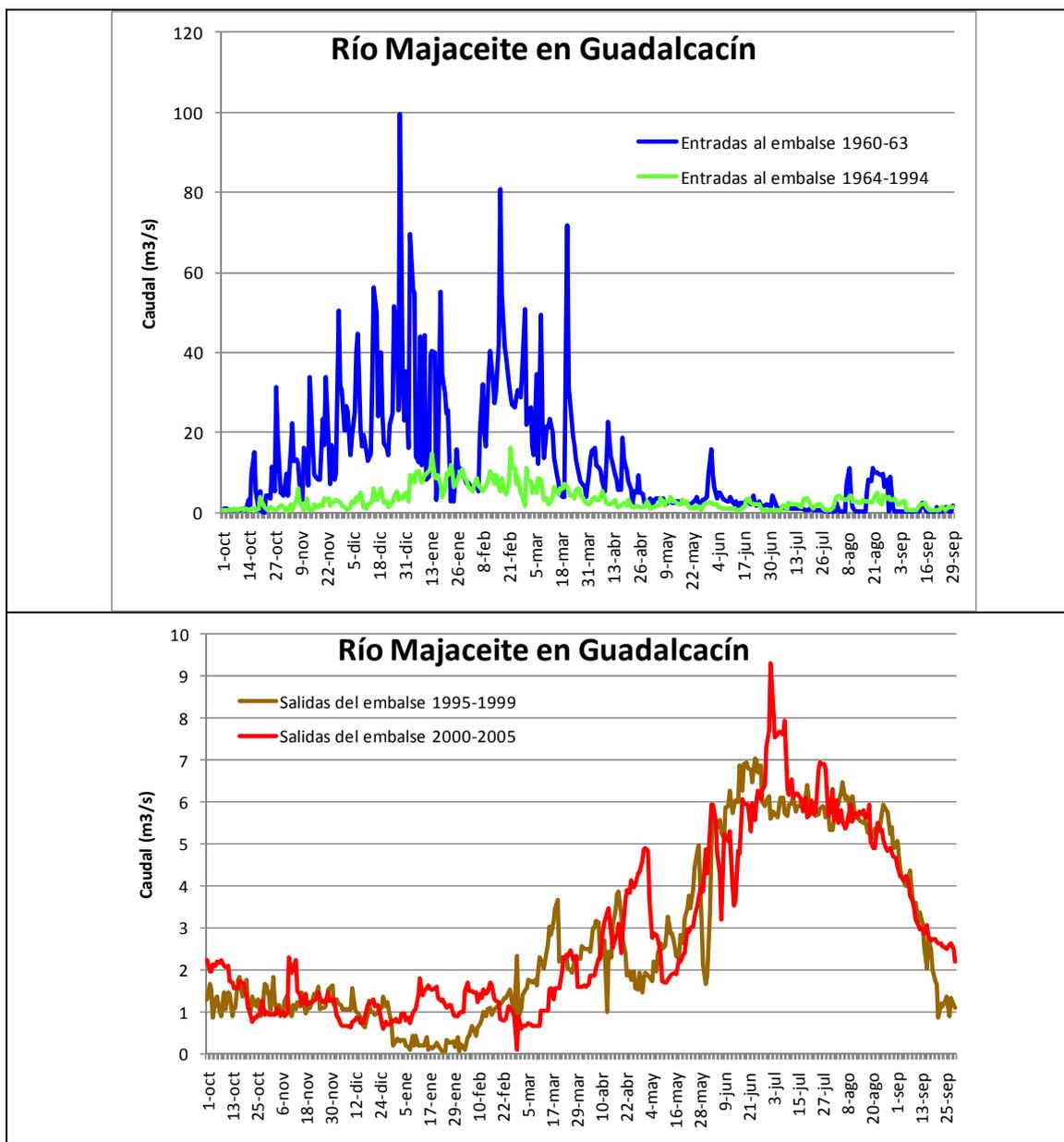
En este caso se observa una alteración de los caudales más significativa, en cuanto que no solo se elimina el estiaje sino que se altera la época en que se producen los máximos anuales, cuyo valor promedio pasa a ser en el mes de diciembre, y se reduce considerablemente la magnitud de los caudales circulantes durante el resto del invierno, al quedar las aportaciones retenidas en los respectivos embalses.



**Figura 15.-** Valores promedio de los caudales medios diarios del río Guadalete a la entrada y salida del embalse de Bornos, considerando el periodo 1960-1994 representativo del régimen natural, y el de 1995-2006 el del régimen regulado por la presa de Zahara y por la de Bornos.

*b) Majaceite en Guadalcaén.-*

En relación al río Majaceite (ver figura 16), con los datos disponibles en el embalse de Guadalcaén se puede reconstruir su régimen “natural” o menos regulado del periodo anterior a la presa de los Hurones, donde se observa una gran fluctuación de los caudales de noviembre a finales de marzo, y un estiaje marcado si bien incrementado por las regulaciones más antiguas para regadío. La presa de los Hurones supone una fuerte alteración de los caudales del Majaceite, reduciendo significativamente los caudales circulantes y las fluctuaciones del régimen a lo largo del año. No obstante, es la presa de Guadalcaén, con una gran capacidad de embalse, la que modifica en mayor medida el régimen del río, invirtiendo la estacionalidad mediterránea al producir los caudales mínimos en otoño e invierno y los máximos en primavera y verano, viéndose estos efectos reforzados por el trasvase del Guadiaro al Majaceite y la utilización del agua para el regadío.

