CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Ciclo de Planificación Hidrológica 2015/2021

PLAN HIDROLÓGICO

Demarcación Hidrográfica del Guadalete-Barbate

Andalucía se mueve con Europa

ANEJO 5

IMPLANTACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

JUNTA DE ANDALUCIA

Unión Europea

Fondo Europeo de Desarrollo Regional

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1
2 BASE NORMATIVA 3
2.1 TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS 3
2.2 LEY 10/2001 DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL Y LEY 11/2005 POR LA QUE SE MODIFICA LA LEY 10/2001 DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL 4
2.3 REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA 5
2.4 LEY DE AGUAS PARA ANDALUCÍA 6
2.5 INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA PARA LAS DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS INTRACOMUNITARIAS DE ANDALUCÍA 7
3 ANTECEDENTES EN LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS 8
4 FASES EN EL ESTABLECIMIENTO DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS 9
5 OBJETIVOS DE LOS REGÍMENES DE CAUDALES ECOLÓGICOS 11
6 ESTUDIOS TÉCNICOS 14
6.1 INTRODUCCIÓN 14
6.2 MASAS DE AGUA TIPO RÍO 14
6.2.1 COMPONENTES DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS 14
6.2.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS 15
6.2.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÁXIMOS 21
6.2.4 TASA DE CAMBIO 22
6.2.5 CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS 22
6.2.6 CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS 23
6.2.7 MASAS DE AGUA MUY ALTERADAS HIDROLÓGICAMENTE 26
6.2.8 RÉGIMEN DE CAUDALES DURANTE SEQUÍAS PROLONGADAS 26
6.3 LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS 27
6.4 MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN 28
7 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS 30
7.1 SELECCIÓN DE LAS MASAS DE AGUA ESTRATÉGICAS 31
7.1.1 DATOS DE PARTIDA UTILIZADOS 32
7.1.2 CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS MASAS ESTRATÉGICAS 34
7.2 CAUDALES MÍNIMOS 37
7.2.1 MÉTODOS HIDROLÓGICOS 37
7.2.2 MÉTODOS DE HÁBITATS 42
7.2.3 VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS 53
7.2.4 EXTRAPOLACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES MÍNIMOS AL RESTO DE MASAS DE AGUA TIPO RÍO 56
7.2.5 CONTRIBUCIÓN AL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS DE LAS APORTACIONES SUBTERRÁNEAS AL SISTEMA SUPERFICIAL 56
7.2.6 RÉGIMEN DE CAUDALES MÍNIMOS CONSIDERADO EN LAS MASAS DE AGUA ESTRATÉGICAS 58

7.3 CAUDALES MÁXIMOS 59
7.3.1 CAUDALES MÁXIMOS EN FUNCIÓN DE LA MODELACIÓN DE HÁBITATS 59
7.3.2 CAUDALES MÁXIMOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO 61
7.3.3 DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES MÁXIMOS 62
7.4 TASAS DE CAMBIO 62
7.5 CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS 63
7.5.1 CÁLCULO DEL CAUDAL GENERADOR. OPCIÓN 1 63
7.5.2 CÁLCULO DEL CAUDAL GENERADOR. OPCIÓN 2.SEGÚN LOS CRITERIOS DE LA IPHA Y DEL REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO 66
7.5.3 DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS 67
8 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN LAS MASAS DE TRANSICIÓN 68
8.1 METODOLOGÍA 68
8.2 RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO EN LAS AGUAS DE TRANSICIÓN 70
9 PROCESO DE CONCERTACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS 74
10PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS 76
11REPERCUSIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS SOBRE LOS USOS DEL AGUA 78

APÉNDICES:

APÉNDICE 5.1. RÉGIMEN DE CAUDALES MÍNIMOS EN LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIALES TIPO RÍO

GRÁFICOS

GRÁFICO 7.1.1. (1): PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA SUBCUENCAS DE ZAHARA. 33
GRÁFICO 7.1.1. (2): CAUDAL SIMULADO VS MEDIDO EN BARBATE Y PRECIPITACIÓN MEDIA EN LA CUENCA (1985-2007) 34
GRÁFICO 7.1.2.1. (1): CURVA CLASIFICADA DEL NÚMERO DE DÍAS CON CAUDAL INFERIOR A 10 L/S EN ZAHARA. 37
GRÁFICO 7.2.2.1. (1): CURVA DE PREFERENCIA DE PROFUNDIDAD (M.) PARA *CHONDROSTOMA POLYLEPIS*, (MARTÍNEZ-CAPEL, 2004) 45
GRÁFICO 7.2.2.1. (2): CURVA DE PREFERENCIA DE VELOCIDAD (M·S-1) PARA *CHONDROSTOMA POLYLEPIS*, (MARTÍNEZ-CAPEL, 2004) 46
GRÁFICO 7.2.2.2.1. (1): VALORES DE APU EN AMBOS HIDROPERIODOS EN FUNCIÓN DEL CAUDAL, PARA LAS DIFERENTES HIPÓTESIS PLANTEADAS DE PENDIENTE Y RUGOSIDAD EN LA SUBCUENCA DE ALMODÓVAR 48
GRÁFICO 7.2.2.2.2. (1): VALORES DE APU EN AMBOS HIDROPERIODOS EN FUNCIÓN DEL CAUDAL, PARA LAS DIFERENTES HIPÓTESIS PLANTEADAS DE PENDIENTE Y RUGOSIDAD EN LA SUBCUENCA DE HURONES 50

GRÁFICO 7.2.2.2.3. (1): VALORES DE APU EN AMBOS HIDROPERIODOS EN FUNCIÓN DEL CAUDAL, PARA LAS DIFERENTES HIPÓTESIS PLANTEADAS DE PENDIENTE Y RUGOSIDAD EN LA SUBCUENCA DE ZAHARA 52

GRÁFICO 7.5.1. (1): HIDROGRAMA DE CRECIDA EN LA CUENCA DE ALMODÓVAR 65

GRÁFICO 7.5.1. (2): HIDROGRAMA DE CRECIDA EN LA CUENCA DE ARCOS 65

FIGURAS:

FIGURA 6.2.5.1.2. (1): ESQUEMA DE CÁLCULO DEL QBM. FUENTE: GUÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS (HERNÁNDEZ *ET AL.*, 2008) 17

FIGURA 6.2.5.2. (1): REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA METODOLOGÍA IFIM. 18

FIGURA 6.2.5.2.2. (1): REPRESENTACIÓN GRÁFICA EN 1D, BASADO EN CELDAS RECTANGULARES ENTRE TRANSECTOS 19

FIGURA 6.2.5.2.2. (2): REPRESENTACIÓN DEL HÁBITAT EN 2D. REPRESENTACIÓN ESPACIAL DEL CAMPO DE PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES. 20

FIGURA 6.2.5.2.2. (3): ESQUEMA CONCEPTUAL DE LA MODELACIÓN DEL HÁBITAT. 20

FIGURA 7. 1. (1): PUNTOS SELECCIONADOS EN LA DEMARCACIÓN GUADALETE-BARBATE PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE CAUDALES ECOLÓGICOS. 32

FIGURA 7.2.5. (1): EJEMPLO DE LA MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES MÍNIMOS. 57

FIGURA 7.2.5. (2): APORTACIONES SUBTERRÁNEAS AL SISTEMA SUPERFICIAL EN RÉGIMEN NATURAL. 58

TABLAS:

TABLA 6.2.5.1.1. (1): ESQUEMA DE CÁLCULO DEL RVA. FUENTE: GUÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS (HERNÁNDEZ *ET AL.*, 2008) 16

TABLA 7.1. (1): PUNTOS SELECCIONADOS EN LA DEMARCACIÓN GUADALETE-BARBATE PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE CAUDALES ECOLÓGICOS 31

TABLA 7.1.2. (1): CLASIFICACIÓN DE LOS TRAMOS ANALIZADOS EN LOS SISTEMAS GUADALETE Y BARBATE 35

TABLA 7.2.1.1. (1): DEMANDA AMBIENTAL SEGÚN EL MÉTODO DE RVA EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO DEL SISTEMA GUADALETE 38

TABLA 7.2.1.1. (2): DEMANDA AMBIENTAL SEGÚN EL MÉTODO DE RVA EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO DEL SISTEMA BARBATE 38

TABLA 7.2.1.2. (1): QBM EN LAS SUBCUENCAS DEL SISTEMA GUADALETE 39

TABLA 7.2.1.2. (2): QBM EN LAS SUBCUENCAS DEL SISTEMA BARBATE 40

TABLA 7.2.2.1. (1): VALORACIÓN DE LA PRESENCIA EN LA DEMARCACIÓN (MÍNIMO=0, MÁXIMO=10). INVENTARIO NACIONAL DE BIODIVERSIDAD. 43

TABLA 7.2.2.1. (2): CURVA DE PREFERENCIA DE PROFUNDIDAD (M.) PARA *CHONDROSTOMA POLYLEPIS*, (MARTÍNEZ-CAPEL, (2004) 44

TABLA 7.2.2.1. (3): CURVA DE PREFERENCIA DE VELOCIDAD ($M \cdot S^{-1}$) PARA *CHONDROSTOMA POLYLEPIS,* (MARTÍNEZ-CAPEL, 2004) 45

TABLA 7.2.2.2.1. (1): VALORES DE APU_{MAX} PARA DIFERENTES PENDIENTES Y NÚMEROS DE MANNING EN LA SUBCUENCA DE ALMODÓVAR 47

TABLA 7.2.2.2.1. (2): RESUMEN DEL CÁLCULO DE CAUDAL MÍNIMO SEGÚN EL MÉTODO DE HÁBITAT EN LA SUBCUENCA DE ALMODÓVAR 48

TABLA 7.2.2.2.2. (1): VALORES DE APU_{MAX} PARA DIFERENTES PENDIENTES Y NÚMEROS DE MANNING EN LA SUBCUENCA DE HURONES 49

TABLA 7.2.2.2.2. (2): RESUMEN DEL CÁLCULO DE CAUDAL MÍNIMO SEGÚN EL MÉTODO DE HÁBITAT EN LA SUBCUENCA DE HURONES 50

TABLA 7.2.2.2.3. (1): VALORES DE APU_{MAX} PARA DIFERENTES PENDIENTES Y NÚMEROS DE MANNING EN LA SUBCUENCA DE ZAHARA 51

TABLA 7.2.2.2.3. (2): RESUMEN DEL CÁLCULO DE CAUDAL MÍNIMO SEGÚN EL MÉTODO DE HÁBITAT EN LA SUBCUENCA DE ZAHARA 52

TABLA 7.2.3.1. (1): COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS A LA SALIDA DEL EMBALSE DE HURONES 54

TABLA 7.2.3.1. (2): COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS A LA SALIDA DEL EMBALSE DE ZAHARA 54

TABLA 7.2.3.1. (3): COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS A LA SALIDA DEL EMBALSE DE ALMODOVAR 55

TABLA 7.2.6. (1): CARACTERÍSTICAS DE LOS CAUDALES MÍNIMOS REPRESENTATIVOS DE CAUDALES ECOLÓGICOS INCLUIDOS EN EL MODELO DE SIMULACIÓN EN LOS PRINCIPALES EMBALSES DEL SISTEMA GUADALETE, EN HM3/MES. 58

TABLA 7.2.6. (2): CARACTERÍSTICAS DE LOS CAUDALES MÍNIMOS REPRESENTATIVOS DE CAUDALES ECOLÓGICOS INCLUIDOS EN EL MODELO DE SIMULACIÓN EN LOS EMBALSES DEL SISTEMA BARBATE, EN HM3/MES. 59

TABLA 7.3.1. (1): CAUDALES ORIENTATIVOS DE CAUDAL MÁXIMO A DESEMBALSAR EN LOS PRINCIPALES EMBALSES DEL SISTEMA GUADALETE, EN $M^3 \cdot S^{-1}$ 60

TABLA 7.3.1. (2): CAUDALES ORIENTATIVOS DE CAUDAL MÁXIMO A DESEMBALSAR EN LOS PRINCIPALES EMBALSES DEL SISTEMA BARBATE, EN $M^3 \cdot S^{-1}$ 60

TABLA 7.3.2. (1): CAUDALES ORIENTATIVOS DE CAUDAL MÁXIMO A DESEMBALSAR, SEGÚN LOS CRITERIOS DE LA IPHA, EN LOS PRINCIPALES EMBALSES DEL SISTEMA GUADALETE, EN $M^3 \cdot S^{-1}$ 61

TABLA 7.3.2. (2): CAUDALES ORIENTATIVOS DE CAUDAL MÁXIMO A DESEMBALSAR, SEGÚN LOS CRITERIOS DE LA IPHA, EN LOS PRINCIPALES EMBALSES DEL SISTEMA BARBATE, EN $M^3 \cdot S^{-1}$ 61

TABLA 7.4. (1): TASAS DE CAMBIO EN LOS EMBALSES DEL SISTEMA GUADALETE 62
TABLA 7.4. (2): TASAS DE CAMBIO EN LOS EMBALSES DEL SISTEMA BARBATE 62
TABLA 7.5.1. (1): ESTADÍSTICOS DE CADA UNA DE LAS CUENCAS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL DE MÁXIMA CRECIDA ORDINARIA 64
TABLA 7.5.2. (1): CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS Y PROPUESTA DE CAUDAL GENERADOR EN LOS EMBALSES DEL SISTEMA GUADALETE. 66
TABLA 7.5.2. (2): CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS Y PROPUESTA DE CAUDAL GENERADOR EN LOS EMBALSES DEL SISTEMA BARBATE. 67
TABLA 8.1 (1): CLASIFICACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA TRANSICIÓN. 69
TABLA 8.2 (1): PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS MASAS DE TRANSICIÓN SITUADAS EN EL ESTUARIO DEL RÍO GUADALETE. 71
TABLA 8.2 (2): PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS MASAS DE TRANSICIÓN SITUADAS EN EL ÁREA MARISMEÑA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALETE. 71
TABLA 8.2 (3): PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS MASAS DE TRANSICIÓN SITUADAS EN LAS MARISMAS DE CÁDIZ Y SAN FERNANDO. 72
TABLA 8.2 (4): PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS MASAS DE TRANSICIÓN SITUADAS EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO BARBATE. 72
TABLA 8.2 (5): MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN QUE REQUERIRÁN DE UN ANÁLISIS PARA ESTABLECER EL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS 72
TABLA 10 (1): RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS CONSIDERADOS EN LAS MASAS DE AGUA ESTRATÉGICAS DEL SISTEMA GUADALETE. 76
TABLA 10 (2): RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS CONSIDERADOS EN LAS MASAS DE AGUA ESTRATÉGICAS DEL SISTEMA BARBATE. 77

1 INTRODUCCIÓN

El agua es un bien escaso en muchas zonas de España donde existe una importante presión antrópica sobre el medio hídrico debido a la utilización del recurso. El gran objetivo de la planificación hidrológica es lograr la compatibilidad de los usos del agua con la preservación y mejora del medio ambiente. Ello requiere de una planificación y gestión eficaces para asegurar el suministro a todos los usuarios y evitar la degradación de los ecosistemas fluviales.

Con objeto de asegurar esta compatibilidad, se han establecido una serie de objetivos medioambientales cuyo cumplimiento debe asegurar la disponibilidad de recursos en cantidad y calidad suficientes. Pero además de estos objetivos, debido a la problemática derivada de la escasez de agua, se hace imprescindible establecer una restricción al uso del recurso, con el objetivo de mantener la funcionalidad de los ecosistemas, evitando su deterioro. Así queda plasmado en la legislación española y andaluza, que establecen la necesidad de determinar los caudales ecológicos en los planes de cuenca, entendiendo los mismos como una restricción impuesta con carácter general a los sistemas de explotación. Esta normativa incluye además las disposiciones que definen el concepto de caudal ecológico, su consideración como una restricción previa al uso en los sistemas de explotación y el proceso para su implantación.

La Directiva Marco del Agua (en adelante DMA), determina que los estados miembros de la Unión Europea deben establecer las medidas necesarias para alcanzar el buen estado de las aguas superficiales y subterráneas.

Es importante destacar que, si bien en la Directiva Marco del Agua (en adelante DMA) no se establece el requerimiento de establecer regímenes de caudales ecológicos, la determinación de los mismos y su mantenimiento supone un paso adelante en el camino hacia el logro del buen estado de las masas de agua, objetivo concreto y principio que inspira toda la DMA. Por lo tanto, los caudales ecológicos no se conciben como un fin en sí mismo sino como un medio para alcanzar el objetivo citado.

El PHDGB 2009/15, que establece un régimen de caudales ambientales en las masas estratégicas de la demarcación, debe de ser revisado y actualizado según se indica en el artículo 13.7 de la DMA, que establece que los planes hidrológicos de cuenca se revisarán y actualizarán a más tardar quince años después de la entrada en vigor de la DMA, y posteriormente cada seis años.

Así, dentro del segundo ciclo de planificación hidrológica 2015/21, en la presente Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación del Guadalete-Barbate 2015/21 (PHDGB 2015/21) se revisa y actualiza el contenido del PHDGB 2009/15.

En este anejo relativo a los caudales ecológicos se presenta la base normativa de aplicación, los objetivos y fases para su implantación, así como los trabajos necesarios para su implantación y los resultados obtenidos.

El apartado de normativa describe los artículos relacionados con el establecimiento de regímenes de caudales ecológicos recogidos en el Texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA), la ley del Plan Hidrológico Nacional (PHN) y sus modificaciones, el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH), la Ley de Aguas para Andalucía (LAA) y la Instrucción de Planificación Hidrológica Andaluza (IPHA).

El apartado de los estudios técnicos describe esquemáticamente la metodología y fases del estudio técnico.

El apartado de presentación de resultados incluye una síntesis de los resultados obtenidos para las masas de agua estudiadas. Destacar que en este anejo se ha realizado un análisis pormenorizado del régimen de caudales ecológicos en las masas de agua superficiales tipo río. En cuanto a las masas de agua de transición se realiza un breve análisis, que debe servir como punto de partida para posteriores estudios que tendrán lugar durante el siguiente proceso de planificación.

El apartado de repercusión del régimen de caudales sobre los usos del agua incluye el análisis de las repercusiones económicas, sociales, en los usos del agua y en los niveles de garantía que el establecimiento del régimen de caudales ecológicos supone.

La implantación del régimen de caudales ambientales se realiza en 3 fases:

1. Desarrollo de estudios técnicos para determinar los elementos del régimen de caudales ambientales en todas las masas de agua.

2. Proceso de concertación con los usuarios actuales en aquellos casos que condicionen significativamente las asignaciones y reservas del Plan Hidrológico consideradas masas estratégicas.

3. Implantación de los regímenes de caudales ambientales finalmente concertados.

El presente anejo tiene como objeto exponer la primera fase del proceso de implantación de caudales ambientales, correspondiente al desarrollo de los estudios técnicos para la determinación de los elementos del régimen de caudales ambientales en las masas de agua estratégicas, y es una continuación de los trabajos que se llevaron a cabo en el primer ciclo de planificación (2009/2015).

El apartado de proceso de concertación describe las fases posteriores a realizar para la determinación de los regímenes de caudales ecológicos, mediante la concertación con usuarios y agentes interesados y el proceso hasta su implantación final.

2 BASE NORMATIVA

El marco normativo en el ordenamiento jurídico español para la determinación de regímenes de caudales ecológicos viene establecido por el Real Decreto 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA); por la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional; por la Ley 11/2005, de 22 de julio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional y por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH).

Del mismo modo, también se ha considerado la legislación andaluza en materia de aguas, destacando la Ley 9/2010 de aguas para Andalucía, así como la Instrucción de Planificación Hidrológica de las Demarcaciones Intracomunitarias de Andalucía, IPHA en adelante, aprobada por la Orden de 11 de Marzo de 2015 de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, que desarrolla los contenidos de la normativa y define la metodología de aplicación.

Este apartado presenta un breve resumen de los contenidos relativos al establecimiento de regímenes de caudales ecológicos en estos documentos normativos.

2.1 TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS

La norma básica en materia de planificación y gestión de las aguas es el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA), compuesto por el Real Decreto Legislativo (RDL) 1/2001, de 20 de julio, y sus sucesivas modificaciones, entre las cuales cabe destacar para este documento la introducida por la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional, que incorpora las bases de los caudales ecológicos.

El artículo 42 del TRLA, Contenido de los planes hidrológicos de cuenca, establece lo siguiente:

Artículo 42. Contenido de los planes hidrológicos de cuenca.

1. Los planes hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente:

(...)

b) La descripción general de los usos, presiones e incidencias antrópicas significativas sobre las aguas, incluyendo:

(...)

c') La asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuros, así como para la conservación o recuperación del medio natural. A este efecto se determinarán:

Los caudales ecológicos, entendiendo como tales los que mantienen como mínimo la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.

Por otro lado, en el artículo 59.7 se establecen los caudales ecológicos como restricciones a los sistemas de explotación:

Artículo 59. Concesión administrativa.

7. Los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso a efectos de lo previsto en este artículo y siguientes, debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación. En todo caso, se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre la supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones recogida en el párrafo final del apartado 3 del artículo 60. Los caudales ecológicos se fijarán en los Planes Hidrológicos de Cuenca. Para su establecimiento, los organismos realizarán estudios específicos para cada tramo de río.

2.2 LEY 10/2001 DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL Y LEY 11/2005 POR LA QUE SE MODIFICA LA LEY 10/2001 DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL

La Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, así como su modificación mediante la Ley 11/2005, de 22 de junio, desarrollan el artículo 59.7 de la Ley 1/2001 del Texto Refundido de la Ley de Aguas. Así, en el artículo 26 de la Ley 10/2001 (con las modificaciones establecidas por la Ley 11/2005), se establece lo siguiente:

Artículo 26. Caudales ambientales.

- A los efectos de la evaluación de disponibilidades hídricas, los caudales ambientales que se fijen en los Planes Hidrológicos de cuenca, de acuerdo con la Ley de Aguas, tendrán la consideración de una limitación previa a los flujos del sistema de explotación, que operará con carácter preferente a los usos contemplados en el sistema. Para su establecimiento, los Organismos de cuenca establecerán estudios específicos para cada tramo de río, teniendo en cuenta la dinámica de los ecosistemas y las condiciones mínimas de su biocenosis. Las disponibilidades obtenidas en estas condiciones son las que pueden, en su caso, ser objeto de asignación y reserva para los usos existentes y previsibles. La fijación de los caudales ambientales se realizará con la participación de todas las Comunidades Autónomas que integren la cuenca hidrográfica, a través de los Consejos del Agua de las respectivas cuencas, sin perjuicio de lo dispuesto en la disposición adicional décima en relación con el Plan Integral de Protección del Delta del Ebro.

- Sin perjuicio de lo establecido en el número anterior y desde el punto de vista de la explotación de los sistemas hidráulicos, los caudales ambientales tendrán la consideración de objetivos a satisfacer de

forma coordinada en los sistemas de explotación, y con la única preferencia del abastecimiento a poblaciones.

Por su parte, el artículo 31 de la Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional establece lo siguiente:

Artículo 31. Humedales.

- El Ministerio de Medio Ambiente, en coordinación con las Comunidades Autónomas, establecerá un sistema de investigación y control para determinar los requerimientos hídricos necesarios que garanticen la conservación de los humedales existentes que estén inventariados en las cuencas intercomunitarias.
- Asimismo, el Ministerio de Medio Ambiente y las Comunidades Autónomas promoverán la recuperación de humedales, regenerando sus ecosistemas y asegurando su pervivencia futura.

