

Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero Revisión de tercer ciclo (2022-2027)

ANEJO 4 CAUDALES ECOLÓGICOS

APÉNDICE I. METODOLOGÍA EMPLEADA

OCTUBRE 2022

Confederación Hidrográfica del Duero O.A.



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	7
2.	REVISIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES EN EL III CICLO	8
3.	RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN RÍOS PERMANENTES	9
3.1	Distribución temporal de caudales mínimos	9
3.1.1	Métodos hidrológicos	9
3.1.2	Métodos hidrobiológicos	17
3.1.3	Resultados hidrobiológicos	37
3.2	Distribución temporal de caudales máximos	39
3.2.1	Capacidad natatoria de la ictiofauna	40
3.2.2	Procedimiento para la determinación de los caudales máximos	40
3.3	Tasa de cambio y régimen de crecidas	46
3.3.1	Caracterización del régimen de crecidas	46
3.3.2	Magnitud	47
3.3.3	Número de eventos a estudiar	48
3.3.4	Tasas de cambio	48
3.3.5	Duración del evento	50
3.3.6	Estacionalidad	50
4.	RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN RÍOS TEMPORALES O EFÍMEROS	53
4.1	Estudio “Caracterización de las masas de agua no permanentes de la Confederación Hidrográfica del Duero”	53
4.2	Periodos de cese considerados	62
5.	MASAS DE AGUA MUY ALTERADAS HIDROLÓGICAMENTE	71
6.	RÉGIMEN EN SEQUÍAS PROLONGADAS	74
7.	REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAS MASAS DE AGUA LAGO	75
7.1	Introducción	75
7.2	Análisis de la temporalidad y origen de la alimentación	75
7.3	Metodología de la superficie encharcada	80
7.3.1	Corrección radiométrica	84
7.3.2	Corrección atmosférica	85
7.3.3	Índice de Diferencia de Agua Normalizado Modificado (MDWI)	86
7.3.4	Edición cartográfica temática	89
7.4	Datos de partida para el análisis de la superficie encharcada	89
7.5	Resultados del análisis de la superficie encharcada	95
7.5.1	Masa 101101. Lago de Sanabria	103
7.5.2	Masa 101102. Salina Grande	104
7.5.3	Masa 101103. Laguna de Barillos	105
7.5.4	Masa 101104. Laguna de Lacillos	106
7.5.5	Masa 101105. Laguna de Sotillo	107
7.5.6	Masa 101106. Laguna Grande de Gredos	108
7.5.7	Masa 101107. Laguna de las Salinas	109
7.5.8	Masa 101108. Laguna de Boada de Campos	110
7.5.9	Masa 101109. Laguna de Cárdena	111
7.5.10	Masa 101110. Laguna de La Nava de Fuentes	112

7.5.11Masa 101111. Laguna del Barco.....	113
7.5.12Masa 101112. Laguna del Duque	114
7.5.13Masa 101113. Laguna de la Fuente.....	115
7.5.14Masa 101114. Laguna de Villardón	116
7.6 Afección a la vegetación	116
7.7 Revisión de resultados y estimación de requerimientos hídricos.....	121
7.7.1 Masa 101101. Lago de Sanabria.....	121
7.7.2 Masa 101102. Salina Grande.....	122
7.7.3 Masa 101103. Laguna de Barillos.....	123
7.7.4 Masa 101104. Laguna de Lacillos	124
7.7.5 Masa 101105. Laguna de Sotillo.....	125
7.7.6 Masa 101106. Laguna Grande de Gredos	126
7.7.7 Masa 101107. Laguna de las Salinas	127
7.7.8 Masa 101108. Laguna de Boada de Campos.....	128
7.7.9 Masa 101109. Laguna de Cárdena	129
7.7.10Masa 101110. Laguna de La Nava de Fuentes	130
7.7.11Masa 101111. Laguna del Barco.....	132
7.7.12Masa 101112. Laguna del Duque	133
7.7.13Masa 101113. Laguna de la Fuente.....	134
7.7.14Masa 101114. Laguna de Villardón	135
7.8 Conclusiones	135
7.9 Bibliografía	139

Índice de tablas

Tabla 1. Relación de caudales demandados por las especies más restrictivas, en función del % de HPU requerido.	38
Tabla 2. Número de escalones y tiempo mínimo a utilizar en la fase de ascenso en función de la diferencia entre el caudal más bajo y el más alto, elaborada para el caso del Genil	49
Tabla 3. Número de escalones y tiempo mínimo a utilizar en la fase de descenso en función de la diferencia entre el caudal más bajo y el más alto, elaborada para el caso del Genil	49
Tabla 4. Número de masas en las categorías TREHS para caudales (Q) y encuestas (enc).	56
Tabla 5. Resumen de resultados de la catalogación final de las masas	57
Tabla 6. Tipos de seguimientos propuestos y número de masas relacionados	58
Tabla 7. Masas seleccionadas como permanentes	59
Tabla 8. Masas seleccionadas como temporales.....	62
Tabla 9. Resultados del ensayo realizado para obtener el porcentaje del Q máximo para la delimitación entre los estados oligorreico y arreico	64
Tabla 10. Propuesta de periodos de cese.....	67
Tabla 11. Meses con mayor probabilidad de cese en las masas estudiadas.....	70
Tabla 12. Temporalidad, origen del recurso y relación con el sistema subterráneo, de las masas lago.....	79
Tabla 13. Años secos, medio y húmedos de cada una de las lagunas para la serie corta (1980/81-2017/18)	82
Tabla 14. Imágenes Landsat utilizadas por fecha, estación, año y tipo de sensor	93
Tabla 15. Resultado de superficies de agua calculada con teledetección (años secos)	100
Tabla 16. Resultado de superficies de agua calculada con teledetección (años medios)	101
Tabla 17. Resultado de superficies de agua calculada con teledetección (años húmedos).....	102
Tabla 18. Resultados promedio de la Masa lago 101101 por estación y tipo de año hidrológico	103
Tabla 19. Resultados promedio de la Masa lago 101102 por estación y tipo de año hidrológico	104
Tabla 20. Resultados promedio de la Masa lago 101103 por estación y tipo de año hidrológico	105
Tabla 21. Resultados promedio de la Masa lago 101104 por estación y tipo de año hidrológico	106
Tabla 22. Resultados promedio de la Masa lago 101105 por estación y tipo de año hidrológico	107
Tabla 23. Resultados promedio de la Masa lago 101106 por estación y tipo de año hidrológico	108
Tabla 24. Resultados promedio de la Masa lago 101107 por estación y tipo de año hidrológico	109
Tabla 25. Resultados promedio de la Masa lago 101108 por estación y tipo de año hidrológico	110
Tabla 26. Resultados promedio de la Masa lago 101109 por estación y tipo de año hidrológico	111
Tabla 27. Resultados promedio de la Masa lago 101110 por estación y tipo de año hidrológico	112
Tabla 28. Resultados promedio de la Masa lago 101111 por estación y tipo de año hidrológico	113
Tabla 29. Resultados promedio de la Masa lago 101112 por estación y tipo de año hidrológico	114
Tabla 30. Resultados promedio de la Masa lago 101113 por estación y tipo de año hidrológico	115
Tabla 31. Resultados promedio de la Masa lago 101114 por estación y tipo de año hidrológico	116
Tabla 32. Afecciones a la vegetación en función de la superficie del lago de Sanabria. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011	117
Tabla 33. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna del Barco. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011	118
Tabla 34. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna del Duque. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011	118
Tabla 35. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna de Cárdena. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011	119
Tabla 36. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna de Boada. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011	119
Tabla 37. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna de la Nava de Fuentes. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011	119

Tabla 38. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna de la Nava de Fuentes. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011	120
Tabla 39. Resultados promedio de la Masa lago 101101 por estación y tipo de año hidrológico	121
Tabla 40. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101101 por estación	121
Tabla 41. Resultados promedio de la Masa lago 101102 por estación y tipo de año hidrológico	122
Tabla 42. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101102 por estación	122
Tabla 43. Resultados promedio de la Masa lago 101103 por estación y tipo de año hidrológico	123
Tabla 44. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101102 por estación	123
Tabla 45. Resultados promedio de la Masa lago 101104 por estación y tipo de año hidrológico	124
Tabla 46. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101104 por estación	124
Tabla 47. Resultados promedio de la Masa lago 101105 por estación y tipo de año hidrológico	125
Tabla 48. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101105 por estación	125
Tabla 49. Resultados promedio de la Masa lago 101106 por estación y tipo de año hidrológico	126
Tabla 50. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101106 por estación	126
Tabla 51. Resultados promedio de la Masa lago 101107 por estación y tipo de año hidrológico	127
Tabla 52. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101107 por estación	127
Tabla 53. Resultados promedio de la Masa lago 101108 por estación y tipo de año hidrológico	128
Tabla 54. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101108 por estación	128
Tabla 55. Resultados promedio de la Masa lago 101109 por estación y tipo de año hidrológico	129
Tabla 56. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101109 por estación	129
Tabla 57. Resultados promedio de la Masa lago 101110 por estación y tipo de año hidrológico	130
Tabla 58. Resultados promedio de la Masa lago 101110 por estación y tipo de año hidrológico, a partir del AH 91/92.....	130
Tabla 59. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101110 por estación	131
Tabla 60. Resultados promedio de la Masa lago 101111 por estación y tipo de año hidrológico	132
Tabla 61. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101111 por estación	132
Tabla 62. Resultados promedio de la Masa lago 101112 por estación y tipo de año hidrológico	133
Tabla 63. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101112 por estación	133
Tabla 64. Resultados promedio de la Masa lago 101113 por estación y tipo de año hidrológico	134
Tabla 65. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101102 por estación	134
Tabla 66. Resultados promedio de la Masa lago 101114 por estación y tipo de año hidrológico	135
Tabla 67. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101102 por estación	135
Tabla 68. Resultados promedio de superficie encharcada (ha) por masa, estación y tipo de año hidrológico ..	137
Tabla 69. Objetivos de superficie inundada de las masas lago, por estación.....	139