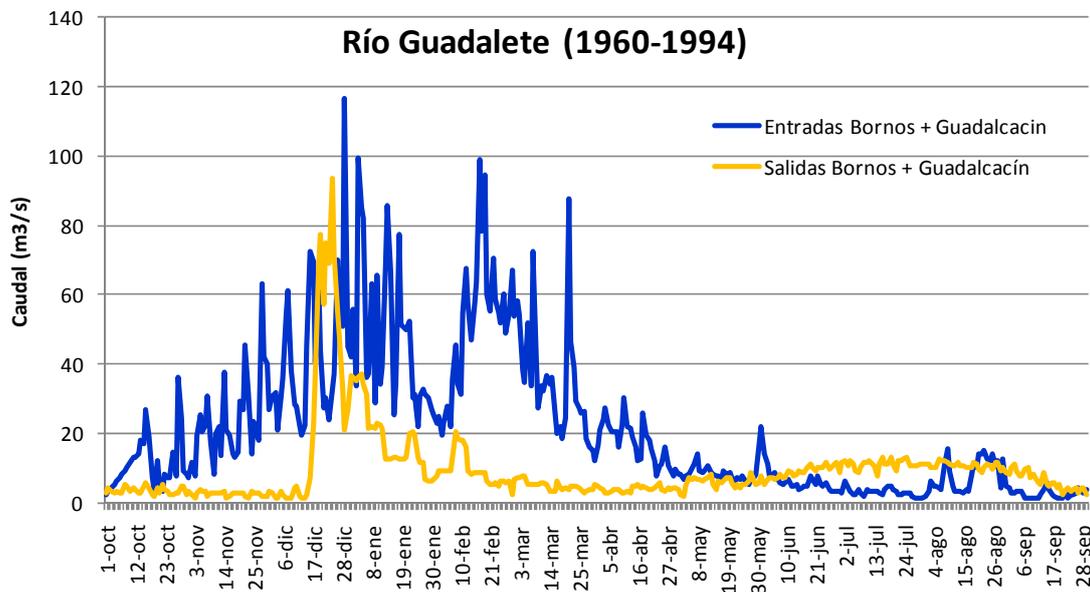


**Figura 16.-** Valores promedio de los caudales medios diarios del río Majaceite en los distintos periodos, antes de la presa de los Hurones (1960-1963), entre la presa de los Hurones y la de Guadalacacín (1963-1994), y antes y después del trasvase Guadiaro-Majaceite (1995-1999 y 2000-2005 respectivamente).

*c) Guadalete en la Junta de los Ríos.-*

En la Junta de los ríos, aguas abajo de la confluencia del Guadalete con el Majaceite, se dan estos mismos efectos de la intensa regulación de los caudales para riego. Así, en la figura 17 se ha reconstruido un régimen promedio sumando los caudales del Guadalete en Bornos y los del Majaceite en Guadalacacín. Los valores de entrada a los embalses obtenidos para el periodo 1960-1994 podrían ser representativos de un régimen de caudales relativamente poco regulado (solo alterado por la presa de Arcos en el Guadalete y por la de Los Hurones y de Guadalacacín I en el Majaceite, de relativamente pequeña capacidad de embalse), mientras que los valores de salida de dichos embalses recogerían el efecto de la regulación de ambos ríos

por las presas mucho mayores de Bornos y sobre todo Guadalcaçín II, antes del trasvase del Guadiaro.



**Figura 17.-** Valores promedio de caudales medios diarios representativos del régimen del Guadalete aguas abajo de la confluencia con el Majaceite. Dichos valores se han obtenido sumando los caudales de entrada y de salida de los embalses indicados, en el periodo con datos disponibles hasta el trasvase del Guadiaro.

