

Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

Revisión de tercer ciclo (2021-2027)

PLAN HIDROLÓGICO

(Documento para consulta pública)

ANEJO V CAUDALES ECOLÓGICOS



Unión Europea
Fondo Europeo
de Desarrollo Regional

Andalucía
se mueve con Europa



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	BASE NORMATIVA	4
2.1	TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS	6
2.2	LEY DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL	8
2.3	REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA	9
2.4	LEY DE AGUAS DE ANDALUCÍA	15
2.5	INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA PARA LAS DEMARCAIONES HIDROGRÁFICAS INTRACOMUNITARIAS DE ANDALUCÍA 17	
3	OBJETIVOS.....	20
3.1	RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN RÍOS	20
3.2	RÉGIMEN DE CAUDALES DURANTE SEQUÍAS PROLONGADAS	22
3.3	REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS.....	22
4	FASES EN EL ESTABLECIMIENTO DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS.....	25
5	METODOLOGÍA.....	27
5.1	RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN MASAS DE AGUA SUPERFICIAL DE LA CATEGORÍA RÍO	27
5.1.1	ÁMBITO ESPACIAL	28
5.1.2	COMPONENTES DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS.....	28
5.1.3	CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS SEGÚN SU TEMPORALIDAD.....	30
5.1.4	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS.....	36
5.1.5	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÁXIMOS	47
5.1.6	TASA DE CAMBIO	48

5.1.7	CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS.....	49
5.1.8	MASAS DE AGUA MUY ALTERADAS HIDROLÓGICAMENTE.....	51
5.1.9	RÉGIMEN DE CAUDALES DURANTE SEQUÍAS PROLONGADAS...	52
5.2	REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS.....	53
5.3	MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN	55
6	RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS	59
6.1	RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN MASAS DE AGUA DE LA CATEGORÍA RÍO.....	59
6.1.1	SELECCIÓN DE LAS MASAS DE AGUA ESTRATÉGICAS	59
6.1.2	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS.....	70
6.1.3	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÁXIMOS	101
6.1.4	TASAS DE CAMBIO	104
6.1.5	CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS.....	105
6.2	REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS.....	111
6.3	RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO EN LAS AGUAS DE TRANSICIÓN	115
7	PROCESO DE CONCERTACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS.....	120
8	REPERCUSIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS SOBRE LOS USOS DEL AGUA	122
9	GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	124
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125

APÉNDICE



APÉNDICE V.1 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS



FIGURAS

Figura nº 1. Esquema general de cálculo del QBM.....	39
Figura nº 2. Representación esquemática de la metodología IFIM	40
Figura nº 3. Representación gráfica en 1D, basado en celdas rectangulares entre transectos.....	43
Figura nº 4. Representación del hábitat en 2D. Representación espacial del campo de profundidades y velocidades.....	44
Figura nº 5. Esquema conceptual de la modelización del hábitat	45
Figura nº 6. Tramos seleccionados para la realización del estudio detallado de caudales ecológicos.....	61
Figura nº 7. Precipitación anual en la subcuenca de Jarrama	62
Figura nº 8. Caudal simulado y medido en el embalse de Sotiel y precipitación media en la cuenca (1985/86-2006/07)	65
Figura nº 9. Curva clasificada del número de días con caudal inferior a 10 l/s en Corumbel.....	69
Figura nº 10. Curva de preferencia de profundidad (m) para <i>Pseudochondrostoma polylepis</i>	81
Figura nº 11. Curva de preferencia de velocidad (m/s) para <i>Pseudochondrostoma polylepis</i>	81
Figura nº 12. Valores de HPU en ambos hidroperiodos en función del caudal, para las diferentes hipótesis planteadas de pendiente y rugosidad en la subcuenca de Corumbel	84



Figura nº 13.	Valores de HPU en ambos hidroperiodos en función del caudal, para las diferentes hipótesis planteadas de pendiente y rugosidad en la subcuenca de Jarrama.....	86
Figura nº 14.	Ejemplo de la modificación del régimen de caudales mínimos.....	92
Figura nº 15.	Hidrograma de crecida en la cuenca de Jarrama.....	108
Figura nº 16.	Hidrograma de crecida en la cuenca de Sotiel-Olivargas .	108
Figura nº 17.	Zonas húmedas con estimación de requerimientos hídricos	112
Figura nº 18.	Ámbitos estuarinos y zonas de marismas	115



TABLAS

Tabla nº 1. Esquema general de cálculo del RVA	38
Tabla nº 2. Tramos seleccionados para la realización del estudio detallado de caudales ecológicos.....	61
Tabla nº 3. Clasificación de los tramos analizados con datos diarios.....	66
Tabla nº 4. Clasificación de los tramos analizados con datos mensuales ...	66
Tabla nº 5. Estimación del periodo de cese de caudal	69
Tabla nº 6. Régimen de caudales ecológicos mínimos según el método de RVA en los tramos de estudio situados aguas abajo de embalses del Sistema Tinto, Odiel y Piedras.....	71
Tabla nº 7. Régimen de caudales ecológicos mínimos según el método de RVA en los tramos de estudio situados en las partes finales de los principales ríos del Sistema Tinto, Odiel y Piedras	71
Tabla nº 8. QBM en las subcuencas de los embalses considerados en el Sistema Tinto, Odiel y Piedras.....	72
Tabla nº 9. QBM en las subcuencas de los tramos finales de los ríos considerados en el Sistema Tinto, Odiel y Piedras.....	73
Tabla nº 10. Régimen de caudales ecológicos mínimos según el método de QBM en los tramos de estudio asociados a embalses.....	75
Tabla nº 11. Régimen de caudales ecológicos mínimos según el método de QBM en los tramos de estudio asociados a partes finales de río	75
Tabla nº 12. Valoración de la presencia en la demarcación (Mínimo=0, Máximo=10).....	77

Tabla nº 13.	Curvas de preferencia de profundidad (m) y velocidad (m/s) para <i>Pseudochondrostoma polylepis</i>	80
Tabla nº 14.	Valores de HPU máximo para diferentes pendientes y números de Manning en la subcuenca de Corumbel	83
Tabla nº 15.	Resumen del cálculo de caudal mínimo según el método de hábitat en la subcuenca de Corumbel	85
Tabla nº 16.	Valores de HPU máximo para diferentes pendientes y números de Manning en la subcuenca de Jarrama.....	86
Tabla nº 17.	Resumen del cálculo de caudal mínimo según el método de hábitat en la subcuenca de Jarrama.....	87
Tabla nº 18.	Comparación de los resultados de caudal mínimo por los diferentes métodos utilizados a la salida del embalse de Corumbel.....	88
Tabla nº 19.	Comparación de los resultados de caudal mínimo por los diferentes métodos utilizados a la salida del embalse de Jarrama	88
Tabla nº 20.	Régimen de caudales ecológicos mínimos considerados en las masas de agua estratégicas	93
Tabla nº 21.	Régimen de caudales ecológicos mínimos (hm ³ /mes) en situación ordinaria.....	96
Tabla nº 22.	Régimen de caudales ecológicos mínimos (hm ³ /mes)	100
Tabla nº 23.	Valores orientativos de caudal máximo a desembalsar en los principales embalses del Sistema Tinto, Odiel y Piedras.....	102

Tabla nº 24.	Valores orientativos de caudal máximo a desembalsar, según los criterios de la IPHA, en los principales embalses del Sistema Tinto, Odiel y Piedras.....	103
Tabla nº 25.	Tasas de cambio en los principales embalses del Sistema Tinto, Odiel y Piedras.....	105
Tabla nº 26.	Estadísticos para el cálculo del caudal de máxima crecida ordinaria.....	107
Tabla nº 27.	Caracterización del régimen de crecidas y propuesta de caudal generador en los principales embalses del Sistema Tinto, Odiel y Piedras	110
Tabla nº 28.	Requerimientos hídricos para el mantenimiento de las zonas húmedas.....	114
Tabla nº 29.	Resumen del análisis de ámbitos estuarinos y zonas de marismas.....	118

1 INTRODUCCIÓN

El agua es un bien escaso en muchas zonas de España, especialmente en aquellas regiones más secas donde existe un régimen de precipitaciones escaso (marcado por una fuerte variabilidad estacional) y altas temperaturas, combinado, en algunos casos, con una importante presión antrópica sobre el medio hídrico debido al intenso aprovechamiento del recurso hídrico disponible y la fuerte competencia existente entre los distintos usuarios del agua.

Además, debido a la problemática derivada de la escasez de agua, se hace imprescindible establecer una restricción previa al uso del recurso hídrico, con el objetivo de satisfacer las necesidades ambientales y con ello, mantener, proteger y mejorar (cuando sea posible) la funcionalidad de los ecosistemas fluviales y terrestres asociados, evitando así su deterioro.

Por ello, el principal reto de la planificación hidrológica es lograr la compatibilidad entre la satisfacción de las demandas socioeconómicas, junto con la preservación y mejora del medio ambiente, con una gestión sostenible, racional y eficaz de los recursos hídricos disponibles. Con este propósito, se han establecido una serie de objetivos medioambientales cuyo cumplimiento debe asegurar la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes.

La legislación española establece la necesidad de determinar un régimen de caudales ecológicos en los planes hidrológicos de cuenca, entendiendo éste

como aquel que “*mantiene como mínimo la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera*” y, además, se consideran una restricción impuesta con carácter general a los sistemas de explotación.

Es decir, la consideración del régimen de caudales ecológicos es obligatorio en la asignación y reserva de recursos para usos y demandas, actuales y futuros, así como para la conservación y recuperación de medio natural. En todo caso, se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones recogida en la Ley de Aguas.

Los caudales ecológicos en los ríos de la demarcación fueron definidos en el Plan Hidrológico 2009-2015 de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras (DHTOP), cuyo contenido fue revisado y actualizado en el Plan Hidrológico 2015-2021¹.

La revisión de este tercer ciclo (2021-2027) recoge los resultados de los trabajos realizados en los ciclos anteriores, y los amplía incorporando los resultados de los trabajos que se han realizado para la estimación de las necesidades hídricas en lagos y humedales para las masas de agua de la categoría lagos, cuyos resultados se incorporan al presente anejo y el detalle se recoge en el Apéndice V.1. Asimismo, traduce el régimen de caudales

¹ El Plan Hidrológico actualmente vigente es el de primer ciclo (2009-2015), según Sentencia de 4 de julio de 2019, de la Sala Tercera del Tribunal Supremo (BOE núm. 182 de 31 de julio de 2019).



ecológicos mínimos en ríos establecido en los ciclos de planificación anteriores a los cambios introducidos en la delimitación de las masas de agua (segmentación).

Este Anejo se estructura en los siguientes apartados:

1. Introducción
2. Base normativa
3. Objetivos
4. Fases en el establecimiento del régimen de caudales ecológicos
5. Metodología
6. Resultados de los estudios técnicos
7. Proceso de concertación del régimen de caudales ecológicos
8. Repercusión del régimen de caudales ecológicos sobre los usos del agua
9. Glosario de abreviaturas
10. Referencias bibliográficas



2 BASE NORMATIVA

La Directiva (DMA) 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Tiene por objetivo establecer un marco para la protección y mejora de las masas de agua, promoviendo un uso sostenible de los recursos hídricos y contribuyendo a paliar los efectos de las inundaciones y sequías. Para alcanzar este objetivo da un peso muy importante a la planificación hidrológica, a la gestión por cuenca, a los análisis económicos y a la participación pública.

La implantación de un régimen de caudales ecológicos no se exige explícitamente en la DMA, aunque es clara la relación entre la implantación y mantenimiento efectivo del régimen de caudales ecológicos en las diferentes masas de agua y su contribución a alcanzar los objetivos medioambientales especificados en las mismas. Por lo tanto, los caudales ecológicos no se conciben como un fin en sí mismo, sino como un medio para alcanzar los objetivos citados.

El ordenamiento jurídico español incluye tanto la definición del concepto de caudal ecológico, como los trabajos necesarios para su determinación e implantación, y viene recogido en:

- el Real Decreto 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA);

- la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional (PHN) y 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;
- el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH);
- la Ley 9/2010 de Aguas de Andalucía.

Además, 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, desarrolla los contenidos de la normativa y define la metodología de aplicación.

Por otra parte, la necesidad de disponer de un régimen jurídico completo en relación a la implementación, mantenimiento, control y seguimiento del régimen de los caudales ecológicos ha resultado en la inclusión una serie de artículos relacionados con el tratamiento de los caudales ecológicos en el Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH), a través de su modificación mediante el Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, aunque se destaca la nulidad del art. 49 quinquies.2 en la redacción dada por el art. 1 del Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por Sentencia del TS de 3 de octubre de 2018 (Ref. [BOE-A-2018-15351](#)).

2.1 TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS

La norma básica en materia de planificación y gestión de las aguas es el TRLA, compuesto por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, y sus sucesivas modificaciones, entre las cuales cabe destacar la Ley 62/2003, de 30 de diciembre por la cual se incorpora a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario en el ámbito de la política de aguas, así como la introducida por la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley del PHN, que incorpora las bases de los caudales ecológicos.

El TRLA señala en su artículo 40 los objetivos de la planificación hidrológica:

“La planificación hidrológica tendrá por objetivos generales conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas objeto de esta Ley, la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.”

En su artículo 42 b) c'), relativo al contenido de los planes hidrológicos de cuenca, hace referencia a la asignación y reserva de recursos y a los caudales ecológicos:



“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, entendiéndolos como tales los que mantiene 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:

“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 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 de cuenca realizarán estudios específicos para cada tramo de río.”

2.2 LEY DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL

La Ley 10/2001, de 5 de julio, del PHN, así como su modificación mediante la Ley 11/2005, de 22 de junio, desarrollan el artículo 59.7 del TRLA.

Así, en el artículo 26 “*Caudales ambientales*” de la Ley 10/2001 (con las modificaciones establecidas por la Ley 11/2005), se establece lo siguiente:

“1. 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.

2. 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 establece lo siguiente respecto a los 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 RPH, aprobado mediante el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y modificado por el Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, recoge el articulado y detalla las disposiciones del TRLA relevantes para la planificación hidrológica.





El artículo 3.j) recoge y amplía la definición de caudal ecológico contenida en el TRLA, ligándola a los conceptos de estado de una masa de agua introducidos por la DMA:

“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 4 transcribe el artículo 42.b) c') del TRLA referente a la asignación y reserva de recursos en el contenido obligatorio de los planes hidrológicos de la demarcación:

“Los planes hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente:

(...)

b bis) La descripción general de los usos, que incluya:

(...)

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 los efectos de garantizar la conservación o recuperación del medio natural se determinarán los caudales ecológicos y las reservas hidrológicas, de acuerdo con, respectivamente, los



artículos 49 ter y siguientes y 244 bis y siguientes del Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril (RDPH).”

En su artículo 17.2 transcribe el artículo 59.7 del TRLA:

“2. Los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso, 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 supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones recogida en el artículo 60.3 del texto refundido de la Ley de Aguas.”

Además, en su artículo 18 recoge de forma sintética los conceptos relacionados con el establecimiento e implantación de un régimen de 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, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 49 ter y siguientes del RDPH.

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.”

El artículo 38 “*Deterioro temporal del estado de las masas de agua*” establece las siguientes condiciones para la aplicación de un régimen de caudales menos exigente en caso de sequías prolongadas:





“1. Se podrá admitir el deterioro temporal del estado de las masas de agua si se debe a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales o no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, o al resultado de circunstancias derivadas de accidentes que tampoco hayan podido preverse razonablemente.

2. Para admitir dicho deterioro deberán cumplirse todas las condiciones siguientes:

a) Que se adopten todas las medidas factibles para impedir que siga deteriorándose el estado y para no poner en peligro el logro de los objetivos medioambientales en otras masas de agua no afectadas por esas circunstancias.

b) Que en el plan hidrológico se especifiquen las condiciones en virtud de las cuales pueden declararse dichas circunstancias como racionalmente imprevistas o excepcionales, incluyendo la adopción de los indicadores adecuados. En el caso de situaciones hidrológicas extremas estas condiciones se derivarán de los estudios a realizar de acuerdo con lo indicado en el artículo 59 y deberán contemplarse los indicadores establecidos en los planes de sequía cuyo registro se incluirá en el plan hidrológico, conforme a lo indicado en el artículo 62.

c) Que las medidas que deban adoptarse en dichas circunstancias excepcionales se incluyan en el programa de medidas y no pongan en



peligro la recuperación de la calidad de la masa de agua una vez que hayan cesado las circunstancias.

d) Que los efectos de las circunstancias que sean excepcionales o que no hayan podido preverse razonablemente se revisen anualmente y se adopten, tan pronto como sea razonablemente posible, todas las medidas factibles para devolver la masa de agua a su estado anterior a los efectos de dichas circunstancias, sin perjuicio de lo establecido en la disposición adicional undécima 1.b) del texto refundido de la Ley de Aguas.

e) Que en la siguiente actualización del plan hidrológico se incluya un resumen de los efectos producidos por esas circunstancias y de las medidas que se hayan adoptado o se hayan de adoptar.”