Índice de figuras

Figura 1. Esquema del proceso del cálculo del caudal básico	13
Figura 2. Vectores resultantes para Q _{básico} y Caudal media móvil de orden único (Q ₂₁)	14
Figura 3. Representación esquemática de la metodología IFIM	17
Figura 4. Toma de datos de topografía mediante Estación Total.....	21
Figura 5. Toma de datos del cauce mediante ecosonda acoplada a embarcación	22
Figura 6. Método de aforo de las Fajas Verticales	23
Figura 7. Sustrato	24
Figura 8. Detalle de la calibración de los VDF's de una sección (transecto)	27
Figura 9. Detalle de las curvas de gasto de altura-caudal de una sección (transecto)	27
Figura 10. Detalle de la Simulación del perfil longitudinal de la lámina de agua	28
Figura 11. Detalle de la topografía representada en el BED	29
Figura 12. Detalle de la topografía representada en el MESH	29
Figura 13. Detalle del tramo representado en el RIVER 2D	30
Figura 14. Ejemplo Curvas HPU/Q para un río modelo	36
Figura 15. Ejemplo Curvas HPU/Q para otro cauce	37
Figura 16. Ejemplo de curvas de %HPU/Q de las especies y estadios más restrictivos de un tramo.....	38
Figura 17. Coeficientes de variación del CEDEX	47
Figura 18. Selección de eventos	48
Figura 19. Categorías de resultados en función del diagrama ternario TREHS	55
Figura 20. Masas no permanentes y masas permanentes, según la clasificación final	58
Figura 21. Ejemplo de distribución de estados acuáticos en función de la frecuencia de excedencia	63
Figura 22. Mese de cese propuestos para las masas	67
Figura 23. Rasgos más destacados de los dos métodos propuestos	72
Figura 24. Síntesis del criterio P-IAHRIS.....	72
Figura 25. Imágenes resultado del corte de escenas con los cuadrantes de la zona de estudio. Ejemplo verano de 1992	83
Figura 26. Escena sin correcciones. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001).....	84
Figura 27. Imagen con corrección radiométrica. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)	85
Figura 28. Imagen con corrección atmosférica. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)	86
Figura 29. Imagen resultado de aplicar el índice MNDWI en blancos y negros. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)	87
Figura 30. Imagen resultado de aplicar el índice MNDWI con un Raster Color Slice. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001).....	87
Figura 31. Imagen aplicado el índice MNDWI con un Raster Color Slice, los valores positivos corresponden a agua. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001).....	88
Figura 32. Imagen aplicado el índice MNDWI con un Raster Color Slice, dónde ya se han excluido los valores negativos creando una sola clase agua. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001).....	88
Figura 33. Imagen resultado de aplicar el índice MNDWI, en color azul se puede ver los cuerpos de agua. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)	89
Figura 34. Escenas Landsat y cuadrantes de la zona de estudio	94
Figura 35. Resultado del histograma tras aplicar el MNDWI, se observa una tendencia plana en los valores positivos que coinciden con el agua	96

Figura 36. Resultado del histograma tras aplicar el MNDWI, se observa una tendencia plana en los valores positivos que coinciden con el agua	96
Figura 37. Resultado del histograma tras aplicar el MNDWI, se observa una tendencia plana en los valores positivos que coinciden con el agua y la nieve	97
Figura 38. Resultado del histograma tras aplicar el MNDWI, se observan anomalías en los valores positivos provocadas posiblemente por nubes y nieve	97
Figura 39. Secuencia de imágenes correspondientes a la corrección atmosférica, cálculo del índice MNDWI y selección de valores positivos, se observa que tras aplicar el índice se toman como valores positivos zonas con nieve, además se produce un vacío de información en cuerpos de agua como el Lago de Sanabria	98
Figura 40. Resultado tras aplicar el MNDWI, en este caso se observan cuerpos de agua consistentes a excepción del Lago de Sanabria en el que se observan vacíos de información o píxeles perdidos (07/10/2000).....	98
Figura 41. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101101 (ha/estación).....	103
Figura 42. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101102 (ha/estación).....	104
Figura 43. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101103 (ha/estación).....	105
Figura 44. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101104 (ha/estación).....	106
Figura 45. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101105 (ha/estación).....	107
Figura 46. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101106 (ha/estación).....	108
Figura 47. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101107 (ha/estación).....	109
Figura 48. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101108 (ha/estación).....	110
Figura 49. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101109 (ha/estación).....	111
Figura 50. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101110 (ha/estación).....	112
Figura 51. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101111 (ha/estación).....	113
Figura 52. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101112 (ha/estación).....	114
Figura 53. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101113 (ha/estación).....	115
Figura 54. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101114 (ha/estación).....	116

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente documento es describir la metodología seguida para la revisión de los caudales ecológicos mínimos y máximos, definidos en el PHD vigente, realizada en el tercer ciclo de planificación. Concretamente, en base a la actualización de la geometría de masas de agua llevada a cabo y de las aportaciones ampliadas al año 2017/2018 se ha revisado el régimen de caudales ecológicos vigentes, con el objetivo de validar lo especificado en el II ciclo de planificación o detectar posibles incoherencias con la nueva delimitación de masas o con las nuevas aportaciones estimadas.

En este apéndice también se describe la metodología utilizada en la propuesta de caudales mínimos, máximos y caudales generadores en la cuenca del Duero, llevada a cabo en el II ciclo de planificación (2016-2021) y que se ha mantenido en el III ciclo, sirviendo de documentación complementaria a la que se presenta en el Anejo 4 de caudales ecológicos. En concreto se han realizado estudios para la caracterización del régimen de caudales ecológicos en ríos permanentes y temporales, contemplado:

- Distribución temporal de caudales mínimos, independizando si se trata de ríos permanentes o no, ya que la metodología es diferente.
- Distribución temporal de caudales máximos.
- Tasa de cambio aceptable del régimen de caudales respecto al régimen de crecidas, incluyendo caudal punta, duración y tasa de ascenso y descenso, así como la identificación de la época del año más adecuada desde el punto de vista ambiental.
- Régimen que se debe aplicar cuando se sufran sequías prolongadas.

Además se incluye la metodología seguida para determinar los requerimientos hídricos de las masas lago identificadas en la demarcación.

2. REVISIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES EN EL III CICLO

En los trabajos llevados a cabo en el III ciclo, se ha partido del régimen de caudales ecológicos establecido en el PHD vigente, adaptando el mismo a la nueva delimitación de masas de agua y cuencas vertientes llevada a cabo durante la redacción de los Documentos Iniciales de este III ciclo de planificación.

Adicionalmente, se ha tenido en cuenta la actualización del inventario de recursos y, por tanto, de las aportaciones de recursos acumuladas en régimen natural descritas en el Anejo 02: Inventario de recursos hídricos naturales, elaborado para este III ciclo.

En base a esta nueva actualización de masas y aportaciones se ha revisado el régimen de caudales ecológicos mínimos y máximos vigentes, con el objetivo de validar lo especificado en el II ciclo de planificación o detectar posibles incoherencias con la nueva delimitación de masas o con las nuevas aportaciones estimadas.

En el **apéndice II** del presente anejo se incluye el estudio mediante el que se han identificado las masas de agua en las que ha sido necesario modificar su régimen de caudales respecto al II ciclo de planificación.

3. RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN RÍOS PERMANENTES

El régimen de caudales ecológicos incluye los siguientes componentes:

- a) 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.
- b) 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.
- c) Distribución temporal de los anteriores caudales mínimos y máximos, con el objetivo de establecer una variabilidad temporal del régimen de caudales que sea compatible con los requerimientos de los diferentes estadios vitales de las principales especies de fauna y flora autóctonas presentes en la masa de agua.
- d) 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.
- e) 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.