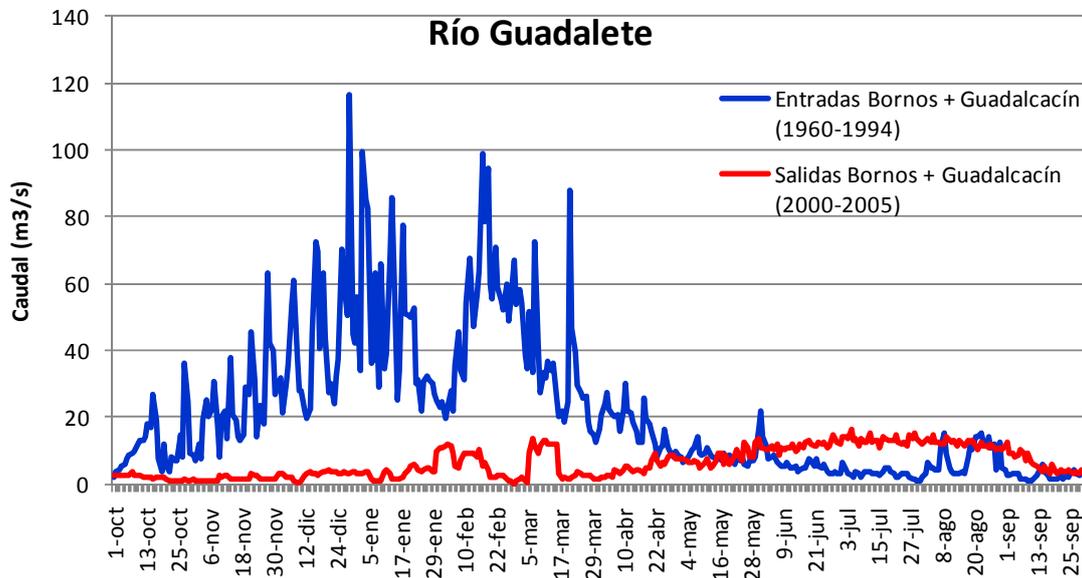
Quizás la característica más importante a resaltar de la gráfica de la figura 17 es la uniformidad del régimen de caudales regulado, donde la variación a lo largo del año se hace mínima, al disminuir de forma dramática los caudales circulantes durante los meses de lluvias (otoño e invierno en que se llenan los embalses) y aumentar los caudales de la época de regadío (finales de primavera y verano en que se trasvasa y vacían los embalses).

Por último, en la figura 18 se representa el régimen de caudales reconstruido con la suma de las salidas de los embalses de Bornos y Guadalcaçín con el trasvase del Guadiaro en funcionamiento. En este caso se observa un régimen en el que los valores promedio de caudales medios diarios son muy uniformes a lo largo del año, lo que significa que el nivel de las aguas fluctúa muy poco, y considerablemente mucho menos que lo hacía en épocas anteriores, con mucha menor capacidad de regulación por parte del hombre.

Resulta evidente que en la actualidad, el río Guadalete ha perdido por completo su régimen natural de tipo mediterráneo, con caudales máximos en otoño e invierno coincidentes con la estación más fría y lluviosa, presentando una gran variabilidad, y con prolongados estiajes en primavera y verano coincidentes con la estación más cálida y seca.

No solo se ha perdido la estacionalidad típicamente mediterránea, sino que se ha perdido la variabilidad y fluctuación de los caudales a lo largo del año, significando que tampoco se producen fluctuaciones en el nivel de las aguas. Ello determina que el río Guadalete se comporte en la actualidad como un canal fluvial hidráulicamente muy estabilizado, necesitando unas dimensiones muy inferiores a las de antaño, y cediendo gran parte del

espacio que utilizaba periódicamente en las crecidas de otoño e invierno y dejaba seco en verano, a la colonización de la vegetación, que no solamente no es removida por las crecidas sino que es bien alimentada de humedad durante los meses más cálidos.



**Figura 18.-** Valores promedio de los caudales de entradas y salidas de los embalses reseñados, representativos del régimen de caudales circulante por el río Guadalete aguas abajo de su confluencia con el Majaceite, en un periodo anterior al funcionamiento de las presas de Bornos y Guadalcacín (1960-1994) y más reciente funcionando dichas presas y el trasvase Guadiaro-Majaceite (2000-2005).