2.3 REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

El Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH), aprobado mediante el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, recoge el articulado y detalla las disposiciones del TRLA relevantes para la planificación hidrológica.

El artículo 3.j) recoge y amplía la definición contenida en el TRLA, ligándola a los conceptos de estado introducidos por la Directiva Marco:

j) Caudal ecológico: caudal que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.

En su artículo 18 recoge lo referente a la implantación de regímenes de caudales ecológicos.

Artículo 18. Caudales ecológicos.

1. El plan hidrológico determinará el régimen de caudales ecológicos en los ríos y aguas de transición definidos en la demarcación, incluyendo también las necesidades de agua de los lagos y de las zonas húmedas.
2. Este régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición. Para su establecimiento los organismos de cuenca realizarán estudios específicos en cada tramo de río.
3. El proceso de implantación del régimen de caudales ecológicos se desarrollará conforme a un proceso de concertación que tendrá en cuenta los usos y demandas actualmente existentes y su régimen concesional, así como las buenas prácticas.

4. En caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente, siempre que se cumplan las condiciones que establece el artículo 38 sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua. Esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la red Natura 2000 o en la Lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el Convenio de Ramsar, de 2 de febrero de 1971. En estas zonas se considerará prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones.

5. En la determinación del flujo interanual medio requerido para el cálculo de los recursos disponibles de agua subterránea se tomará como referencia el régimen de caudales ecológicos calculado según los criterios definidos en los apartados anteriores.

2.4 LEY DE AGUAS PARA ANDALUCÍA

El 30 de Julio de 2010 se aprueba la Ley 9/2010 de aguas para Andalucía. En la misma se define el caudal ecológico como el caudal que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.

Según el Artículo 22, en el que se fijan los objetivos de la planificación:

[...] la planificación en el ámbito de las aguas de competencia de la Comunidad Autónoma de Andalucía tiene como finalidad conseguir el buen estado ecológico del dominio público hidráulico y de las masas de agua, compatibilizando con la garantía sostenible de las demandas de agua. Para ello, la planificación tiene como objetivos:

[...]

> *b) Dar respuesta a la demanda de agua, con criterios de racionalidad y en función de las disponibilidades reales, una vez garantizados los caudales o demandas ambientales, en los términos establecidos por el artículo 59.7 del Texto Refundido de la Ley de Aguas.*

[...]

> *g) Fijar el caudal ecológico de cada masa de agua, de acuerdo con los requerimientos necesarios para alcanzar el buen estado ecológico de las mismas.*

Al igual que en el TRLA, los caudales ecológicos no tendrán carácter de uso:

Artículo 44.4: Los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso, por lo que no existirá el deber de indemnización de los costes que generen, debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación.

2.5 INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA PARA LAS DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS INTRACOMUNITARIAS DE ANDALUCÍA

La Instrucción de Planificación Hidrológica de las Demarcaciones Intracomunitarias de Andalucía (IPHA), aprobada por la Orden de 11 de Marzo de 2015 de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, en el apartado 3.4 recoge ampliamente la cuestión de los caudales ecológicos, desarrollando tanto sus objetivos como las fases en que debe implantarse y las metodologías a seguir para ello.

Puesto que la IPHA establece todas las bases metodológicas que han de considerarse en la implantación de caudales ecológicos y necesidades hídricas de lagos y humedales, se omite en este apartado la trascripción de la citada norma, recogiéndose en los apartados posteriores.

3 ANTECEDENTES EN LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

En el anterior proceso de Planificación (PHDGB 2009/15) se llevó a cabo una primera caracterización del régimen de caudales ecológicos acorde a lo establecido en el Reglamento de Planificación Hidrológica.

Para ello, se realizó una caracterización del régimen de caudales mínimos en todas las masas de agua superficiales tipo río, prestando especial interés a aquellas masas de agua en las que el cumplimiento de este régimen de caudales podría entrar en conflictos con otros usos.

Del mismo modo, en estas masas estratégicas se llevó a cabo una primera aproximación del cálculo de caudales máximos, tasa de cambio y régimen de crecidas para cumplir con los cuatro componentes del régimen de caudales ecológicos.

El régimen de caudales mínimos en estas masas de agua estratégicas se ha sometido a procesos de concertación, de modo que en este proceso de planificación (2015/21) se han tenido en cuenta las diferentes consideraciones efectuadas al respecto.

4 FASES EN EL ESTABLECIMIENTO DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El proceso general para la implantación de los regímenes de caudales ecológicos debe constar de tres fases:

- Una primera fase de desarrollo de los estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos en todas las masas de agua. Los estudios a desarrollar deben identificar y caracterizar aquellas masas muy alteradas hidrológicamente, sean masas de agua muy modificadas o no, donde pueden existir conflictos significativos con los usos del agua. Durante esta fase se define un régimen de caudales mínimos menos exigente para sequías prolongadas.

- Una segunda fase consistente en un proceso de concertación, definido por varios niveles de acción (información, consulta pública y participación activa), en aquellos caos que condicionen significativamente las asignaciones y reservas del plan hidrológico.

- Una tercera fase consistente en el proceso de implantación concertado de todos los componentes del régimen de caudales ecológicos y su seguimiento adaptativo.

La complejidad intrínseca de este proceso y el gran número de masas de agua superficial en la Demarcación Hidrológica Guadalete-Barbate impide la extensión de este proceso a todas las masas de agua en el reducido plazo disponible. También debe mencionarse la limitada experiencia en algunos trabajos inherentes a este tipo de determinaciones, que, siempre según la IPHA, comprenden una doble vertiente:

- Por una parte, análisis hidrológicos de las masas de agua, a realizar en gabinete y para los que se dispone de información suficiente.

- Por otra, la realización de estudios ecológicos “in situ” o la recopilación de información existente para conocer las especies que existen, o podrían existir, en cada masa de agua y obtención de las curvas que relacionan el caudal con la disponibilidad de hábitat adecuado para las mismas.

Por lo tanto, consideraciones obvias de índole práctica han llevado a aplicar en esta fase un procedimiento que asegura la compatibilidad de los objetivos buscados con los medios y plazos realmente disponibles.

Para ello, se ha realizado un análisis exhaustivo en las denominadas masas estratégicas, entendidas como aquellas en las que el establecimiento del régimen de caudales ecológicos condiciona, o puede condicionar, las asignaciones y reservas de recursos del Plan Hidrológico. Este aspecto se estima de gran importancia, ya que será en estas masas donde deberá realizarse el proceso de concertación con el resto de usuarios implicados.

En consecuencia, y aunque en la normativa de este PHGB se den valores específicos para los caudales mínimos en todas las masas de agua de la demarcación, será en las masas estratégicas donde se llevará

a cabo un mayor seguimiento en el cumplimiento del cita régimen de caudales. Por ello, en estas masas de agua deberán existir elementos adecuados de medida para el seguimiento continuo de los mismos, ya que el establecimiento del régimen de caudales tendrá un componente temporal, de modo que no solo será necesario cumplir un valor anual, sino que también será de obligado cumplimiento la estacionalidad de los diferentes caudales.

Para las restantes masas de agua, en esta primera fase, se ha estimado el régimen de caudales mínimos por métodos hidrológicos, de modo que pueda servir como punto de partida a la hora de gestionar la cuenca por parte del organismo competente. Procede abrir, con posterioridad a la elaboración del PHDGB una nueva etapa de estudios para avanzar en la determinación e implantación del resto de elementos del régimen de caudales ecológicos sobre bases firmes

5 OBJETIVOS DE LOS REGÍMENES DE CAUDALES ECOLÓGICOS

De acuerdo con la IPHA, el régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición.

Para alcanzar estos objetivos el régimen de caudales ecológicos deberá cumplir los requisitos siguientes:

- Proporcionar condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante el mantenimiento de los procesos ecológicos y geomorfológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.

- Ofrecer un patrón temporal de caudales que permita la existencia, como máximo, de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y hábitat asociados y permita mantener la integridad biológica del ecosistema.

En la consecución de estos objetivos tienen prioridad los referidos a zonas protegidas, a continuación los referidos a masas de agua naturales y finalmente los referidos a masas de agua muy modificadas.

En la medida en que las zonas protegidas de la Red Natura 2000 y de la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar puedan verse afectadas de forma apreciable por los regímenes de caudales ecológicos, éstos serán los apropiados para mantener o restablecer un estado de conservación favorable de los hábitat o especies, respondiendo a sus exigencias ecológicas y manteniendo a largo plazo las funciones ecológicas de las que dependen.

En el caso de las especies protegidas por normativa europea (anexo I de la Directiva 79/409/CEE, del Consejo, de 2 de abril de 1979, relativa a la conservación de las aves silvestres y anexos II y IV de la Directiva 92/43/CEE , del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres) y por normativa nacional/autonómica (Catálogos de Especies Amenazadas, etc.), así como en el caso de los hábitat igualmente protegidos por normativa europea (anexo I de la Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992) y nacional/autonómica (Inventario Nacional de Hábitat, etc.), el objetivo del régimen de caudales ecológicos será salvaguardar y mantener la funcionalidad ecológica de dichas especies (áreas de reproducción, cría, alimentación y descanso) y hábitat según los requerimientos y directrices recogidos en las respectivas normativas.

La determinación e implantación del régimen de caudales en las zonas protegidas no se referirá exclusivamente a la propia extensión de la zona protegida, sino también a los elementos del sistema hidrográfico que, pese a estar fuera de ella, puedan tener un impacto apreciable sobre dicha zona.

La caracterización de los requerimientos hídricos ambientales de las masas de agua clasificadas en la categoría de lagos o zonas de transición de tipo lagunar tiene como objetivo fundamental contribuir a alcanzar su buen estado o potencial ecológico a través del mantenimiento a largo plazo de la funcionalidad y estructura de dichos ecosistemas, proporcionando las condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante la preservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.

Para la determinación de los requerimientos hídricos de los lagos y zonas húmedas se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- El régimen de aportes hídricos deberá contribuir a conseguir los objetivos ambientales.
- Si son dependientes de las aguas subterráneas, se deberá mantener un régimen de necesidades hídricas relacionado con los niveles piezométricos, de tal forma que las alteraciones debidas a la actividad humana no tengan como consecuencia:
    - Impedir alcanzar los objetivos medioambientales especificados para las aguas superficiales asociadas.
    - Cualquier perjuicio significativo a los ecosistemas terrestres asociados que dependan directamente de la masa de agua subterránea.
- Si están registrados como zonas protegidas, el régimen de aportes hídricos será tal que no impida el cumplimiento de las normas y objetivos en virtud del cual haya sido establecida la zona protegida.
- También se deberán estudiar las circunstancias especiales de la zona inundada y su contorno para proponer medidas que permitan aumentar el valor ambiental de lagos y zonas húmedas.

En caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente siempre que se cumplan las condiciones que establece el artículo 38 del Reglamento de la Planificación Hidrológica sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua, y de conformidad con lo determinado en el correspondiente Plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía.

Esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la red Natura 2000, cuando su designación esté relacionada con la protección de hábitats y/o especies ligados al medio acuático, o en la lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el Convenio de Ramsar. En estas zonas se considerará prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones, según lo establecido por la normativa vigente.

Por lo tanto, a la hora de designar las masas de agua estratégicas, sobre las que se realiza un análisis pormenorizado del régimen de caudales ecológicos, se tendrá en cuenta su afección a diferentes zonas incluidas en la red Natura 2000, tal y como se podrá ver posteriormente en este Anejo.

6 ESTUDIOS TÉCNICOS

6.1 INTRODUCCIÓN

Como ya se ha mencionado, la metodología para la determinación de los regímenes de caudales ecológicos sigue, en la mayoría de los aspectos, las disposiciones establecidas en la IPHA. Este documento establece los procedimientos técnicos básicos para la obtención de dichos regímenes y es, por tanto, la referencia fundamental en la que se han basado los estudios realizados.

Para la evaluación del régimen de caudales ecológicos en esta demarcación se ha contado con la colaboración del Grupo de Hidrología e Hidráulica Agrícola de la Universidad de Córdoba, que ha aportado su extensa experiencia en el cálculo de este tipo de trabajos en todo el territorio andaluz.

El ámbito espacial para la caracterización del régimen de caudales ecológicos se extiende a las principales masas de agua superficial clasificadas en las categorías de río y de aguas de transición.

La determinación del régimen de caudales ecológicos de una masa de agua se realiza teniendo en cuenta los requerimientos ambientales de las masas de agua asociadas a ella, con el fin de definir un régimen consecuente con los objetivos definidos en el capítulo anterior.

En este anejo se ha realizado un análisis más detallado en el régimen de caudales ecológicos en las masas de agua tipo río, ya que actualmente el estado del arte en cuanto a la evaluación de caudales ecológicos en masas de agua de transición no se encuentra muy avanzado.

6.2 MASAS DE AGUA TIPO RÍO

6.2.1 COMPONENTES DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El régimen de caudales ecológicos incluye los siguientes componentes:

- Caudales mínimos que deben ser superados con objeto de mantener la diversidad espacial del hábitat y su conectividad, asegurando los mecanismos de control del hábitat sobre las comunidades biológicas, de forma que se favorezca el mantenimiento de las comunidades autóctonas.

- Caudales máximos que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras, con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas más vulnerables a estos caudales, especialmente en tramos fuertemente regulados.

- Distribución temporal de los anteriores caudales mínimos y máximos, con el objetivo de establecer una variabilidad temporal del régimen de caudales que sea compatible con los requerimientos de los

diferentes estadios vitales de las principales especies de fauna y flora autóctonas presentes en la masa de agua.

- Caudales de crecida aguas abajo de infraestructuras de regulación, con objeto de controlar la presencia y abundancia de las diferentes especies, mantener las condiciones físico-químicas del agua y del sedimento, mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat a través de la dinámica geomorfológica y favorecer los procesos hidrológicos que controlan la conexión de las aguas de transición con el río, el mar y los acuíferos asociados.

- Tasa de cambio aguas abajo de infraestructuras de regulación, con objeto de evitar los efectos negativos de una variación brusca de los caudales, como pueden ser el arrastre de organismos acuáticos durante la curva de ascenso y su aislamiento en la fase de descenso de los caudales. Asimismo, debe contribuir a mantener unas condiciones favorables a la regeneración de especies vegetales acuáticas y ribereñas.

En este proceso de planificación se prestará especial atención al régimen de caudales mínimos, ya que es del que se dispone un mayor conocimiento en su estimación y aplicación. Para futuros procesos de planificación se llevará a cabo un estudio más detallado del resto de componentes del régimen de caudales ecológicos.

6.2.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS

La distribución temporal de caudales mínimos se establece mediante la selección de periodos homogéneos y representativos en función de la naturaleza hidrológica de la masa de agua y de los ciclos biológicos de las especies autóctonas, identificándose al menos dos períodos distintos dentro del año.

Esta distribución se obtiene aplicando métodos hidrológicos y ajustando sus resultados mediante la modelación de la idoneidad del hábitat en tramos fluviales representativos de cada tipo de río.

Una vez seleccionado el método hidrológico que proporciona mejores resultados en la DHGB, se puede estimar el régimen de caudales mínimos para todas las masas de agua tipo río de la Demarcación.

A continuación se muestra un resumen teórico de los principales métodos hidrológicos y de modelación de la idoneidad de hábitats utilizados para el establecimiento del régimen de caudales mínimos.

6.2.2.1 MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Para la cuantificación del régimen de caudales mínimos por métodos hidrológicos existen numerosas metodologías basadas en el análisis estadístico de los caudales medios diarios o mensuales.

En este caso se han aplicado dos técnicas, el método del Caudal Básico de Mantenimiento (QBM) y el de "Range of Variability Approach" (RVA), ambos recomendados por la Instrucción de Planificación

Hidrológica Andaluza (IPHA). A continuación se presenta un pequeño resumen de los métodos anteriormente comentados.

6.2.2.1.1 MÉTODO RVA

El método RVA (Richter et al., 1997) es un enfoque metodológico que propone establecer los objetivos de gestión de los ríos regulados y sus ecosistemas asociados. Este enfoque se basa en el papel fundamental de la variabilidad hidrológica sobre la ecología acuática y asocia las características de coordinación, frecuencia, duración y tasas de cambio con el mantenimiento de los ecosistemas.

El método consiste en calcular a partir de la serie de caudales medios diarios, una serie de indicadores de alteración hidrológica (IHA) predefinidos. En el caso del territorio español se propone establecer la ventana objetivo definida por los percentiles del 5% y del 10% sobre el régimen mensual, eliminando de este modo las incertidumbres asociadas a la estimación del régimen diario, de modo que es posible aplicarlo con datos de aforo a escala mensual.

Q medio mensual			
Año 1	Año 20	Percentil 5	Percentil 10
Qm 1	Qm 1	Mes 1	Mes 1
.	.	.	.
.	.	.	.
Qm 12	Qm 12	Mes 12	Mes 12
		Mínimo Seco	
		Mínimo Húmedo	

Tabla 6.2.5.1.1. (1): Esquema de cálculo del RVA. Fuente: Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos (Hernández *et al.*, 2008)

6.2.2.1.2 MÉTODO QBM

Las bases teóricas sobre las que fundamenta la metodología QBM consideran que las especies acuáticas están adaptadas a tolerar caudales mínimos de una magnitud dada durante un periodo de tiempo dado. Las comunidades pueden tolerar caudales extremadamente pequeños únicamente por periodos cortos de tiempo, como uno o dos días, de forma que estos caudales muy bajos no podrían asegurar la supervivencia de las comunidades en el caso de que se mantuvieran durante más tiempo. En este sentido, el objetivo de la metodología del Caudal Básico de Mantenimiento es determinar la duración y magnitud promedio de los periodos de caudales bajos.

El parámetro fundamental del método es el caudal básico, definido como el mínimo absoluto a mantener en el cauce. Este caudal básico se calcula independientemente para cada año de la serie (QBM modificado), consistiendo el método en aplicar medias móviles sobre intervalos crecientes de datos a la serie de caudales medios diarios. De este modo se obtiene una distribución de caudales mínimos acumulados, sobre la que se define el caudal básico final como el correspondiente a la discontinuidad o

incremento relativo mayor (Palau, 1994; Palau y Alcaraz, 1996), según el esquema mostrado en la siguiente figura.

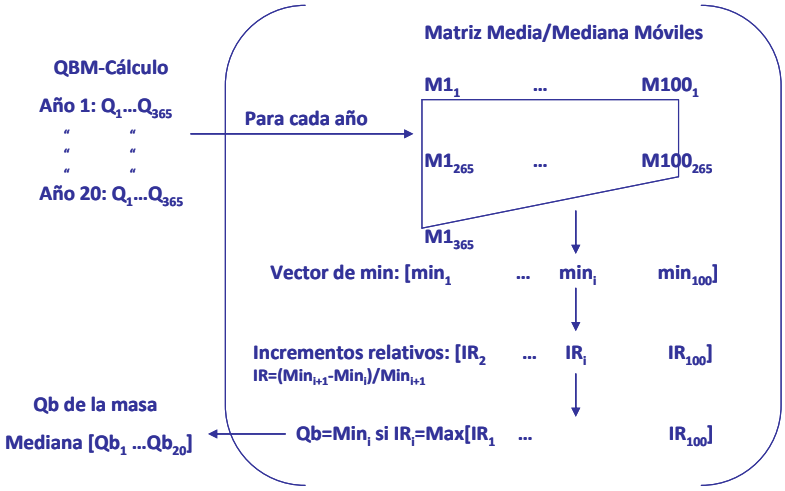


Figura 6.2.5.1.2. (1): Esquema de cálculo del QBM. Fuente: Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos (Hernández *et al.*, 2008)

6.2.2.2 MÉTODOS DE MODELACIÓN DEL HÁBITAT

Los métodos de modelación de la idoneidad de hábitat se basan en la simulación hidráulica, acoplada al uso de curvas de preferencia del hábitat físico para la especie o especies objetivo, obteniéndose curvas que relacionen el hábitat potencial útil con el caudal en los tramos seleccionados.

Para el desarrollo de estos trabajos se ha utilizado la metodología IFIM (Instream Flow Incremental Methodology), la cual analiza las diferentes condiciones hidráulicas que se producen en un cauce al variar los caudales circulantes, relacionando además las preferencias de las especies seleccionadas mediante el uso de curvas, y obteniendo finalmente una relación entre el caudal circulante y el hábitat disponible para la especie.

Esta metodología permite estimar la cantidad hábitat y caracterizar la estructura del mismo en un cauce a distintas escalas, es decir, a nivel de macrohábitat, mesohátitat y microhábitat. Para la determinación de la estructura y cuantificación de los hábitats según la metodología IFIM, el procedimiento general incluye la utilización de herramientas de simulación hidráulica y de microhábitat, de manera que sea posible cuantificar la cantidad de estos últimos disponibles para la especie objetivo en función del valor de caudal. Para ello se parte de un modelo hidráulico que proporcione resultados de distribución de velocidades y profundidad, y unas curvas de preferencia de la especie objetivo (para cada una de sus fases vitales) que indiquen la idoneidad de los individuos para los valores de dichas variables hidráulicas, así como para el sustrato, el cual se considera independiente del régimen de caudales, y por tanto constante.

Por lo tanto, con este método se obtiene un rango de velocidades en el río que son las óptimas para el desarrollo de las distintas especies seleccionadas. Estas velocidades, mediante el modelo hidráulico se relacionan con unos caudales en el río en función de la morfología del río (pendiente, rugosidad, anchura del cauce, etc) que son los caudales que se fijan como régimen de caudales mínimos a cumplir en el tramo de estudio.

Hay que destacar que para obtener resultados óptimos en este método es necesario realizar un correcto modelo hidrodinámico, por lo que es necesario recopilar gran cantidad de información (levantamientos topográficos del cauce, estudio de rugosidades, etc). En caso de que no se disponga de esta información, los resultados obtenidos en el modelo deben tomarse como una primera aproximación, que deberá mejorarse a lo largo del proceso de implantación del régimen de caudales ecológicos.

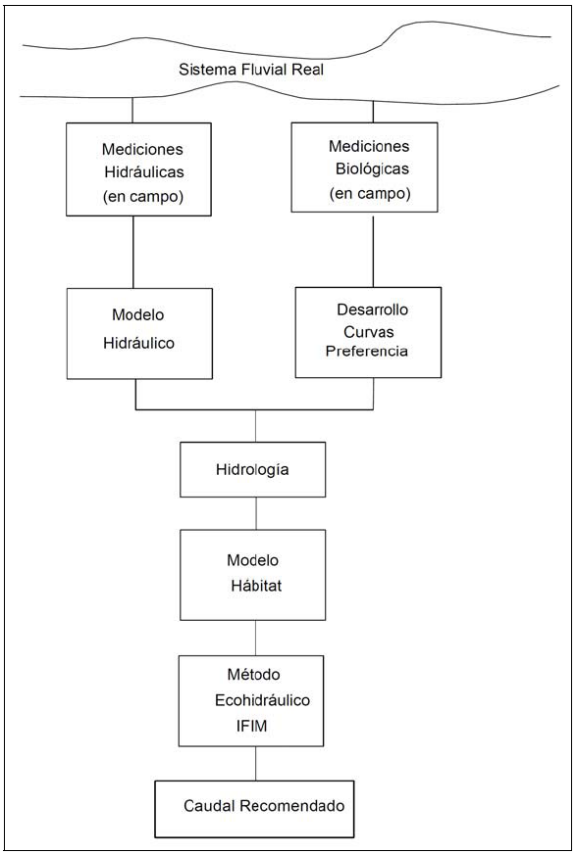


Figura 6.2.5.2. (1): Representación esquemática de la metodología IFIM.