Como paso inicial evidente, se ha procedido a la clasificación de las masas conforme a los criterios de la IPH y de la “Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Mínimos”. Así se han podido clasificar las masas como permanentes (*cursos fluviales que en, régimen natural, presentan agua fluyendo, de manera habitual, durante todo el año en su cauce*) y no permanentes, y dentro de éstas, como: estacionales, temporales y efímeras.

3.1 Distribución temporal de caudales mínimos

Se ha definido un régimen de caudales mínimos con una distribución temporal mensual, a partir de la combinación de métodos hidrológicos e hidrobiológicos (modelación de la idoneidad del hábitat en tramos fluviales representativos de cada masa) en las masas con estudio de campo. En el resto de las masas sólo se dispone del correspondiente estudio hidrológico.

3.1.1 Métodos hidrológicos

Es el grupo más simple de metodologías para estimar los caudales ambientales. Utilizan los registros históricos de caudal (datos diarios y mensuales) para derivar directamente de ellos las recomendaciones de caudales de mínimos mediante el estudio de medias, percentiles, etc.

Estos estudios hidrológicos se realizan tanto en el final de cada masa como en el punto de campo de aquellas masas en las que se han aplicado además métodos hidrobiológicos.

Tal y como establece la IPH, los métodos hidrológicos para obtener la distribución temporal de caudales mínimos se han basado en alguno de los siguientes criterios, diferenciándose al menos dos periodos hidrológicos homogéneos, que en el caso del presente estudio, ha sido una diferenciación mensual:

- La definición de variables de centralización móviles anuales de orden único, identificadas por su significación hidrológica (21 y 25 días consecutivos, por ejemplo), o de orden variable, con la finalidad de buscar discontinuidades del ciclo hidrológico. Para la detección de medidas de centralización de orden variable, se ha utilizado el método del caudal básico, basado en la metodología desarrollada por A. Palau y colaboradores (media móvil de 100 días).
- La definición de percentiles entre el 5 y el 15% a partir de la curva de caudales clasificados, que permitirán definir el umbral habitual del caudal mínimo.

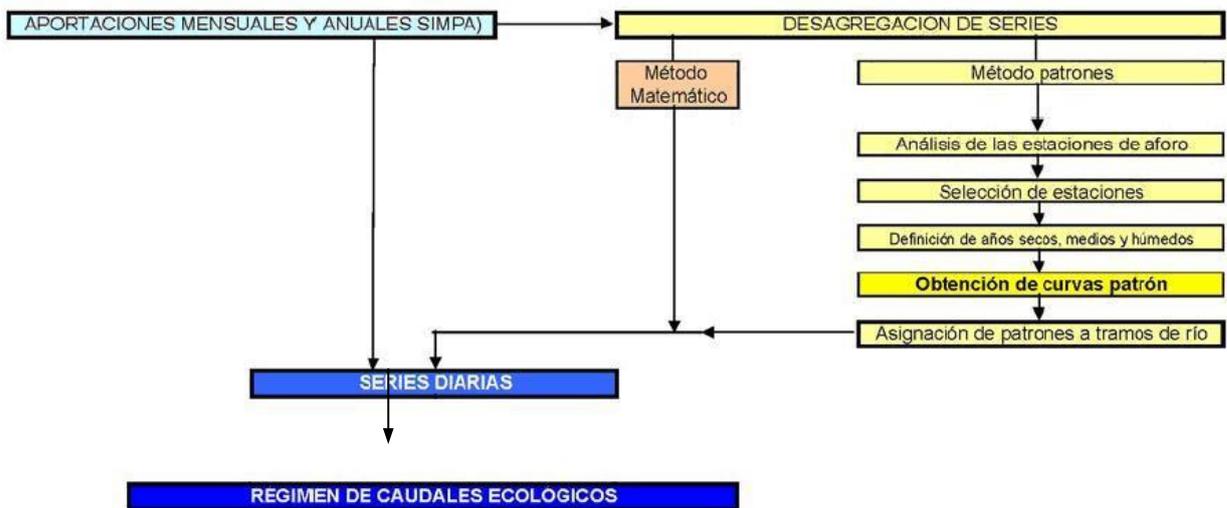
Se ha trabajado a partir de caudales medios naturales restituidos a escala diaria, obtenidos de la desagregación de los datos naturales mensuales procedentes del modelo precipitación/aportación SIMPA 2 realizado por el CEDEX. La serie sobre la que se ha trabajado para caudales mínimos es la serie corta del Plan de II ciclo.

Obtención de series de caudales naturales diarios

Aunque algunos métodos hidrológicos pueden basarse en datos mensuales, la mayoría necesita de datos de caudales naturales diarios, siendo por tanto necesaria la desagregación de los datos mensuales a diarios, lo que puede entenderse como la primera de las verdaderas etapas de trabajo, de la cual se obtendrán los resultados para los distintos aspectos a tratar. Así, para cada masa en estudio se ha buscado y aplicado una serie de patrones de distribución diarios correspondiente a la estación de control en régimen natural (o casi), situada en las proximidades y que tenga una serie de datos lo más amplia posible.

De este modo, las series mensuales naturales, se han multiplicado por el correspondiente coeficiente adimensional diario, con lo cual, las series resultantes tienen exactamente el mismo patrón temporal que la serie de la cual se obtuvieron dichos coeficientes. Es decir, ambas distribuciones estadísticas tienen el mismo parámetro de forma aunque el de escala será diferente, pero la autocorrelación temporal será idéntica.

La desagregación se ha realizado tanto para la serie larga, como para la serie corta del Plan de II ciclo.



Los resultados de la desagregación son válidos tanto para las masas permanentes como para las no permanentes.

Métodos derivados de la selección de percentiles (Qp5 y Qp15)

Según la IPH, uno de los métodos hidrológicos que pueden ser empleados es la definición de percentiles entre el 5 y 15 % a partir de la curva de caudales clasificados, que permitan definir el umbral habitual del caudal mínimo, tomando una serie de al menos 20 años. Se ha trabajado a nivel diario con una serie de datos de la serie corta del Plan de II ciclo

La definición de un percentil, habitualmente situado entre el 5 y el 15% a partir de la curva de caudales clasificados, permite definir el umbral habitual del caudal mínimo a establecer para la determinación de un régimen ambiental de caudales.

Método del Caudal Básico

Está basado en la metodología desarrollada por el CEDEX a través de A. Palau, y colaboradores (Universidad de Lleida). Se trata de un método hidrológico que se ha desarrollado a partir de la idea de que el caudal que circula por un tramo de río (series hidrológicas) es la variable primaria que contiene toda la información necesaria para la organización física y biológica del ecosistema fluvial, y se fundamenta en una serie de cálculos matemáticos realizados en series de aportaciones naturales de periodicidad diaria.

El Caudal Básico (Qb) es el componente fundamental de la metodología, y corresponde al caudal mínimo necesario para que se conserve la estructura y función del ecosistema acuático afectado. Es el caudal mínimo que debe circular en todo momento por el río, aunque no siempre el recomendado por la metodología, como se verá más adelante.

Se deduce del estudio de discontinuidades en la tendencia de variación de los caudales mínimos, obtenidos a partir de series seleccionadas de caudales naturales medios diarios. La base de cálculo son las medias móviles obtenidas a partir de la fórmula:

$$\mu_{p,s}^j = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^{k=s} q_{p+k-1}^j$$

donde “s” es el intervalo escogido de media móvil (varía de 1 a 100), “p” es el número de orden de la media móvil dentro de cada columna de la matriz (varía de 1 a 366 – s) y “j” es el año considerado.

Los datos de partida para el cálculo del Qb son los registros históricos de las series de caudales medios diarios, “qij”, donde “j” son los distintos años considerados e “i” son los días del año y por lo tanto varía de 1 a 365. De esta forma se obtiene una matriz 365 x nº de años de caudales medios diarios.

Sobre cada columna de esta matriz (que responde a cada uno de los años considerados), y empezando por el último año disponible (más actual), se calculan las medias móviles sobre intervalos de orden crecientes (retardos) comenzando en 1 (medias de datos tomados de 1 en 1) hasta un máximo de 100 (medias de datos tomadas de 100 en 100), de tal forma que se obtienen “j” tablas trapezoidales de 100 columnas y un número de filas que va de 365 en la primera columna (medias móviles de orden 1) a 266 en la última columna (medias móviles de orden 100).

De cada una de las columnas se obtiene el valor mínimo, que correspondería al promedio del período de caudales medios mínimos diarios de 1, 2, 3, ..., 100 días consecutivos, y que tiende hacia el caudal medio anual (media móvil de orden 365), siendo por tanto siempre menor que él. Esto se repite para cada uno de los años considerados, y se obtiene una matriz de caudales mínimos de (nº de años) x100 datos.