### 3.5.2. *Otros indicadores de alteración hidrológica.-*

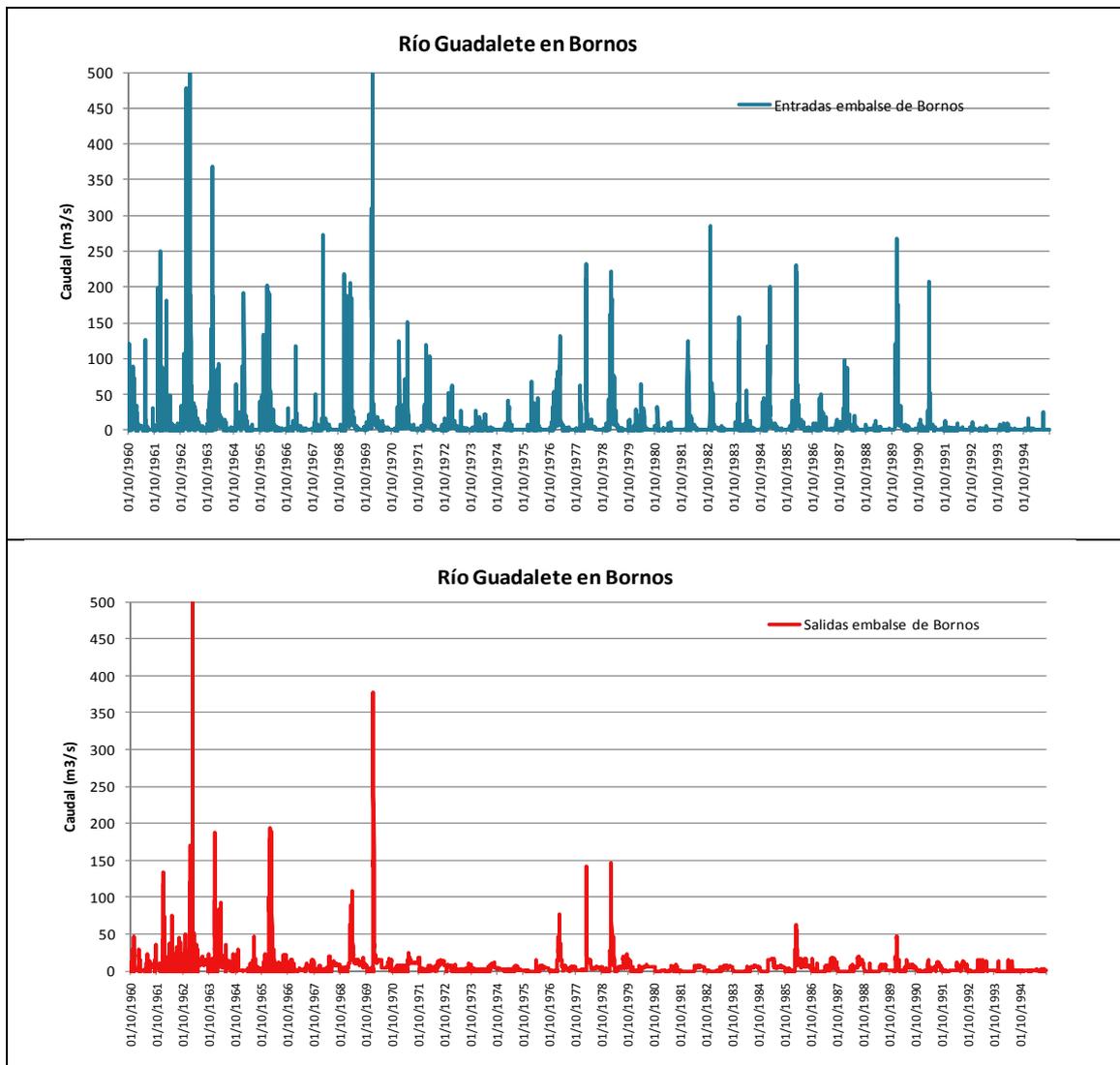
En términos generales, la regulación de los caudales de los ríos por presas y embalses, además de alterar la estacionalidad natural concordante con los periodos de lluvias en otoño e invierno y estiajes en verano característicos del clima mediterráneo, y disminuir dramáticamente la magnitud de los caudales medios mensuales como efecto de los trasvases y derivación a canales de riego, anula o reduce de manera muy significativa los pulsos de valores extremos tanto máximos como mínimos, que son indispensables para el mantenimiento de la diversidad física e integridad ecológica del ecosistema fluvial.

En el caso del río Guadalete, este efecto de reducción de los pulsos de avenidas y estiajes naturales ha sido estudiado en el embalse de Bornos, viéndose reflejado en las gráficas de las figuras 19 y 20.

Comparando los caudales de entradas y salidas al embalse de Bornos durante los años 1960-1994, fácilmente se observa que en régimen natural (datos de entrada al embalse) el Guadalete llevaba con relativa frecuencia en ese tramo un caudal superior a 100 m<sup>3</sup>/s (superado en 25 episodios de crecida en dicho periodo, lo que viene a representar un caudal

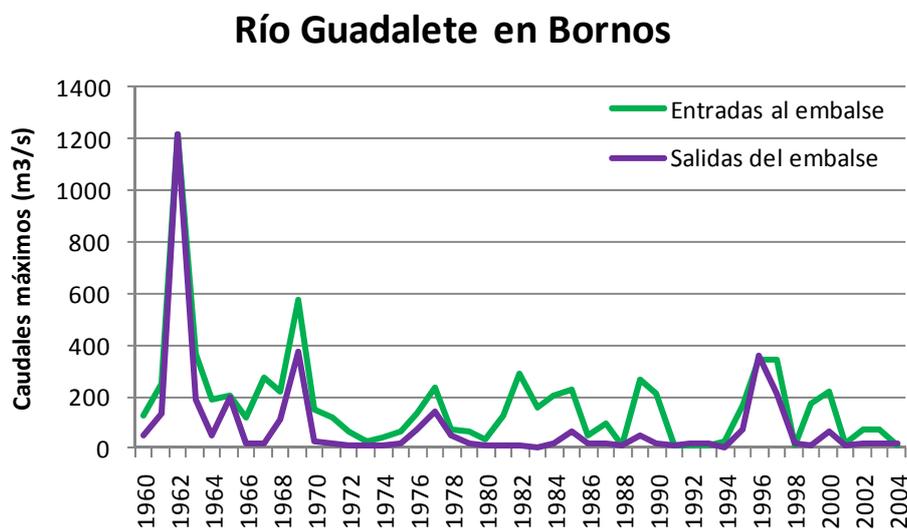
equivalente a la avenida ordinaria). Igualmente, en dicho periodo se superó el caudal de 200 m<sup>3</sup>/s en 14 crecidas, manteniendo una gran variabilidad a lo largo de los años y de unos años a otros, con prolongados estiajes, y más de 10 días seguidos en algunos años con caudales muy reducidos o nulos.