6.2.2.2.1 SELECCIÓN DE LA ESPECIE OBJETIVO

Como ya se ha comentado, para el modelado de hábitats son necesarias unas curvas de preferencia que muestren la tolerancia o idoneidad de los individuos de una especie piscícola para sus diferentes estadios de desarrollo. Por tanto, el primer paso consiste en elegir una especie objetivo presente en la zona de estudio.

La selección de especies objetivo se ha realizado considerando las especies más representativas y dando prioridad a las categorizadas como "En Peligro", "Vulnerables", "Sensible" y "De Interés Especial" en los Catálogos de Especies Amenazadas, así como las recogidas en el anexo II de la Directiva 92/43/CEE. Además se ha tenido en cuenta la viabilidad en la elaboración de sus curvas de preferencia y su sensibilidad a los cambios en el régimen de caudales.

6.2.2.2.2 MODELIZACIÓN

Para el desarrollo de los trabajos de simulación de hábitat es necesaria la utilización de modelos hidrodinámicos con los que poder simular las condiciones hidráulicas que se producen en el cauce al variar los caudales circulantes. Existen dos tipos de modelos:

Modelización en 1D. Se trata de modelos hidrodinámicos de resolución mediante el método del paso hidráulico calibrado en cada transecto para el ajuste del perfil de velocidades.

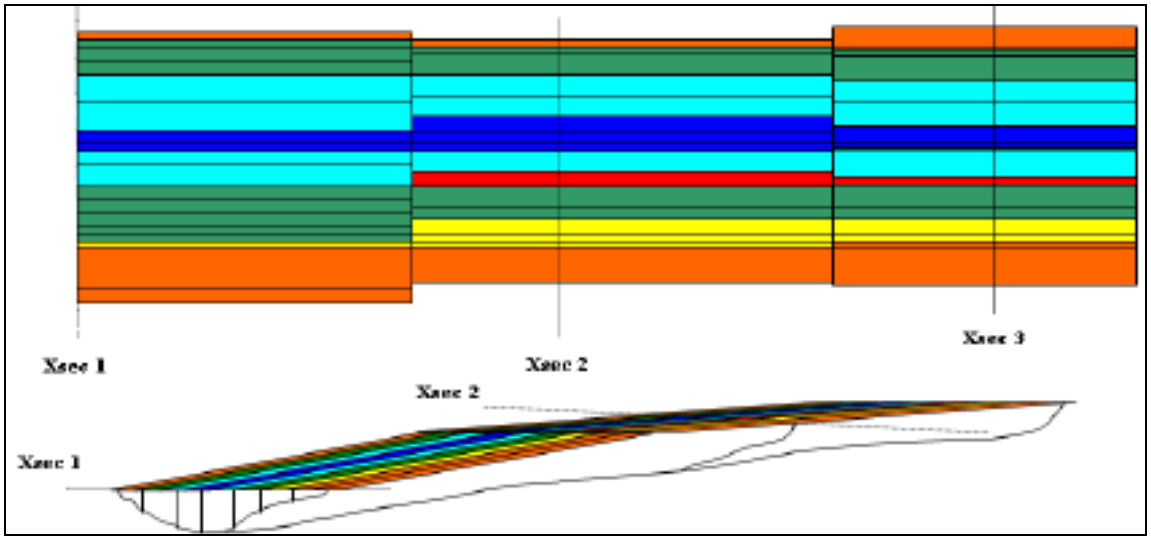


Figura 6.2.5.2.2. (1): Representación gráfica en 1D, basado en celdas rectangulares entre transectos

Modelización en 2D. En este caso se trata de modelos hidrodinámicos bidimensionales por elementos finitos que caracterizan la velocidad media de la columna de agua, para uso en cauces naturales.

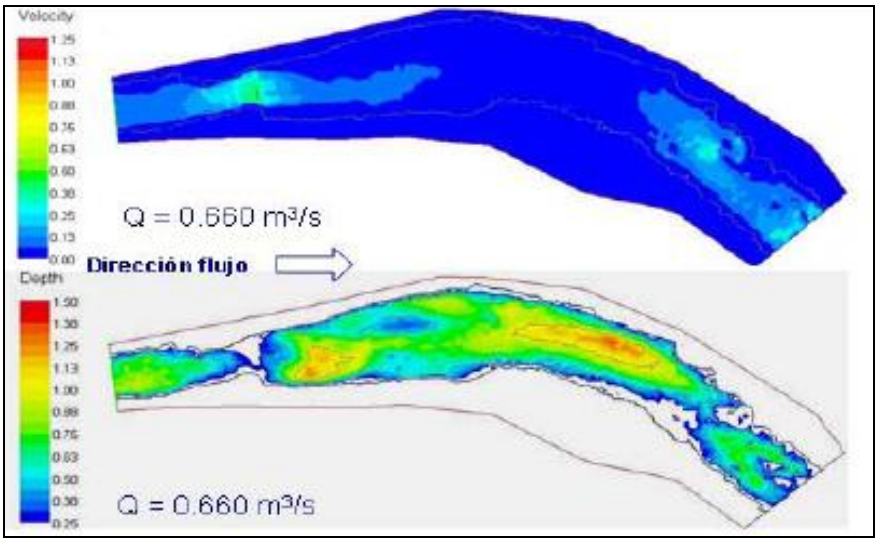


Figura 6.2.5.2.2. (2): Representación del hábitat en 2D. Representación espacial del campo de profundidades y velocidades.

Con estos modelos y partiendo de las curvas de preferencia para las especies objetivo seleccionadas en cada caso, se obtiene la simulación de idoneidad del hábitat, reflejada en las curvas que relacionan el hábitat potencial útil con el caudal (en adelante curvas HPU-Q). Estas curvas se obtienen para cada uno de los estadios del ciclo vital de cada especie (alevín, juvenil y adulto, y en determinados casos también las necesidades de la freza).

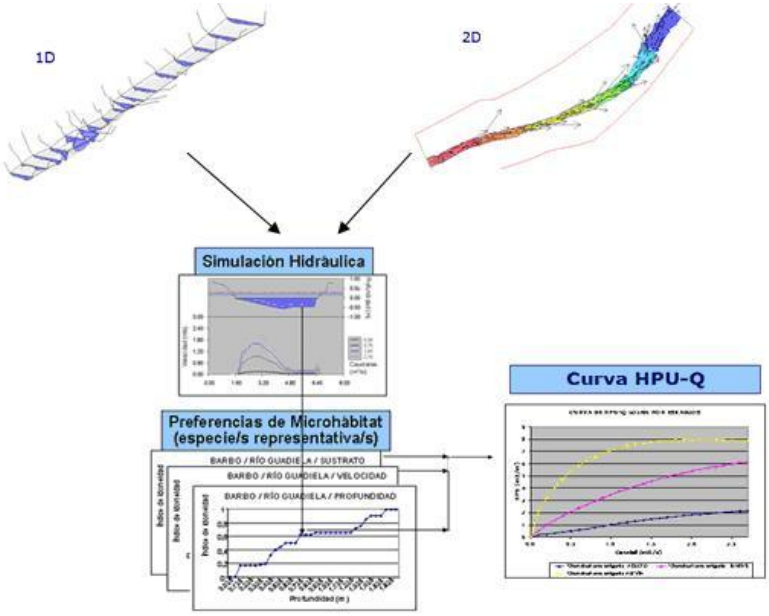


Figura 6.2.5.2.2. (3): Esquema conceptual de la modelación del hábitat.

La IPHA contempla la posibilidad de que a partir de las curvas HPU-Q se genere una curva combinada, para facilitar la toma de decisiones y la concertación sobre un único elemento donde se refleje el régimen

propuesto correspondiente al estadio más restrictivo o más sensible. Esta curva se genera mediante la combinación ponderada y adimensional de los hábitat potenciales útiles, determinados para los estadios predominantes en los periodos temporales considerados.

La curva combinada se elabora para un periodo húmedo y otro de estiaje, considerando en cada uno de ellos la predominancia de los estadios de la especie objetivo.

6.2.2.2.3 OBTENCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS

Finalmente, la curva HPU-Q combinada posibilita la elección del régimen de caudales mínimos atendiendo a una serie de criterios de elección. En la Instrucción de Planificación Hidrológica se exponen dos criterios para la elección de un valor mínimo de caudal:

- Considerar el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 50-80% del hábitat potencial útil máximo. En el caso de ríos alterados hidrológicamente, este rango pasa a ser del 30-80% del HPU máximo.

- Considerar como caudal mínimo un valor en el que se produzca un cambio significativo de pendiente en la curva HPU-Q.

En el caso de sequías prolongadas, el umbral mínimo podría rebajarse hasta el 25% del HPU máximo.

El caudal mínimo estimado mediante el modelado de hábitats según alguno de los criterios expuestos, se asigna al mes del hidroperiodo que presenta un valor de caudal medio mensual inferior, aplicándose esta metodología independientemente a los dos hidroperiodos que componen el año hidrológico. Para distribuir el caudal mínimo durante el resto del año hidrológico se calcula el porcentaje que representa el valor estimado sobre el caudal medio mensual para el mes más seco del hidroperiodo considerado, de modo que el caudal mínimo para el resto de meses del periodo será el caudal correspondiente al porcentaje antes estimado sobre el caudal medio mensual en régimen natural de cada mes.

En todo este proceso se ha intentado asegurar la continuidad de los tramos y la coherencia de los resultados dentro de cada cuenca.

6.2.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÁXIMOS

La caracterización del régimen de caudales máximos es un componente del caudal ecológico cuya finalidad es evitar que los individuos sufran afecciones como consecuencia de una velocidad del flujo inapropiada, especialmente aquellos ejemplares que se encuentran en un estadio de desarrollo más susceptible. Para ello se definen los conceptos de velocidad óptima y velocidad crítica. El primero hace referencia a la velocidad o intervalo de velocidades a la que el individuo es capaz de desplazarse con un coste energético mínimo, mientras que el segundo consiste en un valor de velocidad que provoca el arrastre aguas abajo de los ejemplares.

La velocidad óptima se corresponde con los valores de velocidad que en la curva de idoneidad para cada estadio de las especies analizadas tienen asociada un valor de preferencia de 1. Los valores de velocidad que superan esta velocidad óptima producen afecciones en los individuos cuya intensidad depende de la diferencia entre estas dos velocidades. La metodología existente aconseja que al menos en la mitad de la superficie del tramo, la velocidad no supere a la velocidad óptima, denominando a esta superficie como refugio. Además, en caso de que la superficie del tramo en la cual se supere la velocidad óptima sea de más del 30% se recomienda realizar un estudio de conectividad del tramo.

Por otra parte, según la Instrucción de Planificación Hidrológica determina que *"los caudales máximos que no deben ser superados durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas se definirán, al menos, en dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos, correspondientes al periodo húmedo y seco del año. Su caracterización se realizará analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración. Con la finalidad de preservar las magnitudes fundamentales del régimen natural, se recomienda no utilizar percentiles superiores al 90%, en consonancia con los umbrales propuestos en apartados posteriores para los índices de alteración hidrológica".*

6.2.4 TASA DE CAMBIO

La tasa de cambio, según la Instrucción de Planificación Hidrológica Andaluza, es un componente del régimen de caudales ecológicos y se define como la máxima diferencia de caudal entre dos valores sucesivos de una serie hidrológica por unidad de tiempo. Esta diferencia se debe establecer tanto para condiciones de ascenso como de descenso de caudal.

La estimación de la tasa de cambio se realiza mediante el análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa como mínimo de 20 años en régimen natural.

El procedimiento consiste en analizar individualmente cada año hidrológico de la serie, elaborando dos series de tasas de cambio por año hidrológico, una de incremento y otra de decremento de caudal, y en cada una de ellas se halla el percentil del 90%, ya que en la IPHA se especifica que el percentil no debe superar el 70-90%. La media de los percentiles de todos los años de la serie constituye el valor de tasa de cambio admisible.

6.2.5 CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS

Dentro del estudio del régimen de caudales ecológicos en la DHGB, es fundamental analizar el régimen de avenidas, dada su variabilidad inter e intranual, ya que los procesos geomorfológicos son clave para el mantenimiento de la funcionalidad y estructura de los ecosistemas fluviales y de la dinámica del propio río.

Los tipos de crecidas que se pueden dar se agrupan en tres tipos: caudal generador, caudal de limpieza y caudal de conectividad.

El caudal generador es el responsable de la morfología del cauce, ya que aporta las condiciones necesarias para el desarrollo de los procesos de erosión, transporte y sedimentación básicos para el correcto funcionamiento del sistema fluvial. Las avenidas de mayor caudal transportan una gran cantidad de sedimento, pero son aquellas de menor magnitud y mayor frecuencia las que acarrean un volumen mayor a largo plazo. De esta manera, se puede concluir que las crecidas algo inferiores, próximas al nivel de bankfull (sección del cauce llena), definido como la cota máxima del cauce principal por encima de la cual el agua desborda hacia la llanura de inundación, son las que ofrecen mayor trabajo geomorfológico, al tener una mayor frecuencia que las de magnitud mayor, y ser de entidad suficiente para transportar un volumen de sedimentos significativo. Por lo tanto, se asocia el caudal generador a aquel que toma valores parecidos al caudal de bankfull, siendo el principal elemento de mantenimiento geomorfológico del cauce.

En cuanto al caudal de limpieza, se define como aquel caudal generado por avenidas habituales o inferiores a la avenida de bankfull, siendo el encargado de la limpieza de los sedimentos más finos acumulados en el sustrato. Estos caudales son de magnitud muy inferior al caudal generador, por lo que en los ríos objeto del presente estudio son proporcionados por las aportaciones realizadas desde los embalses.

Y por último, el caudal de conectividad es aquel que mantiene la conectividad transversal cauce – llanura de inundación, es decir, un caudal que rebasa el cauce y accede a la llanura, inundándola, por lo que debe ser de una magnitud mayor al caudal generador. Debido a la multitud de infraestructuras emplazadas en el Dominio Público Hidráulico y, por tanto, en la llanura de inundación, la implantación de este caudal puede implicar niveles de riesgo no asumibles, por lo que se restringe su aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Guadalete-Barbate.

6.2.6 CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS

Con la clasificación hidrológica de los tramos en estudio se busca agrupar los distintos tramos en función de características hidrológicas homogéneas, de forma que permita establecer criterios comunes de cálculo de caudales ecológicos en cada grupo.

La clasificación de los ríos utilizada es la especificada en la "Guía técnica para la caracterización del régimen de caudales ecológicos". Esta clasificación está en función de la disponibilidad de datos, tal y como se muestra a continuación

- Clasificación cuando se dispone de datos de caudal medio diario

  Para llevar a cabo esta clasificación, la guía propone realizar un análisis sobre una serie de caudales diarios representativa de al menos 20 años de duración. Sobre cada año hidrológico se debe contabilizar el nº de días que presentan un caudal inferior a 10 l/s y tomar el percentil correspondiente al 80% de toda la serie. En función del valor que adopte este percentil (nº de días con caudal inferior a 10 l/s), el río se clasificará de una forma u otra.

Para ríos permanentes, el valor de este percentil no debe ser mayor de 7. Si, por el contrario se superara este umbral, dicho río se clasificará como temporal. Según el criterio especificado en la guía, los ríos temporales se dividen en tres categorías:

- Río estacional, si el valor del percentil 80 se encuentra entre 7 y 100 días/año.
- Río intermitente, si este valor está comprendido entre 100 y 300 días/año.
- Río efímero, el percentil 80 es superior a 300 días/año.

- Clasificación cuando se dispone de datos de caudal medio mensual

Para llevar a cabo la clasificación se debe elaborar previamente una serie con el número de meses por año hidrológico cuyo caudal diario medio es inferior a 10 l/s. A partir de esta serie se calcula el percentil del 80%, y en función del valor obtenido se realizará la clasificación, según los valores umbrales que se muestran a continuación.

- Río permanente: Percentil 80 < 1
- Río estacional: 1 < Percentil 80 < 3
- Río intermitente: 3 < Percentil 80 < 9
- Río efímero: Percentil 80 > 9

Las masas de agua consideradas como estratégicas en la Demarcación Hidrográfica de Guadalete y Barbate, según estos criterios, y como se verá en el apartado de resultados, se determinan como temporales.

La Instrucción de Planificación Hidrológica Andaluza establece que en la caracterización del régimen de caudales ecológicos de ríos temporales, intermitentes y efímeros se realizará de modo similar al de los ríos permanentes, y además, deberá llevarse a cabo una caracterización del periodo de cese de caudal atendiendo a la frecuencia, duración, estacionalidad y tasa de recesión de los episodios de cese de caudal característicos del régimen natural, utilizando una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años".

A continuación se presenta un resumen del tratamiento que se ha realizado en aquellos ríos que se han considerado estacionales e intermitentes.

6.2.6.1 RÍOS ESTACIONALES

Se han utilizado, en la medida de lo posible, los criterios definidos para la determinación de la distribución mensual de caudales mínimos y máximos en ríos permanentes. Sin embargo, tras los primeros análisis se ha detectado que no todos los métodos aplicados para ríos permanentes son utilizables en ríos no permanentes. Para estos casos se desarrollaron varias metodologías alternativas:

- Obtención de caudales ecológicos para cada mes, a partir de la curva de caudales clasificados específica de cada mes.
- Obtención de caudales ecológicos para todo el año mediante metodologías para ríos permanentes, previa exclusión del período de cese de caudal identificado.
- Identificar dos hidroperíodos y, tras excluir el período de cese, aplicar las metodologías para ríos permanentes en cada hidroperíodo.

Tal y como establece la IPHA, y como necesidad para aplicar las metodologías descritas, para estos ríos no permanentes se ha realizado una caracterización del periodo de cese de caudal anual, atendiendo a la frecuencia, duración, estacionalidad y tasa de recesión de los episodios de cese de caudal característicos del régimen natural, utilizando para ello una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años. La caracterización del período de cese se ha realizado de la siguiente forma:

- Agrupar los datos de caudal diario en años hidrológicos, contando el número de días al año con caudal nulo (se considera nulo cuando es inferior a 1 l/s).
- Determinar la frecuencia de los eventos de cese, contando para cada año el número de eventos y, a partir de la serie conformada de número de eventos al año, seleccionar ente el percentil 25 y 75.
- Determinar la duración del período de cese, seleccionando entre el percentil 0 y 25 de la serie de número de días al año con caudal nulo.
- Determinar la estacionalidad de los eventos, registrando el mes de ocurrencia de cada día con caudal nulo y determinando las frecuencias de ocurrencia para cada mes.

Asimismo, se ha determinado el período de cese hiperanual, analizando los meses en los que el caudal es nulo (inferior a 1 l/s) durante varios años consecutivos y estableciendo una propuesta en base a este análisis.

6.2.6.2 RÍOS INTERMITENTES Y EFÍMEROS

En los ríos intermitentes y efímeros se han caracterizado los siguientes aspectos:

- Régimen de mínimos, aplicando en la medida de lo posible los métodos descritos para ríos temporales.
- Periodo de cese de caudal atendiendo a la frecuencia, duración, estacionalidad y tasa de recesión de los episodios de cese de caudal característicos del régimen natural, aplicando la metodología descrita para ríos temporales.
- Magnitud de la crecida y período de tiempo de recesión al caudal base, que permiten el desarrollo del ciclo biológico de las comunidades adaptadas, en aquellos casos en los que era procedente su determinación.
- Caudal generador que permite mantener la dimensión del canal principal del río y su buen funcionamiento morfodinámico, en los mismos términos que el punto anterior.

6.2.7 MASAS DE AGUA MUY ALTERADAS HIDROLÓGICAMENTE

Por la especial selección de los tramos a analizar, gran parte de las masas a estudio se sitúan aguas abajo de embalses. Por ello, en la mayoría de ellos existe una variación en el régimen de caudales circulantes por lo que se han definido como muy modificadas por alteración hidrológica según el criterio utilizado y descrito en el correspondiente Anejo.

En estas masas de agua, según la IPHA, existe una mayor amplitud a la hora de definir el régimen de caudales mínimos en el río, de modo que en el método de modelación por hábitat, que se verá en los siguientes apartados, permite estimar un régimen de caudales menor al que habría si la masa no fuera muy modificada por alteración hidrológica.

No obstante, hay que recordar que en una parte importante de estas masas de agua el régimen de caudales mínimos se cumplirá sin problemas en los meses de verano (en principio los más conflictivos) ya que muchas de ellas el caudal en esta época es superior debido a que se utiliza para transportar el recurso para el abastecimiento de diferentes demandas (mayoritariamente agrícolas).

6.2.8 RÉGIMEN DE CAUDALES DURANTE SEQUÍAS PROLONGADAS

El régimen de caudales ecológicos durante sequías prolongadas está caracterizado por una distribución mensual de mínimos y se ha determinado mediante simulación de la idoneidad del hábitat. En los resultados de la simulación del hábitat se ha establecido un umbral de relajación con el objetivo de permitir el mantenimiento de un caudal que permita la supervivencia de las diferentes especies durante un determinado periodo de tiempo.

La distribución mensual de los caudales correspondientes a este régimen es proporcional a la distribución mensual correspondiente al régimen ordinario de caudales ecológicos, con el fin de mantener el carácter natural de la distribución de mínimos, conservando las características hidrológicas de la masa de agua.

La adaptación desde el régimen ordinario será proporcional a la situación del sistema hidrológico, definida según los indicadores establecidos en el Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía (PES), teniendo en cuenta las curvas combinadas elaboradas para tal fin, y evitando, en todo caso, deterioros irreversibles de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados.

Como se ha comentado anteriormente, esta relajación de los caudales ecológicos no es aplicable a las zonas que tengan influencia sobre espacios incluidos en la Red Natura 2000.

Paralelamente al proceso de implantación del régimen de caudales ecológicos se llevará a cabo una revisión del PES, por lo que la evaluación de las sequías prolongadas y la aplicación al régimen de caudales podrán analizarse de una manera más pormenorizada en este periodo.

6.3 LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS

En el caso de lagos y zonas húmedas no puede hablarse de un régimen de caudales sino de requerimientos hídricos, que contribuyen a alcanzar el buen estado o potencial ecológico, a través del mantenimiento a largo plazo de la funcionalidad y estructura de los ecosistemas asociados, proporcionando las condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante la preservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.

Los estudios técnicos para determinar estos requerimientos hídricos se basan en los criterios básicos establecidos en la IPHA y en la Guía que desarrolla sus contenidos, aunque no en todos los casos ha sido posible aplicarlos con el mismo grado de exhaustividad, fundamentalmente por la escasa información disponible. Estos criterios son los siguientes:

a) El régimen de aportes hídricos deberá contribuir a conseguir los objetivos ambientales.

b) Si son dependientes de las aguas subterráneas, se deberá mantener un régimen de necesidades hídricas relacionado con los niveles piezométricos, de tal forma que las alteraciones debidas a la actividad humana no tengan como consecuencia:

    a. Impedir alcanzar los objetivos medioambientales especificados para las aguas superficiales asociadas.

    b. Cualquier perjuicio significativo a los ecosistemas terrestres asociados que dependan directamente de la masa de agua subterránea.

c) Si están registrados como zonas protegidas, el régimen de aportes hídricos será tal que no impida el cumplimiento de las normas y objetivos en virtud del cual haya sido establecida la zona protegida.

6.4 MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN

Es conocida la complejidad propia de las masas de agua de esta categoría, incluso en ausencia de un régimen mareal. Los fenómenos propios de las aguas de transición no permiten un tratamiento general sino que demandan estudios específicos que permitan considerar sus especificidades. Las lógicas condiciones de continuidad con los valores obtenidos en los tramos inmediatos aguas arriba facilita un valor inicial que puede colaborar en la definición.