Es importante destacar que el sistema de indicadores para identificar una situación de sequía prolongada viene establecido en los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, elaborados por los organismos de cuenca en cumplimiento del artículo 27 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

De hecho, el Artículo 62 del RPH establece que:

“1. Los planes hidrológicos tendrán en cuenta en su elaboración los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, elaborados por los organismos de cuenca en cumplimiento del artículo 27 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico

Nacional, de los que incorporarán un resumen, incluyendo el sistema de indicadores y umbrales de funcionamiento utilizados y las principales medidas de prevención y mitigación propuestas.”

2.4 LEY DE AGUAS DE ANDALUCÍA

La Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas de Andalucía, recoge en su artículo 4.8 la definición de caudal ecológico incluida en el RPH, y en su artículo 6 los objetivos medioambientales en materia de agua, entre los que figura la necesidad de definir, implementar y garantizar los caudales ecológicos para su cumplimiento:

“1. Sin perjuicio de lo dispuesto en la Sección VI del Título I del Reglamento de la Planificación Hidrológica, aprobado por Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, constituyen objetivos medioambientales en materia de agua los siguientes:

a) Prevenir el deterioro del estado de todas las masas de agua, superficiales, subterráneas y de las zonas protegidas, y, en su caso, restaurarlas con objeto de alcanzar el buen estado ecológico de las mismas. Para ello se definirán, implementarán y garantizarán los caudales ambientales necesarios para la conservación o recuperación del buen estado ecológico de las masas de agua.”

Además, en el artículo 22 se detallan los objetivos de la planificación hidrológica de acuerdo con lo establecido en el TRLA:



“Sin perjuicio de lo establecido en el artículo 40.1 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, y de las normas básicas contenidas en el Reglamento de la Planificación Hidrológica, 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, compatibilizado 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.”

En el artículo 24.4 en relación a la elaboración de los planes hidrológicos, se establece que:

“a) Los criterios de prioridad se establecerán de forma que se garanticen las necesidades básicas para el consumo doméstico y las necesidades medioambientales para alcanzar el buen estado



ecológico de las aguas. El orden de prioridad de uso para las actividades económicas se establecerá en el plan en función de su sostenibilidad, incidencia sobre la fijación de la población al territorio, el mantenimiento de la cohesión territorial y el mayor valor añadido en términos de creación de empleo y generación de riqueza para Andalucía.”

Por otra parte, en su artículo 44, sobre la asignación de recursos, se establecen los caudales ecológicos como restricciones a los sistemas de explotación:

“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 DEMARCAIONES HIDROGRÁFICAS INTRACOMUNITARIAS DE ANDALUCÍA

La IPHA, recoge y desarrolla los contenidos del RPH y del TRLA, estableciendo todas las bases metodológicas que han de considerarse en el establecimiento e implantación de los caudales ecológicos y las necesidades hídricas de lagos y humedales.

La IPHA recoge detalladamente en su apartado 3.4, los siguientes aspectos:



- Metodología necesaria para realizar los estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos en todas las masas de agua, incluyendo los objetivos, ámbito espacial, componentes y caracterización.
- Identificación y caracterización de las masas de agua muy alteradas hidrológicamente.
- Régimen de caudales durante sequías prolongadas.
- Requerimientos hídricos de lagos y zonas húmedas.
- Repercusión del régimen de caudales ecológicos sobre los usos del agua.
- Proceso de concertación del régimen de caudales.
- Seguimiento del régimen de caudales.

Además, la IPHA establece en su apartado 3.4.1 que las fases para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos serán las siguientes:

“a) 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.





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

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

El plan hidrológico recoge una síntesis de los estudios específicos efectuados por el organismo de cuenca para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos.”



3 OBJETIVOS

3.1 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN RÍOS

El objetivo de este Anejo es establecer el régimen de caudales ecológicos en la DHTOP.

De acuerdo con el RPH y la IPHA, el régimen de caudales ecológicos se ha de establecer 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.

De acuerdo la IPHA apartado 3.4.1.1, para alcanzar estos objetivos el régimen de caudales ecológicos debe 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 los 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 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 el régimen 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 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, 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.

3.2 RÉGIMEN DE CAUDALES DURANTE SEQUÍAS PROLONGADAS

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 RPH 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 (PES).

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 del 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.

3.3 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS

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:
 - o Impedir alcanzar los objetivos medioambientales especificados para las aguas superficiales asociadas.
 - o 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.



4 FASES EN EL ESTABLECIMIENTO DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El proceso de establecimiento del régimen de caudales ecológicos se realiza, tal y como se recoge en el apartado 3.4 de la IPHA, mediante un proceso que se desarrolla en tres fases:

- Desarrollo de los estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos en todas las masas de agua.
- Proceso de concertación, definido por varios niveles de acción (información, consulta pública y participación activa), en aquellos casos que condicionen significativamente las asignaciones y reservas del plan hidrológico.
- Proceso de implantación y su seguimiento adaptativo.

La complejidad intrínseca de los trabajos técnicos unido al número de masas de agua superficial de la DHTOP dificulta la extensión de este proceso tan exhaustivo a todas y cada una de ellas. Por ello, los esfuerzos se centran en aquellas masas de agua que se consideran prioritarias. También debe mencionarse la limitada experiencia en algunos trabajos inherentes a este tipo de determinaciones, que comprenden una doble vertiente: por una parte, análisis hidrológicos de las masas de agua, a realizar en gabinete y para los que se dispone generalmente de información suficiente para su desarrollo; por otra, la realización de trabajos de modelización del hábitat, que exige un tiempo y coste significativos.



Por lo tanto, consideraciones obvias de índole práctica llevaron en el primer ciclo de planificación hidrológica a aplicar un procedimiento que asegura la compatibilidad de los objetivos perseguidos en relación con los medios y plazos disponibles. En este contexto, se realizaron estudios detallados de naturaleza hidrológica para todas las masas de agua y estudios de simulación de hábitat para un número limitado de masas de agua.

El criterio de selección de las masas a estudiar es de notable importancia y se basó en identificar aquellas masas de agua que definan el régimen hidrológico de los principales cursos de agua de la cuenca, puedan ser mantenidas con elementos específicos de regulación y las que puedan ser objeto, por diversas razones, de especial conflictividad.

De esta forma, quedaron cubiertas por estos estudios de modelización de hábitat las denominadas masas de agua estratégicas, que son aquellas en las que el establecimiento del régimen de caudales ecológicos condiciona las asignaciones y reservas de recursos del Plan hidrológico de cuenca. Obviamente, la concertación se limitó a estas masas de agua estratégicas, en las que se completaron los estudios.



5 METODOLOGÍA

El presente capítulo describe la metodología empleada para realizar los estudios técnicos específicos de determinación del régimen de caudales ecológicos de las masas de agua de la DHTOP. Esta metodología se basa principalmente en la que se expone en la IPHA en sus apartados 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 y 3.4.4.

Se ha realizado un análisis más detallado en el régimen de caudales ecológicos en las masas de agua de la categoría río, ya que actualmente el estado del arte en cuanto a la evaluación de requerimientos hídricos en lagos y humedales, así como la determinación de los caudales ecológicos en masas de agua de transición no se encuentra tan avanzado.

5.1 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN MASAS DE AGUA SUPERFICIAL DE LA CATEGORÍA RÍO

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

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

La metodología establecida en la IPHA se basa en la de la Instrucción de Planificación Hidrológica estatal, aprobada por Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre y en cuyo desarrollo colaboró un amplio grupo de expertos representantes de diferentes universidades, centros de investigación y administraciones del agua y de conservación de la naturaleza. Asimismo, este grupo de expertos siguió dando apoyo para la realización de los trabajos en el primer ciclo de planificación hidrológica mediante la redacción de la “Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos” (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008), en la que se detalla la metodología, ilustrándola con ejemplos que complementan y facilitan su aplicación.

5.1.1 ÁMBITO ESPACIAL

El ámbito espacial para la caracterización del régimen de caudales ecológicos se extiende a todas las masas de agua superficial clasificadas en la categoría río de la DHTOP que no sean masas artificiales.

Con carácter general, los resultados obtenidos para ríos serán aplicables a las aguas de transición siempre y cuando se cumplan las funciones ambientales de las mismas.

5.1.2 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 mensual 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.
- Tasa de cambio máxima 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.
- Caudales de crecida aguas abajo de infraestructuras de regulación, especialmente centrales hidroeléctricas de cierta entidad, 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.

5.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS SEGÚN SU TEMPORALIDAD

A la hora de calcular el régimen de caudales ecológicos, la IPHA hace distinción entre ríos permanentes, temporales o estacionales, intermitentes y efímeros. En ríos temporales, intermitentes y efímeros se aplicarán los siguientes criterios metodológicos:

- Temporales: se utilizarán los criterios definidos para la determinación de la distribución mensual de caudales mínimos y máximos en ríos permanentes. Se realizará, además, una caracterización del periodo de cese de caudal.
- Intermitentes: se analizarán los siguientes aspectos:
 - o Periodo de cese de caudal.
 - o Conexión con las aguas subterráneas, definiendo los volúmenes mínimos necesarios para preservar el flujo subsuperficial que alimenta pozas y remansos.
 - o Magnitud de la crecida y periodo de tiempo de recesión al caudal base.





- Caudal generador, que permite mantener la dimensión del canal principal del río y su buen funcionamiento morfodinámico.
- Efímeros: se determinarán el tiempo de recesión tras la crecida y el caudal generador.

Cabe destacar que el grado de concreción alcanzado por la IPHA y la experiencia existente son claramente superiores en lo referente a la distribución temporal de caudales mínimos en ríos permanentes.

La metodología utilizada para la clasificación fue la especificada en la “Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos” (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008). Esta metodología depende de la disponibilidad de datos, tal y como se muestra a continuación:

- Clasificación con disponibilidad 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 número 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 temporal o 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 con disponibilidad 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 temporal o 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 DHTOP, según estos criterios, y como se verá en el apartado 6.1.1.2, se determinan como temporales.

La IPHA 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 que, 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.

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.

A continuación, se presenta un resumen del tratamiento que se ha realizado en aquellos ríos que se han considerado temporales.

Ríos temporales

Se utilizaron, 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 detectó 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 realizó 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 realizó 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 entre 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 determinó 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.

Ríos intermitentes y efímeros

En los ríos intermitentes y efímeros se caracterizaron 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.

5.1.4 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS

La distribución temporal de caudales mínimos se obtiene aplicando métodos hidrológicos, y sus resultados deben ser ajustados mediante la modelización de la idoneidad del hábitat en tramos fluviales representativos de cada tipo de río.

5.1.4.1 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 la DHTOP, se aplicaron dos métodos (ambos recomendados por la IPHA):

- a) “*Range of Variability Approach*” (RVA); y
- b) Caudal Básico de Mantenimiento (QBM).

A continuación, se presenta un pequeño resumen de estos dos métodos.

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 magnitud, 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 predefinidos, 32 en total, entre los que destacan los caudales medios mensuales, el caudal mínimo anual que se produce en 1, 3, 7, 30 y 90 días, la fecha del mínimo anual, o el número y la duración de las sequías. Estos indicadores se consideran como ecológicamente relevantes para sustentar la biodiversidad natural y la integridad de los ecosistemas acuáticos. Además, permiten caracterizar el régimen natural, así como los límites o intervalos dentro de los cuales se consideran las condiciones como no alteradas. Se trata de un método muy laborioso en el cual, para cada uno de los indicadores, se decide cual va a ser el objetivo en condiciones de regulación y las reglas para alcanzarlo.

En el caso del territorio español se propone usar únicamente el concepto de ventana objetivo, reduciendo el umbral mínimo a un intervalo situado entre el percentil del 5% y del 10% (Tabla nº 1).

Caudal medio (Qm) mensual		Percentiles de excedencia	
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 nº 1. Esquema general de cálculo del RVA

Una ventaja sustancial de esta metodología radica en que la ventana objetivo, definida por los percentiles de excedencia, puede ser aplicada sobre el régimen mensual, de forma que se eliminan las incertidumbres asociadas a la estimación del régimen diario.

Método QBM

Las bases teóricas sobre las que se fundamenta la metodología del QBM (Palau *et al.*, 1998) 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 QBM 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 para

cada año de la serie hidrológica, mediante variables de centralización móviles aplicadas a intervalos crecientes de datos consecutivos (caudales medios diarios) de orden entre 1 (M1) y 100 (M100), con las cuales se obtiene un vector de mínimos con los mismos componentes que el número de medias aplicado.

Tras obtener el vector de mínimos se calculan los incrementos relativos de cada par de valores, estableciéndose el caudal básico para cada año como el caudal que determina el mayor incremento relativo (IR), según el esquema mostrado en la Figura nº 1.

El caudal básico final se calcula como la media aritmética o la mediana de los caudales básicos anuales obtenidos para cada año de estudio.

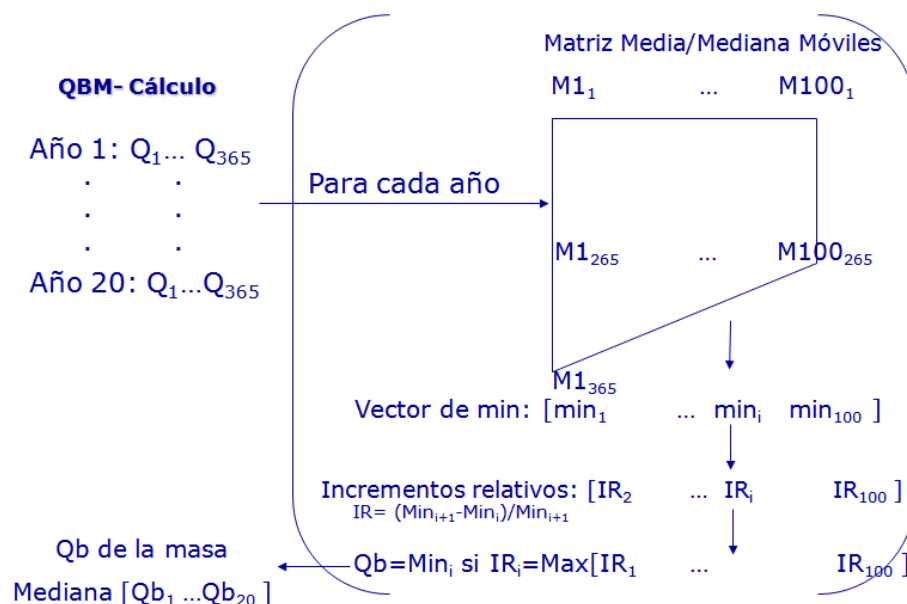


Figura nº 1. Esquema general de cálculo del QBM

5.1.4.2 MÉTODOS DE MODELIZACIÓN DEL HÁBITAT

Los métodos de modelización 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 (HPU) con el caudal en los tramos seleccionados.

Para el desarrollo de estos trabajos se ha utilizado la metodología IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*), que se esquematiza en la Figura nº 2.

Este método 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. Finalmente, se obtiene 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

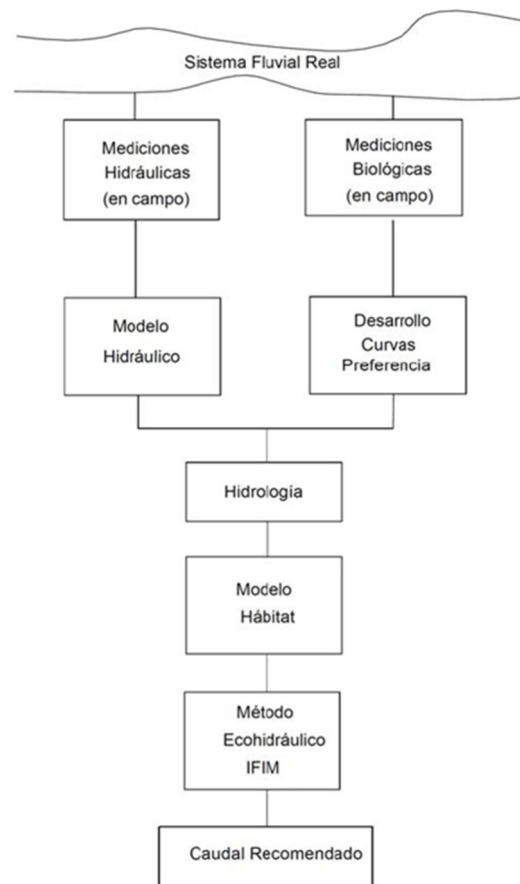


Figura nº 2. Representación esquemática de la metodología IFIM

distintas escalas, es decir, a nivel de macrohábitat, mesohábitat 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 en diferentes secciones, y unas curvas de preferencia de la especie objetivo (para cada una de sus fases vitales). Estas curvas han de indicar 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.

5.1.4.2.1 SELECCIÓN DE LA ESPECIE OBJETIVO

Como ya se ha comentado, para la modelización 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 realizó considerando las especies más representativas y dando prioridad a las categorizadas como “En peligro de extinción”, “Vulnerables”, “Sensibles a la alteración de su hábitat” y “De interés especial” en los Catálogos de Especies Amenazadas, así como las recogidas en los anexos II y IV de la Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992. 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.

5.1.4.2.2 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 1 dimensión (1D): se trata de modelos hidrodinámicos mediante el método del paso hidráulico, calibrados en cada transecto para el ajuste del perfil de velocidades (Figura nº 3).