Con la regulación de la presa de Bornos, si bien las avenidas extraordinarias de menor frecuencia se siguen produciendo (ej. caudales superiores a 350 m<sup>3</sup>/s), se reduce significativamente la frecuencia de las avenidas ordinarias o más frecuentes. Así, únicamente en 8 episodios de crecida el embalse suelta un caudal superior a 100 m<sup>3</sup>/s, reduciendo la frecuencia de dicho caudal a menos del 30 % del régimen natural, y solo en dos ocasiones se producen crecidas con caudales superiores a 200 m<sup>3</sup>/s, pasando a tener el caudal de pulso alto más frecuente un valor inferior a 25 m<sup>3</sup>/s. De esta forma el régimen de caudales se hace mucho más homogéneo a lo largo del año y de unos años a otros, perdiendo la estacionalidad natural de avenidas y estiajes, y la magnitud de las mismas.



**Figura 19.-** Caudales medios diarios del río Guadalete en el embalse de Bornos durante el periodo 1960-1994, antes del funcionamiento de la presa de Zahara. Los datos de entrada al embalse corresponden al régimen natural del río en ese periodo

En la gráfica 20 se muestra la magnitud de los caudales máximos de cada año, y su diferencia a la entrada y salida del embalse de Bornos para el periodo considerado, donde a partir de 1994 habría que considerar el efecto de la presa de Zahara. Mientras que en régimen natural (datos de entrada hasta 1994) se producían avenidas ordinarias de diferente magnitud, a menudo superiores a los 200 m<sup>3</sup>/s, en el régimen regulado se mantiene periodos prolongados en que los caudales máximos no superan los 25 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 20.-** Caudales máximos anuales del río Guadalete, registrados en el embalse de Bornos.

Una consecuencia directa de la falta de estas avenidas frecuentes en el río Guadalete es la acumulación de sedimentos en el interior del cauce, que llegan procedentes de la erosión de los suelos agrícolas adyacentes transportados en suspensión por los caudales, y que al no verse sometidas al arrastre de las crecidas se van depositando y acumulando gradualmente en las riberas y márgenes (figura 21).

Cuando se secan, estos sedimentos adquieren una gran cohesión, y en general representan un sustrato muy fértil para la germinación y el crecimiento de la vegetación riparia. Sobre ellos colonizan con mucha facilidad especies muy frecuentes en la zona como *Tamarix*, *Populus alba* y *Eucalyptus camaldulensis*. Una vez instalada la vegetación, ésta no solo contribuye a su estabilización, sino que actúa como agente activo en la retención de más sedimentos que vienen transportados por las siguientes avenidas, iniciándose así un proceso de interacción entre los caudales de avenida, los sedimentos y la vegetación, que da como resultado la progresiva colmatación y ocupación del interior del cauce por bermas de sedimentos, y la reducción de su capacidad efectiva para el desagüe de las crecidas.

Aunque en este Trabajo no se ha hecho ninguna estimación de la cantidad de sedimentos que son transportados y depositados por el río Guadalete anualmente, al no haber dispuesto de datos de concentraciones de sólidos en suspensión, su importancia absoluta y relativa frente a otros ríos españoles se pone en evidencia en el estudio sobre la erosión, emisión y llegada de

sedimentos de diferentes regiones españolas realizado por de Vente *et al.* (2008)<sup>2</sup>, donde se recogen los datos observados en el embalse de Bornos de 609,728 Tm/año y de 450 Tm/Km<sup>2</sup>/año, este último solo superado por 13 de los 61 embalses españoles analizados.



**Figura 21.-** Riberas del río Guadalete aguas debajo de la Junta de los ríos, mostrando la acumulación de sedimentos arrastrados y depositados por las crecidas, y el efecto de la vegetación contribuyendo a su estabilización.

En la actualidad es muy significativa la acumulación de sedimentos reduciendo las dimensiones del canal fluvial del Guadalete (figura 22), y muy visible el desarrollo de una vegetación arbórea y arbustiva muy densa creciendo sobre dichos sedimentos, que están modificando progresivamente la morfología fluvial elevando la cota superior de las orillas. Ello determina una mayor dificultad de los desbordamientos y una desconexión gradual de las riberas con el cauce activo, fomentando así el encajamiento del cauce y su comportamiento canaliforme.

Podría decirse que la acumulación de sedimentos finos en las orillas del Guadalete es quizás la causa más importante de reducción de la capacidad hidráulica del canal fluvial, junto con el desarrollo de una vegetación arbórea que contribuye a su retención. La regeneración natural de esta vegetación es muy abundante por todo el tramo estudiado, destacando la de *Populus alba*, *Salix purpurea* y *Tamarix* sobre el substrato de gravas del sector más próximo a la presa de Arcos, aguas arriba de la confluencia con el Majaceite, y la de estas mismas especies y todavía en mayor proporción la de *Eucalyptus camaldulensis* en los sectores aguas abajo de la

---

<sup>2</sup> De Vente, J., Poesen, J., Verstraeten, G., Van Rompaey, A. & Govers, G. 2008. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. *Global and Planetary Change*, 60: 393-415.

Junta de los ríos, llegando a ser esta última especie gran invasora del bosque de ribera primitivo.