Por lo tanto, las necesidades hídricas propias de las masas de agua de transición deben ser planteadas desde el conocimiento y la experiencia actuales, sin cerrar determinaciones definitivas que no estén debidamente fundadas. Los clásicos procedimientos de avance por aproximaciones sucesivas deben ser de aplicación. El seguimiento de la evolución es en este caso un punto fundamental.

En este marco de situación, los estudios deben centrarse en la definición de un régimen de caudales que asegure unas condiciones de salinidad próximas a las condiciones de referencia para las diferentes zonas del estuario, comparando el régimen obtenido con el propuesto para la masa aguas arriba del mismo.

Sin embargo, por la ya citada complejidad propia de estas masas y al relativamente poco desarrollado estado del arte en estos ecosistemas, los resultados alcanzados deben ser considerados como un mero aunque interesante estudio académico, sin posibilidad de ser plasmados en normativa con vistas a un seguimiento y control del cumplimiento. Asimismo, tal y como se planteó en el punto 4 de este documento para la extensión de los regímenes de caudales ecológicos a todas las masas de agua, para los estuarios igualmente será procedente iniciar una nueva etapa de estudios para alcanzar un grado de conocimiento técnico que posibilite el establecimiento de unos caudales ecológicos en las susodichas masas de agua.

En el apartado 8 de este Anejo se presenta un resumen de los trabajos que actualmente se están llevando a cabo en las diferentes masas de agua de transición.

El desarrollo y aplicación de metodologías concretas para el cálculo de los regímenes de caudales que mantengan la integridad ecológica de las aguas de transición ha sido muy limitada en comparación a la variedad de metodologías desarrolladas para ecosistemas fluviales. El Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, publicó una Guía Técnica para la determinación de Caudales Ecológicos donde incorpora, en su epígrafe nº 5, una propuesta metodológica específica para las aguas de transición.

En ella, se hace una revisión de qué son los sistemas de transición y cómo se ven alterados o modificados, factores que determinan el régimen de caudales ecológicos en estos sistemas, así como de los diferentes estudios y metodologías desarrolladas hasta el momento para ello.

Finalmente, realiza una propuesta concreta metodológica para la determinación del régimen de caudales ecológicos en aguas de transición, la cual, se ajusta a lo especificado a este respecto en la IPHA. Como ideas esenciales en las que se basa la metodología destacan:

- La determinación de caudales ecológicos en aguas de transición deberá basarse en la clasificación en tipologías ecológicas de estos sistemas.
- El cálculo del régimen de caudales ecológicos deberá realizarse en base al análisis estadístico de la dinámica correspondiente a condiciones hidrológicas inalteradas (régimen natural). A partir de éstos se establecerán los umbrales de las variables indicadoras.
- Se propone la salinidad como indicador del proceso de mezcla de agua dulce y salada que es uno de los procesos hidrodinámicos trascendentales para el mantenimiento de las funciones ecológicas de los estuarios.
- Las principales líneas de investigación en el campo de los caudales ecológicos en estuarios han de abarcar necesariamente el estudio de las relaciones entre los caudales y las especies y comunidades de estos sistemas, así como la dinámica sedimentaria de los mismos.

7 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS

Para facilitar el oportuno análisis por las partes interesadas en este proceso, principalmente usuarios y organizaciones defensoras del medio ambiente, es imprescindible resumir los resultados en unos documentos rigurosos y manejables.

Los principales análisis relativos a los caudales ecológicos en las masas de agua seleccionadas se extienden en la cuádruple dirección mencionada en apartados anteriores:

a) Por una parte se han determinado los caudales mínimos precisos desde la perspectiva hidrológica y de simulación de hábitat. En forma independiente, se han estudiado sobre el terreno el hábitat potencial útil para la(s) especie(s) y estados relativos en los tramos seleccionados para diferentes caudales circulantes en la misma; según las regulaciones de la IPHA se ha obtenido el caudal mínimo adecuado desde esta perspectiva. Se han determinado los caudales obtenidos por ajuste con métodos hidrológicos de los resultados obtenidos a partir de la simulación de la idoneidad del hábitat. Una vez determinado el método hidrológico más apropiado se ha calculado el régimen de caudales mínimos en todas las masas de agua tipo río de la DHGB.

b) Una segunda componente del estudio consiste en determinar los caudales máximos que pueden circular sin menoscabo de los valores ambientales del ecosistema. El estudio se restringe a aquellas masas de agua situadas aguas abajo de las grandes infraestructuras de regulación y que forman parte de cauces que son utilizados como elementos de transporte de volúmenes relevantes de agua para grandes consumidores, generalmente de regadío. Los estudios tienen igualmente una doble componente hidrológica y eco-hidrológica.

c) Se ha estudiado igualmente la tasa de cambio máxima admisible por razones ecológicas para los caudales.

d) Independientemente, se han obtenido en el estudio los hidrogramas de las avenidas que, con período de retorno limitado, deberían ser garantizadas en aquellas masas de agua en las que los embalses de regulación en operación las han erradicado. Estas crecidas sólo se deberán implementar con una periodicidad baja y, normalmente, coincidiendo con períodos hidrológicos húmedos.

En los siguientes apartados se presentan los principales resultados obtenidos en las masas de agua analizadas.

7.1 SELECCIÓN DE LAS MASAS DE AGUA ESTRATÉGICAS

Aunque en la IPHA se propone realizar el análisis de los caudales ecológicos para todas las masas de agua, por operatividad, se ha hecho necesario escoger unos puntos determinados en los que realizar el estudio de caudales ecológicos mediante los distintos modelos hidrológicos planteados y la modelación de la idoneidad del hábitat. Una vez analizados estos tramos, se tomará el método hidrológico más apropiado para poder realizar el cálculo del régimen de caudales mínimos en todas las masas de agua de la demarcación.

Los tramos han sido seleccionados dando prioridad a las masas de agua con mayor importancia ambiental, especialmente la RED Natura 2000, o que estén situadas aguas abajo de grandes presas o derivaciones importantes y que puedan condicionar las asignaciones y reservas de recursos del plan Hidrológico.

Para los trabajos desarrollados en esta demarcación hidrográfica se han seleccionado las siguientes masas de agua en las que desarrollar los dos métodos hidrológicos anteriormente comentados y el de simulación de hábitat. De ellas, siete se han considerado como estratégicas, ya que es en ellas donde pueden existir conflictos significativos con los usos del agua.

	Punto analizado	Río afectado	Valor ecológico	Método propuesto	Masa Estratégica
Sistema Guadalete	Aguas abajo Embalse Arcos	Guadalete	Atraviesa aguas abajo LIC y una ZEPA	Hidrológico (QBM y RVA)	SI
	Aguas abajo Embalse Los Hurones	Majaceite	Dentro de un LIC y una ZEPA	Hidrológico (QBM y RVA), modelado de hábitats	SI
	Aguas abajo Embalse Guadalcacín	Majaceite	Atraviesa aguas abajo LIC y una ZEPA	Hidrológico (QBM y RVA)	SI
	Aguas abajo Embalse Zahara	Guadalete	Atraviesa aguas abajo LIC y tramos piscícolas	Hidrológico (QBM y RVA), modelado de hábitats	SI
	Punto final del parte continental de la cuenca del Guadalete	Guadalete		Hidrológico (RVA)	NO
Sistema Barbate	Aguas abajo Embalse Barbate	Barbate	Dentro de un LIC y una ZEPA	Hidrológico (QBM y RVA)	SI
	Aguas abajo Embalse Celemín	Celemín	Dentro de un LIC y una ZEPA	Hidrológico (QBM y RVA)	SI
	Aguas abajo Embalse Almodóvar	Almodóvar	Atraviesa aguas abajo LIC y una ZEPA	Hidrológico (QBM y RVA), modelado de hábitats	SI
	Punto final del parte continental de la cuenca del Barbate	Barbate		Hidrológico (QBM y RVA)	NO

Tabla 7.1. (1): Puntos seleccionados en la Demarcación Guadalete-Barbate para la realización del estudio de caudales ecológicos

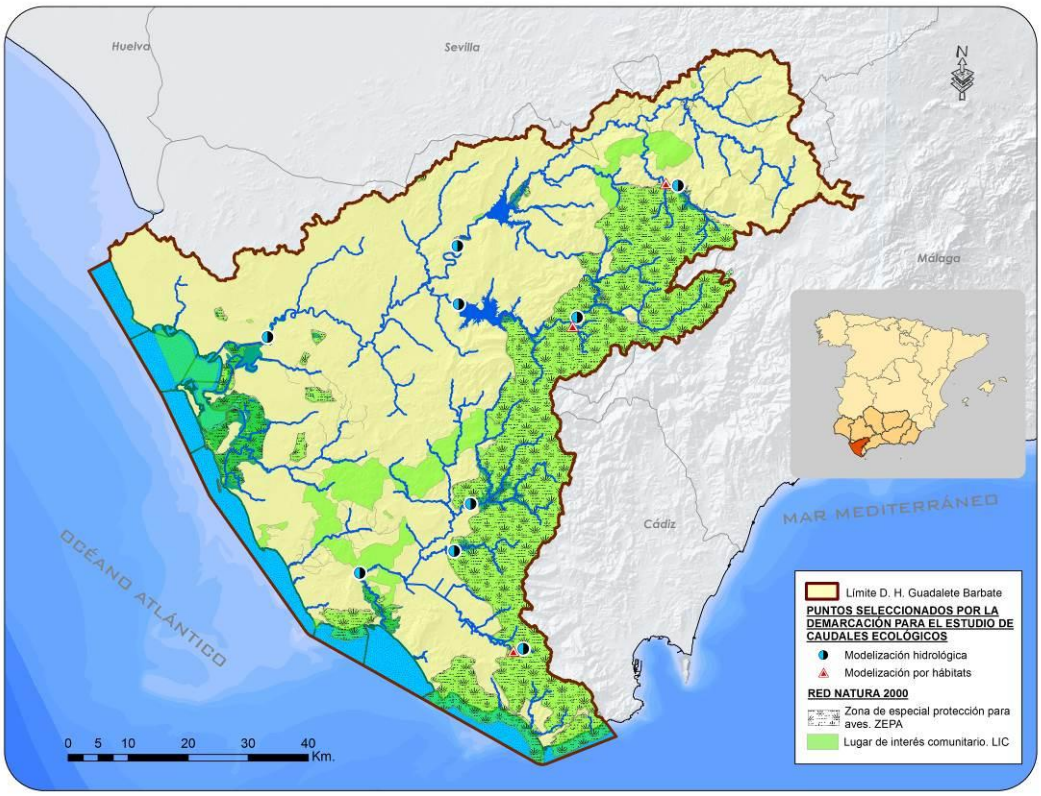


Figura 7. 1. (1): Puntos seleccionados en la Demarcación Guadalete-Barbate para la realización del estudio de caudales ecológicos.

7.1.1 DATOS DE PARTIDA UTILIZADOS

El período de análisis (1985-2011) está condicionado a la disponibilidad de información en la zona, especialmente de datos de aforo en las cabeceras de los embalses, así como de información meteorológica. En cualquier caso, la IPHA incide en la necesidad de disponer de una serie en la cual se alternen años secos y húmedos en cuanto a los valores de precipitación media anual como es el caso de la serie considerada (Egüen et al., 2009a), como se muestra en la siguiente figura.

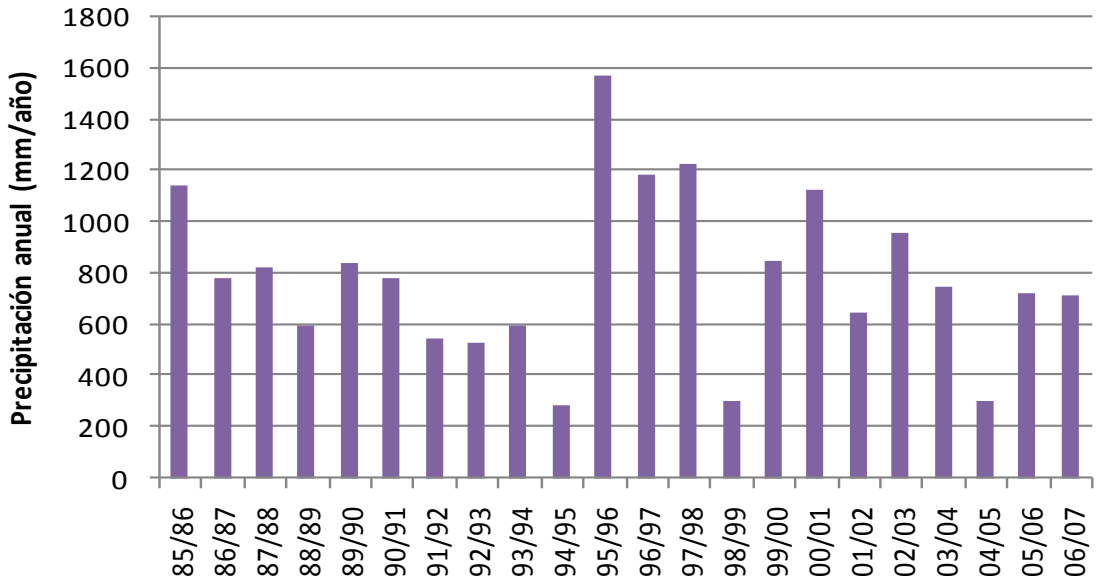


Gráfico 7.1.1. (1): Precipitación anual en la subcuencas de Zahara.

Para realizar el cálculo de los caudales ecológicos por los distintos métodos se precisa series de caudales en régimen natural en cada uno de los tramos de estudio a escala diaria. Sin embargo, las series de las aportaciones registradas en los embalses no se corresponden con el régimen natural esperado en todos los tramos, debido en unos casos a la falta de información, y en otros a la alteración del régimen por la presencia de una obra de regulación.

Por lo tanto, en aquellos puntos en los que se no es posible asimilar las aportaciones reales a las del régimen natural, se ha recurrido a un modelo de simulación hidrológica, realizado por la Universidad de Córdoba, calibrado y validado con datos reales (en las cuencas de cabecera) y con otros modelos de precipitación-aportación utilizados en este Plan Hidrológico (modelo SIMPA), comprobando que los resultados del modelo son óptimos y reflejan el funcionamiento real de las diferentes subcuencas analizadas.

El modelo anteriormente mencionado se ha realizado con el programa denominado Gestión Integrada de Cuencas en Entorno Mediterráneo (WiM-Med, de Watershed Integrated Management), que es la primera versión de un modelo hidrológico completo, distribuido y de base física, pensado para una aplicación de carácter general en cualquier tipo de cuenca. El apellido Mediterráneo de esta versión responde a que el modelo ha sido aplicado, por el momento, en cuencas de este tipo. Su desarrollo se inició con el Proyecto Guadalfeo, estudio enfocado a la gestión integral de una cuenca mediterránea del sur de España, y por ello contempla con especial detalle los procesos más peculiares de esta región, como son la torrencialidad en las lluvias junto a la semiaridez y el riesgo de sequía. El modelo es el resultado de la colaboración entre el Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales de la Universidad de Granada y el Grupo de Hidrología e Hidráulica Ambiental de la Universidad de Córdoba.

Con este modelo se han obtenido en todas las subcuencas de masas de agua estratégicas situadas aguas abajo de embalses series de caudales medios diarios para cada uno de los tramos de estudio, desde el 01/09/1985 hasta el 31/08/2007.

Para el resto de masas de agua, incluyendo las masas estratégicas de la parte final de los ríos Guadalete y Barbate, se han utilizado los resultados obtenidos en el modelo SIMPA, realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y que dispone de datos a escala mensual. Para obtener más información sobre este modelo puede consultarse el Anejo 2 de este Plan Hidrológico.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo en el que se compara los valores reales y simulados de aportaciones al embalse de Barbate.

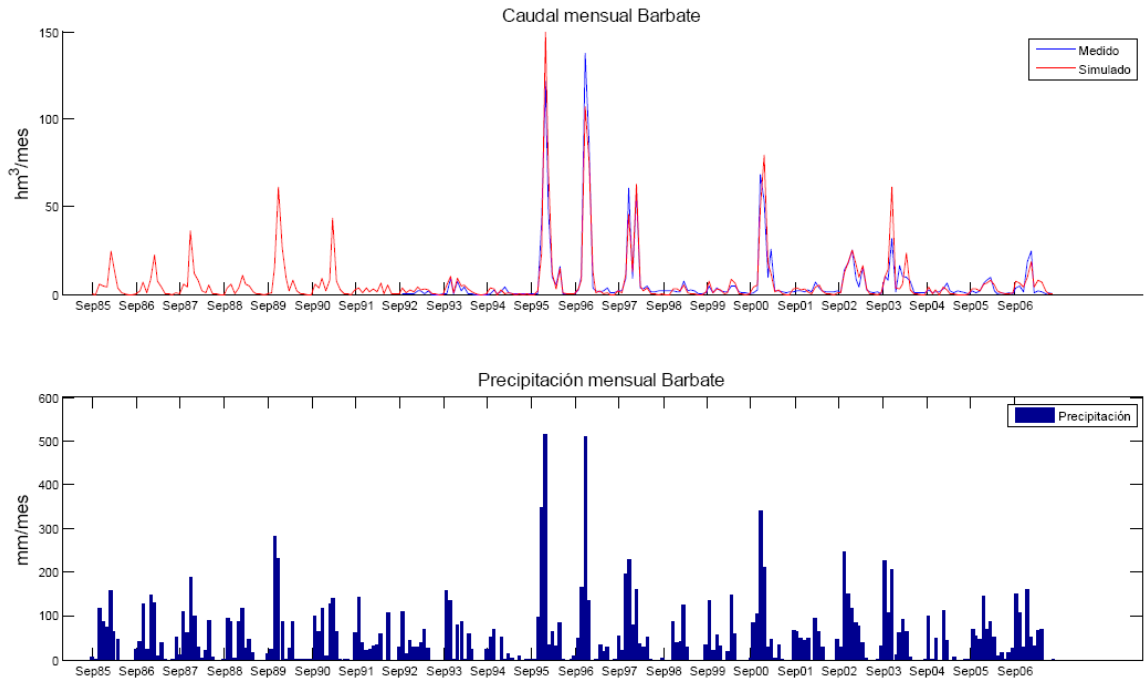


Gráfico 7.1.1. (2): Caudal simulado vs medido en Barbate y precipitación media en la cuenca (1985-2007)

7.1.2 CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS MASAS ESTRATÉGICAS

En cuanto a la clasificación de los tramos analizados, según lo comentado en el apartado 6.2.6 de este Anejo, se presentan los resultados obtenidos.

Para el caso del estudio en las salidas de los embalses de regulación analizados se ha utilizado la serie de caudales diarias, que comienza el 01/09/1985 y finaliza el 31/08/2007, con una duración de 22 años.

Sobre cada uno de los años hidrológicos analizados, a escala diaria, se ha contabilizado el número de días que presentan un caudal inferior a 10 l/s, y se ha considerado el percentil 80% de esta serie. En función del valor que adopte este percentil, el río se clasifica de una forma u otra. Como se puede observar, en la cuenca del Guadalete todos los tramos se consideran estacionales, mientras que en la cuenca del Barbate se han clasificado como intermitentes.

Sistema de Explotación	Tramos de estudio	Percentil 80 (días/año con Q<10 l/s)	Clasificación
Guadalete	Arcos	72	Estacional
	Guadalcacín	70	Estacional
	Hurones	66	Estacional
	Zahara	96	Estacional
Barbate	Almodóvar	181	Intermitente
	Barbate	127	Intermitente
	Celemín	216	Intermitente

Tabla 7.1.2. (1): Clasificación de los tramos analizados en los Sistemas Guadalete y Barbate

Al margen de lo comentado anteriormente, debe destacarse que, conforme a lo expresado en la "Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos", la clasificación de ríos temporales a partir de datos estrictamente hidrológicos puede comportar errores en la asignación, por lo que es necesario para completar el proceso realizar un ejercicio de contraste con las características físicas, hidrológicas y de distribución del tramo fluvial para verificar si se ajustan con la clasificación establecida, y en caso de que sea necesario, modificarla a partir del conocimiento del funcionamiento del río en cuestión.

7.1.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL CESE DE CAUDAL

Tal y como establece la IPHA, además de estimar el régimen de caudales ecológicos, en los tramos que se consideren estacionales o intermitentes es necesario caracterizar el cese de caudal.

Antes de describir la metodología seguida en este punto hay que mencionar que en la guía se asume que no existe flujo cuando el caudal circulante es inferior a 10 l/s.

Para este apartado, la guía contempla tres aspectos fundamentales que deberán abordarse a partir de la serie de caudales medios diarios.

El primer aspecto es determinar la frecuencia de los eventos de cese de caudal, es decir, en el régimen de caudales mínimos que se construya se debe decidir el número de eventos en los cuales el caudal es menor a 10 l/s.

El segundo hace referencia a la duración del evento de cese de caudal, en el que se debe determinar la duración de los periodos en los cuales el caudal no excede los 10 l/s. Esto se consigue a partir de una serie con el número de días al año sin caudal. La duración del periodo de cese de caudal es un número de días comprendido entre el rango de percentiles 10-25%, correspondiente a un año hidrológicamente seco y al año más seco registrado respectivamente. También se menciona que el percentil escogido debe ser coherente con el nivel de compromiso conservacionista. Sin embargo, se puede comprobar que estos percentiles son muy pequeños, ya que la mayoría de años el periodo de cese de caudal será de mayor duración. Este hecho se pudo comprobar con las visitas a campo realizadas. Por lo tanto, se ha escogido el percentil del 25% para la duración de este periodo, ya que un percentil inferior sobreestimaría la duración de la época con caudal del año hidrológico, y como se ha mencionado anteriormente puede suponer una demanda difícilmente asumible.

Por último, se describe el procedimiento para la determinación de la estacionalidad de los eventos de cese de caudal, mediante el análisis de la ocurrencia de los días sin caudal en los distintos meses del año durante la serie hidrológica de aportaciones.

Analizando las series de aportaciones de caudales diarios se advierte que no existen en muchos tramos eventos claramente identificables según la metodología expuesta, por lo que se va a asumir un único evento de cese de caudal en el año hidrológico, cuya duración coincidirá con el percentil 25% de la serie de número de días al año sin caudal y distribuido en los meses con mayor frecuencia de días sin caudal.

Sistema de Explotación	Tramos de estudio	Número de días estimados de cese de caudal	Periodo en el que se dará el cese de caudal
Guadalete	Arcos	38	Septiembre y finales de Agosto
	Guadalcacín	34	Septiembre y finales de Agosto
	Hurones	13	Agosto
	Zahara	17	Agosto
Barbate	Almodóvar	110	Junio-Septiembre
	Barbate	60	Agosto y Septiembre
	Celemín	144	Mayo-Septiembre

Tabla 7.1.2.1 (1): Clasificación de los tramos analizados en los Sistemas Guadalete y Barbate

A continuación se muestra, a modo de ejemplo, la curva clasificada de días al año con caudal inferior a 10 l/s en el embalse de Zahara, y en el que se marcan los percentiles 25 y 80.