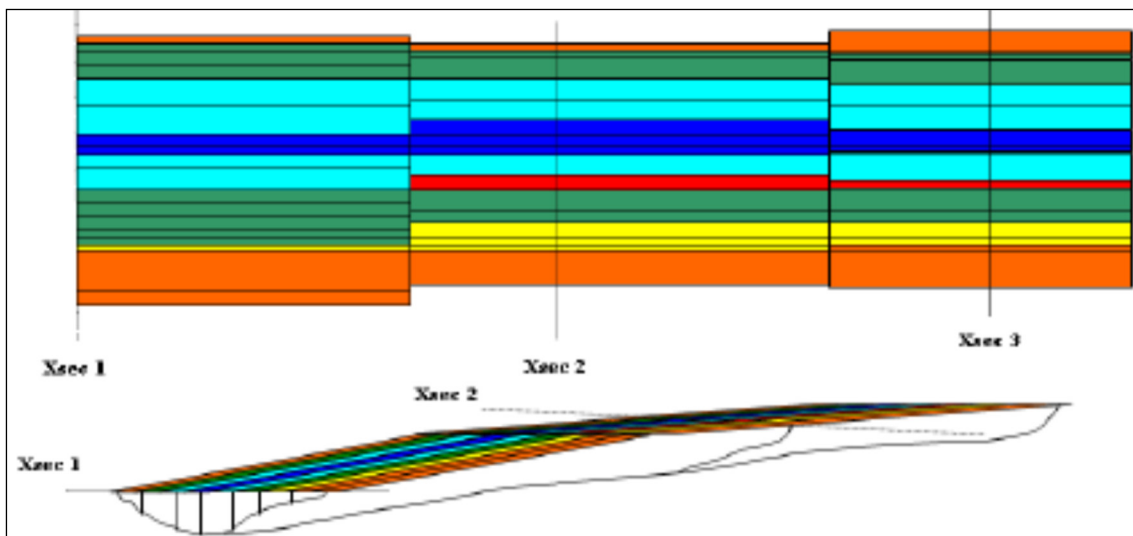


Figura nº 3. Representación gráfica en 1D, basado en celdas rectangulares entre transectos

Modelización en 2 dimensiones (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 nº 4).

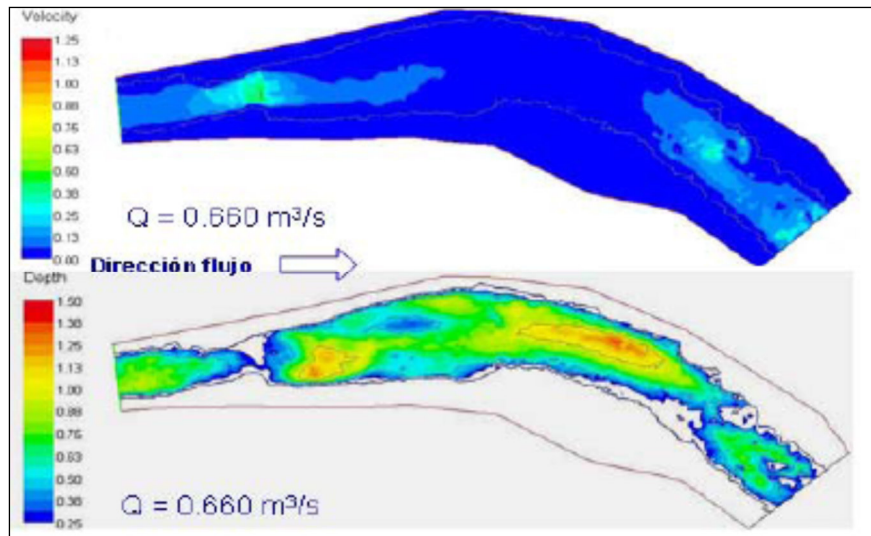


Figura nº 4. Representación del hábitat en 2D. Representación espacial del campo de profundidades y velocidades

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 HPU con el caudal (en adelante, curvas HPU-Q), tal y como se muestra en la Figura nº 5. 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 para las necesidades de la freza).

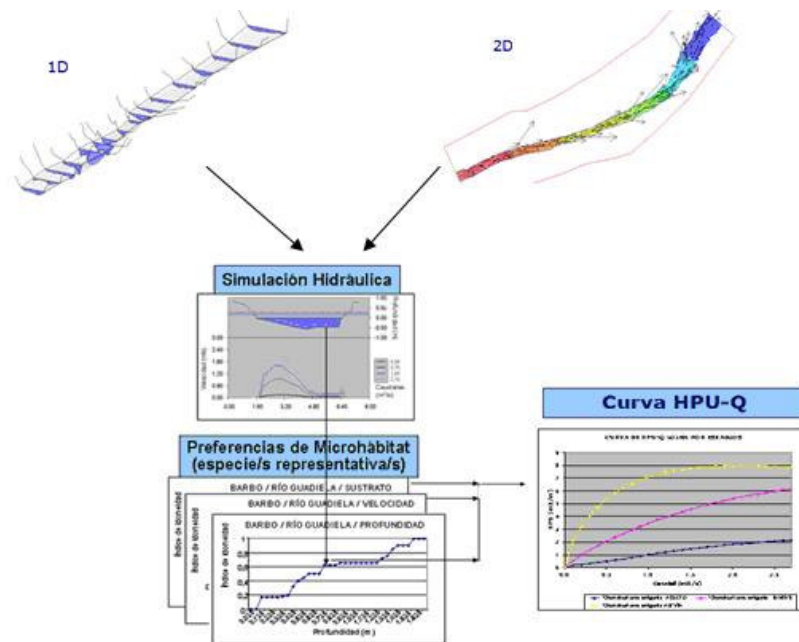


Figura nº 5. Esquema conceptual de la modelización del hábitat

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 sensible. Esta curva se genera mediante la combinación ponderada y adimensional de los hábitats 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.

5.1.4.2.3 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 IPHA se exponen dos criterios para la elección de un valor mínimo de caudal:

- Considerar el caudal correspondiente a un umbral del HPU comprendido en el rango 50-80% del HPU máximo.
- Considerar como caudal mínimo un valor en el que se produzca un cambio significativo de pendiente en la curva HPU-Q.

El caudal mínimo estimado mediante modelización de hábitats, según alguno de los criterios expuestos, se asigna al mes del hidropериodo que presenta un valor de caudal medio mensual inferior, aplicándose esta metodología independientemente a los dos hidropериodos 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 hidropериodo 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 intenta asegurar la continuidad de los tramos y la coherencia de los resultados dentro de cada cuenca.

5.1.5 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, la IPHA 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”* [sic].

5.1.6 TASA DE CAMBIO

La tasa de cambio, según la IPHA, 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.

5.1.7 CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS

Dentro del estudio del régimen de caudales ecológicos en la DHTOP, es fundamental analizar el régimen de avenidas, dada su variabilidad intra e interanual, 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: 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 sedimentos, pero son aquellas de menor magnitud y mayor frecuencia las que acarrearán 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.

- El caudal de limpieza se define como aquel caudal generado por avenidas habituales o de magnitud inferior 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 principalmente por las aportaciones realizadas desde los embalses.
- 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 es de una magnitud mayor y frecuencia menor 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 DHTOP.



5.1.8 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, motivo por el cual han sido designadas como muy modificadas por alteración hidrológica que presentan según el criterio utilizado y descrito en el Anejo I (Designación de masas de agua artificiales y muy modificadas) del presente Plan Hidrológico.

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 se define un régimen de caudales con los criterios indicados en los apartados anteriores en lo que se refiere a la distribución temporal de máximos y mínimos, tasa de cambio y caudal generador, pero ajustando los caudales mediante la simulación de la idoneidad del hábitat para las especies objetivo identificadas, de modo que el umbral utilizado para fijar el régimen de mínimos esté comprendido entre el 30 y el 80% del HPU máximo de la masa de agua, para las especies objetivo analizadas.

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 hídrico para el abastecimiento de diferentes demandas (mayoritariamente agrícolas).

5.1.9 RÉGIMEN DE CAUDALES DURANTE SEQUÍAS PROLONGADAS

En caso de sequías prolongadas se puede aplicar un régimen de caudales menos exigente, siempre que se cumplan las condiciones que establece el artículo 38 del RPH sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua, y de conformidad con lo determinado en el correspondiente PES.

Esta excepción no se aplica en las zonas incluidas en la Red Natura 2000 o en la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar. En estas zonas se considera 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.

El régimen de caudales durante sequías prolongadas se caracteriza por una distribución mensual de mínimos y se determina mediante simulación de la idoneidad del hábitat. La simulación del hábitat se basa en un umbral de relajación con el objetivo de permitir el mantenimiento, como mínimo, de un 25% del HPU máximo.

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 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.

5.2 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS

En el caso de lagos y zonas húmedas no se determina un régimen de caudales ecológicos como en el caso de las masas de la categoría río, sino de requerimientos hídricos.

Los estudios técnicos para determinar los mismos se han basado en los criterios básicos establecidos en la IPHA, aunque no en todos los casos ha sido posible aplicarlos con el mismo grado de exhaustividad, fundamentalmente por la limitada 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:
 - 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.

- 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.

Se resume a continuación la metodología propuesta para la estimación los requerimientos hídricos de las masas de agua de la categoría lago presentes en la DHTOP. En estos casos se propone estimar la necesidad de agua de tipo ambiental como los requerimientos hídricos necesarios para mantener la lámina de agua y la vegetación del humedal.

El método de cálculo se ha basado en analizar los recursos que recibe el lago o laguna (en su vegetación de ribera y lámina de agua) de forma directa por la precipitación, analizándose si con estos recursos es suficiente para mantener la dinámica de la laguna con sus fluctuaciones naturales (incluyendo la práctica desecación en verano de las temporales en algunas de ellas) o bien si son necesarios aportes adicionales, tanto de origen superficial de su cuenca vertiente como de origen subterráneo procedente de acuíferos interrelacionados.

Se ha considerado que los requerimientos hídricos de estos lagos son los necesarios para mantener la orla de la vegetación y la lámina de agua, por lo



que deben compensar la evapotranspiración de la vegetación y la evaporación de la lámina de agua.

Se estiman los requerimientos hídricos, por tanto, como las pérdidas por evapotranspiración de la orla de vegetación asociada a la zona húmeda (diferenciando el carrizo, si aplica, del resto de vegetación, por su alta demanda de agua) menos la precipitación efectiva sobre la vegetación, más las pérdidas por evaporación de la lámina de agua libre menos la precipitación sobre la misma.

La metodología aplicada parte de un enfoque y análisis simplificado que ha posibilitado determinar unos requerimientos hídricos en todas las masas de agua de la categoría lago de la demarcación en un plazo de tiempo y con una disponibilidad de información limitados. Por este motivo, los resultados han de tomarse como una primera aproximación que se irán mejorando conforme se vayan produciendo avances en el conocimiento de esta temática, en general, y para la DHTOP, en particular.

En el Apéndice V.1 se describe la metodología seguida de forma más detallada.

5.3 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 particularidades. Las

lógicas condiciones de continuidad con los valores obtenidos en los tramos inmediatos aguas arriba facilitan 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 de los estuarios, 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.

El desarrollo y aplicación de metodologías concretas para el cálculo del régimen 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.



La “Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos” (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008) incorpora 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, de los 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.

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.



6 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS

6.1 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN MASAS DE AGUA DE LA CATEGORÍA RÍO

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras aplicar el proceso metodológico detallado en el Capítulo 5 de este Anejo en las masas de agua de la categoría río de la DHTOP. Basado en los resultados obtenidos, se presenta la propuesta de régimen de caudales ecológicos: mínimos, tanto en situación ordinaria como durante sequías prolongadas, máximos, tasas de cambio y régimen de crecidas.

6.1.1 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, fue necesario escoger unos tramos determinados en los que realizar el estudio de caudales ecológicos mediante los distintos modelos hidrológicos planteados y la modelización de la idoneidad del hábitat.

Una vez analizados estos tramos, se tomó 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 fueron seleccionados dando prioridad a las masas de agua con mayor importancia ambiental, especialmente las incluidas en 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. También se consideró de interés incluir en la selección los puntos finales de la parte continental de las cuencas de los ríos Tinto, Odiel y Piedras.

En la Tabla nº 2 se muestran las masas de agua finalmente seleccionadas, sobre las que aplicar los dos métodos hidrológicos y de simulación de hábitats anteriormente comentados, cuya ubicación se recoge en la Figura nº 6.

De ellas, tres se consideraron como estratégicas, ya que es en ellas donde pueden existir conflictos significativos con los usos del agua.

Masa de agua		Tramo analizado	Valor ecológico	Método propuesto	Masa estratégica
Código	Nombre				
ES064MSPF000119580	Río Corumbel II	Aguas abajo del embalse de Corumbel	Dentro de una ZEC	Hidrológico, modelización de hábitats	Sí
ES064MSPF004400140	Rivera del Jarama II	Aguas abajo del embalse de Jarama	Dentro de una ZEC	Hidrológico, modelización de hábitats	Sí
ES064MSPF000119510	Rivera de Olivarga III	Aguas abajo del embalse de Sotiel-Olivargas	Sin figura de protección	Hidrológico	Sí
ES064MSPF004400130	Río Tinto	Punto final de la parte continental del río Tinto	Dentro de una ZEC	Hidrológico	No
ES064MSPF000134930	Río Odiel IV	Punto final de la parte continental del río Odiel	Dentro de una ZEC	Hidrológico	No

Masa de agua		Tramo analizado	Valor ecológico	Método propuesto	Masa estratégica
Código	Nombre				
ES064MSPF00206680	Embalse de Los Machos	Punto final de la parte continental del río Piedras	Dentro de una ZEC	Hidrológico	No
ES064MSPF000134970	Arroyo de Candón	Punto final de la parte continental del río Candón	Dentro de un LIC	Hidrológico	No

Tabla nº 2. Tramos seleccionados para la realización del estudio detallado de caudales ecológicos

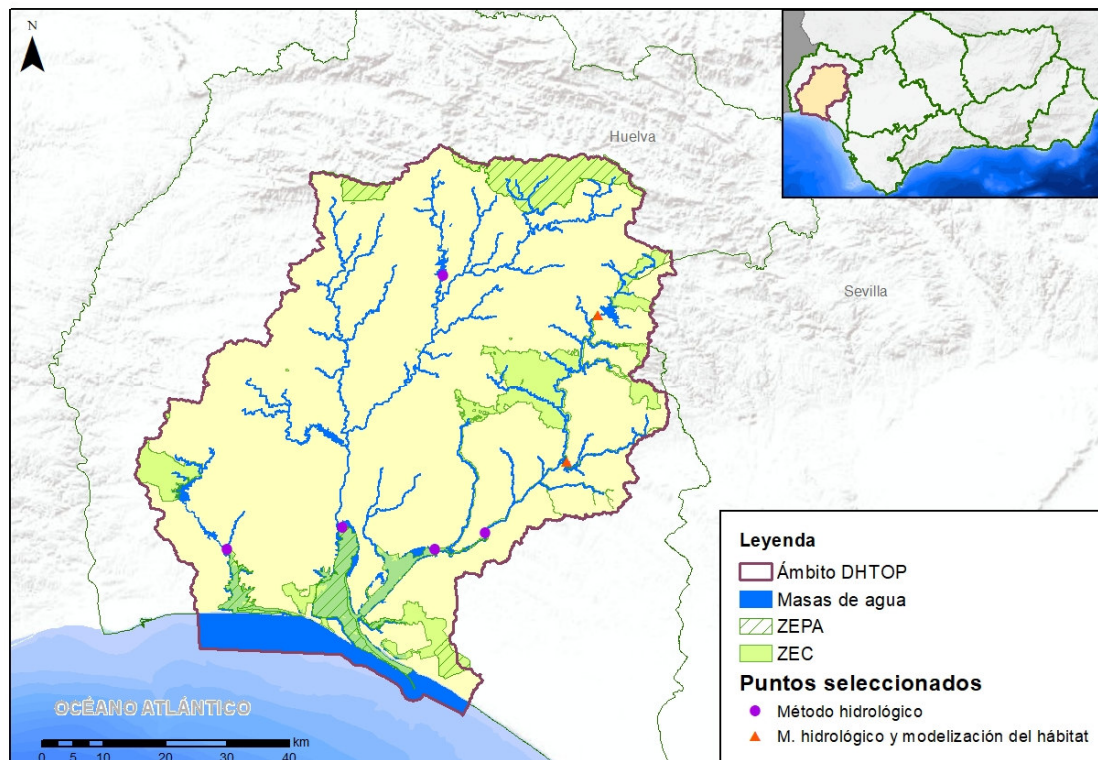


Figura nº 6. Tramos seleccionados para la realización del estudio detallado de caudales ecológicos

6.1.1.1 DATOS DE PARTIDA UTILIZADOS

El período de análisis (1985/86-2006/07), si bien 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, responde a los criterios de la IPHA de disponer de una serie de duración mínima de 20 años, en la cual se alternen años secos y húmedos en cuanto a los valores de precipitación media anual, como se muestra en la Figura nº 7.