A partir de la matriz de mínimos, se calculan las medias aritméticas por columnas, obteniéndose una serie de 100 valores (vector vs) sobre el que se calcula el mayor incremento relativo entre cada par de valores consecutivos, siendo el Qb el caudal mayor que define dicho par de valores. A continuación se presenta un esquema orientativo del proceso de cálculo del caudal básico a partir de una matriz inicial de caudales medios diarios de “n” años.

La flexibilidad de esta metodología permite variar, bajo un criterio adecuado, algunos de sus cálculos. Así sucede con la parte final del cálculo del Qb, que puede realizarse, tal y como considera el propio autor, procediendo de la siguiente manera:

En lugar de calcular directamente el vector media en función de la matriz de (nº de años) x100 obtenida, se calculan los incrementos relativos para cada una de las filas de dicha matriz, así como el caudal correspondiente al máximo incremento en cada una de ellas. De esta forma se obtiene un número de caudales mínimos igual al número de años del período de estudio, siendo el Caudal Básico la media de éstos (o, bajo el criterio del hidrólogo, la mediana, el mínimo, el máximo, o cualquier otra función estadística adecuada al régimen natural de caudales del río).

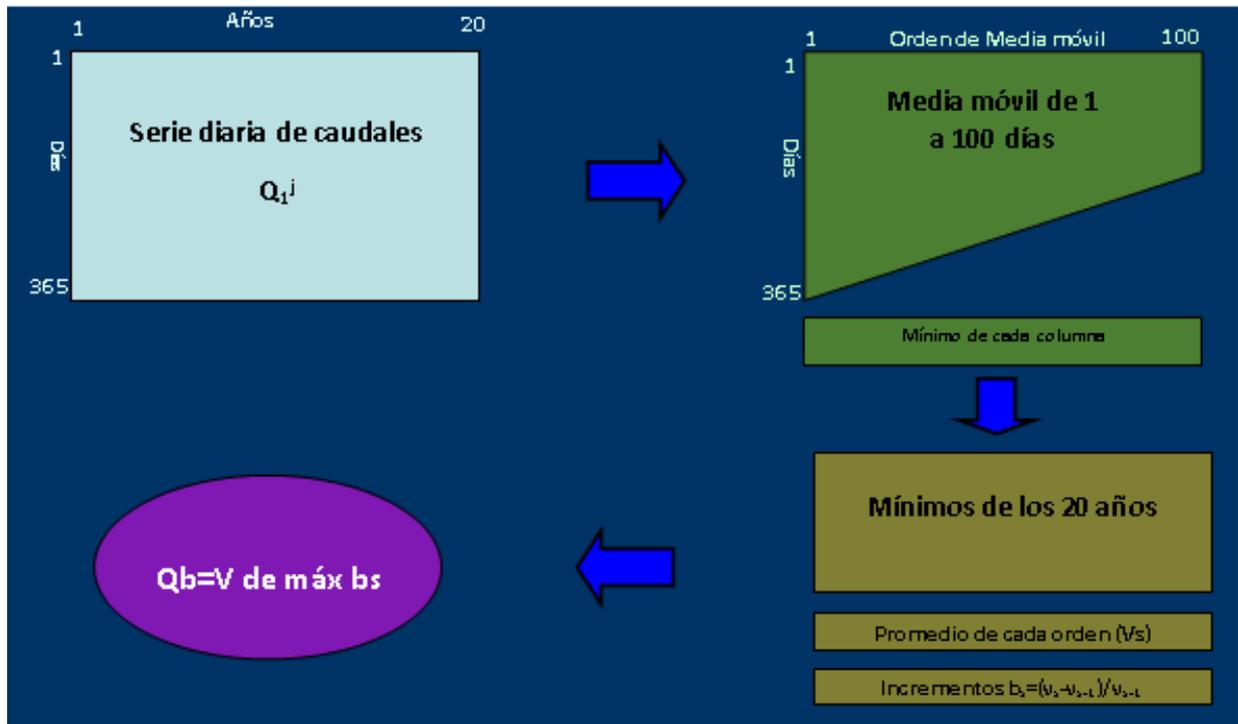


Figura 1. Esquema del proceso del cálculo del caudal básico

El mes en el que se inicien las series de datos tiene mucha importancia para el cálculo del Q_b y puede condicionar el resultado final, ya que si se empieza a mitad de un período de caudales mínimos, éste no quedaría correctamente representado en el cálculo de las medias móviles y podría dar lugar a un cálculo erróneo del Q_b . Por ello para el cálculo del Q_b hay que empezar las series de datos diarios por un mes que no contenga el mínimo caudal medio diario anual, y que tampoco sea el mes con la media mensual de caudales medios diarios más baja.

El caudal mínimo, ya sea el obtenido de aplicar el método del caudal básico o cualquier otro método, hay que transformarlo en un régimen anual. Aunque la IPH permite que se proponga únicamente un caudal de estiaje y otro de aguas altas, las metodologías más usuales proponen series de caudales mensuales que sean proporcionales a los caudales naturales.

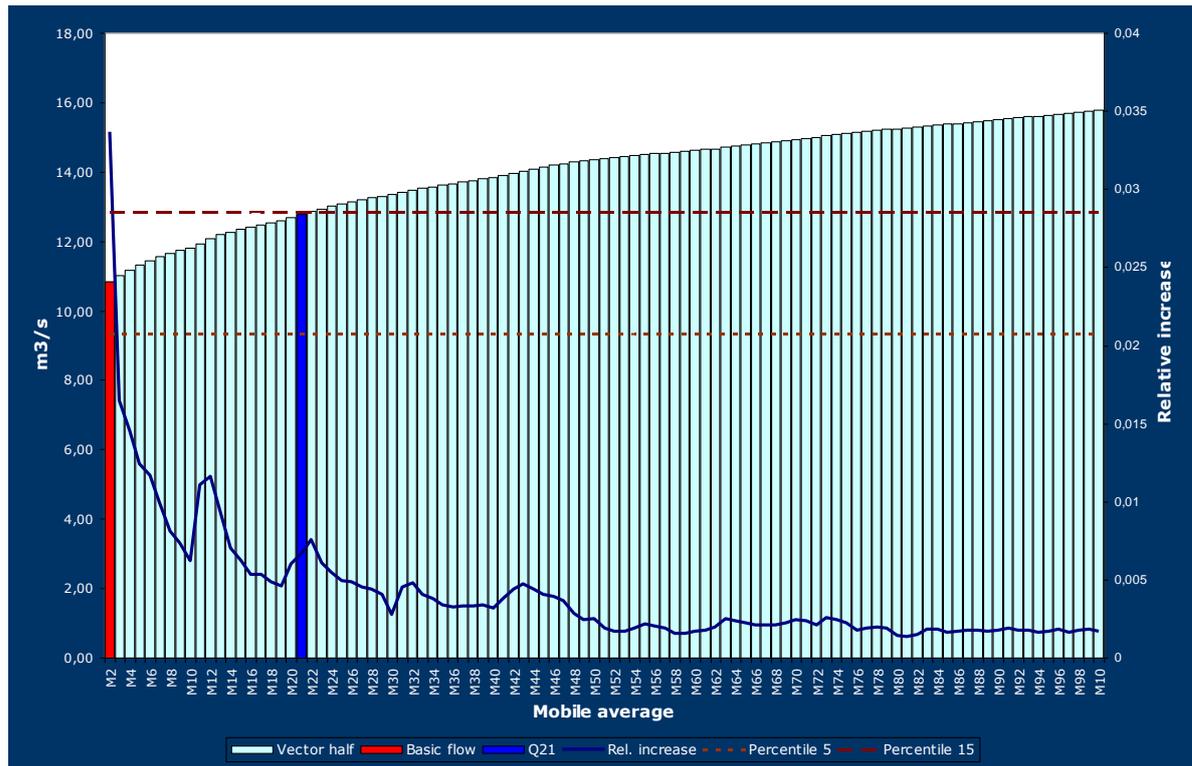


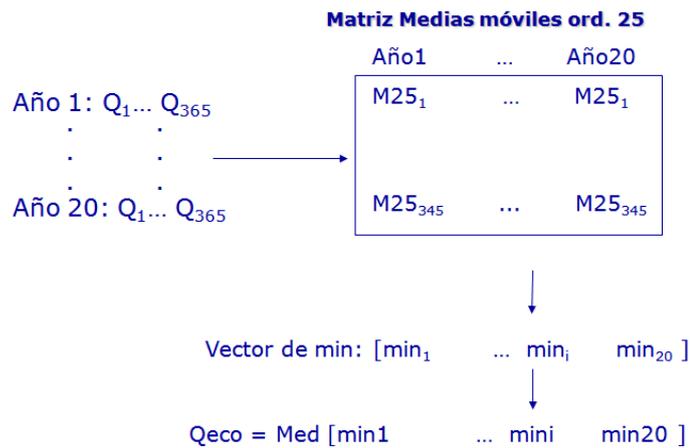
Figura 2. Vectores resultantes para Qbásico y Caudal media móvil de orden único (Q21)

Método de la media móvil de orden 21 y 25

La media móvil de orden 25 es un método estadístico desarrollado en la Escuela de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid bajo la dirección de Diego García Jalón y que representa como caudal ecológico el definido por la media de los caudales medios mínimos correspondientes a 25 días consecutivos, calculada sobre la serie hidrológica seleccionada.