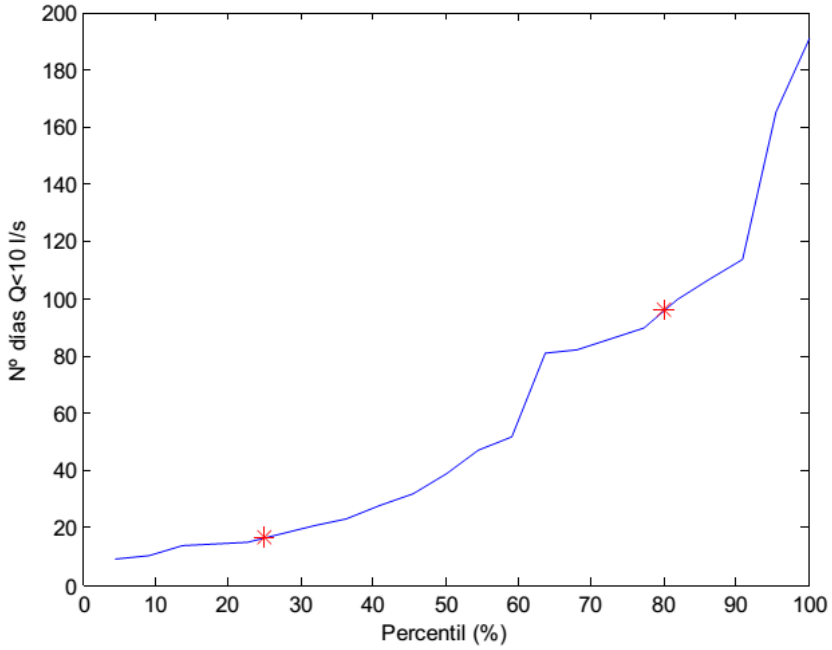


Gráfico 7.1.2.1. (1): Curva clasificada del número de días con caudal inferior a 10 l/s en Zahara.

7.2 CAUDALES MÍNIMOS

A continuación se muestra los resultados obtenidos en el cálculo de los caudales mínimos por los diferentes métodos utilizados, métodos hidrológicos (RVA y QBM) y métodos de hábitats.

7.2.1 MÉTODOS HIDROLÓGICOS

A partir de las series simuladas se han obtenido los valores de caudales ecológicos por el método del Rango de Variabilidad (Range Variability Approach-RVA) y por el del Caudal Básico de Mantenimiento (QBM), y que han sido presentados en el apartado 6.2.5 de este Anejo.

7.2.1.1 RVA

En las siguientes tablas se muestra el caudal mínimo mensual en cada subcuenca obtenido por el método RVA, dónde el umbral mínimo que debe alcanzar el caudal viene definido por los percentiles del 5% y del 10 %, que se han denominado mínimo seco y mínimo húmedo respectivamente.

	Arcos		Guadalcacín		Hurones		Zahara		Final Río Guadalete	
	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo
	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes
Septiembre	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.028	1.178
Octubre	0.000	0.167	0.000	0.099	0.000	0.004	0.000	0.001	1.011	1.482
Noviembre	0.070	1.325	0.078	1.996	0.000	1.151	0.000	0.467	1.407	4.849
Diciembre	0.044	2.176	0.053	2.648	0.041	1.548	0.027	0.569	5.146	6.833
Enero	0.484	1.083	0.709	2.318	0.416	1.901	0.097	0.636	2.979	4.076
Febrero	0.181	1.320	0.085	2.331	0.679	0.950	0.041	0.584	3.079	4.608
Marzo	0.720	1.276	1.414	2.986	0.709	1.002	0.249	0.452	3.579	5.919
Abril	0.086	1.164	0.211	2.051	0.189	0.975	0.053	0.346	3.080	5.215
Mayo	0.021	0.430	0.054	0.830	0.026	0.354	0.012	0.128	1.747	2.656
Junio	0.035	0.097	0.015	0.125	0.004	0.032	0.001	0.035	1.506	1.734
Julio	0.001	0.005	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	1.484	1.588
Agosto	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.230	1.430
TOTAL (hm³/año)	***1.641***	***9.043***	***2.619***	***15.406***	***2.064***	***7.916***	***0.479***	***3.219***	***27.277***	***41.568***

Tabla 7.2.1.1. (1): Demanda ambiental según el método de RVA en los tramos de estudio del Sistema Guadalete

	Almodóvar		Barbate		Celemín		Final del Río Barbate	
	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo
	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes	hm^3/mes s
Septiembre	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.647	0.668
Octubre	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.318	1.756
Noviembre	0.000	0.034	0.000	0.458	0.000	0.079	3.043	3.781
Diciembre	0.000	0.093	0.000	0.744	0.000	0.141	3.836	4.452
Enero	0.000	0.116	0.000	1.279	0.000	0.341	2.964	3.349
Febrero	0.000	0.046	0.003	0.240	0.001	0.118	2.261	3.826
Marzo	0.025	0.071	0.554	0.906	0.093	0.125	2.797	3.917
Abril	0.001	0.051	0.005	0.610	0.003	0.115	2.617	4.711
Mayo	0.000	0.001	0.000	0.083	0.000	0.009	1.484	2.026
Junio	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	1.019	1.227
Julio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.916	1.033
Agosto	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.781	0.868
TOTAL (hm³/año)	***0.026***	***0.413***	***0.562***	***4.333***	***0.097***	***0.928***	***23.683***	***31.614***

Tabla 7.2.1.1. (2): Demanda ambiental según el método de RVA en los tramos de estudio del Sistema Barbate

7.2.1.2 QBM

Los resultados obtenidos para el periodo 1985-2007 en las subcuencas de la zona de estudio se muestran en las tablas siguientes. Como se ha comentado anteriormente, se ha utilizado el método QBM modificado, en el que se realiza el método QBM para cada uno de los años por separado, en lugar de realizarlo para la totalidad de la serie. Por ello, en la siguiente tabla se muestran los resultados del caudal básico para cada uno de los años considerados

Año	Arcos m^3/mes	Guadalcacín m^3/mes	Hurones m^3/mes	Zahara m^3/mes
1985	34830.0	700.5	2749.1	9969.2
1986	785.4	893.7	563.5	589.1
1987	1234.2	1080.0	632.2	925.7
1988	2508.3	589.2	563.5	682.1
1989	864.0	810.0	563.5	740.6
1990	2880.0	40896.0	1767.3	3534.5
1991	960.0	62022.9	996.9	2160.0
1992	893.7	1440.0	682.1	785.5
1993	664.5	5456.7	498.5	576.0
1994	489.0	471.3	462.9	462.9
1995	365.1	365.1	4015.8	37967.3
1996	1178.1	1080.0	700.5	762.4
1997	996.9	25920.0	664.6	925.7
1998	454.8	617.1	375.7	360.0
1999	1127.1	4092.6	700.5	810.0
2000	762.3	893.7	375.7	518.4
2001	1234.2	29622.9	925.7	700.5
2002	1440.0	1620.0	1440.0	1234.3
2003	2356.5	25920.0	43478.7	31968.0
2004	447.0	632.1	365.1	278.7
2005	836.1	893.7	893.8	836.1
2006	3240.0	25920.0	1234.3	1127.0
Media	**2752.2**	**10542.6**	**2938.6**	**4450.7**

Tabla 7.2.1.2. (1): QBM en las subcuencas del Sistema Guadalete

Año	Almodóvar m³/mes	Barbate m³/mes	Celemín m³/mes	Parte final del Rio Barbate m³/mes
1985	0.0	365.1	264.5	
1986	0.0	355.1	0.0	
1987	386.9	551.5	316.1	703000
1988	284.9	454.7	845.2	304000
1989	301.4	454.7	316.1	547000
1990	284.9	439.3	301.4	795000
1991	462.9	960.0	632.2	324000
1992	336.6	454.7	345.6	145000
1993	267.2	411.4	281.7	222000
1994	398.8	418.1	398.8	775000
1995	336.6	370.3	341.0	406000
1996	297.9	355.1	305.0	435000
1997	281.7	529.0	316.1	926000
1998	261.8	291.2	0.0	148000
1999	332.3	529.0	386.9	583000
2000	0.0	381.2	272.9	113000
2001	312.3	471.3	370.3	251000
2002	278.7	720.0	365.1	134000
2003	336.6	810.0	381.2	382000
2004	0.0	275.7	0.0	194000
2005	418.1	2430.0	589.1	595000
2006	332.3	1178.2	489.1	190000
Media	**268.7**	**600.2**	**341.7**	**408500**

Tabla 7.2.1.2. (2): QBM en las subcuencas del Sistema Barbate

Para calcular el caudal mínimo mensual a través de la metodología QBM, se ha estimado una restitución del Caudal Básico de Mantenimiento a escala mensual. Para ello, se ha realizado el cálculo de los caudales medios mensuales (en régimen natural), de cada una de las subcuencas de estudio a partir de los datos diarios simulados según el modelo anteriormente comentado.

A partir de la curva de caudales medios mensuales se establece el régimen de caudales ecológicos, que debe seguir una evolución anual que mantenga el mismo patrón que el régimen natural del río. Para ello, se elige el mes del año en el que el régimen natural toma un valor medio mensual menor, y se le asigna el valor de caudal ecológico básico, es decir, el de QBM obtenido. A partir de este punto, se aplica a cada mes un Factor de Variabilidad Temporal (Fv), que permite establecer un valor de caudal de mantenimiento en cada uno de los meses. Este Fv se calcula del siguiente modo:

$$Fv = \sqrt{\frac{Qmed_i}{Qmin}}$$

Donde,

$Qmed_i$ es el valor medio de la aportación en régimen natural para el mes i

Qmin es el valor medio de la aportación en régimen natural para el mes más seco

De este modo, el régimen de caudales calculado para cada uno de los tramos estudiados es el que se muestra en las siguientes tablas. Destacar que para evaluar esta variabilidad se ha considerado el periodo de cese de caudal que los tramos que se han definido como intermitentes.

Mes	Arcos hm³/mes	Guadalcacín hm³/mes	Hurones hm³/mes	Zahara hm³/mes
septiembre	0.011	0.060	0.028	0.028
octubre	0.005	0.029	0.011	0.013
noviembre	0.001	0.011	0.003	0.004
diciembre	0.003	0.011	0.005	0.007
enero	0.007	0.028	0.011	0.014
febrero	0.014	0.058	0.025	0.031
marzo	0.018	0.079	0.037	0.039
abril	0.026	0.134	0.066	0.068
mayo	0.026	0.134	0.062	0.069
junio	0.022	0.109	0.050	0.059
julio	0.018	0.095	0.044	0.045
agosto	0.015	0.079	0.040	0.038
TOTAL (hm³/año)	0.166	0.826	0.381	0.416

Tabla 7.2.1.2. (3): Demanda ambiental según el método de QBM en los tramos de estudio del Sistema Guadalete

Mes	Almodovar hm³/mes	Barbate hm³/mes	Celemín hm³/mes	Punto final del Barbate hm³/mes
septiembre	0.007	0.007	0.005	0.403
octubre	0.002	0.003	0.002	1.400
noviembre	0.000	0.001	0.000	1.874
diciembre	0.001	0.001	0.000	3.266
enero	0.003	0.003	0.003	2.936
febrero	0.007	0.008	0.006	2.133
marzo	0.013	0.010	0.009	1.712
abril	0.025	0.019	0.018	1.328
mayo	0.021	0.019	0.016	0.979
junio	0.018	0.014	0.013	0.643
julio	0.013	0.011	0.009	0.486
agosto	0.012	0.009	0.007	0.416
TOTAL (hm³/año)	0.123	0.103	0.088	15.577

Tabla 7.2.1.2. (4): Demanda ambiental según el método de QBM en los tramos de estudio del Sistema Barbate

7.2.2 MÉTODOS DE HÁBITATS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos para la determinación del régimen de caudales mínimos siguiendo la metodología de modelización de hábitats.

Una vez realizado el modelo hidráulico y debido a la incertidumbre existente con algunos de sus parámetros, se han llevado a cabo una serie de combinaciones de valores de rugosidad y pendiente del eje longitudinal del cauce, por lo que para cada hidroperiodo habrá un conjunto de valores de caudal mínimo asociados al mes más seco, y se establecerá un intervalo de valores posibles en los que sería aconsejable situar el valor de caudal mínimo.

Se debe comentar, previo a la presentación de los resultados, que la duración de los hidroperiodos se ha considerado ligeramente diferente en las distintas localizaciones en función de las características de la serie de caudales en régimen natural disponibles, de los resultados del análisis de las curvas de hábitat, de la duración del periodo de cese de caudal estimada en otros apartados, e intentando que no se produzcan incoherencias en el régimen de caudales mínimos que se establezca.

Se ha calculado para cada combinación de rugosidad y pendiente los valores de 25%, 30% y 60% del APU_{max}. Todos los tramos estudiados han sido definidos como muy alterados hidrológicamente, por lo que el límite para el método de hábitat es del 30% del APU máximo. Una vez calculado el caudal mínimo se ha procedido a estimar su variación mensual en base al régimen natural, de modo que el caudal ecológico siga el mismo patrón anual que las condiciones naturales.

Los resultados que se presentan en este apartado deben tomarse como una primera aproximación, y los mismos serán sometidos a un estudio más detallado durante el proceso de implantación del régimen de caudales ecológicos, una vez que se disponga de una mejor caracterización de los distintos tramos de estudio en cuanto a los principales factores que influyen en el modelo hidrodinámico (rugosidad, pendiente, topografía del lecho del cauce, etc).

7.2.2.1 SELECCIÓN DE LA ESPECIE OBJETIVO

De las especies presentes en la Demarcación y de las que se poseen curvas de idoneidad, se considerará en el modelado de hábitats la boga del Guadiana *(Chondrostoma willkommii)*, con una presencia importante y calificada como vulnerable en el Inventario Nacional de Biodiversidad.

Categoría	Familia	Especie	Nombre común	Presencia relativa
Vulnerable	*Cyprinidae*	*Chondrostoma lemmingii*	Pardilla	3
Vulnerable	*Cyprinidae*	*Chondrostoma willkommii*	Boga del Guadiana	4
Vulnerable	*Cyprinidae*	*Squalius alburnoides*	Calandino	2
Vulnerable	*Cyprinidae*	*Squalius pyrenaicus*	Cacho	3
Vulnerable	*Salmonidae*	*Salmo trutta*	Trucha común	2

Tabla 7.2.2.1. (1): Valoración de la presencia en la demarcación (Mínimo=0, Máximo=10).
Inventario Nacional de Biodiversidad.

Chondrostoma willkommii o boga del Guadiana es una especie perteneciente a la familia Cyprinidae, de talla media y muy común en los tramos medios de los ríos. Aunque en el Libro Rojo de Vertebrados Españoles aparece catalogada como "No Amenazada", se trata de una especie endémica de la Península Ibérica. Dentro de España se distribuye en las cuencas de los ríos Guadiana, Odiel, Guadalquivir, Guadalete, Guadiaro Verde y Guadalhorce.

Se ha constatado la presencia de dicha especie en la Demarcación, a través de los muestreos que se están haciendo de vida piscícola dentro de la red de control operativo y de vigilancia de las masas de agua.

Desarrollo de las curvas de preferencia

Para obtener las curvas, el método más utilizado suele ser el análisis de frecuencia de los datos obtenidos por muestreo. No obstante hay diferentes metodologías, y en caso de ausencia de medidas en campo, se recurre a consulta bibliográfica. A grandes rasgos se pueden clasificar las curvas de preferencia en dos grupos:

1. El primero correspondería a las curvas de categoría I y III, las cuales son aplicables para la totalidad del territorio ya que están obtenidas a partir de datos generales (halladas mediante muestreos para el posterior tratamiento de los datos) consultadas de diferentes fuentes bibliográficas, o calculadas a partir de un muestreo utilizando un análisis de frecuencias.

2. El segundo grupo engloba a las curvas de categoría II y IV, las cuales son aplicables exclusivamente para los ríos donde se haya efectuado el muestreo.

Las curvas de idoneidad en principio más interesantes son aquéllas que sean aplicables de manera generalizada, es decir, que se correspondan con las categorías I y III.

Las curvas que inicialmente se propusieron para el modelado de hábitats fueron las elaboradas por Costa et al. (1988). Sin embargo en ellas no aparece la preferencia para los distintos valores de las variables hidráulicas para el estadio de alevín de la boga del Guadiana, generalmente el más sensible ante valores

extremos de caudales, por lo que se estima una información fundamental para caracterizar el régimen de caudales máximos.

Debido a esto se optó por emplear las curvas de idoneidad de la especie boga de río (*Condrostoma polylepis)*, que, si bien no se encuentra en la Demarcación, las condiciones de hábitat requeridas por esta especie es muy similar a las de la boga del Guadiana. Por tanto, las curvas que finalmente se utilizaron para efectuar el modelado de hábitats fueron elaboradas por Martínez-Capel (2004) y se muestran en las siguientes tablas:

Profundidad (m)	Grado de idoneidad		
Abscisa	Alevín	Juvenil	Adulto
0	0	0	
0.15		0.1	
0.18	0.2		
0.25	0.5		0
0.33			0.1
0.5		0.5	
0.7			0.2
1		0.6	
1.1	1		0.2
1.2	0.9		
1.25			0.5
1.33	0.7		
1.48	0.5		
1.53			0.6
1.8		0.7	0.6
1.88	0.4		
2		1	1
2.38	0.4		1
2.75		1	

Tabla 7.2.2.1. (2): Curva de preferencia de profundidad (m.) para *Chondrostoma polylepis*, (Martínez-Capel, (2004)

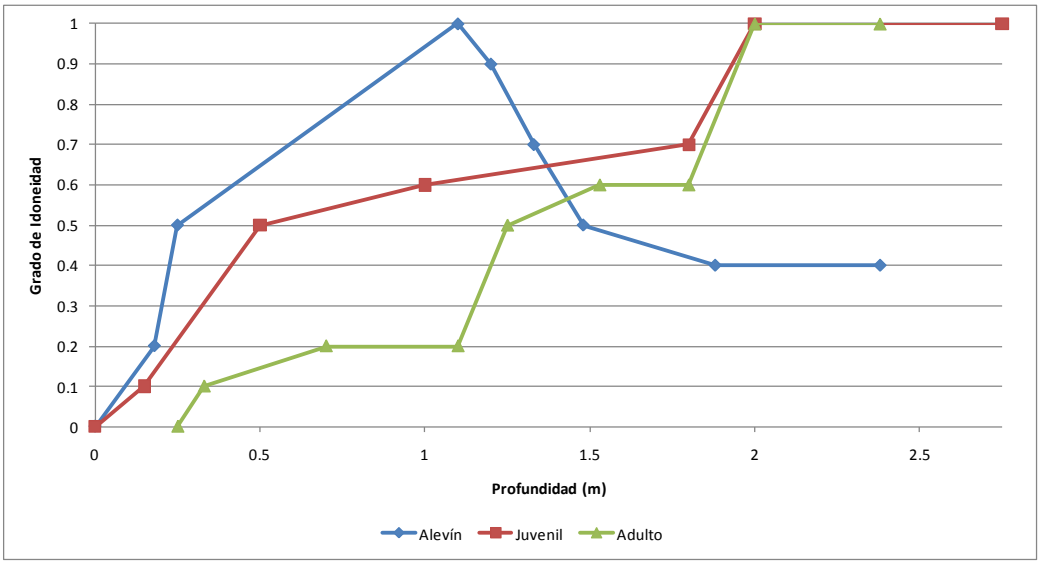


Gráfico 7.2.2.1. (1): Curva de preferencia de profundidad (m.) para *Chondrostoma polylepis*, (Martínez-Capel, 2004)

Velocidad (m/s)	Grado de idoneidad		
Abscisa	Alevín	Juvenil	Adulto
0		0.1	
0.02	0.5		
0.05	0.7	0.3	0.2
0.075	0.9		
0.1	1	0.6	0.4
0.15			0.6
0.25	1		1
0.3		1	
0.375	0.7		
0.4		1	
0.45			1
0.575	0.3		
0.6		0.7	
0.625	0.1		
0.8		0.5	0.5
0.86			0.3
0.875	0.1		
1		0.2	0.2
2		0.15	

Tabla 7.2.2.1. (3): Curva de preferencia de velocidad ($m \cdot s^{-1}$) para *Chondrostoma polylepis*, (Martínez-Capel, 2004)

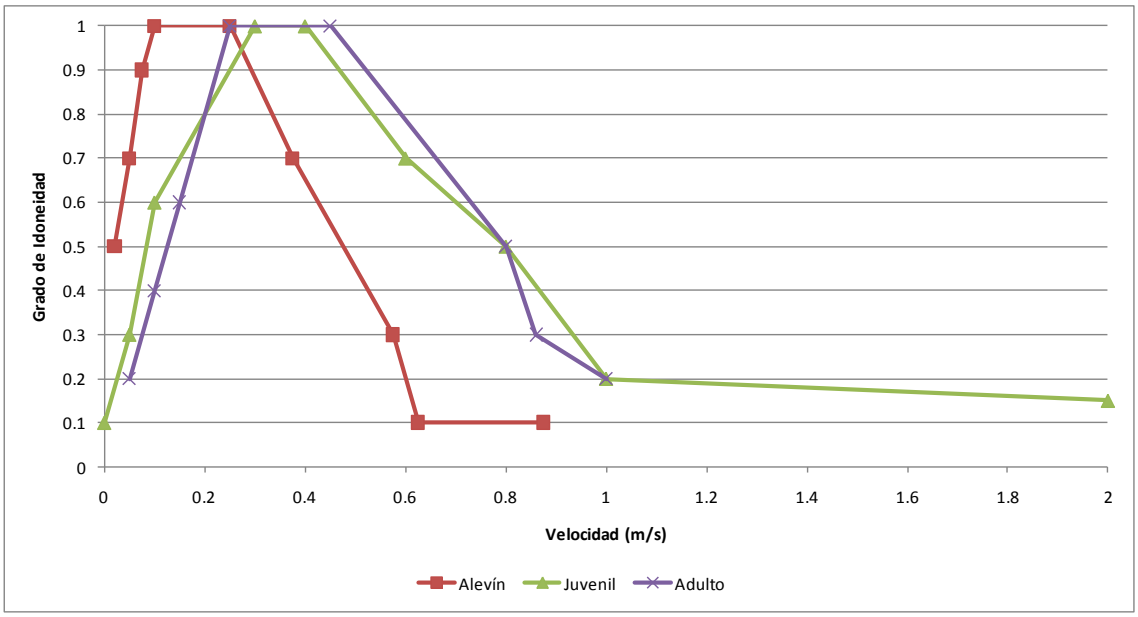


Gráfico 7.2.2.1. (2): Curva de preferencia de velocidad (m·s-1) para *Chondrostoma polylepis,* (Martínez-Capel, 2004)

7.2.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los tramos modelados según este método.

7.2.2.2.1 ALMODÓVAR

En las tablas y gráficos siguientes se muestran los resultados de este cálculo para la subcuenca de Almodóvar.