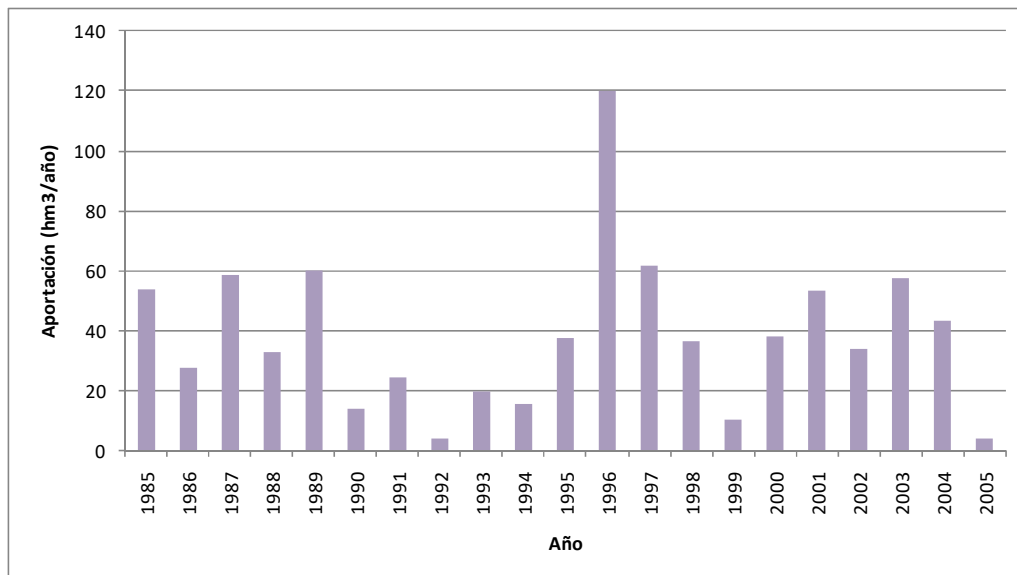


Figura nº 7. Precipitación anual en la subcuenca de Jarrama

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 no es posible asimilar las aportaciones reales a las del régimen natural, se recurrió 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 la elaboración del 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 (Herrero *et al.*, 2011), 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 Investigación en Dinámica Fluvial e Hidrología de la Universidad de Córdoba y el Grupo de

Investigación en Dinámica de Fluidos Ambientales de la Universidad de Granada.

Con este modelo se obtuvieron 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 de la parte final de los ríos Tinto, Odiel y Piedras, se utilizaron los resultados obtenidos con el modelo SIMPA en el primer ciclo de planificación hidrológica, realizado por el entonces 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 II de este Plan Hidrológico.

En la Figura nº 8 se muestra un ejemplo en el que se compara los valores reales y simulados de aportaciones al embalse de Sotiel-Olivargas y la precipitación en la cuenca vertiente del mismo embalse.

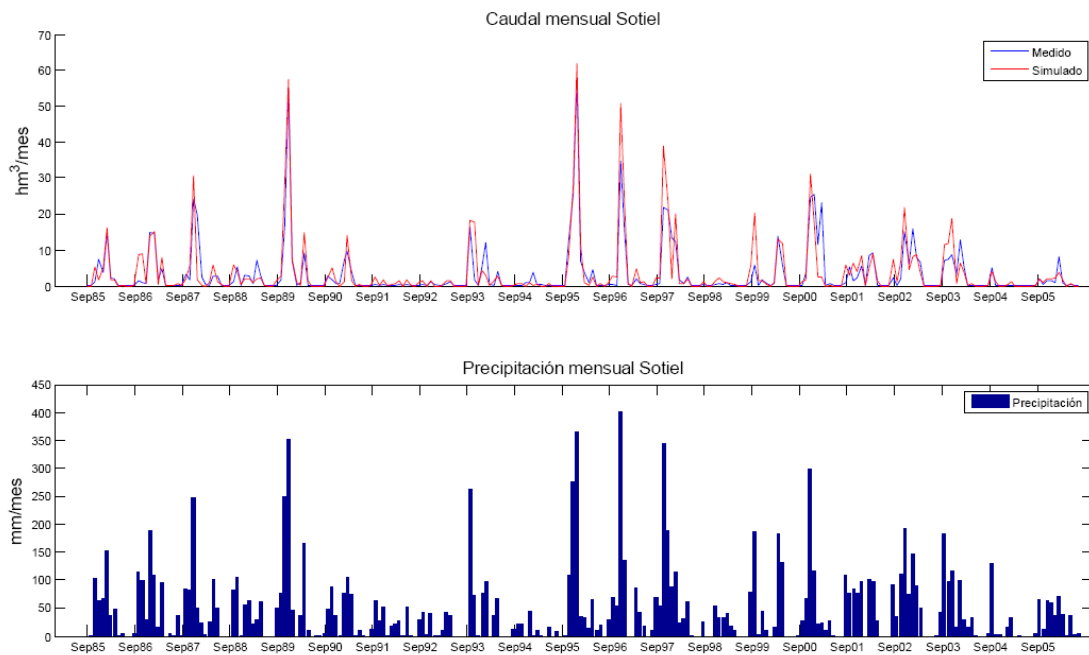


Figura nº 8. Caudal simulado y medido en el embalse de Sotiel y precipitación media en la cuenca (1985/86-2006/07)

6.1.1.2 CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS MASAS ESTRATÉGICAS

En cuanto a la clasificación de los tramos analizados, según lo comentado en el apartado 0 de este Anejo, se presentan los resultados obtenidos.

Para el caso del estudio en las salidas de los embalses de regulación analizados se utilizó 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 contabilizó el número de días que presentan un caudal inferior a 10 l/s, y se ha considerado el percentil 80% de esta serie (Tabla nº 3).

Tramos de estudio	Percentil 80 (días/año con caudal < 10 l/s)	Clasificación
Corumbel	248	Intermitente
Jarrama	235	Intermitente
Sotiel-Olivargas	266	Intermitente

Tabla nº 3. Clasificación de los tramos analizados con datos diarios

En el caso de los tramos finales de Tinto, Odiel y Piedras, así como el Arroyo Candón, se consideró la serie mensual del modelo SIMPA, con una serie de 72 años (1940/41-2011/12), obteniendo que salvo el Arroyo Candón, que es estacional, el resto de los ríos se consideran como permanentes (Tabla nº 4).

Tramos de estudio	Percentil 80 (días/año con caudal < 10 l/s)	Clasificación
ES064MSPF004400130 Río Tinto	0	Permanente
ES064MSPF000134930 Río Odiel IV	0	Permanente
ES064MSPF000206680 Embalse de Los Machos	0	Permanente
ES064MSPF000134970 Arroyo de Candón	5,8	Estacional

Tabla nº 4. Clasificación de los tramos analizados con datos mensuales

Al margen de lo comentado anteriormente, debe destacarse que, conforme a lo expresado en la “Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos” (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008), 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.

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 los 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 escogió 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.

La Tabla nº 5 muestra el periodo de cese de caudal estimado en cada uno de los tramos de estudio.

Tramos de estudio	Número de días estimados de cese de caudal por año hidrológico (Percentil 25%)	Periodo en el que se dará el cese de caudal
Corumbel	181	Abril-Septiembre
Jarrama	176	Abril-Septiembre



Tramos de estudio	Número de días estimados de cese de caudal por año hidrológico (Percentil 25%)	Periodo en el que se dará el cese de caudal
Sotiel-Olivargas	185	Abril-Septiembre

Tabla nº 5. Estimación del periodo de cese de caudal

En la Figura nº 9 se muestra, a modo de ejemplo, la curva clasificada de días al año con caudal inferior a 10 l/s en el embalse de Corumbel, y en la que se marcan los percentiles 25 y 80. Como se puede comprobar, para el percentil 25, el valor alcanzado en el eje de ordenadas es 181.

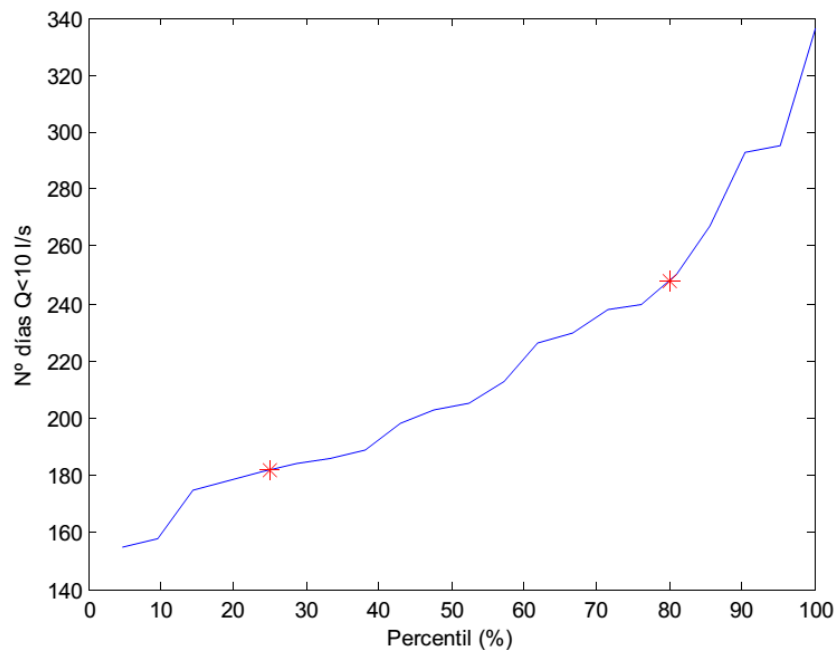


Figura nº 9. Curva clasificada del número de días con caudal inferior a 10 l/s en Corumbel



6.1.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS

6.1.2.1 MÉTODOS HIDROLÓGICOS

A partir de las series simuladas se obtuvieron los valores de caudales ecológicos por el método del RVA y por el del QBM, y que han sido presentados en el apartado 5.1.4.1 de este Anejo.

En la Tabla nº 6 y la Tabla nº 7 se muestra el caudal mínimo mensual en cada sistema 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.

Mes	Corumbel (hm ³)		Jarrama (hm ³)		Sotiel-Olivargas (hm ³)	
	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo
Octubre	0,030	0,033	0,000	0,000	0,002	0,002
Noviembre	0,033	0,038	0,000	0,000	0,002	0,003
Diciembre	0,047	0,066	0,000	0,001	0,005	0,010
Enero	0,056	0,060	0,000	0,008	0,017	0,106
Febrero	0,041	0,048	0,001	0,138	0,027	0,089
Marzo	0,042	0,049	0,024	0,041	0,019	0,062
Abril	0,047	0,048	0,007	0,030	0,055	0,060
Mayo	0,045	0,055	0,002	0,003	0,016	0,128
Junio	0,042	0,050	0,000	0,000	0,004	0,010
Julio	0,046	0,049	0,000	0,000	0,003	0,003
Agosto	0,045	0,046	0,000	0,000	0,003	0,003
Septiembre	0,037	0,040	0,000	0,000	0,002	0,003

Mes	Corumbel (hm ³)		Jarrama (hm ³)		Sotiel-Olivargas (hm ³)	
	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo
TOTAL	0,512	0,582	0,034	0,221	0,156	0,478

Tabla nº 6. Régimen de caudales ecológicos mínimos según el método de RVA en los tramos de estudio situados aguas abajo de embalses del Sistema Tinto, Odiel y Piedras

Mes	Final del río Tinto (hm ³)		Final del río Odiel (hm ³)		Final del Río Piedras (hm ³)		Final del Arroyo Candón (hm ³)	
	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo	Mínimo Seco	Mínimo Húmedo
Octubre	0,131	0,151	0,118	0,130	0,065	0,067	0,010	0,010
Noviembre	0,186	0,308	0,463	0,731	0,078	0,115	0,010	0,013
Diciembre	0,252	0,472	0,377	0,708	0,104	0,119	0,020	0,022
Enero	0,735	1,069	1,582	2,478	0,107	0,137	0,016	0,017
Febrero	0,466	0,959	1,189	3,294	0,106	0,189	0,013	0,015
Marzo	0,304	0,420	0,544	1,072	0,108	0,148	0,013	0,014
Abril	0,527	0,547	1,168	1,602	0,090	0,101	0,013	0,014
Mayo	0,317	0,540	0,810	0,902	0,087	0,136	0,017	0,020
Junio	0,267	0,284	0,301	0,344	0,080	0,110	0,014	0,016
Julio	0,184	0,200	0,167	0,191	0,074	0,088	0,013	0,013
Agosto	0,179	0,188	0,127	0,153	0,071	0,072	0,013	0,013
Septiembre	0,159	0,165	0,115	0,124	0,068	0,071	0,013	0,013
TOTAL	3,707	5,302	6,961	11,729	1,038	1,353	0,164	0,180

Tabla nº 7. Régimen de caudales ecológicos mínimos según el método de RVA en los tramos de estudio situados en las partes finales de los principales ríos del Sistema Tinto, Odiel y Piedras

Los resultados obtenidos para el periodo 1985-2006 en los sistemas de la zona de estudio se muestran en la Tabla nº 8 y la Tabla nº 9. Como se ha comentado anteriormente, se utilizó 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 Tabla nº 8 y la Tabla nº 9 se muestran los resultados del caudal básico para cada uno de los años hidrológicos considerados.

Año	Corumbel m ³ /mes	Jarrama m ³ /mes	Sotiel-Olivargas m ³ /mes
1985	16.234,56	110.436,48	145.955,52
1986	0,00	129,60	362,88
1987	16.295,04	23.423,04	9.028,80
1988	10.402,56	26.472,96	37.903,68
1989	104.302,08	59.736,96	118.722,24
1990	16.822,08	79.099,20	34.179,84
1991	483,84	5.607,36	5.814,72
1992	2.548,80	4.708,80	3.240,00
1993	19.863,36	60.886,08	65.681,28
1994	17,28	0,00	0,00
1995	59.814,72	164.937,60	168.773,76
1996	63.702,72	175.806,72	71.781,12
1997	248.253,12	401.803,20	458.179,20
1998	2.419,20	19.146,24	11.733,12
1999	57.291,84	25.142,40	40.443,84
2000	54.043,20	51.295,68	81.388,80
2001	87.298,56	123.344,64	156.427,20
2002	134.749,44	190.105,92	186.874,56
2003	141.791,04	233.418,24	109.045,44
2004	95,04	293,76	233,28
2005	768,96	36.866,88	39.096,00
2006	--	--	--
Media	49.390,35	85.364,85	83.088,82

Tabla nº 8. QBM en las subcuencas de los embalses considerados en el Sistema Tinto, Odiel y Piedras

Año	Río Tinto m ³ /mes	Río Odiel IV m ³ /mes	Río Piedras m ³ /mes	Ayo. Candón m ³ /mes
1986	139.021	191.318	105.646	3.416
1987	35.478	164.513	90.666	2.628
1988	98.813	366.606	285.664	2.365
1989	77.789	337.435	125.356	4.730
1990	139.021	525.074	43.099	9.986
1991	60.181	106.697	146.642	4.993
1992	69.642	42.574	65.174	2.891
1993	156.629	110.902	58.079	9.986
1994	72.007	208.663	121.151	6.307
1995	63.072	54.400	67.014	7.358
1996	227.585	879.329	480.924	11.300
1997	135.868	578.160	511.672	2.628
1998	216.810	554.508	49.669	11.038
1999	52.034	153.475	53.611	1.577
2000	144.277	124.830	78.052	5.256
2001	94.871	488.808	581.051	3.679
2002	246.769	326.660	148.482	3.679
2003	250.186	374.227	264.902	13.928
2004	221.540	420.217	59.918	10.512
2005	129.560	1.724.493	130.086	11.826
Media	131.600	386.600	173.300	6.500

Tabla nº 9. QBM en las subcuencas de los tramos finales de los ríos considerados en el Sistema Tinto, Odiel y Piedras

Para calcular el caudal mínimo mensual a través de la metodología QBM, se estimó una restitución del QBM 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 estableció 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. El Fv se calcula del siguiente modo:

$$Fv = \sqrt{\frac{Q_{med_i}}{Q_{min}}}$$

Donde,

- Q_{med_i} es el valor medio de la aportación en régimen natural para el mes i.
- Q_{min} 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 la Tabla nº 10 y la Tabla nº 11. Hay que destacar que para evaluar esta variabilidad se ha considerado el periodo de cese de caudal en los tramos que se han definido como intermitentes.