La IPH hace también referencia a la media móvil de orden 21, que se calcula de la misma forma, si bien con un periodo de 21 días consecutivos.

El procedimiento de cálculo queda esquematizado en la siguiente figura, considerando una serie de 20 años.



El factor de variación

El caudal mínimo, ya sea el caudal básico (Qbas) o el correspondiente al Q21 ó Q25, e incluso los obtenidos por métodos hidrobiológicos que se describen más adelante en este documento, hay que convertirlo en un régimen anual. El factor de variación es el encargado de adecuar el régimen de caudales mínimos a las tendencias de variación del hidrograma natural.

La IPH permite que se proponga únicamente un caudal de estiaje y otro de aguas altas, pero las metodologías más usuales proponen series de caudales mensuales que sean proporcionales a los caudales naturales.

Se ha trabajado con distintos factores de variación para ver su repercusión: el propuesto en el método del Caudal Básico, también con su variante de la raíz cúbica en lugar de cuadrada; otro de formulación similar pero basado no en caudales medios mensuales sino en el resultado de los percentiles 15 de cada mes, e incluso con otro que proporciona un rango de variación comprendido entre 1, para el mes de menor caudal y 2 para el de mayor caudal. La formulación de los distintos factores de variación empleados es la siguiente:

Factor Variación 1	Factor Variación 2	Factor Variación 3	Factor Variación 4
$F_{var1} = \sqrt{\frac{Q_i}{Q_{min}}}$	$F_{var2} = \sqrt[3]{\frac{Q_i}{Q_{min}}}$	$F_{var3} = 1 + \sqrt{\frac{Q_i - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}}$	$F_{var4} = \sqrt{\frac{Perc15_i}{Perc15_{min}}}$

Donde “Qi” es el caudal natural del mes “i”, “Qmin” es el caudal natural del mes más seco, “Qmax” es el caudal natural del mes más húmedo. Por su parte, “Perc 15i” es el percentil 15 del mes “i” y “Perc15min” es el percentil 15 de mes más seco.

Por su parte, hay que mencionar mientras los percentiles 5 y 15 a nivel anual se obtienen de toda la serie de datos, los percentiles mensuales se obtienen del cálculo de los datos diarios de cada mes,

con lo que en este caso no se aplican factores de variación, pues la misma sale de la propia variación de la serie.

El factor de variación tiene una gran importancia. En la figura siguiente se aprecia el porcentaje que supone sobre el caudal natural, el régimen de caudales ecológicos que se defina, apreciándose una gran diferencia entre la adopción de uno u de otro. Así si se toma para el Q básico el factor de variación 4, el régimen de caudales supondría un 20% de la aportación anual, mientras que si se adopta el factor de variación 1, dicho porcentaje ascendería a un 32%; es decir, un 12% de diferencia.

La diferencia estriba en la forma de la curva que genera la formulación de dichos factores de variación, más plana al adoptar el factor de variación 4. Es decir, partiendo del mismo caudal mínimo de estiaje, 5,31 m³/s, la amplificación que genera mes a mes una fórmula u otra es muy distinta, dando como resultado un caudal medio anual de 6,29 m³/s con el factor de variación 4, frente a un 10,13 m³/s con el factor de variación 1.

Finalmente conviene decir que aunque los factores de variación se han determinado de forma mensual, podrían realizarse agrupaciones de ellos, por ejemplo de forma estacional.

MEDIA DE CAUDALES (m³/s)

Repercusión sobre aportación natural con FV1 = 32%

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Media anual	% s/Qnat
Q natural	37,23	49,49	56,16	48,78	38,12	37,38	34,90	30,96	15,58	9,57	8,08	5,31	5,31	31,72	100%
Perc 5 *	7,66	7,52	7,12	9,99	9,29	10,81	10,47	8,69	6,72	5,89	5,89	5,31	5,31	7,99	25%
Perc 15 *	9,93	11,59	12,90	11,86	13,79	13,93	14,95	12,53	7,91	7,79	7,79	7,79	7,79	11,06	35%
Factor de variación															
Qaforado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Factor de variación 1															
F var 1	2,15	2,48	2,64	2,46	2,17	2,15	2,08	1,96	1,39	1,09	1,00	1,00	1,34		
Q básico	11,40	13,15	14,00	13,05	11,54	11,42	11,04	10,40	7,37	5,78	5,31	7,10	7,10	10,13	32%
Q 21	13,27	15,30	16,30	15,19	13,43	13,30	12,85	12,10	8,58	6,73	6,18	8,26	8,26	11,79	37%
Q 25	13,59	15,67	16,69	15,56	13,75	13,62	13,16	12,40	8,79	6,89	6,33	8,46	8,46	12,08	38%
Factor de variación 2															
F var 2	1,66	1,83	1,91	1,82	1,68	1,67	1,63	1,56	1,24	1,06	1,00	1,21	1,21		
Q básico	8,84	9,72	10,14	9,67	8,91	8,85	8,65	8,31	6,61	5,62	5,31	6,44	6,44	8,09	25%
Q 21	10,29	11,31	11,80	11,26	10,37	10,30	10,07	9,67	7,69	6,54	6,18	7,50	7,50	9,41	30%
Q 25	10,54	11,59	12,08	11,53	10,62	10,55	10,31	9,91	7,88	6,70	6,33	7,68	7,68	9,64	30%
Factor de variación 3															
F var 3	1,78	1,93	2,00	1,92	1,79	1,78	1,75	1,69	1,39	1,18	1,00	1,36	1,36		
Q básico	9,45	10,24	10,62	10,20	9,51	9,46	9,28	8,98	7,41	6,25	5,31	7,24	7,24	8,66	27%
Q 21	11,00	11,92	12,36	11,87	11,07	11,01	10,80	10,45	8,62	7,27	6,18	8,43	8,43	10,08	32%
Q 25	11,26	12,21	12,66	12,16	11,34	11,27	11,06	10,70	8,83	7,45	6,33	8,63	8,63	10,33	33%
Factor de variación 4															
F var 4	1,13	1,22	1,29	1,23	1,33	1,34	1,39	1,27	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00		
Q básico	6,00	6,48	6,84	6,55	7,07	7,10	7,36	6,74	5,35	5,31	5,31	5,31	5,31	6,29	20%
Q 21	6,98	7,54	7,96	7,63	8,23	8,27	8,57	7,84	6,23	6,18	6,18	6,18	6,18	7,42	23%
Q 25	7,15	7,72	8,15	7,81	8,43	8,47	8,77	8,03	6,38	6,33	6,33	6,33	6,33	7,49	24%

Repercusión sobre aportación natural con FV4 = 20%

3.1.2 Métodos hidrobiológicos

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

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

El esquema conceptual de la metodología de modelización del hábitat parte de dos puntos básicos:

- Las curvas de preferencia de la fauna
- Un modelo hidráulico fluvial

Fundiendo ambas ideas, el modelo hidráulico, que simula las condiciones de los distintos segmentos del río en función de los caudales circulantes y el valor potencial del hábitat fluvial, que nos indica las condiciones en las que se van a encontrar las especies que pueden estar presentes, se llega al concepto del Hábitat Potencial Útil, herramienta con la que se planteará el régimen ambiental de caudales.

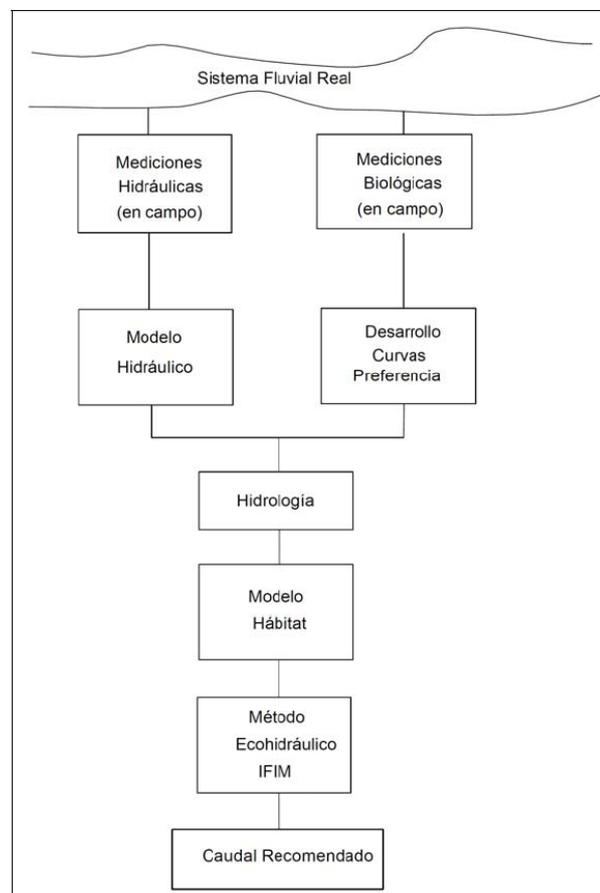


Figura 3. Representación esquemática de la metodología IFIM

El ajuste mediante la modelación de la idoneidad del hábitat se ha basado en la simulación hidráulica acoplada al uso de curvas de preferencia del hábitat para la especie o especies objetivo, como indica la IPH.