Pendiente	Numero de Manning	APU_{max}	Seco ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Húmedo ($m^3 \cdot s^{-1}$)
14.93/1000	0.05	Q (25%)	0.03	0.08
14.93/1000	0.05	Q (30%)	0.05	0.12
14.93/1000	0.05	Q (60%)	3.22	3.03
14.93/1000	0.07	Q (25%)	0.02	0.08
14.93/1000	0.07	Q (30%)	0.04	0.13
14.93/1000	0.07	Q (60%)	1.51	1.17
12.69/1000	0.05	Q (25%)	0.03	0.08
12.69/1000	0.05	Q (30%)	0.05	0.12
12.69/1000	0.05	Q (60%)	3.00	2.93
12.69/1000	0.07	Q (25%)	0.02	0.09
12.69/1000	0.07	Q (30%)	0.04	0.13
12.69/1000	0.07	Q (60%)	1.35	1.07
17.17/1000	0.05	Q (25%)	0.03	0.07
17.17/1000	0.05	Q (30%)	0.05	0.11
17.17/1000	0.05	Q (60%)	3.00	2.82
17.17/1000	0.07	Q (25%)	0.02	0.08
17.17/1000	0.07	Q (30%)	0.04	0.12
17.17/1000	0.07	Q (60%)	1.70	1.28

Tabla 7.2.2.2.1. (1): Valores de APU_{max} para diferentes pendientes y números de Manning en la subcuenca de Almodóvar

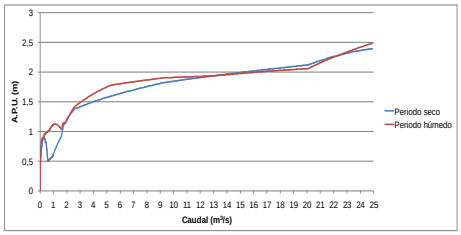
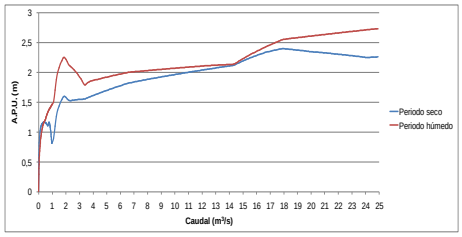
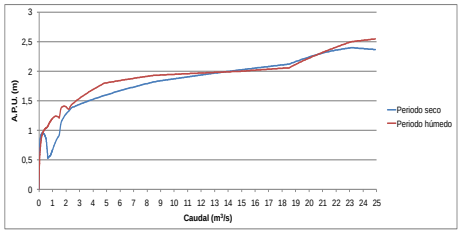
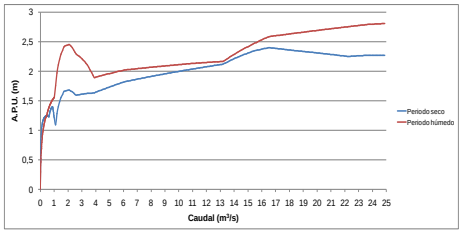
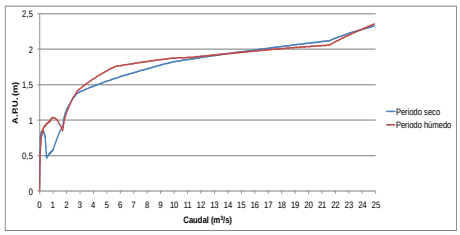
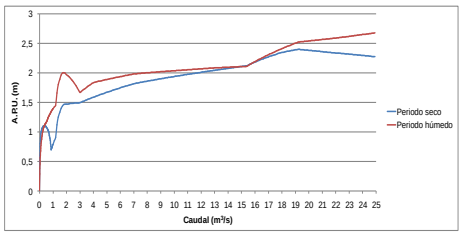
	Número de Manning	
Pendiente	n= 0.05	n= 0.07
14.93/1000		
12.69/1000		
17.17/1000		

Gráfico 7.2.2.2.1. (1): Valores de APU en ambos hidroperiodos en función del caudal, para las diferentes hipótesis planteadas de pendiente y rugosidad en la subcuenca de Almodóvar

A continuación se presenta el rango estimado de caudal mínimo en cada uno de estos periodos.

Hidroperiodo	Periodo considerado	% sobre APU_{max}	Rango de Q ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Rango de Q (hm^3/mes)
Seco	May / Oct	30	0.04	0,104
			0.05	0,130
Húmedo	Nov / Abr	30	0.11	0,285
			0.13	0,337

Tabla 7.2.2.2.1. (2): Resumen del cálculo de caudal mínimo según el método de hábitat en la subcuenca de Almodóvar

7.2.2.2.2 HURONES

En las tablas y figuras siguientes se muestran los resultados de este cálculo para la subcuenca de Hurones.

Pendiente	Numero de Manning	APU_{max}	Seco ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Húmedo ($m^3 \cdot s^{-1}$)
17.48/1000	0.05	Q (25%)	0.03	0.07
17.48/1000	0.05	Q (30%)	0.04	0.10
17.48/1000	0.05	Q (60%)	3.55	3.71
17.48/1000	0.07	Q (25%)	0.02	0.07
17.48/1000	0.07	Q (30%)	0.04	0.11
17.48/1000	0.07	Q (60%)	2.45	1.05
14.86/1000	0.05	Q (25%)	0.03	0.07
14.86/1000	0.05	Q (30%)	0.04	0.10
14.86/1000	0.05	Q (60%)	3.33	3.42
14.86/1000	0.07	Q (25%)	0.02	0.08
14.86/1000	0.07	Q (30%)	0.04	0.13
14.86/1000	0.07	Q (60%)	2.26	1.15
20.1/1000	0.05	Q (25%)	0.03	0.07
20.1/1000	0.05	Q (30%)	0.04	0.10
20.1/1000	0.05	Q (60%)	3.75	3.98
20.1/1000	0.07	Q (25%)	0.02	0.07
20.1/1000	0.07	Q (30%)	0.04	0.10
20.1/1000	0.07	Q (60%)	2.66	1.22

Tabla 7.2.2.2.2. (1): Valores de APU_{max} para diferentes pendientes y números de Manning en la subcuenca de Hurones

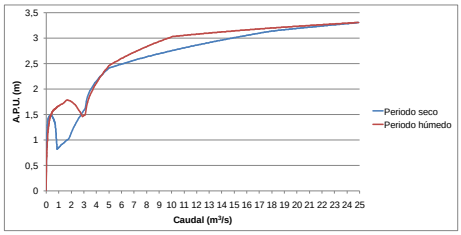
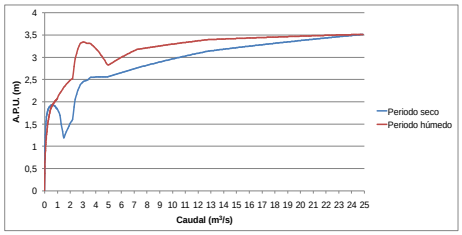
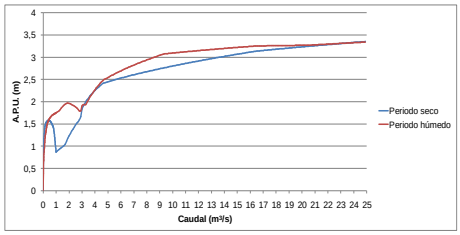
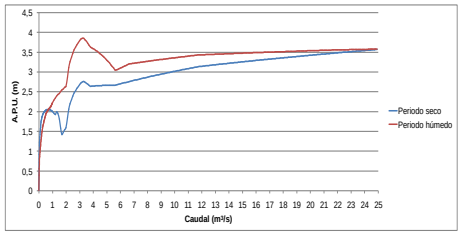
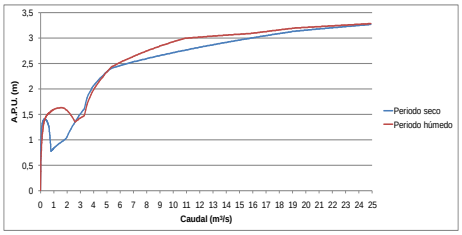
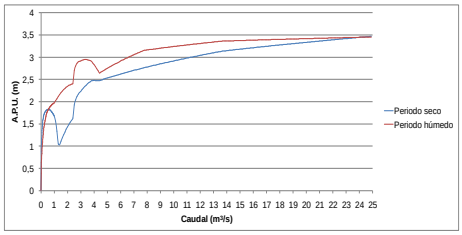
	Número de Manning	
Pendiente	n= 0.05	n= 0.07
17.48/1000		
14.86/1000		
20.1/1000		

Gráfico 7.2.2.2.2. (1): Valores de APU en ambos hidroperiodos en función del caudal, para las diferentes hipótesis planteadas de pendiente y rugosidad en la subcuenca de Hurones

A continuación se presenta el rango estimado de caudal mínimo en cada uno de estos periodos

Hidroperiodo	Periodo considerado	% sobre APU_{max}	Rango de Q ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Rango de Q (hm^3/mes)
Seco	Jun / Sept	30	0.04	0,104
			0.04	0,104
Húmedo	Oct / May	30	0.10	0,259
			0.13	0,337

Tabla 7.2.2.2.2. (2): Resumen del cálculo de caudal mínimo según el método de hábitat en la subcuenca de Hurones

7.2.2.2.3 ZAHARA

En las tablas y figuras siguientes se muestran los resultados de este cálculo para la subcuenca de Zahara.

Pendiente	Numero de Manning	APU_{max}	Seco ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Húmedo ($m^3 \cdot s^{-1}$)
14.89/1000	0.05	Q (25%)	0.02	0.06
14.89/1000	0.05	Q (30%)	0.04	0.10
14.89/1000	0.05	Q (60%)	3.12	3.19
14.89/1000	0.07	Q (25%)	0.02	0.08
14.89/1000	0.07	Q (30%)	0.04	0.12
14.89/1000	0.07	Q (60%)	2.17	1.08
12.65/1000	0.05	Q (25%)	0.02	0.06
12.65/1000	0.05	Q (30%)	0.04	0.10
12.65/1000	0.05	Q (60%)	2.85	1.38
12.65/1000	0.07	Q (25%)	0.03	0.09
12.65/1000	0.07	Q (30%)	0.04	0.15
12.65/1000	0.07	Q (60%)	1.20	1.18
17.12/1000	0.05	Q (25%)	0.02	0.06
17.12/1000	0.05	Q (30%)	0.04	0.10
17.12/1000	0.05	Q (60%)	3.30	3.42
17.12/1000	0.07	Q (25%)	0.02	0.06
17.12/1000	0.07	Q (30%)	0.04	0.10
17.12/1000	0.07	Q (60%)	2.27	0.93

Tabla 7.2.2.2.3. (1): Valores de APU_{max} para diferentes pendientes y números de Manning en la subcuenca de Zahara

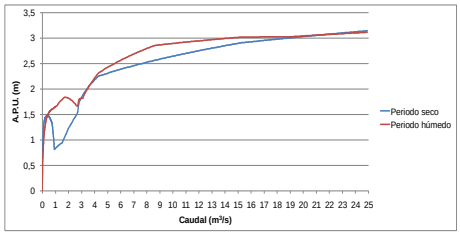
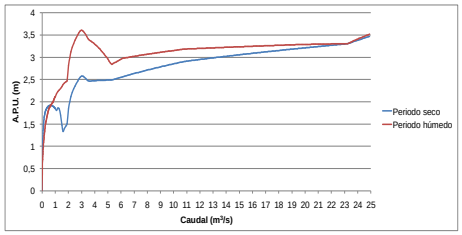
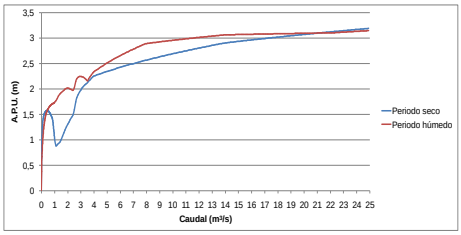
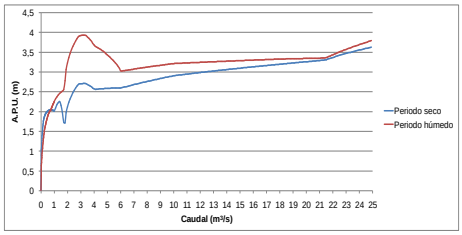
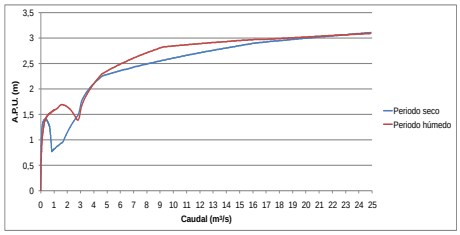
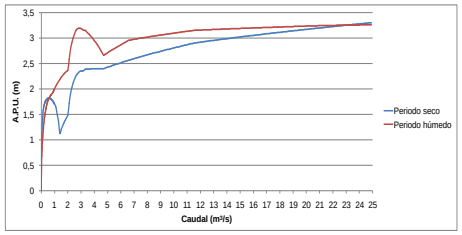
	Número de Manning	
Pendiente	n= 0.05	n= 0.07
14.89/1000		
12.65/1000		
17.12/1000		

Gráfico 7.2.2.2.3. (1): Valores de APU en ambos hidroperiodos en función del caudal, para las diferentes hipótesis planteadas de pendiente y rugosidad en la subcuenca de Zahara

A continuación se presenta el rango estimado de caudal mínimo en cada uno de estos periodos

Hidroperiodo	Periodo considerado	% sobre APU_{max}	Rango de Q (m^3/s)	Rango de Q (hm^3/mes)
Seco	Jun / Sept	30	0.04	0,104
			0.04	0,104
Húmedo	Oct / May	30	0.10	0,259
			0.15	0,389

Tabla 7.2.2.2.3. (2): Resumen del cálculo de caudal mínimo según el método de hábitat en la subcuenca de Zahara

7.2.2.2.4 COMENTARIOS A LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Como se ha comentado anteriormente, estos resultados deben tomarse como una primera aproximación al método de hábitats en la Demarcación Hidrográfica de Guadalete y Barbate. Una vez se disponga de una mejor caracterización de los tramos a analizar y de las especies existentes, deberá llevarse a cabo una revisión de estos datos.

El método de hábitat, con los datos de partida considerados, no parece verse influenciado de una manera significativa por el régimen de caudales en régimen natural, lo cual debe ser tenido en cuenta a la hora de evaluar la validez del método.

Por lo tanto, y después de los resultados arrojados por los métodos de hábitat, para la validación del método hidrológico en este proceso de planificación se tendrá en cuenta además otros aspectos, como el criterio de experto, que permita que los resultados obtenidos sean los óptimos.

7.2.3 VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Como se ha comentado anteriormente, es necesario llevar a cabo la validación de los resultados obtenidos por métodos hidrológicos. Para ello, se han considerado diferentes aspectos, destacando los dos siguientes:

- Comparación con los resultados obtenidos en los métodos de modelación de hábitats.
- Adecuación del método al tipo de río mediante criterio de experto.

A continuación se realiza un breve resumen de las conclusiones extraídas en cada uno de los aspectos anteriormente comentados.

7.2.3.1 COMPARACIÓN CON LOS DATOS DE MODELACIÓN DE HÁBITATS

Según la IPHA, la distribución de caudales mínimos se determinará ajustando los caudales obtenidos por métodos hidrológicos al resultado de la modelación de la idoneidad del hábitat, de acuerdo con alguno de los siguientes criterios:

a) Considerar el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 50-80% del hábitat potencial útil máximo. En caso de tramos alterados hidrológicamente este rango será del 30-80%.

b) Considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.

En las siguientes tablas se comparan todos los resultados obtenidos por los diferentes métodos en los dos puntos en los que se ha realizado modelación por hábitat.

	Métodos Hidrológicos			Hidroperiodo	Modelo Hábitats	
	RVA (5%)	RVA (10%)	QBM		Rango Inf. Qmin	Rango Sup. Qmin
Octubre	0.000	0.004	0.011	Húmedo	0.285	0.337
Noviembre	0.000	1.151	0.003			
Diciembre	0.041	1.548	0.005			
Enero	0.416	1.901	0.011			
Febrero	0.679	0.95	0.025			
Marzo	0.709	1.002	0.037			
Abril	0.189	0.975	0.066			
Mayo	0.026	0.354	0.062			
Junio	0.004	0.032	0.05	Seco	0.104	0.104
Julio	0.000	0.000	0.044			
Agosto	0.000	0.000	0.04	Cese Caudal	0.000	0.000
Septiembre	0.000	0.000	0.028	Seco	0.104	0.104

Tabla 7.2.3.1. (1): Comparación de los diferentes métodos utilizados para la determinación del régimen de caudales ecológicos a la salida del embalse de Hurones

	Métodos Hidrológicos			Hidroperiodo	Modelo Hábitats	
	RVA (5%)	RVA (10%)	QBM		Rango Inf. Qmin	Rango Sup. Qmin
Octubre	0.000	0.001	0.013	Húmedo	0.259	0.389
Noviembre	0.000	0.467	0.004			
Diciembre	0.027	0.569	0.007			
Enero	0.097	0.636	0.014			
Febrero	0.041	0.584	0.031			
Marzo	0.249	0.452	0.039			
Abril	0.053	0.346	0.068			
Mayo	0.012	0.128	0.069			
Junio	0.001	0.035	0.059	Seco	0.104	0.104
Julio	0.000	0.000	0.045			
Agosto	0.000	0.000	0.038	Cese Caudal	0.000	0.000
Septiembre	0.000	0.000	0.028	Seco	0.104	0.104

Tabla 7.2.3.1. (2): Comparación de los diferentes métodos utilizados para la determinación del régimen de caudales ecológicos a la salida del embalse de Zahara

	Métodos Hidrológicos			Hidroperiodo	Modelo Hábitats	
	RVA (5%)	RVA (10%)	QBM		Rango Inf. Qmin	Rango Sup. Qmin
Octubre	0.000	0.000	0.002	Seco	0.104	0.104
Noviembre	0.000	0.034	0.000	Húmedo	0.259	0.389
Diciembre	0.000	0.093	0.001			
Enero	0.000	0.116	0.003			
Febrero	0.000	0.046	0.007			
Marzo	0.025	0.071	0.013			
Abril	0.001	0.051	0.025			
Mayo	0.000	0.001	0.021	Seco	0.104	0.104
Junio	0.000	0.000	0.018	Cese de Caudal	0.000	0.000
Julio	0.000	0.000	0.013			
Agosto	0.000	0.000	0.012			
Septiembre	0.000	0.000	0.007			

Tabla 7.2.3.1. (3): Comparación de los diferentes métodos utilizados para la determinación del régimen de caudales ecológicos a la salida del embalse de Almodovar

7.2.3.2 ADECUACIÓN DEL MÉTODO HIDROLÓGICO AL TÍPO DE RÍO MEDIANTE CRITERIO DE EXPERTO

Como se ha comentado anteriormente, para la evaluación del régimen de caudales ecológicos se ha contado con la colaboración del Grupo de Hidrología e Hidráulica Agrícola de la Universidad de Córdoba, que ha aportado su extensa experiencia en el cálculo de este tipo de trabajos en todo el territorio andaluz.

El método RVA se desarrolló en respuesta al creciente interés de usar la variabilidad natural para recomendar caudales ecológicos ambientales y no insistir con el uso de un caudal mínimo a lo largo de todo el año, de ahí que sea uno de los métodos recomendados por la Guía metodológica para la determinación de los caudales ecológicos. En este método se reconoce que la variación hidrológica juega un papel importante en la estructura de la diversidad biótica, además de controlar las condiciones de hábitats dentro del canal, llanuras de inundación, humedales, etc.

Por otra parte, el método del caudal básico de mantenimiento, QBM, responden directamente a la temporalidad y puede dar como resultado caudales ambientales nulos o excesivamente bajos que no se adapta bien a las condiciones hidrológicas específicas en los ríos temporales, estacionales y efímeros.

7.2.3.3 ASIGNACIÓN DEL MÉTODO HIDROLÓGICO MÁS APROPIADO

En definitiva, el RVA se ha observado que obtiene unos mejores resultados en ríos con regímenes hidrológicos altamente alterados (Richter, 1997) y con fuerte estacionalidad de sus caudales, ya que responde de manera inversa a la estacionalidad, por lo que se recomienda utilizar como referencia el uso de los valores obtenidos por el método RVA.

Por otra parte, han sido los resultados obtenidos mediante el método RVA han sido los aprobados en el proceso de concertación de caudales ecológicos.

7.2.4 EXTRAPOLACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES MÍNIMOS AL RESTO DE MASAS DE AGUA TIPO RÍO

Una vez determinado el método hidrológico de RVA como el más apropiado, se ha estimado en cada una de las masas de agua tipo río de la DHGB el régimen de caudales mínimos, a nivel mensual, diferenciando entre los caudales a cumplir en un año seco o húmedo.

La diferenciación entre año seco y año húmedo se plantea en este plan hidrológico en función del estado en el que se encuentre un determinado sistema según el Plan Especial de Actuación en situaciones de Alerta y Eventual Sequía de la Cuenca Atlántica Andaluza (PES), de modo que si el sistema se encuentra en Normalidad o Prealerta se considerará que el año es húmedo, mientras que si el estado es de Alerta o Emergencia se considerará que el año es seco.

En función de este criterio se exigirá el cumplimiento del régimen de caudales mínimos de año seco o húmedo.

7.2.5 CONTRIBUCIÓN AL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS DE LAS APORTACIONES SUBTERRÁNEAS AL SISTEMA SUPERFICIAL

Debido a las características climáticas e hidrológicas de la Demarcación Hidrográfica de Guadalete y Barbate, las aportaciones superficiales producidas a partir de precipitaciones en los meses de verano deben considerarse despreciables para el cumplimiento del régimen de caudales mínimos, de modo que se estima que en estos meses los caudales circulantes, en régimen natural, están originados principalmente por la contribución de los recursos subterráneos al sistema superficial, ya sea mediante manantiales o a través de tramos de conexión entre río y acuífero.

Por ello, se ha llevado a cabo la comprobación, y corrección si procede, del régimen de caudales mínimos en los meses de estiaje.

Para realizar esta tarea, se ha comparado el régimen de caudales mínimos obtenidos por métodos hidrológicos (RVA) con el régimen natural de aportaciones al sistema superficial por parte de las masas

de agua subterránea en los meses de verano (Mayo-Septiembre), de modo que se ha corregido el régimen de caudales mínimos para que éste pueda ser cumplido con las aportaciones del sistema subterráneo al superficial.

Para obtener más información acerca del régimen natural de estas aportaciones subterráneas puede consultarse el Anejo 2 de este Plan.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de modificación del régimen de caudales mínimos por el método RVA en una determinada masa de agua, para su adecuación en los meses de verano, de modo que el régimen de caudales mínimos definitivo pueda ser cubierto con las aportaciones subterráneas al sistema superficial.

Destacar que esta modificación no provoca una reducción significativa en cuanto al volumen total de caudales mínimos en la demarcación, ya que las disminuciones producidas se producen en los meses en los que los requerimientos ambientales son más bajos.

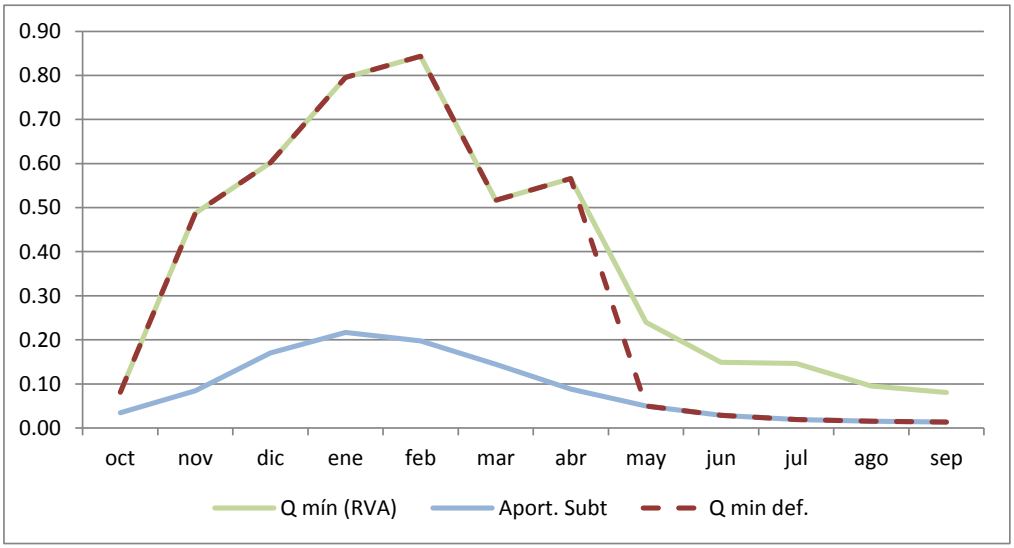


Figura 7.2.5. (1): Ejemplo de la modificación del régimen de caudales mínimos.