Mes	Corumbel hm ³ /mes	Jarrama hm ³ /mes	Sotiel-Olivargas hm ³ /mes
octubre	0,142	0,008	0,056
noviembre	0,226	0,014	0,092



Mes	Corumbel hm ³ /mes	Jarrama hm ³ /mes	Sotiel-Olivargas hm ³ /mes
diciembre	0,461	0,020	0,170
enero	0,250	0,011	0,097
febrero	0,114	0,007	0,050
marzo	0,094	0,005	0,028
abril	0,075	0,004	0,040
mayo	0,052	0,003	0,020
junio	0,004	0,001	0,004
julio	0,000	0,000	0,001
agosto	0,004	0,000	0,000
septiembre	0,045	0,003	0,016
TOTAL (hm³/año)	1,467	0,076	0,574

Tabla nº 10. Régimen de caudales ecológicos mínimos según el método de QBM en los tramos de estudio asociados a embalses

Mes	Final del Río Tinto hm ³ /mes	Final del Río Odiel hm ³ /mes	Final del Río Piedras hm ³ /mes	Final del Arroyo del Candón hm ³ /mes
octubre	0,893	3,297	0,485	0,053
noviembre	0,943	3,782	0,594	0,061
diciembre	1,967	6,708	1,076	0,137
enero	1,728	6,148	0,883	0,123
febrero	1,253	4,568	0,576	0,083
marzo	1,034	3,665	0,497	0,074
abril	0,824	3,294	0,354	0,053
mayo	0,589	1,963	0,233	0,028
junio	0,193	0,746	0,197	0,009
julio	0,136	0,422	0,188	0,007
agosto	0,134	0,394	0,177	0,007
septiembre	0,240	0,953	0,172	0,007
TOTAL (hm³/año)	9,933	35,940	5,432	0,642

Tabla nº 11. Régimen de caudales ecológicos mínimos según el método de QBM en los tramos de estudio asociados a partes finales de río

6.1.2.2 MÉTODOS DE MODELIZACIÓN DEL HÁBITAT

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 llevaron 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 consideró 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 calculó para cada combinación de rugosidad y pendiente los valores de 25%, 30% y 60% del HPU máximo. Todos los tramos estudiados fueron definidos como muy alterados hidrológicamente por estar situados aguas abajo de embalses de regulación, por lo que el límite para el método de

hábitat es del 30% del HPU 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 podrían ser revisados, si fuese necesario, durante el proceso de seguimiento adaptativo.

6.1.2.2.1 SELECCIÓN DE LA ESPECIE OBJETIVO

De las especies presentes en la DHTOP según el Inventario Nacional de Biodiversidad (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009) y de las que se poseen curvas de idoneidad, que se recogen en la Tabla nº 12, se consideró en la modelización de hábitats la boga del Guadiana (*Pseudochondrostoma willkommii*), con una presencia importante y calificada como vulnerable en el Inventario Nacional de Biodiversidad.

Categoría	Familia	Especie	Nombre común	Presencia relativa
Vulnerable	<i>Cyprinidae</i>	<i>Iberochondrostoma lemmingii</i>	Pardilla	3
Vulnerable	<i>Cyprinidae</i>	<i>Pseudochondrostoma willkommii</i>	Boga del Guadiana	4
Vulnerable	<i>Cyprinidae</i>	<i>Squalius alburnoides</i>	Calandino	2
Vulnerable	<i>Cyprinidae</i>	<i>Squalius pyrenaicus</i>	Cacho	3
Vulnerable	<i>Salmonidae</i>	<i>Salmo trutta</i>	Trucha común	2

Tabla nº 12. Valoración de la presencia en la demarcación (Mínimo=0, Máximo=10)

Pseudochondrostoma 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 los vertebrados de España (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1992) 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 constató la presencia de dicha especie en la DHTOP a través de los muestreos de vida piscícola dentro de la red de control operativo y de vigilancia de las masas de agua.

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 en 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 la modelización 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 (*Pseudochondrostoma polylepis*), que, si bien no se encuentra en la demarcación, las condiciones de hábitat requeridas por esta especie son muy similares a las de la boga del Guadiana. Por tanto, las curvas que finalmente se utilizaron para efectuar la modelización de hábitats fueron elaboradas por Martínez-Capel (2000) y se muestran en la Tabla nº 13 y en la Figura nº 10 y Figura nº 11.

Profundidad (m)	Grado de idoneidad			Velocidad (m/s)	Grado de idoneidad			
	Abscisa	Alevín	Juvenil		Adulto	Abscisa	Alevín	Juvenil
0		0	0				0,1	
0,15			0,1		0,02	0,5		
0,18		0,2			0,05	0,7	0,3	0,2
0,25		0,5		0	0,075	0,9		
0,33				0,1	0,1	1	0,6	0,4
0,5			0,5		0,15			0,6
0,7				0,2	0,25	1		1
1			0,6		0,3		1	
1,1		1		0,2	0,375	0,7		
1,2		0,9			0,4		1	
1,25				0,5	0,45			1
1,33		0,7			0,575	0,3		
1,48		0,5			0,6		0,7	
1,53				0,6	0,625	0,1		
1,8			0,7	0,6	0,8		0,5	0,5
1,88		0,4			0,86			0,3
2			1	1	0,875	0,1		
2,38		0,4		1	1		0,2	0,2
2,75			1		2		0,15	

Tabla nº 13. Curvas de preferencia de profundidad (m) y velocidad (m/s) para
Pseudochondrostoma polylepis

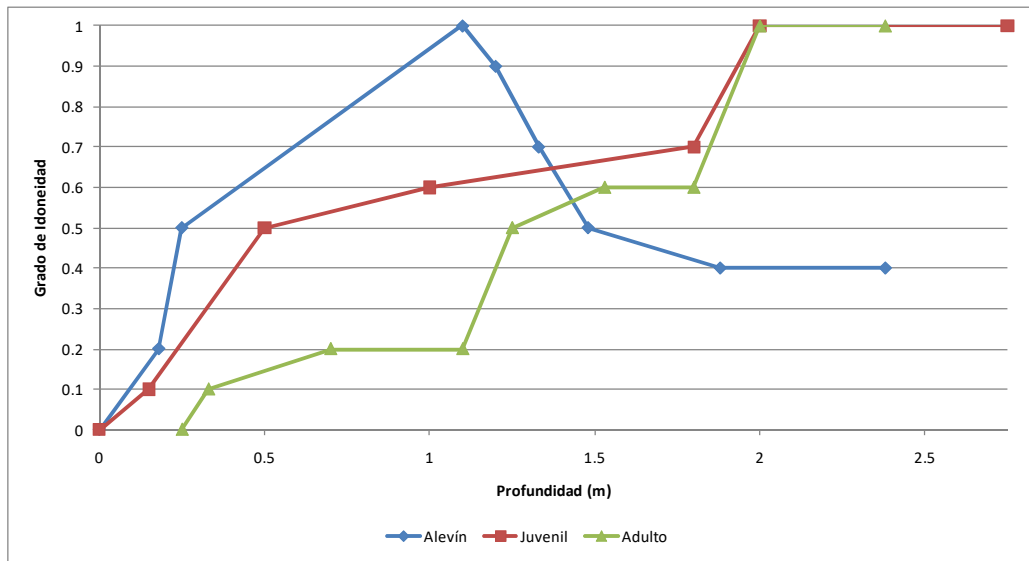


Figura nº 10. Curva de preferencia de profundidad (m) para *Pseudochondrostoma polylepis*

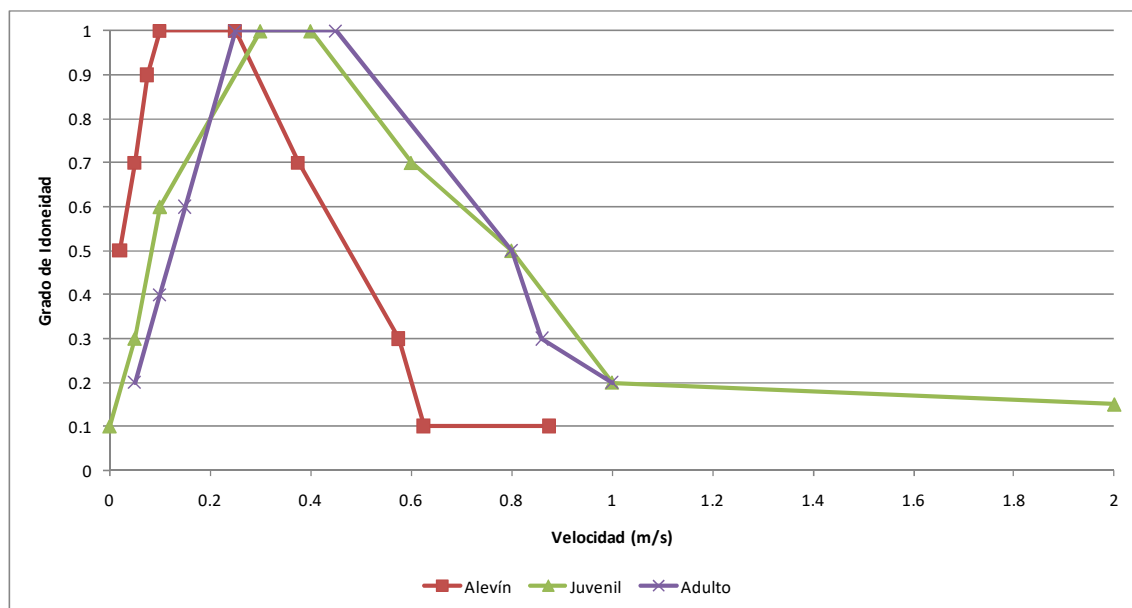


Figura nº 11. Curva de preferencia de velocidad (m/s) para *Pseudochondrostoma polylepis*

6.1.2.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los tramos modelizados según este método. Como se ha comentado anteriormente,

estos resultados deben tomarse como una primera aproximación al método de modelización de hábitats en la DHTOP, por lo que los resultados podrían ser revisados, si fuese necesario, durante el proceso de seguimiento adaptativo.

El método de modelización de hábitats, 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 su validez.

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

Corumbel

En la Tabla nº 14 y la Figura nº 12 se muestran los resultados de este cálculo para la subcuenca de Corumbel.

Pendiente	Coeficiente de rugosidad de Manning	HPU máx.	Seco	Húmedo
			(m ³ · s ⁻¹)	(m ³ · s ⁻¹)
4,272/1.000	0,05	Q (25%)	0,03	0,18
4,272/1.000	0,05	Q (30%)	0,05	0,29
4,272/1.000	0,05	Q (60%)	0,57	1,89
4,272/1.000	0,07	Q (25%)	0,06	0,27
4,272/1.000	0,07	Q (30%)	0,11	0,43
4,272/1.000	0,07	Q (60%)	0,96	1,52



Pendiente	Coeficiente de rugosidad de Manning	HPU máx.	Seco	Húmedo
			(m ³ · s ⁻¹)	(m ³ · s ⁻¹)
3,631/1.000	0,05	Q (25%)	0,04	0,21
3,631/1.000	0,05	Q (30%)	0,07	0,33
3,631/1.000	0,05	Q (60%)	1,05	1,91
3,631/1.000	0,07	Q (25%)	0,06	0,29
3,631/1.000	0,07	Q (30%)	0,11	0,46
3,631/1.000	0,07	Q (60%)	0,89	1,43
4,913/1.000	0,05	Q (25%)	0,03	0,16
4,913/1.000	0,05	Q (30%)	0,04	0,25
4,913/1.000	0,05	Q (60%)	0,32	1,78
4,913/1.000	0,07	Q (25%)	0,06	0,26
4,913/1.000	0,07	Q (30%)	0,10	0,40
4,913/1.000	0,07	Q (60%)	1,01	1,60

Tabla nº 14. Valores de HPU máximo para diferentes pendientes y números de Manning en la subcuenca de Corumbel



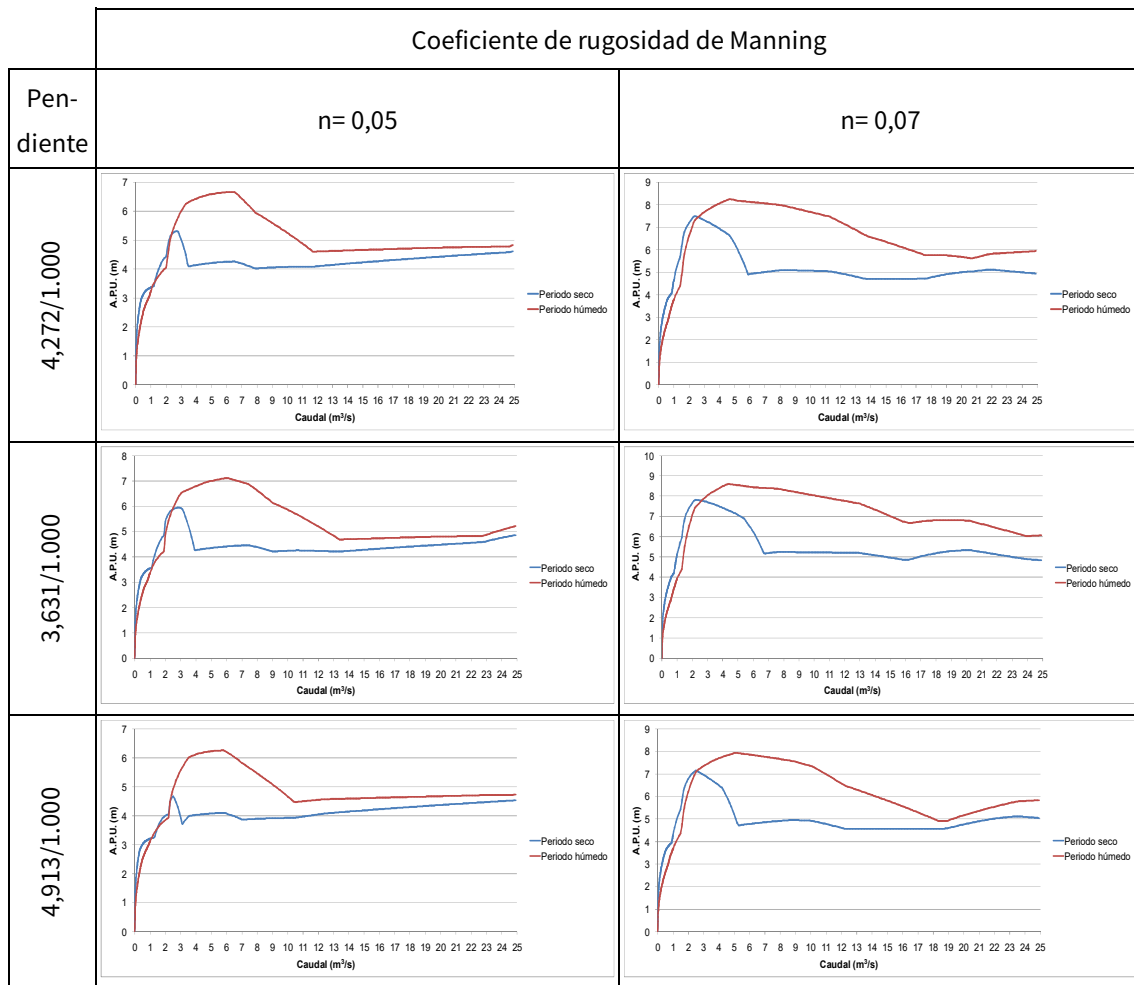


Figura nº 12. Valores de HPU en ambos hidroperiodos en función del caudal, para las diferentes hipótesis planteadas de pendiente y rugosidad en la subcuenca de Corumbel

En la Tabla nº 15 se presenta el rango estimado de caudal mínimo en cada uno de estos periodos.

Hidroperiodo	Periodo considerado	% sobre HPU máx.	Rango de Q ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Rango de Q (hm^3/mes)
Seco	Abril / Septiembre	30	0,04	0,104
			0,11	0,285
Húmedo	Octubre / Marzo	30	0,25	0,648
			0,43	1,115

Tabla nº 15. Resumen del cálculo de caudal mínimo según el método de hábitat en la subcuenca de Corumbel

Jarrama

En la Tabla nº 16 y la Figura nº 13 se muestran los resultados de este cálculo para la subcuenca de Jarrama.