Para ello, se han realizado las correspondientes modelizaciones en 1D con el programa Rhyabsim (Ian G. Jowett, NIWA, NZ); y en 2D con el RIVER 2D de la Universidad de Alberta (Steffler, 2002), en algunas de las masas no vadeables.

Selección de masas para la simulación hidrobiológica

Se ha partido de las masas de agua tipo río definidas en cada una de las cuencas y se ha procedido a una clasificación de la información disponible. Para la caracterización de esos tramos, se ha trabajado con las capas SIG suministradas por la Confederación Hidrográfica del Duero, con información sobre:

- Masas de agua
- Embalses y azudes, destino de los mismos
- Centrales hidroeléctricas y minicentrales
- LIC's y ZEPA's y otros espacios protegidos
- Regadíos
- Canales, conducciones, etc.
- Masas de agua subterránea
- Ecotipos
- Estaciones de aforo

Después de la caracterización de los tramos según los datos de partida, se seleccionaron como listado previo de trabajo una serie de tramos que fueran representativos de la cuenca, cubriendo todos sus ecotipos.

Para la selección de los tramos se ha tenido en cuenta:

- Tramos bajo embalse.
- Tramos bajo embalse donde ya se habían definido unos determinados Caudales ecológicos en el anterior plan de cuencas.
- Tramos dentro de espacios Protegidos.
- Tramos donde pudiesen existir conflictos de usos (abastecimiento, riegos, centrales hidroeléctricas...).

Tras varios encuentros y contraste de opiniones con la Oficina de Planificación, se llegó a unos listados con las masas definitivas sobre las que trabajar desde un punto de vista hidrobiológico.

Trabajo de campo

La modelización de hábitat requiere de unos trabajos de campo intensos en cada una de las fases que se describirán a continuación, y la forma de recogida de datos de campo será diferente según la

modelización sea unidimensional ó bidimensional. En cualquier caso, antes de la toma de datos en campo, ha sido necesaria la realización de unos trabajos de gabinete.

Primero, se ha efectuado un estudio de las posibles zonas para ubicar los estudios y facilitar las tareas de campo, mediante ortofotos, cartografía de la zona, datos impress, puntos de pesca EFI's... para conocer la accesibilidad del tramo, la existencia o no de barreras e irregularidades que puedan afectar al flujo.

Para la localización del punto de muestreo, se ha buscado una zona representativa entre unos 150-300 m. de longitud. Para ello se ha valorado la representatividad morfológica, de mesohábitats, la vegetación de ribera... también se han considerado las entradas y salidas de agua. Se ha intentado que los puntos de muestreo tuviesen una proporción de mesohábitats semejante al tramo anteriormente recorrido, así como unas series de características hidráulicas que facilitasen el calibrado del modelo, siendo importante la introducción en el tramo de secciones de control o transectos que permitan realizar aforos de muy buena calidad.

Una vez seleccionado el tramo, se ha procedido a la toma de datos de coordenadas GPS's en los puntos que se creían necesarios y localización de las distintas secciones transversales ó transectos. Estos transectos constituyen una línea recta aproximadamente transversal al flujo, a lo largo de la cual se miden las condiciones hidráulicas. El criterio de ubicación y número de transectos ha sido diferente según el tipo de modelización que vaya a ser llevada a cabo:

Modelos Unidimensionales: los transectos han de representar todos los distintos tipos de mesohábitats del tramo de estudio. Además, en relación con la simulación hidráulica conviene situarlos antes y después de las pérdidas singulares de energía, como resalto hidráulico, contracción y expansión, bajada brusca del fondo, etc., y también en cada cambio brusco de pendiente de lámina de agua.

Una vez establecidos la posición de los transectos (perpendiculares al flujo), se han marcado en ambas orillas (siempre que ha sido posible), con el número del transecto y orilla, según la dirección del flujo, enumerando los transectos desde aguas abajo hacia aguas arriba. El marcaje dependerá de la zona a marcar y de la existencia o no de elementos fijos (piedras, troncos...). En caso de que no fuese posible, se han utilizado estacas de madera ó de metal, clavos en las propias piedras, etc..

Tiene como finalidad que el marcaje perdure en el tiempo hasta la siguiente campaña de campo, ya que es la única forma de poder volver a medir en los mismos transectos para poder calcular la curva de gasto de los mismos, y la única forma de tener elementos fijos con los que relacionar la altura de la lámina de agua de una a otra campaña de campo. En caso contrario habría que proceder a reproducir la localización del transecto mediante mediciones de su relación con el anterior y posterior, con la consiguiente posibilidad de error.

Modelo Bidimensional: únicamente se han realizado los transectos que se han creído necesarios para la medición del caudal, mucho menor al número de transectos que en un tramo unidimensional. Para la simulación bidimensional no es necesario que queden representados los cambios hidráulicos ya que éstos quedan definidos por la detallada topografía tomada en el tramo.

La calidad de aforo del inicio y del final del tramo de estudio conviene que sea excelente, sin una entrada y una salida hidráulicamente compleja, ya que puede ocasionar problemas al correr el modelo.

Una vez seleccionado ya el tramo y marcados los transectos que se van a medir, es importante que todo el trabajo topográfico y de hidrometría se realice en un plazo breve de tiempo, para que no existan cambios relevantes en el caudal circulante durante el tiempo de trabajo. Para controlar estos cambios y hacer los ajustes pertinentes, se colocaban varillas o reglas clavadas en una zona con agua, tomando su altura de agua cada varias horas, a la entrada ó salida del tramo.

Como se ha comentado, para la simulación del hábitat físico se ha seleccionado un tramo de estudio representativo de la masa, de distinta longitud en función de la entidad del río, características del tramo, método de simulación, etc. En general entre 150 y 300 m, si bien en ocasiones se ha acudido a distancias bastante superiores.

Por su parte, se ha intentado que el número de transectos fuese entre 12 y 15, si bien en tramos con excesivo caudal o en los que se han presentado problemas este número ha podido ser menor.

Los trabajos de campo se han realizado en dos campañas. En la primera de las campañas, se ha hecho el levantamiento topográfico y la toma de datos de sustrato, así como la toma de datos para el cálculo del caudal de calibración. En la segunda de las campañas, únicamente se han tomado datos de cota de lámina de agua y caudal, para el cálculo de las curvas de gasto.

A continuación se explica de qué manera se ha procedido a la toma de datos en el campo.

Topografía

La toma de datos topográficos variará en función del tipo de modelización que se vaya a llevar a cabo en el tramo de estudio. Como los modelos se han utilizado para el cálculo de los caudales mínimos y para la validación hidrobiológica de caudales máximos, ha sido necesario la toma de datos de topografía del lecho, y desde las orillas hasta el bankfull, estudiando previamente el terreno y buscando la correcta identificación del mismo (por estudio de los puntos más altos de depósito de sedimentos, cambios en la vegetación, cambios de pendiente en la sección transversal, cambio en los materiales de las orillas, socavación de orillas, líneas de coloración en rocas).

La topografía para las simulaciones hidráulicas en 1D se ha realizado mediante estación total. Se ha recogido la información topográfica de las secciones transversales definidas tanto dentro como fuera del cauce. También se han cogido los datos de la cota de lámina de agua en cada transecto, para el cálculo de la curva de gasto, así como los datos topográficos de las varillas, estacas, piedras...ó elementos utilizados para el marcaje de los tramos. Es muy importante, porque es la única manera de relacionar la primera y la segunda campaña, y como se ha explicado anteriormente, relacionar las cotas de lámina de agua a elementos fijos.



Figura 4. Toma de datos de topografía mediante Estación Total

Para poder obtener el modelo hidráulico bidimensional, es necesario recoger en campo la información topográfica tri-dimensional. Los datos de campo consisten en nodos o puntos topográficos de coordenadas X, Y, Z y tipo de sustrato, tomados mediante estación total de topografía y georreferenciados en campo mediante GPS. Para tramos no vadeables ha sido necesario el uso de ecosonda para tomar la batimetría del lecho, también georreferenciados con GPS.

Para la obtención de un buen modelo digital del terreno se han tomado datos especificados como líneas de rotura (breaklines), al menos pie de orilla/talud, cabeza de talud y otros elementos singulares (bordillos o zapatas de puentes o canales, etc.).