Finalmente, puede suponerse que la colmatación de las orillas del Guadalete por un exceso de sedimentación, así como la colmatación del lecho y la permanente turbidez de las aguas, están causando un grave impacto en la calidad del hábitat fluvial, y representando un factor muy limitante para la preservación de las comunidades acuáticas.



**Figura 22.-** Acumulación de sedimentos en las orillas del Guadalete en las proximidades de la Junta de los ríos, y detalle de la regeneración natural de los eucaliptos sobre los mismos.

#### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los datos aportados en este Estudio sirven para interpretar y valorar los procesos que se vienen observando en el río Guadalete en las últimas décadas, que han sido puestos de manifiesto en varios documentos y anteriores ocasiones por diferentes técnicos de la administración local y regional de la provincia de Cádiz.

Los datos aquí presentados derivan de un Estudio realizado fundamentalmente en gabinete, a partir de la información de aforos disponible, y a partir de las fotografías aéreas de varias épocas acerca de las cuales se reconocen las posibilidades que permite hoy día la fotointerpretación para llegar a conclusiones de gran interés respecto a la evolución del territorio fluvial a lo largo del tiempo, y a la interpretación de los cambios acaecidos en los usos del suelo.

A continuación resaltamos, a modo de resumen, las conclusiones que nos parecen más relevantes para la buena gestión del río Guadalete, incluyendo una serie de propuestas o recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos.

##### *1ª. Origen de la problemática: Regulación de caudales y llegada masiva de sedimentos finos al cauce.-*

Los resultados obtenidos con este trabajo permiten concluir que la problemática actual del río Guadalete tiene su origen en la excesiva regulación de los caudales circulantes por este río y por su principal afluente el río Majaceite, a través de sus más grandes embalses, Bornos con 215 Hm<sup>3</sup> de capacidad y Guadalcazín con 800 Hm<sup>3</sup>, respectivamente.

Con dicha regulación se ha reducido de forma muy significativa la frecuencia de las avenidas más frecuentes o de un periodo de retorno inferior a 10 años, que son las más efectivas en el mantenimiento de la capacidad de desagüe del cauce y en el control de la invasión de la vegetación riparia de carácter leñoso o más permanente.

Otra causa principal de la problemática actual del Guadalete es la llegada masiva de sedimentos finos al cauce, y la constante turbidez de sus aguas. Estos sedimentos, cuyo origen hay que centrarlo en la erosión de suelos agrícolas, han colmatado el lecho y orillas del cauce enterrando el substrato de gravas primitivo, y cambiado progresivamente la morfología del cauce, así como la composición y estructura del bosque ripario. Esta llegada de sedimentos está relacionada con la roturación de los suelos agrícolas en pendiente, pero su almacenamiento en el cauce hay que relacionarlo con la regulación de caudales antes comentada.

##### *2ª.- Desaparición de crecidas y estiajes ordinarios, cambio en el tipo de régimen e invasión del cauce por la vegetación.-*

La actual regulación de los caudales, motivada en su gran parte por el regadío, ha determinado una disminución de las crecidas ordinarias muy notable en el río Guadalete aguas abajo de Bornos, en el río Majaceite aguas abajo de Guadalcaçín, y como consecuencia, en todo el río principal aguas abajo de la Junta de los ríos.

Asimismo, los estiajes han desaparecido, viéndose fuertemente incrementados los caudales medios de los meses de finales de primavera y de verano por la regulación para el regadío.

Por último, la regulación existente ha cambiado por completo el régimen típicamente pluvial de carácter mediterráneo, con notables fluctuaciones en las estaciones frías y húmedas de otoño e invierno y máximos al final del periodo de lluvias (febrero en numerosos años), por un régimen mucho más uniforme a lo largo del año, en que durante el periodo frío y húmedo los caudales se ven muy reducidos por el llenado de los embalses, y durante los meses más cálidos y secos los caudales circulantes se incrementan, para ser utilizados en los cultivos agrícolas.

Al disminuir la intensidad y frecuencia de las crecidas ordinarias, y con ellas su efecto de remoción de la vegetación pionera en las zonas más cercanas al canal fluvial, y aumentar la humedad del suelo durante los meses más calurosos, se ha potenciado fuertemente el crecimiento de la vegetación leñosa en las orillas y riberas, disponiendo esa última de un nuevo espacio adicional y de condiciones óptimas de humedad en la estación cálida para su desarrollo.

### *3º.- Cambios en la morfología del cauce y disminución de la capacidad de desagüe del canal fluvial.-*

El efecto conjunto de la regulación de caudales y la llegada masiva de sedimentos al cauce ha propiciado cambios en el tipo de sustrato (substitución de las gravas del lecho y orillas por sedimentos finos), y cambios en la sección transversal del cauce, disminuyendo visiblemente su coeficiente de forma (cociente entre anchura y profundidad).

Los meandros activos, así como las barras de sedimentos desnudos y zonas más bajas de orilla colonizadas en épocas anteriores por vegetación herbácea y arbustiva dispersa, se han visto colmatados por sedimentos finos transportados por los caudales siempre turbios del río, los cuales se han ido acumulando año tras año y han quedado consolidados de forma permanente al crecer en ellos la vegetación.