Como se puede observar en la siguiente figura, en la cuenca del Barbate existen algunas masas de agua superficiales que, en principio, no reciben aportaciones subterráneas. Por lo tanto, en esas masas de agua el caudal mínimo en esos meses será nulo.

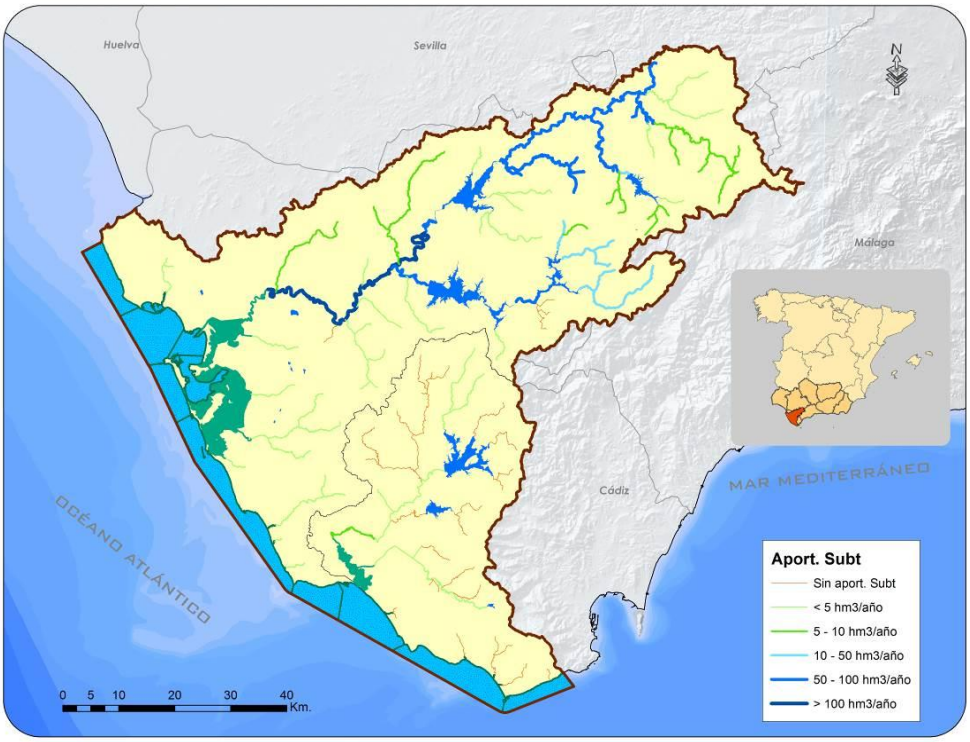


Figura 7.2.5. (2): Aportaciones subterráneas al sistema superficial en régimen natural.

Los resultados para cada una de las masas, a nivel mensual, con la corrección expuesta en este apartado se presentan en el Apéndice 1 de este Anejo, así como en la Normativa de este Plan Hidrológico.

7.2.6 RÉGIMEN DE CAUDALES MÍNIMOS CONSIDERADO EN LAS MASAS DE AGUA ESTRATÉGICAS

A modo de resumen, se presentan los resultados definitivos obtenidos en las masas de agua consideradas como estratégicas en este estudio.

Arco Modelo simulación	Año tipo	Total Anual (hm³/año)	Caudales ecológicos (hm³/mes)											
			oct	Nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Salida embalse de Zahara	Seco	0,479	0,014	0,025	0,098	0,063	0,052	0,068	0,055	0,029	0.023	0.020	0.017	0.015
	Húmedo	3,219	0.095	0.386	0.536	0.334	0.394	0.436	0.415	0.203	0.130	0.108	0.092	0.091
Salida del Arcos	Seco	1,600	0.052	0.087	0.305	0.202	0.168	0.221	0.180	0.101	0.085	0.078	0.067	0.054
	Húmedo	9,043	0.283	1.063	1.522	0.918	1.033	1.276	1.099	0.553	0.388	0.338	0.293	0.273
Salida del embalse de Hurones	Seco	2,064	0.031	0.059	0.676	0.244	0.219	0.221	0.319	0.095	0.059	0.058	0.045	0.038
	Húmedo	7,916	0.088	1.393	1.751	0.762	0.996	0.779	1.016	0.582	0.199	0.143	0.114	0.093
Salidas del embalse de Guadalcacín	Seco	2,619	0.061	0.087	0.766	0.271	0.303	0.275	0.377	0.134	0.095	0.095	0.074	0.061
	Húmedo	15,406	0.263	2.577	3.912	1.210	2.037	1.421	1.680	1.109	0.378	0.325	0.269	0.219

Tabla 7.2.6. (1): Características de los caudales mínimos representativos de caudales ecológicos incluidos en el modelo de simulación en los principales embalses del Sistema Guadalete, en hm3/mes.

Arco Modelo simulación	Año tipo	Total Anual (hm³/año)	Caudales ecológicos (hm³/mes)											
			oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Salida embalse de Barbate	Seco	0,561	0,022	0,025	0,090	0,071	0,064	0,056	0,071	0,044	0,033	0,033	0,029	0,024
	Húmedo	3.303	0,134	0,380	0,499	0,576	0,413	0,474	0,757	0,033	0,014	0,007	0,007	0,008
Salida del Celemín	Seco	0,097	0,003	0,004	0,020	0,012	0,013	0,013	0,013	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003
	Húmedo	0.767	0,019	0,088	0,155	0,158	0,126	0,097	0,123	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Salida del embalse de Almodóvar	Seco	0,026	0,000	0,000	0,010	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Húmedo	0,413	0,000	0,005	0,106	0,020	0,261	0,005	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla 7.2.6. (2): Características de los caudales mínimos representativos de caudales ecológicos incluidos en el modelo de simulación en los embalses del Sistema Barbate, en hm3/mes.

7.3 CAUDALES MÁXIMOS

Los resultados del modelo de precipitación-aportación muestran que, de forma natural, es frecuente que se produzcan episodios de avenida, con elevadas velocidades que pueden superar puntualmente la velocidad crítica para la especie estudiada. No obstante, se ha observado, mediante campaña de campo, que existen refugios en las márgenes del río, donde el pez es capaz de resguardarse de estas avenidas.

Por otra parte, se recomienda que durante la gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas no se superen estas velocidades en periodos continuados, ya que de forma natural estos eventos de avenidas no se dan de manera continua, debido al carácter de las precipitaciones tipo (cortas e intensas) y a las características de las cuencas vertientes.

Para la estimación del caudal máximo se han analizado dos métodos diferentes. El primero se basa en el caudal máximo basándose en los datos obtenidos en la modelación de hábitats, y en el segundo se utiliza la metodología empleada en la IPHA, y que se basa en el análisis hidrológico de la serie de estudio. En el periodo de implantación del régimen de caudales ecológicos (durante el periodo de vigencia de este plan hidrológico) se llevará a cabo un análisis más detallado para evaluar el método más apropiado.

7.3.1 CAUDALES MÁXIMOS EN FUNCIÓN DE LA MODELACIÓN DE HÁBITATS

El modelo hidráulico que se ha empleado en el estudio es unidimensional, y por ello se ha adaptado la metodología aplicada. El procedimiento llevado a cabo ha consistido en, para un rango de caudales, estimar la velocidad media con el modelo hidráulico en las secciones representativas del tramo, comparando con las velocidades de las curvas de idoneidad para tener un orden de magnitud del grado de confort de la especie representativa en sus distintas etapas de crecimiento para un rango de caudales.

Para ello, utilizando las curvas de idoneidad empleadas en el método de modelación de hábitats y considerando que en periodos continuados el flujo del río va aproximándose a la situación ideal de régimen permanente y uniforme, se han estimado unos rangos de volúmenes máximos a desembalsar en

los principales embalses de la Demarcación en función del tipo de estado en el que se encuentre las distintas especies (alevín, juvenil o adulto). Estos valores, aunque son una primera aproximación, en la medida de lo posible no deberían rebasarse en la gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas.

En las siguientes tablas se muestran algunos de los resultados obtenidos. Como se puede comprobar, en algunos tramos se presentan diferentes resultados en función de las hipótesis de partida que se tomen (básicamente pendiente y rugosidad (contemplado mediante el número de Manning)).

		Alevín-m³/s		Juvenil -m³/s		Adulto -m³/s	
Subcuenca	Pendientes	n=0.05	n=0.07	n=0.05	n=0.07	n=0.05	n=0.07
Arcos	5.25/1000	20.0	25.0	55.0	60.0	50.0	55.0
Guadalcacín	7.52/1000	1.4	2.0	5.0	9.0	4.0	7.0
Hurones	17.48/1000	1.2	1.8	3.6	6.0	3.2	5.0
Zahara	6.83/1000	4.0	6.0	15.0	25.0	12.0	20.0
Zahara	7.85/1000	4.0	6.0	14.0	22.0	12.0	20.0
Zahara	5.81/1000	4.0	7.0	20.0	25.0	15.0	22.0

Tabla 7.3.1. (1): Caudales orientativos de caudal máximo a desembalsar en los principales embalses del sistema Guadalete, en $m^3 \cdot s^{-1}$

		Alevín-m³/s		Juvenil -m³/s		Adulto -m³/s	
Subcuenca	Pendientes	n=0.05	n=0.07	n=0.05	n=0.07	n=0.05	n=0.07
Almodóvar	6.43/1000	1.0	1.6	3.6	6.0	3.2	6.0
Almodóvar	7.39/1000	1.0	1.4	3.2	6.0	2.8	6.0
Almodóvar	5.47/1000	1.0	1.6	4.0	9.0	3.6	6.0
Barbate	5.45/1000	1.8	3.2	9.0	15.0	6.0	12.0
Celemín T1	1.81/1000	1.6	3.2	9.0	15.0	9.0	15.0
Celemín T1	1.54/1000	2.0	3.6	9.0	15.0	9.0	15.0
Celemín T1	2.08/1000	1.4	2.8	9.0	15.0	9.0	15.0
Celemín T2	6.43/1000	1.2	1.8	4.0	9.0	4.0	6.0
Celemín T2	7.39/1000	1.0	1.6	4.0	9.0	4.0	6.0
Celemín T2	5.47/1000	1.2	2.0	6.0	9.0	6.0	9.0

Tabla 7.3.1. (2): Caudales orientativos de caudal máximo a desembalsar en los principales embalses del sistema Barbate, en $m^3 \cdot s^{-1}$

7.3.2 CAUDALES MÁXIMOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Por otra parte, la Instrucción de Planificación Hidrológica Andaluza determina que *"los caudales máximos que no deben ser superados durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas se definirán, al menos, en dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos, correspondientes al periodo húmedo y seco del año. Su caracterización se realizará analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración. Con la finalidad de preservar las magnitudes fundamentales del régimen natural, se recomienda no utilizar percentiles superiores al 90%, en consonancia con los umbrales propuestos en apartados posteriores para los índices de alteración hidrológica".*

En consecuencia, se propone como método de cálculo del caudal máximo para el régimen de caudales ecológicos, el cálculo del percentil 90 de excedencia de la curva de caudales clasificados para cada mes y, de estos doce valores, seleccionar el valor máximo obtenido para los seis meses del período seco del año (mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre) y lo mismo para los seis meses restantes, correspondientes al período húmedo.

En la siguiente tabla se indican los valores de caudal máximo para el período húmedo y seco (invierno y verano) en los principales embalses de la DHGB.

Subcuenca	Periodo Húmedo -$m^3 \cdot s^{-1}$	Periodo Seco -$m^3 \cdot s^{-1}$
Arcos	40.994	6.755
Guadalcacín	49.125	10.456
Hurones	26.957	5.848
Zahara	11.990	2.078

Tabla 7.3.2. (1): Caudales orientativos de caudal máximo a desembalsar, según los criterios de la IPHA, en los principales embalses del Sistema Guadalete, en $m^3 \cdot s^{-1}$

Subcuenca	Periodo Húmedo -$m^3 \cdot s^{-1}$	Periodo Seco -$m^3 \cdot s^{-1}$
Almodóvar	2.314	0.369
Barbate	27.060	4.399
Celemín	7.763	1.099

Tabla 7.3.2. (2): Caudales orientativos de caudal máximo a desembalsar, según los criterios de la IPHA, en los principales embalses del Sistema Barbate, en $m^3 \cdot s^{-1}$

Hay que destacar que las masas de agua analizadas se encuentran aguas abajo de embalses en la cuenca del Guadalete y Barbate, por lo que se trata de masas de agua donde la morfología del río se ha adaptado a la circulación de caudales regulados. En consecuencia, la aplicación de criterios estrictamente hidrológicos sobre el régimen natural a la hora de determinar los caudales máximos, que no considera

esta circulación de caudales elevados (percentil 90%, etc), podría plantear problemas al resultar caudales muy reducidos en comparación con los realmente circulantes

7.3.3 DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES MÁXIMOS

Una vez analizados los dos métodos anteriormente comentados, se ha tomado como valores representativos, siguiendo el criterio de experto y después de analizar su adecuación a la gestión ordinaria de los diferentes embalses, los obtenidos por métodos hidrológicos (Apartado 7.3.2).

No obstante, durante el proceso de seguimiento del presente Plan Hidrológico, y en función de los estudios de mejora del conocimiento que se lleven a cabo y el proceso de concertación, estos valores podrán ser modificados para una mejor adecuación a los requerimientos medioambientales de los diferentes sistemas.

7.4 TASAS DE CAMBIO

La tasa de cambio, tal y como se ha comentado anteriormente, representa la máxima diferencia de caudal entre dos valores sucesivos de una serie hidrológica por unidad de tiempo. Esta diferencia se debe establecer tanto para condiciones de ascenso como de descenso de caudal.

A continuación se presentan en las tablas siguientes los resultados para todos los puntos de estudio. Estos valores son el promedio de las tasas de cambio anuales para el periodo 1985-2007 a escala diaria.

Datos en m³/s/día	Tasa de cambio	
Embalse	Ascendente	Descendente
Arcos	51.12	7.09
Guadalcacín	23.82	6.38
Hurones	19.54	4.43
Zahara	7.82	2.3

Tabla 7.4. (1): Tasas de cambio en los embalses del Sistema Guadalete

Datos en m³/s/día	Tasa de cambio	
Embalse	Ascendente	Descendente
Almodóvar	1.109	0.76
Barbate	11.83	4.45
Celemín	3.788	1.96

Tabla 7.4. (2): Tasas de cambio en los embalses del Sistema Barbate

7.5 CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS

El proceso para la estimación de la caracterización del régimen de crecidas (caudal generador) en la Demarcación Hidrográfica del Guadalete y Barbate se ha llevado a cabo por dos métodos diferentes. A continuación se muestra, de manera resumida, los resultados obtenidos por cada uno de estos modelos.

7.5.1 CÁLCULO DEL CAUDAL GENERADOR. OPCIÓN 1

Tras el análisis previo, se ha llevado a cabo la caracterización del caudal generador, siempre considerando los aspectos fundamentales de una crecida, tales como magnitud, frecuencia, duración, época y tasa máxima de cambio. Estos elementos se estiman a partir del análisis de la serie histórica del río en régimen natural. El caudal generador se puede aproximar por el caudal de la Máxima Crecida Ordinaria, QMCO, que a su vez, siguiendo las indicaciones recogidas en Hernández et al. (2008), se calcula según la expresión (1), en base a la serie de máximos caudales medios diarios en régimen natural:

$$\frac{Q_{MCO}}{Q_m} = 0.7 + 0.6 \cdot C_V \qquad (1)$$

Por tanto, QMCO (m3·s-1) se calcula a partir de los valores de la media (Qm) y del coeficiente de variación (CV), calculados mediante las expresiones (2) y (3) respectivamente.

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^{N} q_i}{n} \quad (m^3 \cdot s^{-1}) \qquad (2)$$

$$C_V = \frac{\sigma}{Q_m} \quad (adim) \qquad (3)$$

donde,

Qm, es el caudal medio (m3·s-1)

CV, es el coeficiente de variación (adimensional)

qi, son los caudales máximos instantáneos de cada uno de los años de la serie (m3·s-1)

n, es el número total de años y

σ es la desviación típica (m3·s-1), que se calcula según la expresión (4):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(q_i - \overline{Q}\right)^2} \qquad (4)$$

Los parámetros obtenidos para cada uno de los tramos, así como el caudal de Máxima Crecida Ordinaria se muestran en la siguiente tabla.

	Almodovar	Arcos	Barbate	Celemín	Guadalcacín	Hurones	Zahara
Qm	5.22	115.9	46.51	16.41	89.13	73.51	27.30
σ	4.76	48.11	38.31	14.83	76.15	67.36	23.24
Cv	0.91	0.41	0.82	0.9	0.85	0.92	0.85
Q_{mco} (m^3/s)	6.51	110.01	55.54	20.31	108.08	91.87	33.05

Tabla 7.5.1. (1): Estadísticos de cada una de las cuencas para el cálculo del caudal de máxima crecida ordinaria

El último paso es la generación del hidrograma de crecida por implantación del caudal generador, para lo que es necesario fijar una tasa de cambio del caudal por unidad de tiempo, tanto para ascenso o incremento, como para el descenso o decremento, que amortigüe y atenúe los cambios de caudal. En este estudio se han fijado como tasas de cambio las proporcionadas por el Pla Sectorial de Cabals de Manteniment, de la Agència Catalana de l'Aigua (2006):

$$\begin{aligned} Q_{t+1}(máx) &= 1.8 \cdot Q_t \\ Q_{t+1}(mín) &= 0.7 \cdot Q_t \end{aligned} \qquad (5)$$

A continuación se muestran, a modo de ejemplo, algunos de los hidrogramas estimados para el cumplimiento del régimen de crecidas.

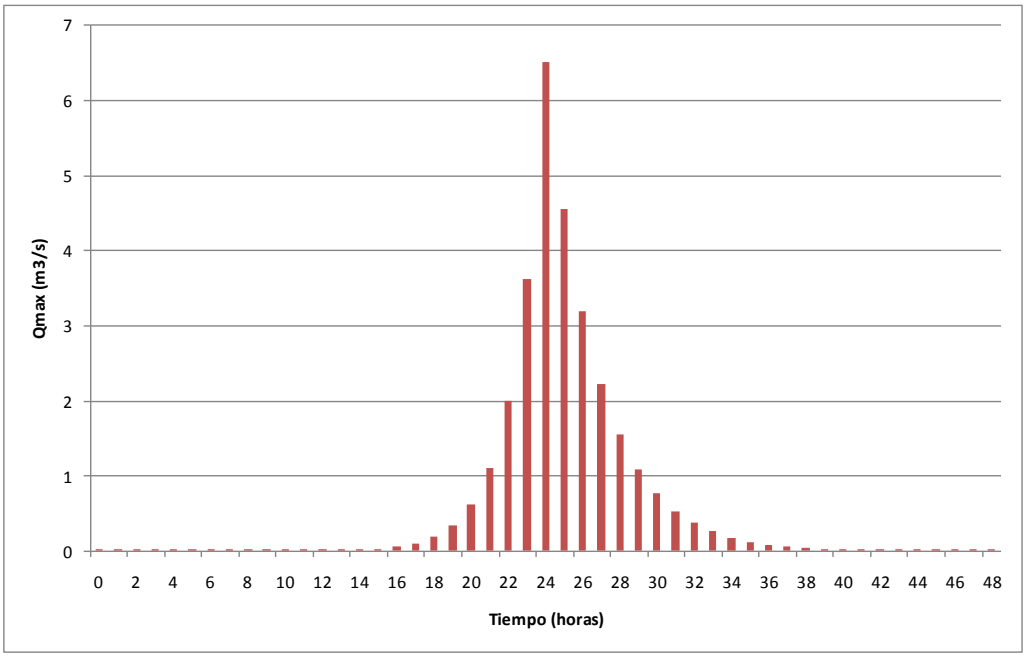


Gráfico 7.5.1. (1): Hidrograma de crecida en la cuenca de Almodóvar

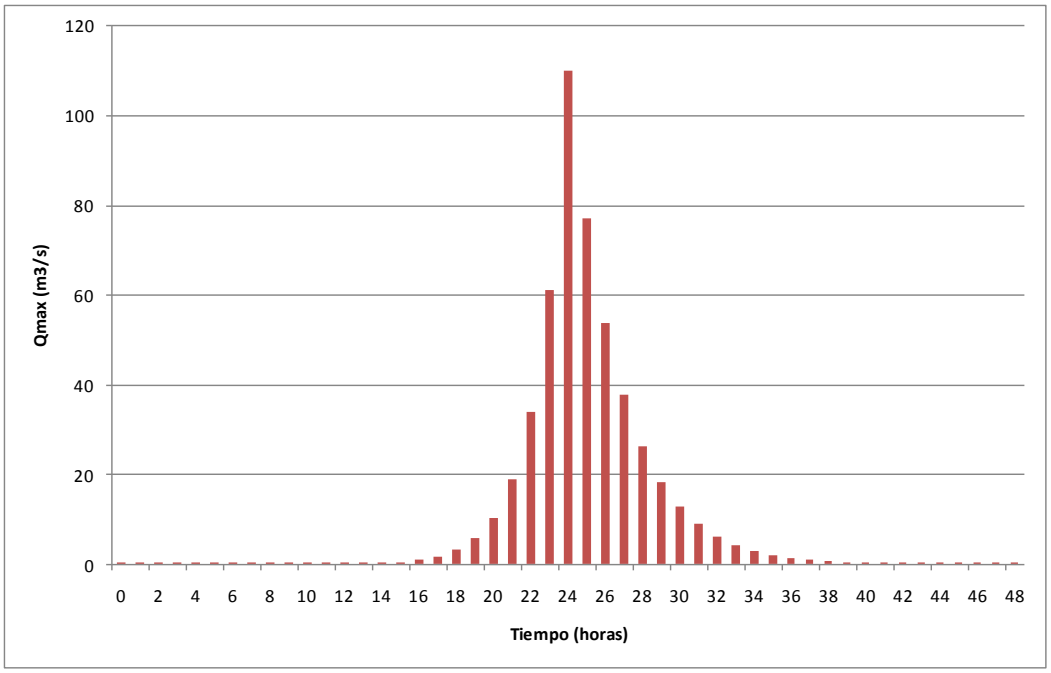


Gráfico 7.5.1. (2): Hidrograma de crecida en la cuenca de Arcos

7.5.2 CÁLCULO DEL CAUDAL GENERADOR. OPCIÓN 2.SEGÚN LOS CRITERIOS DE LA IPHA Y DEL REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

La caracterización del régimen de crecidas para los tramos de estudio se ha realizado atendiendo al concepto teórico del caudal generador, que se corresponde a la máxima avenida ordinaria, definida de acuerdo con la legislación vigente en el artículo 4º del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, como la media de los caudales máximos en un periodo representativo y continuado de diez años. En el caso de ríos mediterráneos, el periodo de retorno que define al caudal generador varía entre 1,5 y 7 años, con los valores más altos asociados a los ríos más temporales e inestables desde un punto de vista hidrológico.