La cota de la lámina de agua es crucial para la posterior simulación hidrobiológica, así como los datos topográficos de los elementos utilizados para el marcaje de los tramos.

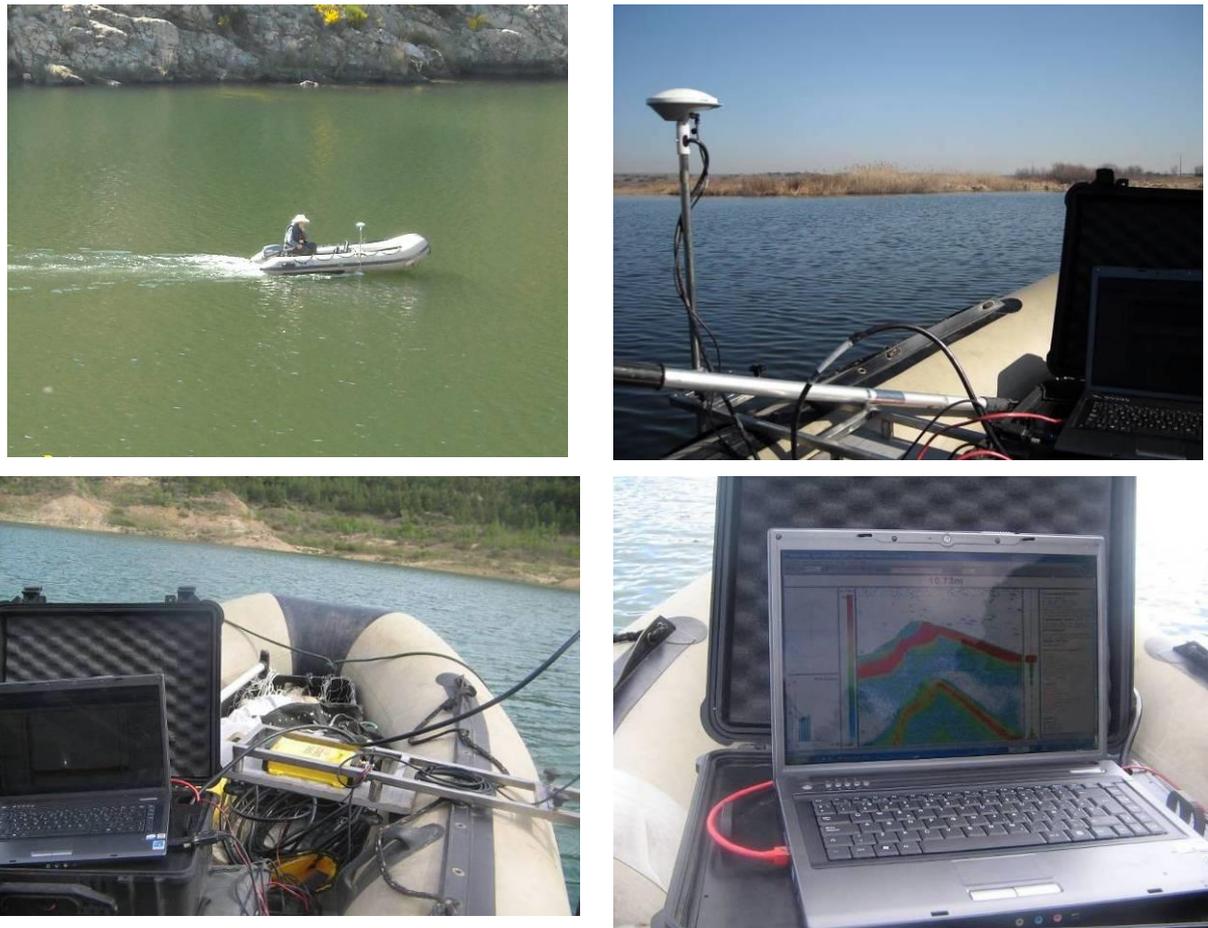


Figura 5. Toma de datos del cauce mediante ecosonda acoplada a embarcación

Hidrometría

La medición del caudal se realizó de distinta manera para tramos en 1 dimensión que en 2 dimensiones:

En la modelización unidimensional, para la medición de la velocidad se ha utilizado un correntímetro. El método empleado con éste es el de las fajas verticales, en las que las mediciones de un río se calcula utilizando las mediciones de velocidad y profundidad, realizadas en cada una de las secciones transversales definidas.

Para la determinación del caudal que pasa por una sección transversal, se requiere saber el caudal que pasa por cada una de la subsecciones en que se divide la sección transversal. Para ello se ha seguido el siguiente procedimiento:

La sección transversal del río donde a forar se divide en varias fajas verticales o subsecciones, tal como se puede observar en la figura que se muestra más abajo. El número de fajas depende del caudal estimado que podría pasar por la sección: En cada subsección, no debería pasar más del 10% del caudal estimado que pasaría por la sección. Otro criterio es que, en cauces grandes, el número de subsecciones no debe ser menor de 20, en la tabla que se muestra a continuación se presenta el criterio tomado para realizar las subsecciones de un transecto:

El ancho de la sección transversal (superficie libre del agua) se divide en tramos iguales, cuya longitud es igual al ancho superior de la sección transversal dividido por el número de subsecciones calculadas.

Anchura lámina de agua	Número de subsecciones
< 4m	15
4-8m	20
> 8m	25

En cada tramo se trazan verticales, hasta alcanzar el lecho. La profundidad de cada vertical se puede medir con la misma varilla del correntímetro que está graduada. Las verticales se trazan en el mismo momento en que se van a medir las velocidades. En cada una de las fajas verticales el número de mediciones a realizar vendrán definidas por el calado presente en cada faja:

Calado de la Faja	Número de mediciones	Profundidad de lectura del correntímetro
0 - 0.45 m	1	0.60h
0.45-1.20m	2	0.20h / 0.8h
> 1.20m	3	0.2h / 0.6h / 0.8h

Se obtiene la velocidad promedio del agua en cada vertical. La velocidad promedio del agua en cada faja vertical es el promedio de las velocidades a 0.2h, 0.8h y dos veces la velocidad a 0.6h, que encierran la subsección.

El caudal de agua que pasa por el río es la suma de los caudales que pasan por las subsecciones.

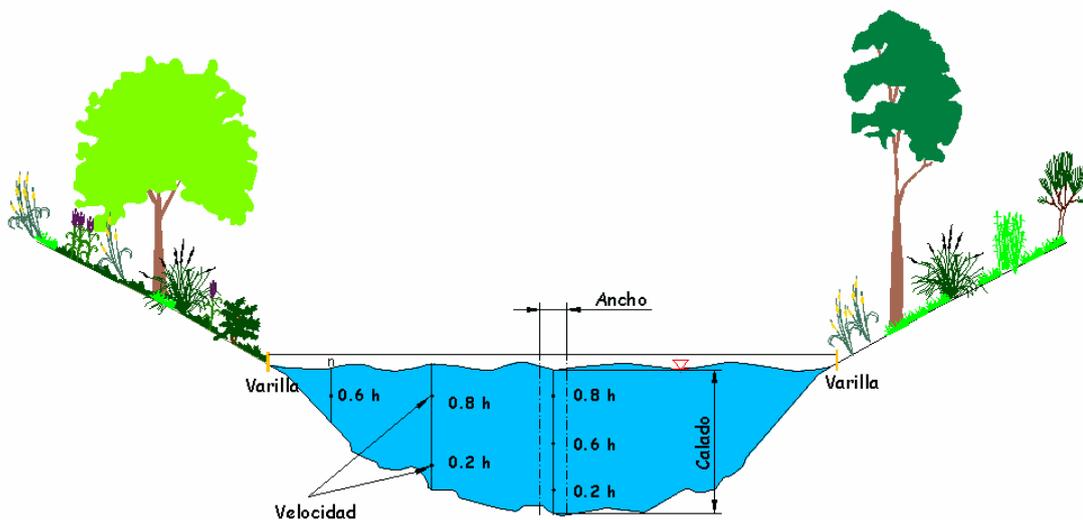


Figura 6. Método de aforo de las Fajas Verticales

Para la modelización bidimensional, en caso de ser un tramo no vadeable, se han realizado varios transectos de medidas de caudal, con un caudalímetro aforador batimétrico con control remoto, pasándolo, ayudado por una cuerda, transversalmente, perpendicularmente al flujo. De ésta manera se toman los registros de caudal, que posteriormente se descargan en el ordenador, obteniendo automáticamente el valor del caudal medido. En el caso de ser tramos vadeables se ha procedido con

el molinete, midiendo los transectos marcados como se explica en el apartado anterior de modelos unidimensionales.