Pendiente	Coeficiente de rugosidad de Manning	HPU máx.	Seco	Húmedo
			($m^3 \cdot s^{-1}$)	($m^3 \cdot s^{-1}$)
14,2/1.000	0,05	Q (25%)	0,03	0,09
14,2/1.000	0,05	Q (30%)	0,05	0,14
14,2/1.000	0,05	Q (60%)	4,58	2,23
14,2/1.000	0,07	Q (25%)	0,03	0,13
14,2/1.000	0,07	Q (30%)	0,04	0,20
14,2/1.000	0,07	Q (60%)	0,39	1,81
12,07/1.000	0,05	Q (25%)	0,03	0,09
12,07/1.000	0,05	Q (30%)	0,04	0,14
12,07/1.000	0,05	Q (60%)	4,22	1,86
12,07/1.000	0,07	Q (25%)	0,03	0,15
12,07/1.000	0,07	Q (30%)	0,04	0,24
12,07/1.000	0,07	Q (60%)	0,33	1,90
16,33/1.000	0,05	Q (25%)	0,03	0,09
16,33/1.000	0,05	Q (30%)	0,05	0,13
16,33/1.000	0,05	Q (60%)	4,89	5,24

Pendiente	Coeficiente de rugosidad de Manning	HPU máx.	Seco	Húmedo
			($m^3 \cdot s^{-1}$)	($m^3 \cdot s^{-1}$)
16,33/1.000	0,07	Q (25%)	0,03	0,10
16,33/1.000	0,07	Q (30%)	0,04	0,16
16,33/1.000	0,07	Q (60%)	0,05	1,46

Tabla nº 16. Valores de HPU máximo para diferentes pendientes y números de Manning en la subcuenca de Jarrama

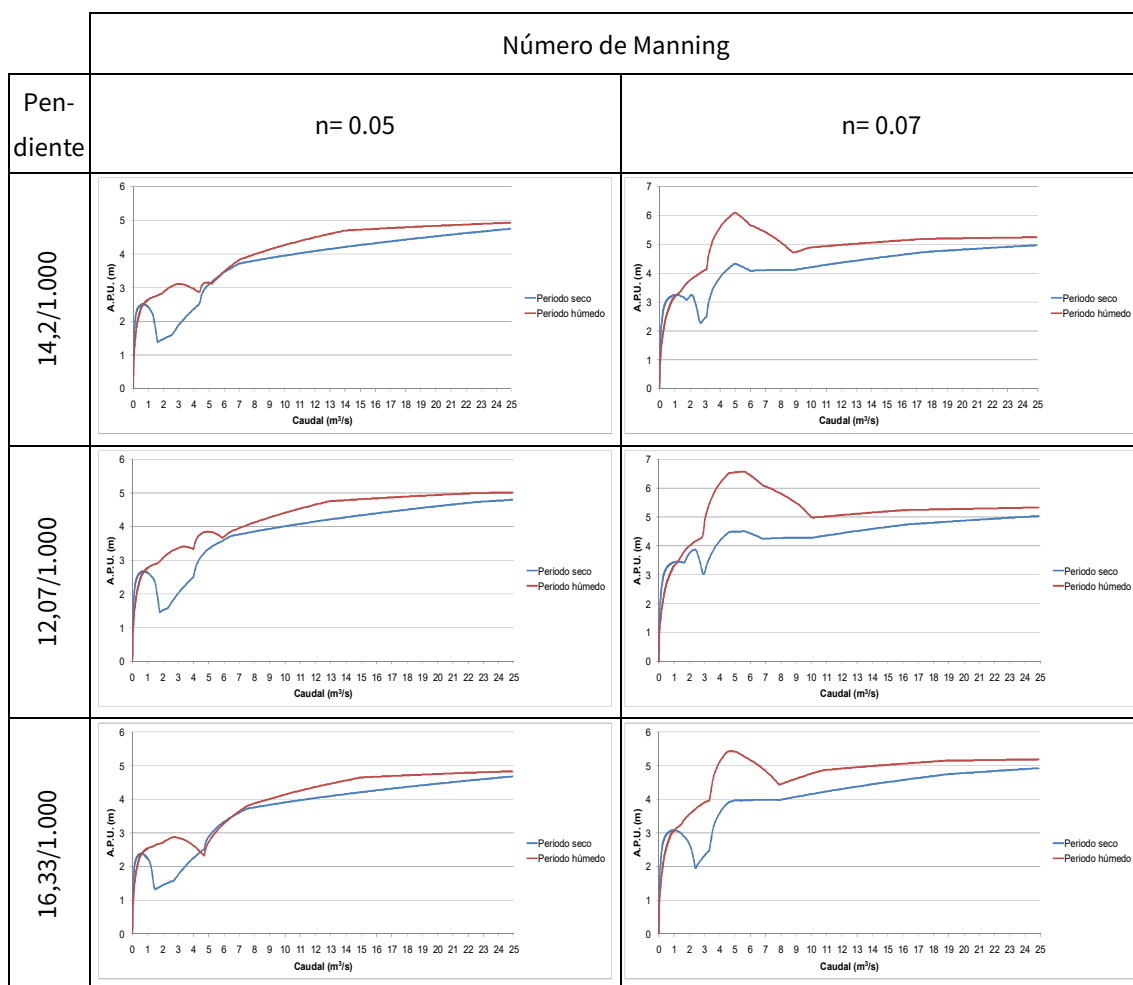


Figura nº 13. Valores de HPU en ambos hidrop periodos en función del caudal, para las diferentes hipótesis planteadas de pendiente y rugosidad en la subcuenca de Jarrama

En la Tabla nº 17 se presenta el rango estimado de caudal mínimo en cada uno de estos periodos.

Hidroperiodo	Periodo considerado	% sobre HPU máx.	Rango de Q ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Rango de Q (hm^3/mes)
Seco	Abril / Septiembre	30	0,04	0,104
			0,05	0,130
Húmedo	Octubre / Marzo	30	0,13	0,337
			0,20	0,518

Tabla nº 17. Resumen del cálculo de caudal mínimo según el método de hábitat en la subcuenca de Jarrama

6.1.2.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS

6.1.2.3.1 VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Para llevar a cabo la validación de los resultados obtenidos por métodos hidrológicos se consideraron diferentes aspectos, destacando los dos siguientes:

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

En la Tabla nº 18 y la Tabla nº 19 se comparan todos los resultados obtenidos por los diferentes métodos en los puntos en los que se ha realizado modelización de hábitat.

Mes	Métodos Hidrológicos (hm^3)			Hidro-periodo	Modelo Hábitats (hm^3)	
	RVA (5%)	RVA (10%)	QBM		Rango Inf. Qmin	Rango Sup. Qmin
Octubre	0,033	0,038	0,142	Húmedo	0,648	1,115
Noviembre	0,047	0,066	0,226			



Mes	Métodos Hidrológicos (hm ³)			Hidro-periodo	Modelo Hábitats (hm ³)	
	RVA (5%)	RVA (10%)	QBM		Rango Inf. Qmin	Rango Sup. Qmin
Diciembre	0,056	0,06	0,461			
Enero	0,041	0,048	0,25			
Febrero	0,042	0,049	0,114			
Marzo	0,047	0,048	0,094			
Abril	0,045	0,055	0,075	Cese de caudal	0,000	0,000
Mayo	0,042	0,05	0,052			
Junio	0,046	0,049	0,004			
Julio	0,045	0,046	0			
Agosto	0,037	0,04	0,004			
Septiembre	0,03	0,033	0,045			

Tabla nº 18. Comparación de los resultados de caudal mínimo por los diferentes métodos utilizados a la salida del embalse de Corumbel

hm ³	Métodos Hidrológicos (hm ³)			Hidro-periodo	Modelo Hábitats (hm ³)	
	RVA (5%)	RVA (10%)	QBM		Rango Inf. Qmin	Rango Sup. Qmin
Octubre	0	0	0,008	Húmedo	0,337	0,518
Noviembre	0	0,001	0,014			
Diciembre	0	0,008	0,02			
Enero	0,001	0,138	0,011			
Febrero	0,024	0,041	0,007			
Marzo	0,007	0,03	0,005			
Abril	0,002	0,003	0,004	Cese de caudal	0,000	0,000
Mayo	0	0	0,003			
Junio	0	0	0,001			
Julio	0	0	0			
Agosto	0	0	0			
Septiembre	0	0	0,003			

Tabla nº 19. Comparación de los resultados de caudal mínimo por los diferentes métodos utilizados a la salida del embalse de Jarrama

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 para la determinación del régimen de caudales ecológicos” (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008). 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 QBM responde directamente a la temporalidad, y puede dar como resultados caudales ecológicos nulos o excesivamente bajos que no se adaptan bien a las condiciones hidrológicas específicas en los ríos temporales, estacionales y efímeros.

En definitiva, el RVA se ha observado que obtiene unos mejores resultados en ríos con un régimen hidrológico altamente alterado (Richter *et al.*, 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, los resultados obtenidos mediante el método RVA fueron los consensuados en el proceso de concertación de caudales ecológicos.

6.1.2.3.2 EXTRAPOLACIÓN DE LOS RESULTADOS AL RESTO DE MASAS DE AGUA DE LA CATEGORÍA RÍO

Una vez determinado el método hidrológico de RVA como el más apropiado, se estimó en cada una de las masas de agua de la categoría río de la DHTOP el régimen de caudales mínimos, a nivel mensual, diferenciando entre los caudales a cumplir en situación ordinaria y en situación de sequía prolongada.

La diferenciación entre situación ordinaria y en situación de sequía se plantea en este Plan Hidrológico en función la situación de sequía en que se encuentre un determinado sistema según el PES, de modo que si el sistema se encuentra en situación de sequía prolongada se adoptará el régimen de caudales ecológicos mínimos correspondiente a años secos según el método RVA, y en caso contrario se adoptará el régimen de caudales ecológicos mínimos correspondiente a años húmedos.

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

En el caso de la masa de agua Rivera de Meca I, segmentada en el presente ciclo de planificación hidrológica en las masas ES064MSPF000135041 Rivera de Meca I y ES064MSPF000135042 Rivera del Aserrador, el caudal ecológico mínimo se ha obtenido a partir del propuesto en ciclos anteriores mediante proporcionalidad de aportes.

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

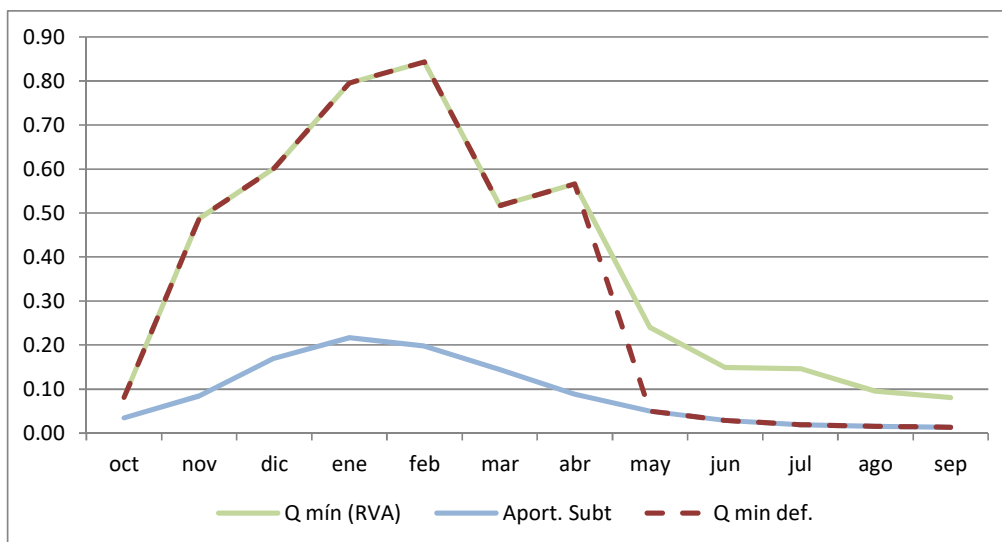
Debido a las características climáticas e hidrológicas de la DHTOP, las aportaciones superficiales generadas a partir de precipitaciones en los meses correspondientes al periodo de estiaje o seco (mayo-septiembre) deben considerarse despreciables para el cumplimiento del régimen de caudales mínimos, 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 estimó cuál es la contribución del aporte subterráneo al régimen de caudales ecológicos, y se comparó y corrigió (si procedía) el régimen de caudales mínimos en los meses de estiaje.

Para realizar esta tarea, se comparó 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 estiaje (mayo-septiembre), de modo que se corrigió el régimen de caudales mínimos para que éste pudiera 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 II del Plan Hidrológico.

En la Figura nº 14 se muestra un ejemplo de modificación del régimen de caudales mínimos obtenido por el método RVA en una determinada masa de agua, para su adecuación en los meses de estiaje, de modo que el régimen de caudales mínimos definitivo pueda ser cubierto con las aportaciones subterráneas al sistema superficial. Cabe 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.



Nota: Qmin def: Caudal mínimo definitivo

Figura nº 14. Ejemplo de la modificación del régimen de caudales mínimos.

6.1.2.3.4 RÉGIMEN DE CAUDALES MÍNIMOS

A modo de resumen, en la Tabla nº 20 se presentan los resultados definitivos obtenidos en situación ordinaria (correspondiente a los años húmedos) y de sequía prolongada (correspondiente a los años secos), respectivamente, en las masas de agua consideradas como estratégicas en este estudio.

Tramo	Año tipo	Caudales ecológicos (hm ³ /mes)											
		oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Salida del embalse de Corumbel	Seco	0,022	0,026	0,040	0,030	0,031	0,033	0,033	0,031	0,000	0,000	0,006	0,000
	Húmedo	0,025	0,041	0,043	0,034	0,034	0,036	0,052	0,036	0,008	0,000	0,011	0,000
Salida del embalse de Jarrama	Seco	0,000	0,000	0,000	0,001	0,024	0,007	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Húmedo	0,000	0,001	0,008	0,138	0,041	0,03	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Salida del embalse de Sotiel-Olivargas	Seco	0,002	0,005	0,017	0,027	0,019	0,055	0,016	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002
	Húmedo	0,003	0,01	0,106	0,089	0,062	0,06	0,128	0,01	0,003	0,003	0,003	0,002

Tabla nº 20. Régimen de caudales ecológicos mínimos considerados en las masas de agua estratégicas

En la Tabla nº 21 y en la Tabla nº 22 se presentan los resultados en situación ordinaria y de sequía prolongada, respectivamente, para cada una de las masas de agua de la categoría río de la DHTOP, con la corrección expuesta en el apartado 6.1.2.3.3.



Código	Nombre	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	TOTAL
ES064MSPF000119450	ARROYO DE GIRALDO	0,043	0,070	0,070	0,060	0,055	0,060	0,077	0,063	0,061	0,058	0,053	0,044	0,713
ES064MSPF000119460	RIVERA CACHAN	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
ES064MSPF000119470	ARROYO DEL GALLEGO	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007
ES064MSPF000119480	ARROYO DE LA GALPEROSA	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009
ES064MSPF000119490	ARROYO DEL CARRASCO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ES064MSPF000119500	ARROYO DE CLARINA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ES064MSPF000119510	RIVERA DE OLIVARGA III	0,006	0,011	0,078	0,053	0,072	0,058	0,133	0,011	0,003	0,003	0,003	0,002	0,430
ES064MSPF000119520	RIVERA SECA II	0,000	0,000	0,008	0,022	0,021	0,012	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,067
ES064MSPF000119530	RIVERA SECA I	0,000	0,000	0,008	0,026	0,021	0,012	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,074
ES064MSPF000119540	RIVERA DE MECA II	0,063	0,065	0,168	0,141	0,124	0,090	0,095	0,056	0,053	0,049	0,048	0,046	0,998
ES064MSPF000119550	RIO ODIEL II	0,013	0,039	0,187	0,080	0,071	0,091	0,080	0,033	0,021	0,012	0,008	0,014	0,649
ES064MSPF000119560	ARROYO DE VALDEHOMBRE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
ES064MSPF000119570	ARROYO DE JUAN GARCIA	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010
ES064MSPF000119580	RIO CORUMBEL II	0,025	0,041	0,043	0,034	0,034	0,036	0,052	0,036	0,008	0,000	0,011	0,000	0,320
ES064MSPF000119590	ARROYO DE FUENTIDUEÑA	0,020	0,029	0,030	0,027	0,025	0,026	0,035	0,030	0,020	0,013	0,013	0,011	0,279
ES064MSPF000134890	ARROYO TARIQUEJO	0,076	0,080	0,107	0,106	0,100	0,094	0,094	0,089	0,084	0,081	0,079	0,075	1,067
ES064MSPF000134900	ARROYO DEL MEMBRILLO (1)	0,017	0,021	0,031	0,022	0,025	0,021	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,157
ES064MSPF000134900	ARROYO DEL MEMBRILLO (2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