Esta interacción entre “caudales regulados - acumulación de sedimentos - crecimiento de la vegetación” ha originado la disminución de las dimensiones del cauce en anchura, pasando de un valor promedio de 57 m en 1956 a 15 m en 2004; la reducción de la superficie que hoy día constituye el territorio fluvial, abarcando una superficie en 2004 de 630 ha, casi un 30 % menos que la correspondiente en 1956, de 884 ha; y finalmente, la pérdida de dinámica y diversidad del paisaje fluvial, al haberse reducido de forma notable los enclaves de gravas desnudas y de colonización incipiente, y la variabilidad de teselas de vegetación riparia en ambas márgenes.

*4º.- Necesidad de establecer un régimen ambiental de caudales y controlar la erosión del suelo en la cuenca para mejorar el funcionamiento del sistema fluvial*

Cualquier plan de actuación encaminado a la restauración ecológica del río Guadalete tendrá que enfocarse a mitigar las presiones existentes, o a eliminar o disminuir las causas de su deficiente funcionamiento.

La puesta en marcha de medidas para mitigar la excesiva regulación actual de los caudales, introduciendo crecidas de “limpieza del cauce” que remuevan la vegetación leñosa incipiente en las zonas de orillas y riberas más próximas y los sedimentos finos en ellas depositados; así como reintroduciendo caudales de estiaje durante los meses más cálidos que disminuyan la probabilidad de germinación de las especies riparias, acercándose a las condiciones naturales mediterráneas, nos parece fundamental para recuperar el buen funcionamiento hidrológico y ecológico del Guadalete.

Por otra parte, la erosión de los suelos de las laderas vertientes origina un empobrecimiento de la fertilidad y rentabilidad de los campos, además de un efecto muy negativo en la morfología del cauce del Guadalete, así como en el hábitat y fauna acuática.

Por ello consideramos necesario poner en marcha cuanto antes una política de control de esta erosión y de prevención de llegada de sedimentos al cauce del Guadalete, utilizando para ello las medidas correspondientes a la disminución de pérdidas de suelo (técnicas de laboreo apropiadas, creación de setos verdes, cultivos mixtos, etc), y a la retención de los sedimentos emitidos por los campos agrícolas antes de su incorporación al cauce, estableciendo franjas protectoras de vegetación (“buffer-strips), con el adecuado diseño en cuanto a su anchura y cobertura de vegetación, y con el adecuado mantenimiento.

*5º. Necesidad de realizar limpiezas periódicas y trabajos selvícolas para el control de la expansión del eucalipto en el bosque ripario, así como de proceder al análisis coste/beneficio del uso actual de los recursos hídricos.-*

Ante las circunstancias actuales de utilización de los recursos hídricos y aprovechamiento de los suelos en la cuenca del Guadalete, es necesario asumir la servidumbre de llevar a cabo trabajos de limpieza periódica del cauce, removiendo conjuntamente los sedimentos acumulados y la vegetación leñosa más cercana al cauce de porte arbóreo.

Dichos trabajos de limpieza deben incluir la retirada periódica de los sedimentos finos de las orillas, y la corta de los eucaliptos y otros árboles que se encuentren más cerca del eje del canal fluvial. Las especies arbustivas más flexibles (*Salix* y *Tamarix*) o las macrofitas de orilla (*Phragmites communis*) no suponen un incremento de la rugosidad hidráulica del cauce durante las avenidas, al flexionarse con el paso de las aguas, y podrían mantenerse en el cauce; mientras que las especies arbóreas de tronco rígido que se encuentran más próximas a la orilla, como sucede con *Eucalyptus camaldulensis*, representan un elemento notable de resistencia al desagüe de las avenidas que convendría eliminar.

En el río Guadalete existe en la actualidad una elevada tasa de regeneración natural de *Eucaliptus camaldulensis*, lo que indica que la situación actual puede verse agravada en las próximas décadas, si no se interrumpe este proceso de invasión del territorio fluvial.

Estas limpiezas periódicas, cuya ejecución tiene un elevado coste económico, sustituirían al servicio ambiental que ofrecerían de forma natural y gratuita las crecidas, si no existieran las presas y embalses.

En este sentido sería conveniente realizar un estudio económico integral de los costes y beneficios ambientales que se están generando con la situación actual, restando a la rentabilidad del uso del agua para riego el coste de la servidumbre de limpieza y mantenimiento del cauce, necesarios para preservar su capacidad de desagüe y su integridad ecológica.

#### *6º. Necesidad de mejorar la información disponible sobre caudales circulantes y concentraciones de sólidos en suspensión*

La realización del análisis de los caudales circulantes ha puesto de manifiesto la escasez de registros de datos históricos de aforos, y la carencia de datos de sólidos en suspensión en la cuenca del Guadalete, así como la ausencia de dichos datos en las páginas web habituales para ello de la Junta de Andalucía y del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Los datos y gráficas recogidos en este Informe se han elaborado a partir de la información recibida para su elaboración, pero desconocemos hasta qué punto esta única información disponible ha sido verificada y revisada, o es comparable con los registros de aforos recogidos en la página web del CEDEX. La dificultad de registrar las “entradas” a los embalses, y la problemática del mantenimiento de las estaciones de registro en ríos con frecuentes procesos de erosión y sedimentación de los cauces, genera una incertidumbre en la información manejada y en los resultados obtenidos de la misma.