La Instrucción de Planificación Hidrológica Andaluza determina que "En aquellos tramos situados aguas debajo de importantes infraestructuras de regulación la crecida asociada al caudal generador es asociada al caudal de sección llena del cauce. Debe definirse incluyendo su magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad y tasa máxima de cambio, tanto en la curva de ascenso como en la curva de descenso del hidrograma de crecida"

Se propone como caudal generador el caudal de la máxima avenida ordinaria pero acomodando su aplicación a la frecuencia definida por el periodo de retorno correspondiente al obtenido por el método Gumbel resultado del análisis de la serie de caudales máximos que determinan la citada máxima avenida ordinaria.

Respecto al resto de los parámetros requeridos por la Instrucción de Planificación Hidrológica se adoptarán los siguientes criterios:

- El caudal generador tendrá una duración de 24 horas y su estacionalidad vendrá deducida del hidrograma natural de cada tramo, coincidiendo con las épocas de deshielo, precipitaciones abundantes, etc.
- La tasa máxima de cambio será la misma que se ha definido en el apartado correspondiente.
- La frecuencia del caudal generador será igual al periodo de retorno de la máxima crecida ordinaria.

En la siguiente tabla resumen se indican los valores de los caudales correspondientes a la máxima avenida ordinaria propuestos como caudal generador, su período de retorno y la estacionalidad del caudal generador señalándose el mes más propicio para realizar la suelta de estos caudales:

Nombre Tramo	Período (10 años) con Media QMax más alta	Caudal (m3/s)	Per. retorno (T) (años por Gumbel)	Estacionalidad Q Generador
Arcos	1991-2000	136.19	4.2	Dic
Guadalcacín	1995-2004	127.27	4.4	Dic
Hurones	1995-2004	104.27	4.3	Dic
Zahara	1995-2004	35.52	4.1	Dic

Tabla 7.5.2. (1): Caracterización del régimen de crecidas y propuesta de caudal generador en los embalses del Sistema Guadalete.

Nombre Tramo	Período (10 años) con Media QMax más alta	Caudal (m3/s)	Per. retorno (T) (años por Gumbel)	Estacionalidad Q Generador
Almodovar	1988-1997	6.79	3.9	Dic
Barbate	1995-2004	67.97	4.6	Dic
Celemín	1995-2004	23.00	4.3	Dic

Tabla 7.5.2. (2): Caracterización del régimen de crecidas y propuesta de caudal generador en los embalses del Sistema Barbate.

7.5.3 DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS

Una vez analizados los dos métodos anteriormente comentados, se ha tomado como valores representativos, siguiendo el criterio de experto y después de analizar su adecuación a la gestión ordinaria de los diferentes embalses, los obtenidos siguiendo los criterios de la IPHA (Apartado 7.5.2).

No obstante, durante el proceso de seguimiento del presente Plan Hidrológico, y en función de los estudios de mejora del conocimiento que se lleven a cabo y el proceso de concertación, estos valores podrán ser modificados para una mejor adecuación a los requerimientos medioambientales de los diferentes sistemas.

Hay que destacar que el establecimiento del régimen de crecidas tendrá que estar íntimamente ligado a los estudios que realice la Junta de Andalucía en materia de evaluación de zonas inundables, de modo que el régimen de crecidas aquí establecido se adecue a la realidad de los sistemas.

8 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN LAS MASAS DE TRANSICIÓN

Como se ha comentado anteriormente, debe establecerse también un régimen de caudales ecológicos en las masas de agua de transición de la Demarcación Guadalete y Barbate.

Estas masas de agua presentan unas características singulares, ya que se encuentran influenciadas por su cercanía a las aguas costeras y a los flujos de agua dulce que reciben de los ríos.

La dinámica natural de estos sistemas está definida esencialmente por estos dos factores, la descarga de agua dulce en términos de cantidad y estacionalidad, y la entrada de agua marina por acción de la marea astronómica. La interacción de ambos factores ejerce una fuerte influencia sobre la productividad biológica y condiciona los múltiples procesos ecológicos que tienen lugar en estos ecosistemas. Así mismo son esenciales en los procesos morfodinámicos de las aguas de transición. En este sentido el caudal fluvial es el principal proveedor de material sólido que entra al estuario, mientras que, gracias a la acción de las mareas, se distribuyen esos sedimentos y se moldea el estuario.

Por ello, la fluctuación inter e intranual de los regímenes de caudales dulces y salados es un factor determinante para la sustentación de los procesos que tienen lugar en el estuario, siendo crítica la variación estacional de estos regímenes durante épocas de reproducción y cría.

La explotación humana de los sistemas hídricos puede alterar el flujo de agua dulce tanto en términos del volumen de agua que entra al sistema como de la estacionalidad de estas entradas. Los efectos de estas alteraciones, se ven agravados durante las épocas de sequía, aumentando su severidad proporcionalmente a la frecuencia y duración de las épocas de caudales bajos.

Por otra parte, ciertas presiones de carácter físico llevadas a cabo dentro de las propias masas de agua de transición, tales como dragados, rellenos, canalizaciones, obras de protección, etc, alteran igualmente la circulación y el régimen hídrico y de sustancias. Esto, modifica las condiciones originales de determinadas variables esenciales para el funcionamiento del sistema.

8.1 METODOLOGÍA

Para el correcto desarrollo de la metodología concreta, en primer lugar es necesario la inclusión de las masas de transición en uno de los siguientes tipos generales en función de la mezcla entre las aguas fluvial y mareal: estratificados o de cuña salina y de mezcla total.

- Estuarios estratificados o de cuña salina: no se produce la mezcla entre el agua fluvial y mareal, formándose una cuña salina. Esta situación se da en aquellos estuarios en los cuales el caudal fluvial es más importante que el mareal

- Estuarios de mezcla total: son estuarios en los que ambos tipos de agua se mezclan y en los que domina la dinámica mareal con respecto a la fluvial.

En relación a esto, los estuarios de la Demarcación Hidrográfica del Guadalete-Barbate se pueden clasificar en su totalidad como estuarios de mezcla total:

Estuario	Masas	Nombre	Tipo[1]
Estuario Guadalete	520013	Curso fluvial del Guadalete 2	Mezcla Total
	520012	Curso fluvial del Guadalete 1	
	520011	Desembocadura del Guadalete 2	
	520010	Desembocadura del Guadalete 1 (Puerto de Santa María)	
	520056	Puerto de Santa María	
	520018	Marismas del Río San Pedro	
	520019	Marismas de Cádiz y San Fernando	
Estuario Barbate	520016	Marismas de Barbate 3 (Vejer de la Frontera)	Mezcla Total
	520015	Marismas de Barbate 2	
	520014	Marismas de Barbate 1 (Barbate)	

Tabla 8.1 (1): Clasificación de las masas de agua transición.

Las marismas de San Pedro y Cádiz-San Fernando, no son estrictamente estuarios ya que cuentan con una gran superficie de marismas asociadas. No obstante, la tipología asignada a las mismas según la IPHA responde a la de un estuario por lo que se han incluido en la tabla.

El desarrollo de la metodología en el caso de los estuarios de mezcal total requiere de:

- Modelo hidrodinámico bidimensional promediado en vertical que permita el cálculo de los niveles y de las corrientes de marea en la masa de agua de transición.
- Modelo de advección-dispersión bidimensional para salinidad, aplicable al estudio de la evolución de la salinidad en medios acuáticos.
- Calibrado y validación de los modelos para lo cual es necesario conocer:
  - Velocidades y direcciones de la corriente y variación del nivel de la superficie libre del agua en diferentes puntos del estuario.
  - Medidas de la salinidad y temperatura en diferentes puntos del estuario. Esta medida se requiere varias veces al día de manera que permita, como mínimo, ver la variación de la misma con la subida y baja de la marea.
  - Serie de niveles de la marea astronómica obtenida a partir de las medidas de los mareógrafos situados próximos al estuario. Se deben tener datos en continuo.

[1] Tipos establecidos según criterio de expertos adaptados a las tipologías estipuladas en la IPHA

- Batimetría actual de la zona de estudio.
- Régimen real de aforo de caudales fluviales. Al menos se debe contar con caudales diarios.

8.2 RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO EN LAS AGUAS DE TRANSICIÓN

En este apartado se realiza un análisis de los diferentes ámbitos estuarinos y zonas de marisma definidas en la Demarcación Hidrográfica del Guadalete-Barbate donde, en principio, se requeriría un estudio del régimen de caudales ecológicos.

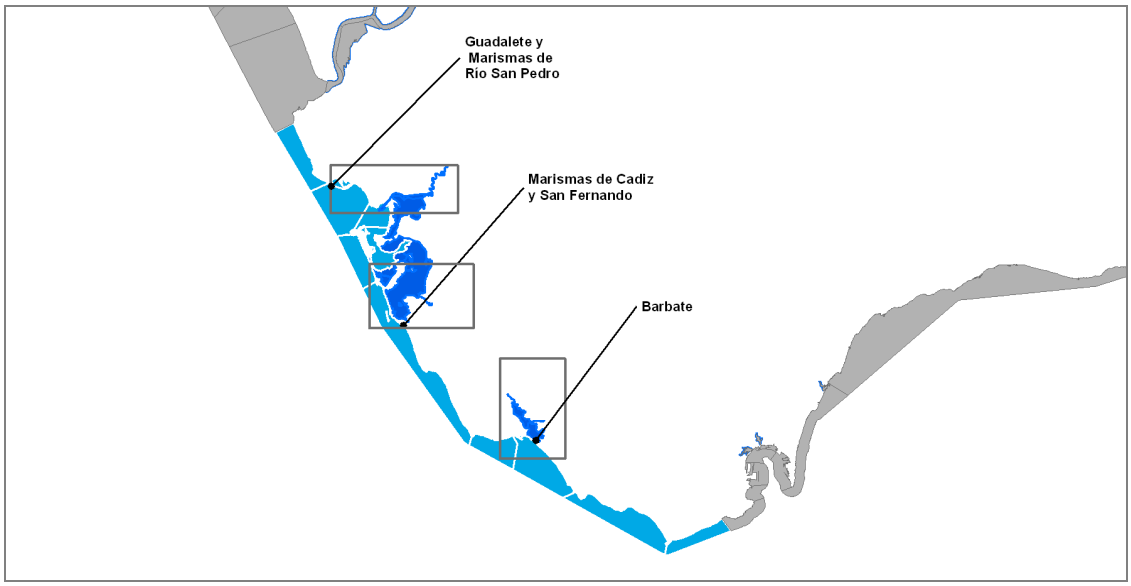


Figura 8.2. (1). Ámbitos estuarinos y zonas de marismas definidos en la Demarcación.

En primer lugar, se ha realizado un análisis del aporte de agua dulce que recibe cada uno de estos ámbitos por parte de las aguas continentales. Así, en los casos en los que alguno de los ámbitos reciba de forma muy esporádica aportes de agua dulce, de manera, que la dinámica dominante en el mismo sea la marina la mayor parte del tiempo, no se considera necesario la estimación del régimen de caudales ecológicos puesto que el aporte fluvial no determina, en ningún caso, la dinámica natural del sistema. Con el fin de conocer la dinámica dominante en las masas de transición andaluzas, se han identificado los aportes de agua dulce que reciben de continentales cada uno de los ámbitos y se han estudiado los datos de salinidad procedentes de las estaciones de control de calidad de las aguas litorales de Andalucía de la Consejería de Medio Ambiente disponibles.

Por otra parte, se ha analizado la regulación que sufre cada uno de los ámbitos, considerándose innecesario el análisis de caudales ecológicos en aquellas masas donde el régimen actual es similar al natural.

A continuación se resumen las conclusiones del análisis realizado:

En el estuario del río Guadalete, se observa un claro gradiente de salinidad que se mueve desde valores oligohalinos, en las masas iniciales donde es evidente el efecto que provocan los embalses de Arcos-Bornos y de Guadalcacín aguas abajo de los mismos, hasta valores salinos, en la zona del Puerto de Santa María, donde la influencia mareal es dominante.

COD_WISE	NOMBRE	Modificada regulación	Masa continental aguas arriba	Embalse aguas arriba
520013	Curso fluvial del Guadalete 2	SI	Río Guadalete (11904), y el Arroyo Santiago tributario del anterior (11654)	Bornos, Guadalcazín
520012	Curso fluvial del Guadalete 1	SI	NO	NO
520011	Desembocadura del Guadalete 2	NO	NO	NO
520010	Desembocadura del Guadalete 1 (Puerto de Santa María)	NO	NO	NO
520056	Puerto de Santa María	NO	NO	NO

Tabla 8.2 (1): Principales características de las masas de transición situadas en el estuario del río Guadalete.

El área marismeña de la desembocadura del río Guadalete y su antiguo brazo el río San Pedro se ubica en el interior de la Bahía de Cádiz, formando una extensa zona de marismas litorales mareales en proceso de colmatación y configuradas por una red de canales profundos a través de los cuales penetran los flujos de marea. En efecto, los valores de salinidad disponibles señalan el carácter principalmente salino de estas marismas. Este carácter principalmente mareal, y el escaso aporte continental que reciben, hacen innecesario el cálculo del régimen de caudales ecológicos en este caso.

COD_WISE	NOMBRE	Modificada regulación	Masa continental aguas arriba	Embalse aguas arriba
520018	Marismas del río San Pedro	NO	Arroyo Salado (11923)	NO

Tabla 8.2 (2): Principales características de las masas de transición situadas en el área marismeña de la desembocadura del río Guadalete.

Igualmente, las marismas de Cádiz y San Fernando situadas dentro de la Bahía, reciben aportes del arroyo Zurraque (11924), del arroyo Ahogarratones (11926) y principalmente del río Iro (11925). Estas marismas, forman una extensa superficie dominada por dinámica mareal. Como ocurre con las de San Pedro, los valores analizados muestran una clara tendencia a la salinidad en las marismas de la Bahía de Cádiz. Por otra parte el río Iro, principal aportante a las marismas, no está regulado presentando un

régimen actual real similar al natural, salvo por algunas captaciones en su curso. Por todo ello, se considera innecesaria la determinación de un régimen de caudales ecológicos.

COD_WISE	NOMBRE	Modificada regulación	Masa continental aguas arriba	Embalse aguas arriba
520019	Marismas de Cádiz y San Fernando	NO	Arroyo Zurraque (11924), río Iro (11925) y Arroyo Ahogarratones (11926)	NO

Tabla 8.2 (3): Principales características de las masas de transición situadas en las marismas de Cádiz y San Fernando.

En el caso del río Barbate, el perfil de salinidad muestra un evidente gradiente dulce-salino desde el tramo inicial del estuario, hasta su desembocadura. El principal aporte a la zona de transición proviene del propio río Barbate regulado por un embalse con el mismo nombre.

MASAS	NOMBRE	Modificada regulación	Masa continental aguas arriba	Embalse aguas arriba
520016	Marismas de Barbate 3 (Vejer de la Frontera)	SI	Río Barbate (11907)	Barbate
520015	Marismas de Barbate 2	SI	NO	NO
520014	Marismas de Barbate 1 (Barbate)	NO	NO	NO

Tabla 8.2 (4): Principales características de las masas de transición situadas en la desembocadura del río Barbate.

A la vista de lo anterior, se resumen en la siguiente tabla, los ámbitos de transición andaluces que finalmente requerirían un análisis del régimen de caudales ecológicos.

Estuario	Masas que lo forman	Nombre
Estuario Guadalete	520013	Curso fluvial del Guadalete 2
	520012	Curso fluvial del Guadalete 1
	520011	Desembocadura del Guadalete 2
	520010	Desembocadura del Guadalete 1 (Puerto de Santa María)
	520056	Puerto de Santa María
Estuario Barbate	520016	Marismas de Barbate 3 (Vejer de la Frontera)
	520015	Marismas de Barbate 2
	520014	Marismas de Barbate 1 (Barbate)

Tabla 8.2 (5): Masas de agua de transición que requerirán de un análisis para establecer el régimen de caudales ecológicos

Actualmente, ninguno de los ámbitos definidos cuenta con los datos mínimos necesarios para abordar el desarrollo de los modelos explicados (datos de marea, batimetría, avance de la cuña salina, etc).

De cara al nuevo proceso de Planificación, se recopilará la información y datos mencionados que permitan el correcto desarrollo de las metodologías específicas para la determinación del régimen de caudales ecológicos en los ámbitos de transición señalados.

9 PROCESO DE CONCERTACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

La implantación de los caudales ecológicos debe desarrollarse en cada caso conforme a un proceso específico de concertación, para conciliar los requerimientos ambientales, concretados en los documentos precitados, con los usos actuales dentro de cada masa de agua, manifestados en los correspondientes títulos habilitantes. La dificultad del proceso es evidente y exige un tratamiento particular, caso a caso, dentro de las reglas generales de información, consulta pública y participación pública activa, en el que también se pondrá de manifiesto la necesidad de buscar la compatibilidad entre los dos polos y las diferentes posibilidades espaciales y temporales que quepa concebir. Necesariamente, en los casos más complejos se deberá llegar a negociaciones directas con los agentes involucrados, tanto de forma sectorial como en un tratamiento conjunto.

De acuerdo con la IPHA, el proceso de concertación del régimen de caudales ecológicos tendrá los siguientes objetivos:

- Valorar su integridad hidrológica y ambiental.
- Analizar la viabilidad técnica, económica y social de su implantación efectiva.
- Proponer un plan de implantación y gestión adaptativa.

Durante el anterior proceso de planificación (2009-2015) se llevó a cabo el proceso de concertación del régimen de caudales mínimos en los tramos en los que existe una competencia directa con otros usos. Los puntos seleccionados han sido las salidas de los embalses analizados en el apartado 7.1 de este Anejo, y los caudales concertados, como se ha comentado anteriormente, fueron los correspondientes al método RVA, ya que se ha concluido que con este método se obtienen los mejores resultados por métodos hidrológicos.

De este proceso de concertación se pueden producir tres tipos de situaciones:

- Tras el proceso de concertación se decide mantener la propuesta de régimen de caudales ecológicos emanada de los estudios técnicos, bien por haber alcanzado el consenso entre las diferentes partes, bien porque, a pesar de las opiniones discrepantes, se acuerdan soluciones que satisfacen a los implicados.
- Tras el proceso de concertación se decide modificar la propuesta de régimen en cualquier sentido, sustituyéndose por un nuevo régimen o componentes del mismo.
- Tras el proceso de concertación se decide acogerse a alguna de las excepciones previstas en el artículo 4 de la Directiva Marco del Agua, en base a las correspondientes justificaciones, que también deben adjuntarse. Estas justificaciones serán, por lo general, de índole socioeconómica,

por la repercusión de los caudales ecológicos sobre los usos del agua presentada en el apartado 11 de este Anejo.

10 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

La presentación de los resultados de la determinación del régimen de caudales ecológicos se desarrolla en dos momentos diferentes:

- Una primera fase corresponde a los resultados provenientes de los estudios técnicos, previamente al proceso de concertación descrito en el apartado 9, cuyo punto de partida son los valores presentados en este Anejo. Como se ha comentado anteriormente, estos valores serán sometidos a un estudio más detallado. Una vez terminados estos trabajos técnicos, los resultados propuestos para el proceso de concertación serán presentados para ser sometidos a consulta pública.

- Una segunda fase tendrá lugar una vez concluidos tanto el proceso de concertación de los regímenes de caudales ecológicos. En esta ocasión, los resultados presentados serán los definidos en la citada concertación, que será remitida a la Comisión del Agua de la Demarcación para su consideración.

Actualmente, solo se ha llevado a cabo el proceso de concertación del régimen de caudales mínimos en las masas de agua estratégicas comentadas anteriormente. Para el resto de elementos del régimen de caudales ecológicos y masas que no han sido estudiadas en profundidad al no considerarse estratégicas, los resultados obtenidos no permiten su aplicación general, por lo que procede desarrollar durante el período de vigencia del Plan Hidrológico de cuenca estudios más exhaustivos con vistas a definir un régimen de caudales ecológicos con unas bases firmes.

Arco Modelo simulación	Año tipo	Total Anual (hm³/año)	Caudales ecológicos (hm³/mes)											
			oct	Nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Salida embalse de Zahara	Seco	0,479	0,014	0,025	0,098	0,063	0,052	0,068	0,055	0,029	0.023	0.020	0.017	0.015
	Húmedo	3,219	0.095	0.386	0.536	0.334	0.394	0.436	0.415	0.203	0.130	0.108	0.092	0.091
Salida del Arcos	Seco	1,600	0.052	0.087	0.305	0.202	0.168	0.221	0.180	0.101	0.085	0.078	0.067	0.054
	Húmedo	9,043	0.283	1.063	1.522	0.918	1.033	1.276	1.099	0.553	0.388	0.338	0.293	0.273
Salida del embalse de Hurones	Seco	2,064	0.031	0.059	0.676	0.244	0.219	0.221	0.319	0.095	0.059	0.058	0.045	0.038
	Húmedo	7,916	0.088	1.393	1.751	0.762	0.996	0.779	1.016	0.582	0.199	0.143	0.114	0.093
Salidas del embalse de Guadalcacín	Seco	2,619	0.061	0.087	0.766	0.271	0.303	0.275	0.377	0.134	0.095	0.095	0.074	0.061
	Húmedo	15,406	0.263	2.577	3.912	1.210	2.037	1.421	1.680	1.109	0.378	0.325	0.269	0.219

Tabla 10 (1): Régimen de caudales ecológicos mínimos considerados en las masas de agua estratégicas del Sistema Guadalete.

Arco Modelo simulación	Año tipo	Total Anual (hm³/año)	Caudales ecológicos (hm³/mes)											
			oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Salida embalse de Barbate	Seco	0,561	0,022	0,025	0,090	0,071	0,064	0,056	0,071	0,044	0,033	0,033	0,029	0,024
	Húmedo	3.303	0,134	0,380	0,499	0,576	0,413	0,474	0,757	0,033	0,014	0,007	0,007	0,008
Salida del Celemín	Seco	0,097	0,003	0,004	0,020	0,012	0,013	0,013	0,013	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003
	Húmedo	0.767	0,019	0,088	0,155	0,158	0,126	0,097	0,123	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Salida del embalse de Almodóvar	Seco	0,026	0,000	0,000	0,010	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Húmedo	0,413	0,000	0,005	0,106	0,020	0,261	0,005	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla 10 (2): Régimen de caudales ecológicos mínimos considerados en las masas de agua estratégicas del Sistema Barbate.

11 REPERCUSIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS SOBRE LOS USOS DEL AGUA

Es notorio el uso intensivo del recurso agua en gran parte del territorio español. Son muy numerosas las concesiones que han sido otorgadas para permitir dicho uso, así como el largo plazo restante hasta su extinción, que en muchos casos se extiende hasta el año 2060 (disposiciones transitorias de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas). Incluso en algunos casos, la misma normativa contempla la renovación automática del aprovechamiento, aunque se puedan introducir las oportunas modificaciones en el título habilitante.

Obviamente, al implementar los caudales ecológicos en las distintas masas de agua es bien posible que se deriven afecciones a los usuarios de aquellas, en ciertos casos en un sentido negativo aunque también pueda presentarse el caso opuesto.

Procede destacar, por un lado, la complejidad del proceso de implementación de los regímenes propuestos, derivada de la dificultad de conciliación entre los usos existentes y los requerimientos hídricos para alcanzar el buen estado de las masas, y por otro lado, que el aprovechamiento constituye un derecho otorgado a los usuarios del que sólo pueden ser desprovistos por causa de interés público y en un proceso de expropiación.

En el caso de la Demarcación Guadalete-Barbate, se han considerado los caudales mínimos (tanto los concertados como los obtenidos para la parte final de los ríos Guadalete y Barbate) en el modelo de gestión, y tal y como se describe en el Anejo correspondiente (Anejo 6), la reducción que se produce en el recurso por esta causa no crea problemas significativos en la satisfacción de la demanda.

Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional

JUNTA DE ANDALUCIA