Código	Nombre	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	TOTAL
ES064MSPF000134900	ARROYO DEL MEMBRILLO (3)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ES064MSPF000134910	RIO ODIEL I	0,013	0,039	0,149	0,079	0,071	0,074	0,065	0,031	0,021	0,012	0,008	0,014	0,575
ES064MSPF000134920	RIO ODIEL III	0,026	0,075	0,460	0,212	0,153	0,242	0,164	0,065	0,042	0,025	0,017	0,027	1,507
ES064MSPF000134930	RIO ODIEL IV	0,164	0,269	1,217	0,803	0,493	1,019	0,857	0,288	0,138	0,114	0,103	0,103	5,567
ES064MSPF000134960	RIVERA DE NICOBA	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007
ES064MSPF000134970	ARROYO DE CANDON	0,010	0,017	0,017	0,014	0,014	0,014	0,019	0,015	0,006	0,004	0,004	0,004	0,136
ES064MSPF000134980	ARROYO DEL HELECHOSO	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
ES064MSPF000134990	RIO CORUMBEL I (1)	0,008	0,017	0,018	0,012	0,012	0,013	0,017	0,011	0,007	0,006	0,005	0,004	0,130
ES064MSPF000134990	RIO CORUMBEL I (2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
ES064MSPF000135000	RIVERA DE CASA VALVERDE	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,003	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023
ES064MSPF000135010	BARRANCO DE MANZANITO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013
ES064MSPF000135020	RIVERA DEL COLADERO	0,000	0,000	0,001	0,001	0,007	0,005	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022
ES064MSPF000135030	RIVERA DEL JARRAMA I	0,000	0,000	0,004	0,023	0,022	0,032	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,084
ES064MSPF000135041	RIVERA DE MECA I	0,002	0,001	0,047	0,058	0,009	0,018	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,136
ES064MSPF000135042	RIVERA DEL ASERRADOR	0,001	0,000	0,016	0,020	0,003	0,006	0,001	0	0	0	0	0	0,046
ES064MSPF000135050	RIO ORAQUE	0,000	0,007	0,105	0,007	0,022	0,014	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,167
ES064MSPF000135060	ARROYO DE LUGOREJO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Código	Nombre	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	TOTAL
ES064MSPF000135070	RIVERA DEL VILLAR	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,004	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016
ES064MSPF000135080	RIVERA DE OLIVARGA I	0,006	0,006	0,055	0,012	0,029	0,026	0,070	0,010	0,003	0,002	0,001	0,002	0,222
ES064MSPF000135090	RIVERA DE OLIVARGA II	0,006	0,008	0,076	0,050	0,065	0,050	0,100	0,010	0,003	0,002	0,001	0,002	0,375
ES064MSPF000135100	RIVERA ESCALADA II	0,005	0,015	0,143	0,146	0,131	0,114	0,093	0,011	0,004	0,002	0,002	0,003	0,667
ES064MSPF000135110	RIVERA ESCALADA I	0,004	0,011	0,137	0,142	0,114	0,105	0,067	0,011	0,004	0,002	0,002	0,003	0,601
ES064MSPF000135120	BARRANCO DE LOS CUARTELES	0,001	0,000	0,004	0,025	0,004	0,039	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,090
ES064MSPF000135130	RIVERA DE SANTA EULALIA	0,013	0,036	0,241	0,128	0,086	0,116	0,083	0,032	0,020	0,012	0,008	0,013	0,788
	SALIDA EMB. ODIEL-PEREJIL	0,013	0,039	0,185	0,080	0,071	0,091	0,080	0,033	0,021	0,019	0,016	0,014	0,661
	SALIDA EMB. CORUMBEL	0,025	0,041	0,043	0,034	0,034	0,036	0,052	0,036	0,008	0,000	0,011	0,000	0,320
	SALIDA EMB. LOS MACHOS	0,075	0,090	0,117	0,103	0,116	0,089	0,105	0,082	0,077	0,072	0,070	0,066	1,063
	SALIDA EMB. EL SANCHO	0,063	0,065	0,168	0,141	0,124	0,090	0,095	0,056	0,053	0,049	0,048	0,046	0,998
	SALIDA EMB. SOTIEL-OLIVARGAS	0,006	0,008	0,078	0,053	0,072	0,058	0,132	0,010	0,003	0,003	0,003	0,002	0,428
	SALIDA EMB. JARRAMA	0,000	0,000	0,005	0,035	0,034	0,039	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,121
	SALIDA EMB. PIEDRAS	0,028	0,033	0,050	0,037	0,046	0,034	0,042	0,030	0,028	0,026	0,026	0,024	0,405
ES064MSPF004400130	RIO TINTO	0,143	0,220	0,734	0,382	0,278	0,517	0,467	0,254	0,183	0,175	0,158	0,138	3,648
ES064MSPF004400140	RIVERA DEL JARRAMA II	0,000	0,000	0,005	0,039	0,040	0,042	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,134

Tabla nº 21. Régimen de caudales ecológicos mínimos (hm³/mes) en situación ordinaria

Código	Nombre	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	TOTAL
ES064MSPF000119450	ARROYO DE GIRALDO	0,041	0,045	0,063	0,048	0,047	0,053	0,062	0,058	0,057	0,052	0,050	0,043	0,619
ES064MSPF000119460	RIVERA CACHAN	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ES064MSPF000119470	ARROYO DEL GALLEGO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
ES064MSPF000119480	ARROYO DE LA GALPEROSA	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
ES064MSPF000119490	ARROYO DEL CARRASCO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ES064MSPF000119500	ARROYO DE CLARINA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ES064MSPF000119510	RIVERA DE OLIVARGA III	0,002	0,004	0,023	0,030	0,032	0,033	0,049	0,007	0,003	0,001	0,001	0,002	0,188
ES064MSPF000119520	RIVERA SECA II	0,000	0,000	0,001	0,002	0,006	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012
ES064MSPF000119530	RIVERA SECA I	0,000	0,000	0,001	0,002	0,006	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013
ES064MSPF000119540	RIVERA DE MECA II	0,046	0,047	0,145	0,118	0,070	0,078	0,062	0,055	0,047	0,045	0,043	0,046	0,802
ES064MSPF000119550	RIO ODIEL II	0,012	0,014	0,094	0,037	0,049	0,062	0,055	0,024	0,020	0,012	0,008	0,013	0,401
ES064MSPF000119560	ARROYO DE VALDEHOMBRE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ES064MSPF000119570	ARROYO DE JUAN GARCIA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
ES064MSPF000119580	RIO CORUMBEL II	0,022	0,026	0,040	0,030	0,031	0,033	0,033	0,031	0,000	0,000	0,006	0,000	0,252
ES064MSPF000119590	ARROYO DE FUENTIDUEÑA	0,019	0,021	0,027	0,022	0,021	0,024	0,028	0,026	0,020	0,013	0,013	0,011	0,245
ES064MSPF000134890	ARROYO TARIQUEJO	0,071	0,072	0,085	0,084	0,081	0,078	0,079	0,078	0,077	0,075	0,072	0,068	0,920
ES064MSPF000134900	ARROYO DEL MEMBRILLO (1)	0,015	0,015	0,025	0,020	0,017	0,020	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,131

Código	Nombre	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	TOTAL
ES064MSPF000134900	ARROYO DEL MEMBRILLO (2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ES064MSPF000134900	ARROYO DEL MEMBRILLO (3)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ES064MSPF000134910	RIO ODIEL I	0,012	0,014	0,081	0,037	0,048	0,052	0,055	0,023	0,020	0,012	0,008	0,013	0,376
ES064MSPF000134920	RIO ODIEL III	0,024	0,029	0,222	0,096	0,108	0,124	0,112	0,047	0,039	0,025	0,017	0,025	0,866
ES064MSPF000134930	RIO ODIEL IV	0,097	0,122	0,633	0,395	0,415	0,797	0,451	0,169	0,131	0,109	0,092	0,088	3,501
ES064MSPF000134960	RIVERA DE NICOBA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
ES064MSPF000134970	ARROYO DE CANDON	0,009	0,011	0,015	0,011	0,011	0,013	0,015	0,013	0,006	0,004	0,004	0,004	0,114
ES064MSPF000134980	ARROYO DEL HELECHOSO	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012
ES064MSPF000134990	RIO CORUMBEL I (1)	0,007	0,010	0,015	0,011	0,010	0,012	0,011	0,010	0,007	0,006	0,005	0,004	0,109
ES064MSPF000134990	RIO CORUMBEL I (2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
ES064MSPF000135000	RIVERA DE CASA VALVERDE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
ES064MSPF000135010	BARRANCO DE MANZANITO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
ES064MSPF000135020	RIVERA DEL COLADERO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007
ES064MSPF000135030	RIVERA DEL JARRAMA I	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020
ES064MSPF000135041	RIVERA DE MECA I	0,001	0,000	0,022	0,019	0,003	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,052
ES064MSPF000135042	RIVERA DEL ASERRADOR	0,000	0,000	0,007	0,006	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018
ES064MSPF000135050	RIO ORAQUE	0,000	0,001	0,018	0,001	0,001	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027

Código	Nombre	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	TOTAL
ES064MSPF000135060	ARROYO DE LUGOREJO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ES064MSPF000135070	RIVERA DEL VILLAR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
ES064MSPF000135080	RIVERA DE OLIVARGA I	0,002	0,002	0,016	0,006	0,009	0,017	0,029	0,005	0,003	0,002	0,001	0,002	0,095
ES064MSPF000135090	RIVERA DE OLIVARGA II	0,002	0,003	0,023	0,029	0,027	0,031	0,041	0,006	0,003	0,002	0,001	0,002	0,169
ES064MSPF000135100	RIVERA ESCALADA II	0,003	0,006	0,083	0,070	0,067	0,063	0,033	0,007	0,004	0,002	0,002	0,002	0,342
ES064MSPF000135110	RIVERA ESCALADA I	0,002	0,005	0,079	0,068	0,060	0,052	0,028	0,007	0,004	0,002	0,002	0,002	0,310
ES064MSPF000135120	BARRANCO DE LOS CUARTELES	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009
ES064MSPF000135130	RIVERA DE SANTA EULALIA	0,012	0,014	0,127	0,058	0,055	0,059	0,057	0,023	0,019	0,012	0,008	0,012	0,457
	SALIDA EMB. ODIEL-PEREJIL	0,012	0,014	0,094	0,037	0,049	0,062	0,055	0,024	0,020	0,012	0,008	0,013	0,401
	SALIDA EMB. CORUMBEL	0,022	0,026	0,040	0,030	0,031	0,033	0,033	0,031	0,000	0,000	0,006	0,000	0,252
	SALIDA EMB. LOS MACHOS	0,064	0,064	0,098	0,094	0,091	0,085	0,084	0,078	0,068	0,066	0,064	0,060	0,917
	SALIDA EMB. EL SANCHO	0,046	0,047	0,145	0,118	0,070	0,078	0,062	0,055	0,047	0,045	0,043	0,046	0,802
	SALIDA EMB. SOTIEL-OLIVARGAS	0,002	0,003	0,023	0,030	0,032	0,033	0,049	0,006	0,003	0,001	0,001	0,002	0,185
	SALIDA EMB. JARRAMA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,014	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025
	SALIDA EMB. PIEDRAS	0,023	0,023	0,040	0,035	0,035	0,032	0,031	0,029	0,025	0,024	0,023	0,022	0,341
ES064MSPF004400130	RIO TINTO	0,131	0,138	0,355	0,167	0,226	0,482	0,246	0,188	0,179	0,155	0,150	0,125	2,543
ES064MSPF004400140	RIVERA DEL JARRAMA II	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,014	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026

Tabla nº 22. Régimen de caudales ecológicos mínimos (hm³/mes)



6.1.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE 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 la ictiofauna 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 analizaron dos métodos diferentes. El primero se basa en el caudal máximo según los datos obtenidos en la modelización de hábitats, y en el segundo se utiliza la metodología empleada en la IPHA, que se basa en el análisis hidrológico de la serie de estudio.

6.1.3.1 CAUDALES MÁXIMOS EN FUNCIÓN DE LA MODELIZACIÓN DE HÁBITATS

El modelo hidráulico que se empleó en el estudio es unidimensional, y por ello se adaptó la metodología aplicada. El procedimiento llevado a cabo consistió, para un rango de caudales, en 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 modelización de hábitats, y considerando que en periodos continuados el flujo del río va aproximándose a la situación ideal de régimen permanente y uniforme, se estimaron 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 la Tabla nº 23 se muestran los resultados obtenidos.

Subcuenca	Pendientes	Alevín-m ³ /s		Juvenil -m ³ /s		Adulto -m ³ /s	
		n=0,05	n=0,07	n=0,05	n=0,07	n=0,05	n=0,07
Corumbel	4,28/1.000	2,0	3,6	8,0	11,0	7,0	10,0
Jarrama	14,20/1.000	3,6	4,5	11,0	15,0	9,0	12,0
Sotiel	4,17/1.000	1,6	2,4	5,0	8,0	4,0	7,0

Tabla nº 23. Valores orientativos de caudal máximo a desembalsar en los principales embalses del Sistema Tinto, Odiel y Piedras

6.1.3.2 CAUDALES MÁXIMOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Por otra parte, la IPHA 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 propuso 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 Tabla nº 24 se indican los valores de caudal máximo para el período húmedo y seco en los principales embalses de la DHTOP.

Subcuenca	Periodo húmedo (m ³ /s)	Periodo seco (m ³ /s)
Corumbel	9,14	1,21
Jarrama	11,63	3,02
Sotiel	9,67	2,12

Tabla nº 24. Valores orientativos de caudal máximo a desembalsar, según los criterios de la IPHA, en los principales embalses del Sistema Tinto, Odiel y Piedras

Como se puede observar, los valores obtenidos son bajos, debido a la marcada estacionalidad existente en la demarcación, de modo que en los meses del período seco el caudal circulante por los mismos, en régimen natural, sería muy bajo.

Hay que destacar que las masas de agua analizadas se encuentran aguas abajo de embalses en la cuenca del Tinto, Odiel y Piedras, 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

6.1.3.3 DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES MÁXIMOS

Una vez analizados los dos métodos anteriormente comentados, se tomaron como valores representativos, siguiendo el criterio de experto y después de analizar su adecuación a la gestión ordinaria de los diferentes embalses, los obtenidos en función del análisis hidrológico (apartado 6.1.3.2: Tabla nº 24).

6.1.4 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.

En la Tabla nº 25 se presentan 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.

Embalse	Tasa de cambio (m ³ /s/día)	
	Ascendente	Descendente
Corumbel	9,38	2,56
Jarrama	10,81	5,00
Sotiel	10,83	4,34
Corumbel	9,38	2,56

Tabla nº 25. Tasas de cambio en los principales embalses del Sistema Tinto, Odiel y Piedras

6.1.5 CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS

El proceso para la caracterización del régimen de crecidas (caudal generador) en la DHTOP se llevó a cabo por dos métodos diferentes. A continuación, se muestra, de manera resumida, los resultados obtenidos por cada uno de ellos.

6.1.5.1 CÁLCULO DEL CAUDAL GENERADOR. OPCIÓN 1

Tras el análisis previo, se llevó 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 la “Guía para la determinación del régimen de

caudales ecológicos” (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008), se calcula según la siguiente expresión en base a la serie de máximos caudales medios diarios en régimen natural:

$$\frac{Q_{MCO}}{Q_m} = 0.7 + 0.6 \cdot C_v$$

Por tanto, el QMCO ($m^3 \cdot s^{-1}$) se calcula a partir de los valores de la media (Q_m) y del coeficiente de variación (C_v), calculados mediante las siguientes expresiones, respectivamente.

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{n}$$

$$C_v = \frac{\sigma}{Q_m}$$

donde,

- Q_m , es el caudal medio ($m^3 \cdot s^{-1}$)
- C_v , es el coeficiente de variación (adimensional)
- q_i , son los caudales máximos instantáneos de cada uno de los años de la serie ($m^3 \cdot s^{-1}$)
- n , es el número total de años y
- σ , es la desviación típica ($m^3 \cdot s^{-1}$)

Los parámetros obtenidos para cada uno de los tramos, así como el QMCO se muestran en la Tabla nº 26.



	Corumbel	Jarrama	Sotiel-Olivargas
Qm	33,72	39,32	35,04
σ	20,51	22,48	25,43
Cv	0,61	0,57	0,73
QMCO (m³/s)	35,92	41,02	39,79

Tabla nº 26. Estadísticos para el cálculo del caudal de máxima crecida ordinaria

El último paso es la generación del hidrograma de crecida 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 fijaron como tasas de cambio las proporcionadas por el Plan sectorial de caudales de mantenimiento, de la Agencia Catalana del Agua (2006):

$$Q_{t+1}(máx) = 1.8 \cdot Q_t$$

$$Q_{t+1}(mín) = 0.7 \cdot Q_t$$

En la Figura nº 15 y la Figura nº 16 se muestran, a modo de ejemplo, algunos de los hidrogramas estimados para el cumplimiento del régimen de crecidas.



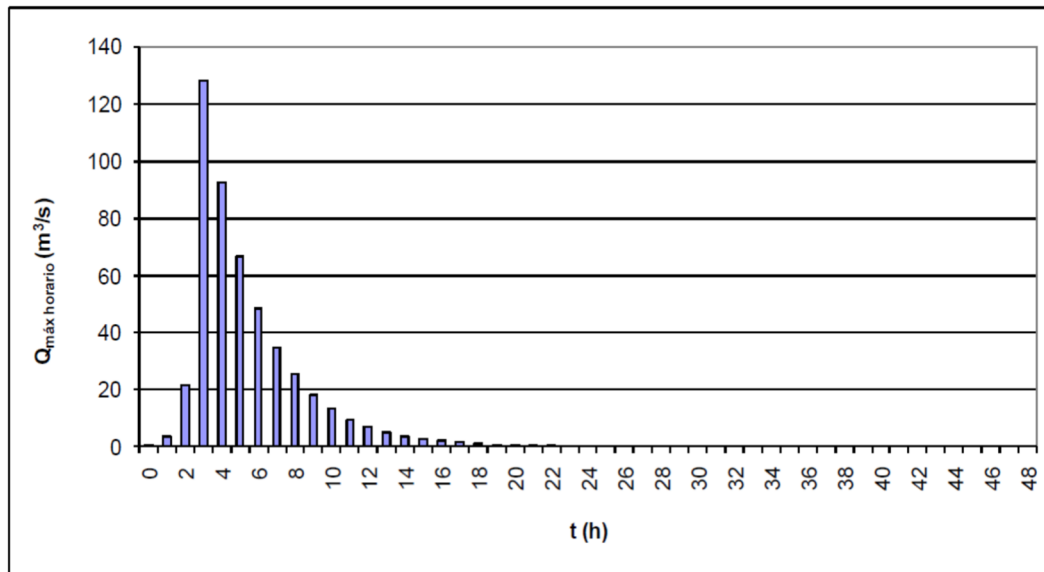


Figura nº 15. Hidrograma de crecida en la cuenca de Jarrama

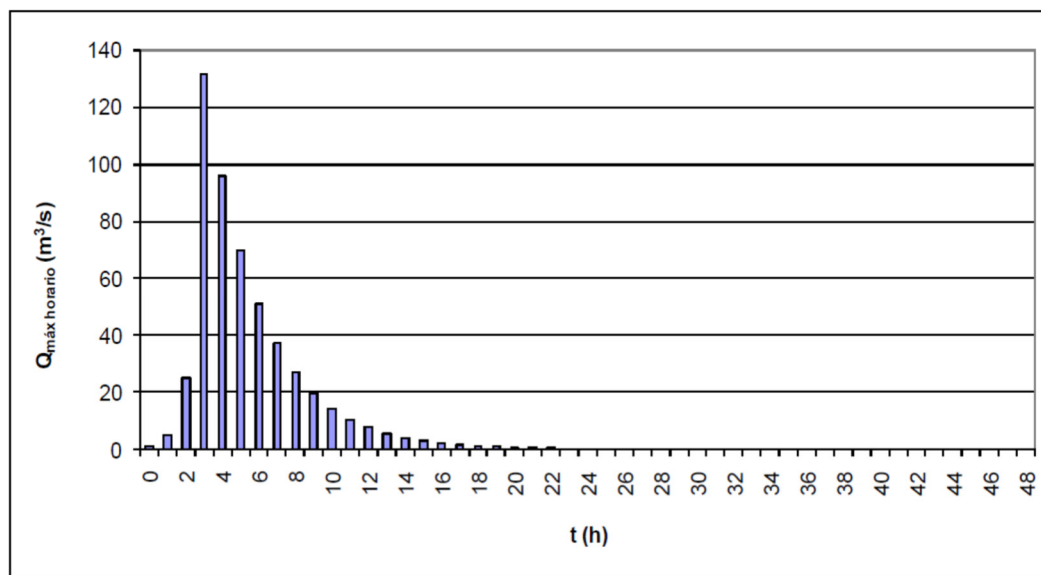


Figura nº 16. Hidrograma de crecida en la cuenca de Sotiel-Olivargas

6.1.5.2 CÁLCULO DEL CAUDAL GENERADOR. OPCIÓN 2.

La caracterización del régimen de crecidas para los tramos de estudio se realizó 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 4 del TRLA, 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 IPHA 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 IPHA, se adoptan 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 Tabla nº 27 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 del tramo	Período (10 años) con Media QMax más alta	Caudal (m ³ /s)	Periodo de retorno (T) (años por Gumbel)	Estacionalidad Q Generador
Corumbel	1995-2004	42,07	4,5	Diciembre
Jarrama	1995-2004	44,49	4,3	Diciembre
Sotiel-Olivargas	1995-2004	45,93	4,4	Diciembre

Tabla nº 27. Caracterización del régimen de crecidas y propuesta de caudal generador en los principales embalses del Sistema Tinto, Odiel y Piedras

6.1.5.3 DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS

Una vez analizados los dos métodos anteriormente comentados, se tomaron 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 Opción 2 o IPHA (apartado 6.1.5.2: Tabla nº 27).