Como propuesta, resaltamos la necesidad de aumentar las estaciones de aforos tanto en el río Guadalete como en sus principales afluentes, así como de introducir registros de sólidos en suspensión, considerando que la información que se genere con dichas estaciones de medición va a ser clave para hacer una buena gestión de los ríos, y para interpretar los procesos observados y las causas de la evolución del territorio fluvial.

#### *7º.- Conveniencia de realizar estudios posteriores sobre el posible efecto del cambio climático en el régimen de caudales de las últimas décadas, y sobre la conectividad hidrológica de los distintos terrenos agrícolas y el origen de los sedimentos que llegan al cauce*

Los resultados de este Informe deberían ser completados con una información adicional sobre el posible cambio del régimen de precipitaciones de las últimas décadas, que puede ser en parte responsable de las diferencias entre lo que hemos considerado “régimen natural” y “régimen regulado”, cuando éste se ha referido a fechas distintas del primero y más recientes.

El estudio realizado por González-Hidalgo *et al.* (2010)<sup>3</sup> pone en evidencia las tendencias temporales de las precipitaciones en España en el contexto del cambio climático, y su variabilidad espacial atendiendo a factores globales y locales que sería de gran interés precisar en el área de la cuenca del Guadalete.

Por otra parte, también sería necesario abordar un estudio sobre la conectividad hidrológica de las distintas parcelas agrícolas con el cauce del río Guadalete, con el fin de localizar los principales focos de emisión de sedimentos e identificar su forma de movilización, transporte y deposición a lo largo del cauce.

El ámbito de la dendro-cronología y dendro-geomorfología, identificando los distintos periodos y episodios de aterramiento a través de cambios en la micromorfología de la madera de los troncos de vegetación riparia parcialmente enterrados por los sedimentos, puede ofrecer nuevas vías de interpretación y reconstrucción de los procesos comentados.

*8º.- Planificación de la recuperación del río Guadalete a escala de cuenca vertiente, incorporando criterios hidrológicos, ecológicos, económicos y sociales.-*

Finalmente, cabe resaltar que el estado actual del río Guadalete es una consecuencia esperada de las condiciones físicas de su cuenca vertiente, y del tipo de gestión de los recursos hídricos y de uso del suelo que se hace en su interior.

La problemática que puede surgir periódicamente por las crecidas e inundaciones del Guadalete en las proximidades de Jerez de la Frontera, que sin duda atrae una gran atención pública y en ocasiones abundantes recursos económicos para su mitigación, debería centrarse en un contexto geográfico y social mucho más amplio, y en una problemática de mayor rango, que afecta no solo a los tramos que se inundan sino a gran parte de la cuenca del Guadalete.

Las intervenciones locales propuestas para resolver dicha problemática de inundaciones, que hasta la fecha se han centrado casi exclusivamente en actuaciones de efecto inmediato en el propio cauce o en las zonas aledañas, tales como la construcción o retirada de motas, la permeabilización de carreteras, la retirada de edificios en zonas inundables, etc., y que sin duda tienen un efecto muy positivo a la escala que se plantean, deben completarse con otras intervenciones de mayor rango, a escala de cuenca vertiente.

Estas medidas, generalmente de mayor dificultad de implementación y efectivas a medio y largo plazo, van a tener un carácter mucho más definitivo que las anteriores, pudiendo citar entre ellas la mejora del régimen de caudales circulante aguas abajo de los embalses, la conservación de los suelos agrícolas y la retención de sedimentos en las zonas limítrofes con las riberas de los cursos de agua, y la delimitación y ordenación de usos dentro del espacio considerado “territorio fluvial”.

---

<sup>3</sup> González-Hidalgo, J.C., M. Brunetti & M. de Luis. 2010. A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945-November 2005). *International Journal of Climatology*, ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)) DOI:10.1002/joc.2115.

Tanto en el informe ya comentado de Aguas de Jerez, como en las conclusiones derivadas del Seminario sobre las Inundaciones del Guadalete celebrado en Jerez de la Frontera el 12 de mayo de 2010, se hacen comentarios y propuestas que concuerdan con las recogidas en este Informe, existiendo un gran consenso en el diagnóstico y en las actuaciones sugeridas.

Por consiguiente, será necesario iniciar cuanto antes un proceso de concertación con los agentes sociales implicados, donde se informe y debatan los diagnósticos elaborados, se propongan alternativas a la situación actual de desarrollo rural y gestión de los recursos hídricos, y se valoren los costes y beneficios de cada una de estas alternativas y medidas propuestas, con el fin de diseñar también cuanto antes un Plan de Acción para la recuperación del río Guadalete, que pueda llevarse a cabo gradualmente en función de las disponibilidades presupuestarias, pero siguiendo una trayectoria de recuperación ecológica válida a medio y largo plazo, valorada y aceptada por todas las partes implicadas.

Madrid, 17 de Noviembre de 2010

## **ANEXO**

Delimitación del Territorio Fluvial y Unidades morfológicas del río Guadalete (Presa de Arcos-Jerez de la Frontera) sobre fotografías aéreas de 1956 y 2004