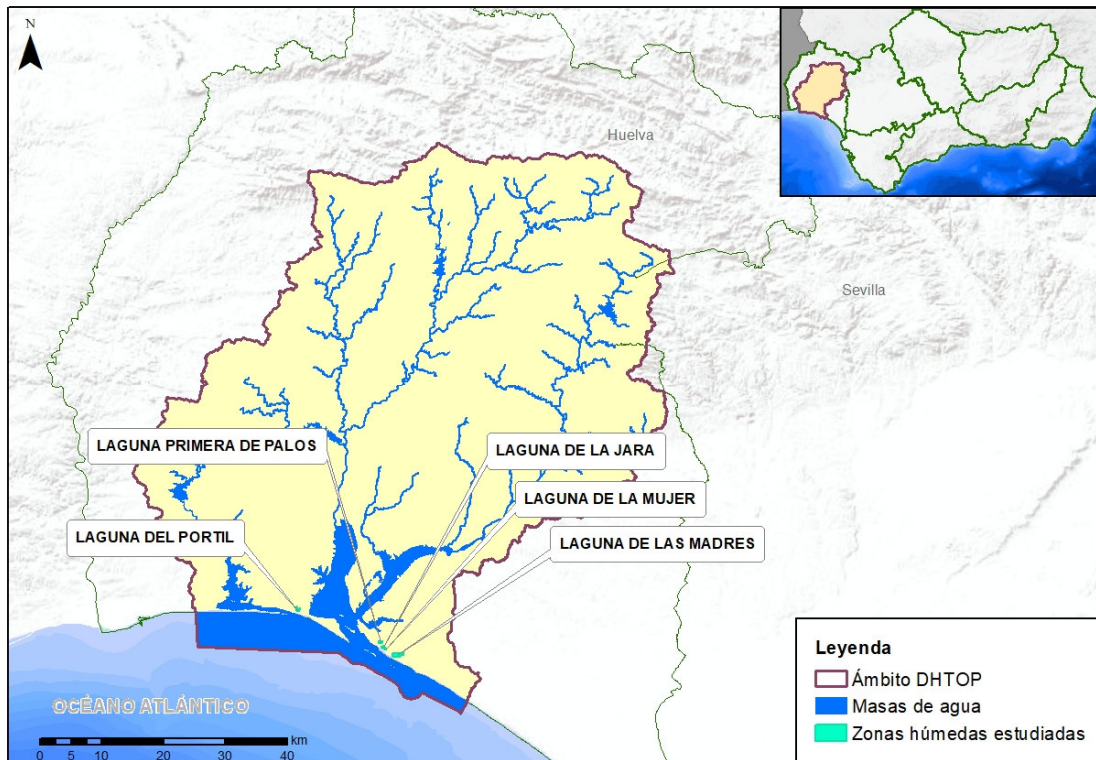
Hay que destacar que el establecimiento del régimen de crecidas tendrá que estar íntimamente ligado a los estudios que realice la Junta de Andalucía en

materia de evaluación de zonas inundables, de modo que el aquí establecido se adecue a la realidad de los sistemas.

6.2 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS

Teniendo en cuenta la cantidad, variedad y complejidad de los humedales, así como el escaso nivel de conocimiento actual y la limitada disponibilidad de información, la determinación de sus necesidades hídricas supone un gran reto difícil de acometer cuando se trata de plazos y recursos limitados.

Se recogen a continuación (Tabla nº 28) los resultados de los trabajos de estimación de los requerimientos hídricos en las 5 zonas húmedas designadas como masas de agua presentes en la DHTOP (Figura nº 17). Estos resultados deben entenderse como que la precipitación caída sobre el lago por sí sola no permite el mantenimiento de la orla de vegetación y lámina de agua, y hace que sean necesarios otros orígenes de recurso como escorrentía superficial o subterránea.



Nótese que esta estimación de requerimientos hídricos permite mantener, con características climáticas de un año medio, la superficie de lámina de agua indicada durante 12 meses para las lagunas permanentes y durante 9 meses para las lagunas temporales.

Los trabajos de detalle se recogen en el Apéndice V.1.



Código	Nombre	Sup. lámina agua (ha)	Sup. vegetación asociada (ha)	Temporalidad	Necesidades hídricas vegetación	Necesidades hídricas lámina de agua	Requerimientos hídricos mantenimiento zona húmeda	Origen requerimientos hídricos	
					(ETR-Pe) (m ³ /año)	(EV-P) (m ³ /año)	(ETR-Pe) +(EV-P) (m ³ /año)	Origen del recurso 1	Origen del recurso 2
ES064MSPF000203720	Laguna de las Madres	54,29	74,37	Permanente	89.787	491.433	581.219	Superficial drenaje cuenca vertiente	Subterránea ES064MSBT000305950 Condado
ES064MSPF000203730	Laguna del Portil	14,54	2,58	Permanente	1.062	130.903	131.966	Superficial drenaje cuenca vertiente	Subterránea ES064MSBT000305940 Lepe - Cartaya
ES064MSPF004400350	Laguna de la Jara	5,28	2,50	Permanente	1.513	47.791	49.304	Superficial drenaje cuenca vertiente	Subterránea ES064MSBT000305950 Condado
ES064MSPF004400360	Laguna de la Mujer	8,43	3,25	Permanente	2.199	76.426	78.625	Superficial drenaje cuenca vertiente	Subterránea ES064MSBT000305950 Condado



Código	Nombre	Sup. lámina agua (ha)	Sup. vegetación asociada (ha)	Temporalidad	Necesidades hídricas vegetación	Necesidades hídricas lámina de agua	Requerimientos hídricos mantenimiento zona húmeda	Origen requerimientos hídricos	
					(ETR-Pe) (m ³ /año)	(EV-P) (m ³ /año)	(ETR-Pe) +(EV- P) (m ³ /año)	Origen del recurso 1	Origen del recurso 2
ES064MSPF004400370	Laguna Primera de Palos	9,98	17,42	Permanente	12.407	89.925	102.333	Superficial drenaje cuenca vertiente	Subterránea ES064MSBT000305950 Condado

Tabla nº 28. Requerimientos hídricos para el mantenimiento de las zonas húmedas

6.3 RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO EN LAS AGUAS DE TRANSICIÓN

Este apartado se incluye un análisis de los diferentes ámbitos estuarinos y zonas de marisma definidas en la DHTOP (Figura nº 18) que, en principio, requerirían un estudio del régimen de caudales ecológicos.



Figura nº 18. Ámbitos estuarinos y zonas de marismas

En primer lugar, se realizó 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 identificaron los aportes de agua dulce que reciben de las masas de agua continentales cada uno de los ámbitos y se estudiaron los datos de salinidad procedentes de las estaciones de control de calidad de las aguas litorales de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.

Por otra parte, se analizó 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 que se sintetiza en la Tabla nº 29:

- En el caso del **río Piedras**, si bien los datos reflejan una dinámica dominante marina, también presenta claramente un gradiente de salinidad hacia la desembocadura. Los principales aportes de agua dulce al estuario provienen del propio Río Piedras, regulado por el embalse de los Machos justo aguas arriba del tramo estuarino, y del arroyo Tariquejo.
- En el **estuario del río Tinto**, el análisis de los valores de salinidad muestra que el gradiente salino es acusado, con valores oligohalinos en el tramo alto y prácticamente salinos en la zona cercana a la

desembocadura. Este estuario, además de los aportes de río Tinto, recibe aportes de agua dulce del arroyo Candón.

- En el **río Odiel**, este gradiente es menos acentuado, lo que indica un alto grado de homogeneización.
- En el tramo donde se unen ambos estuarios (**canal del Padre Santo**), se hace notoria la influencia mareal y los valores analizados son completamente salinos.

Código	Nombre	Modificada regulación	Masa continental aguas arriba	Embalse aguas arriba
ES064MSPF004400260	Embalse de los Machos - Cartaya	Sí	ES064MSPF00206680 Embalse de los Machos ES064MSPF000134890 Arroyo Tariquejo	Embalses de los Machos y del Piedras. El arroyo Tariquejo no está regulado.
ES064MSPF004400250	Cartaya - Puerto de El Terrón	Sí	No	No
ES064MSPF004400240	Puerto de El Terrón - Desembocadura del Piedras	Sí	No	No
ES064MSPF004400330	Río Odiel 1 (Gibraleón)	No	ES064MSPF000134930 Río Odiel IV	Embalse del Sancho, en un tributario de la masa Río Odiel IV
ES064MSPF004400340	Río Odiel 2 (Puerto de Huelva)	No	No	No

Código	Nombre	Modificada regulación	Masa continental aguas arriba	Embalse aguas arriba
ES064MSPF004400310	Río Tinto 3 (San Juan del Puerto)	No	ES064MSPF004400130 Río Tinto ES064MSPF000134970 Arroyo Candón	Sí en el río Tinto. En Arroyo Candón hay dos pequeños embalses que no son masa de agua.
ES064MSPF004400300	Río Tinto 2 (Moguer)	No	ES064MSPF00134960 Rivera de Nicoba	No
ES064MSPF004400290	Río Tinto 1 (Palos de la Frontera)	No	No	No
ES064MSPF004400280	Canal del Padre Santo 2 (Marismas del Odiel-Punta de la Canaleta)	No	No	No
ES064MSPF004400270	Canal del Padre Santo 1	No	No	No
ES064MSPF004400320	Marismas del Odiel	No	No	No

Tabla nº 29. Resumen del análisis de ámbitos estuarinos y zonas de marismas

A la vista de lo anterior, se concluye que todos los ámbitos de transición de la demarcación requerirían un análisis del régimen de caudales ecológicos.

Los modelos necesarios para la definición del régimen de caudales ecológicos, además de altamente complejos, son muy exigentes en cuanto al número de datos que requieren, frecuencia, grado de detalle y exactitud. 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.).

Se propone, por tanto, la recopilación de la información y datos mencionados que permita el correcto desarrollo de las metodologías específicas para la determinación del régimen de caudales ecológicos en los ámbitos de transición señalados. Como ejemplo se puede citar la necesidad de realizar campañas de muestreo de salinidad y temperatura con la frecuencia necesaria en diferentes puntos significativos, ubicación de mareógrafos a lo largo de los estuarios donde se den medidas de marea en continuo, campaña batimétrica para rodar el modelo con una geometría real, etc.

7 PROCESO DE CONCERTACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

La implantación de los caudales ecológicos debe desarrollarse conforme a un proceso específico de concertación que tenga en cuenta los usos y demandas actualmente existentes y su régimen concesional, así como las buenas prácticas, de modo que se puedan conciliar los requerimientos ambientales con los usos dentro de cada masa de agua.

El proceso de concertación del régimen de caudales ecológicos tiene como 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.

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 para la consecución de los objetivos de planificación establecidos en la legislación de aguas, así como las diferentes posibilidades espaciales y temporales que quepa concebir. Necesariamente, en los casos más complejos habrá que llegar a negociaciones directas con los agentes involucrados, tanto de forma sectorial como en un tratamiento conjunto.

Durante el ciclo de planificación hidrológica 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 fueron las salidas de los embalses analizados en el apartado 6.1.1 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.

El proceso de concertación del régimen de caudales ecológicos se resume en el Anejo 11 (Participación Pública) del Plan Hidrológico del ciclo 2009-2015.

8 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. Es necesario analizar cada caso concreto, pues la casuística es muy diversa.

Las principales afecciones se derivarán de los caudales mínimos, aunque también procederán de los máximos y de limitaciones en las tasas de cambio, y pueden producirse en un uso consuntivo o en uno no consuntivo.

En algunos casos estas afecciones serán limitadas y podrán ser aceptadas por los usuarios dentro del proceso de concertación, con lo que no existirá problema alguno. En otros casos, aquellos usos caracterizados por una demanda determinada, como el riego, el abastecimiento, etc., sufrirán una



afección de cierta entidad, pudiendo originarse una disminución de mayor o menor cuantía en la garantía de satisfacción de dicha demanda.

También existen otros usos, por ejemplo, la producción de energía hidroeléctrica, en los que sólo en contados períodos el caudal aprovechado se acerca al máximo concedido. En estas situaciones, la imposición de caudales ecológicos no compatibles con el uso preexistente originará una afección al reducir el volumen de agua aprovechado.

Por ello, cuando existan afecciones de cierta magnitud, se deberá llevar a cabo un tratamiento singular de cada caso para intentar llegar a una solución viable y de general aceptación.

En el Anejo VI (Asignación y reservas de recursos a usos) del presente Plan Hidrológico se comprueban los efectos que tiene la implantación del régimen de caudales ecológicos sobre los usos del agua, analizando la repercusión en los niveles de garantía de las unidades de demanda afectadas y la disponibilidad de caudales y compatibilidad con los usos existentes, utilizando modelos de simulación.



9 GLOSARIO DE ABREVIATURAS

DHTOP	Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras
DMA	Directiva Marco del Agua
HPU	Hábitat Potencial Útil
IFIM	<i>Instream Flow Incremental Methodology</i>
IPHA	Instrucción de Planificación Hidrológica para las Demarcaciones Intracomunitarias de Andalucía
PES	Plan Especial de Actuación en Situación de Alerta y Eventual Sequía
PHN	Plan Hidrológico Nacional
QBM	Caudal Básico de Mantenimiento
RDPH	Reglamento de Dominio Público Hidráulico
RPH	Reglamento de Planificación Hidrológica
RVA	<i>Range of Variability Approach</i>
TRLA	Texto Refundido de la Ley de Aguas
ZEC	Zona Especial de Conservación
ZEPA	Zona de Especial Protección para las Aves

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Catalana del Agua (2006). Plan sectorial de caudales de mantenimiento.

Costa, M.J., J.M. Gomes, A. Bruxelas & M.I. Domingos (1988). *Efeitos previsíveis da construção da barragem de Alqueva sobre a ictiofauna do rio Guadiana*. Revista de Ciencias Agrarias, XI(4): 143-163.

Herrero J., A. Millares, C. Aguilar, A. Díaz, M.J. Polo, M.A. Losada (2011). WiMMed. Base teórica. Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales. Universidad de Granada. Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología. Universidad de Córdoba.

Martinez-Capel, F. (2000). Preferencias de microhábitat de *Barbus bocagei*, *Chondrostoma polylepis* y *Leuciscus pyrenaicus* en la cuenca del río Tajo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008). Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos. Borrador sin publicar.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2009). Inventario Nacional de Biodiversidad.

Palau, A., J. Alcázar, C. Alcácer & J. Roi (1998). Metodología de cálculo de regímenes de caudales y mantenimiento. Informe técnico para el CEDEX. Ministerio de Medio Ambiente.



Richter B.D., J.V. Baumgartner, R. Wigington & D.P. Braun (1997). *How much water does a river need?* Freshw. Biol. 37:231–249.





Unión Europea
Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



Junta de Andalucía