Molinete



Caudalímetro aforador batimétrico

Figura 7. Sustrato

La toma de datos de sustrato varía según el tramo sea unidimensional ó bidimensional, ya que los requerimientos de entrada son diferentes en cada modelo:

- Para los tramos unidimensionales se han tomado datos de sustrato para cada una de las celdas en las que se ha dividido el transecto. El dato se toma como % de sustrato (por ejemplo, 25% de grava, 25% de arena y 50% roca madre).
- La toma de datos de sustrato para los modelos bidimensionales se ha realizado mediante croquis. Una vez observados los resultados en gabinete, esta es la base para asignar polígonos de sustrato al modelo bidimensional de una forma sencilla.

Los tipos de sustrato deben ser coherentes con los utilizados en estudios de microhábitat, ya que en la simulación se toman estos datos de campo para evaluar el hábitat con las funciones de idoneidad disponibles. Se seguirá la siguiente clasificación según el diámetro medio (Martínez Capel, 2000), simplificada a partir de la American Geophysical Union:

1. Limo: < 62 μm . L
2. Arena. 62 μm . – 2 mm. A
3. Gravilla. 2 - 8 mm. GV
4. Grava. 8 – 64 mm. GR
5. Cantos Rodados. 64 – 256 mm. CR
6. Bloques o bolos. > 256 mm. B
7. Roca Madre. RM
8. Vegetación. V

Aparte, se ha realizado la toma de otros tipos de datos, recogiendo toda la información posible para la posterior simulación hidrobiológica del tramo (tipo de mesohábitat y de calidad de aforo para cada transecto, croquis del tramo, fotografías aguas arriba y aguas abajo de cada transecto, así como fotografías a cada una de las orillas...) y para la identificación y posterior localización de los tramos y

transectos (fotografías, toma de datos de GPS siempre que sea posible, croquis, descripciones de las localizaciones...).

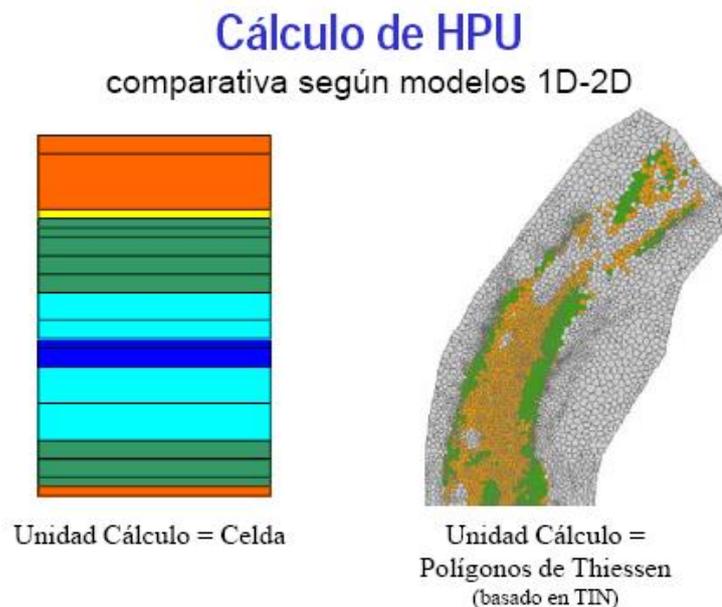
Si en algún momento se registra aumento ó disminución de caudal en la regleta, hay que apuntar esa variación.

Simulación de hábitat

Las características hidráulicas de un río se generan como consecuencia del régimen de caudales; en un determinado instante, la velocidad y la profundidad de las aguas y la sección mojada sólo dependerán de la cantidad de agua, es decir, del caudal, si suponemos que la sección transversal del cauce es invariable. Se trata de ir viendo como a medida que varía este caudal, se generan nuevas condiciones de profundidad, velocidad y sección mojada. Esto representa un problema de hidráulica fluvial que no está resuelto satisfactoriamente y requiere acudir a un proceso de simulación hidráulica.

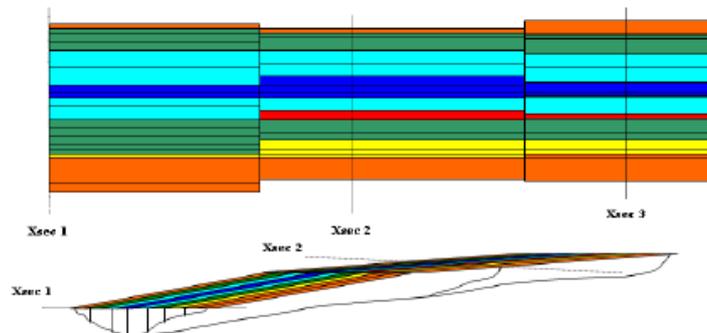
Para la simulación hidrobiológica de los tramos seleccionados se han utilizado dos programas diferentes:

- Programa en 1 dimensión: RHYHABSIM (“River Hydraulic and Habitat Simulation”; Jowett, I.G, 1989)
- Programa en 2 dimensiones: River2D (Ghanem, A.H., et al, 1996) de la University of Alberta-Canada.



Como se ha comentado, se ha utilizado el programa RHYHABSIM (Ian G. Jowett, NIWA, NZ) para la SIMULACIÓN HIDRÁULICA UNIDIMENSIONAL, que es un programa similar al PHABSIM (el utilizado durante muchos años en la metodología IFIM) pero con mayores prestaciones.

El programa RHYHABSIM trabaja con celdas unidimensionales. Para hacer el estudio hidrobiológico de un tramo en 1 dimensión, éste se dividirá en transectos, y los transectos en celdas. Cada celda tendrá el valor de velocidad media, longitud, profundidad y sustrato.



El proceso de calibración y simulación consta básicamente de varias fases, entre las que están:

- Chequeo del archivo de datos de campo. Son muy variados los errores que se pueden cometer, y el programa los chequea o en algunos se pueden chequear con ayuda del mismo. Uno de los errores más importantes que el simulador puede comprobar con las diferentes herramientas que posee el programa (representación de gráficos, como las curvas de gasto de cada transecto...), es que el caudal introducido de la segunda campaña, que tiene, por ejemplo, un caudal menor que en la primera, tenga una lámina de agua con una cota más elevada (segunda campaña con datos “no coherentes”). Suele ocurrir cuando no hay una gran variación de caudales entre una campaña y otra (ocurre en tramos muy regulados, por ejemplo).
- Cálculo del caudal e introducción del caudal de calibración.
- Cálculo y edición de los Factores de Distribución de Velocidad (Velocity Distribution Factors, VDF). Se trata del factor que corrige la velocidad en cada celda, respecto de la velocidad media de la sección. Dicha velocidad media, al simular otros caudales distintos al de calibración, es obtenida a partir de la cota de lámina de agua, que procede de la curva de gasto. También puede manejarse en términos del número de Manning, ya que $V_{sección}/V_{celda} = N_{celda}/N_{sección}$. Como este factor se basa en medidas reales de campo (tanto media como en cada celda), supone el elemento fundamental de calibración de velocidades que distingue a los modelos de simulación del hábitat detallados de otros de simulación hidráulica. En consecuencia, el programa aplica este coeficiente de corrección para cada celda cuando calcule las velocidades para distintos caudales. Dicho factor es invariable y no considera variaciones del caudal, ni viscosidad ni transmisión de energía de una celda otra. Por esta y otras razones, la simulación se realiza independientemente con modelos para caudales altos, medios y bajos.

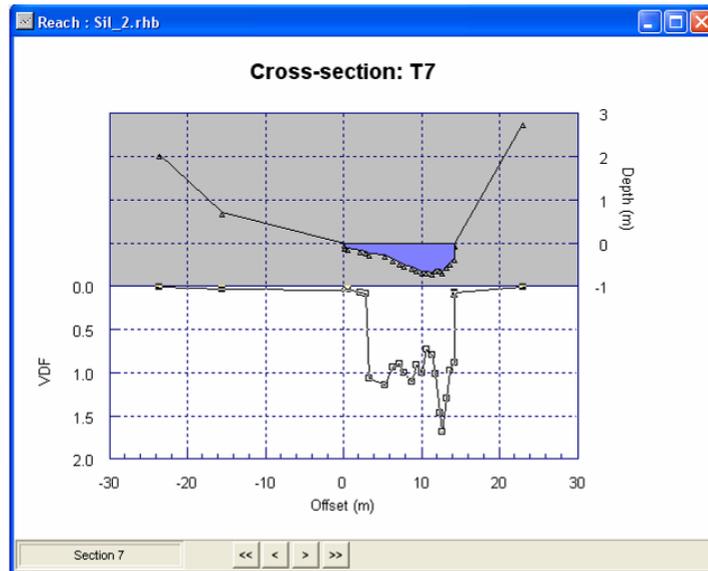


Figura 8. Detalle de la calibración de los VDF's de una sección (transecto)

- Cálculo de las distintas curvas de gasto o altura-caudal para cada transecto, que el programa ajusta a los puntos de altura/caudal tomados en las dos campañas de campo realizadas. Estas curvas son la base del modelo hidráulico, ya que cuando se procede a la simulación, lo primero que necesita el programa son estas curvas para saber que altura de agua tenemos con cada caudal.

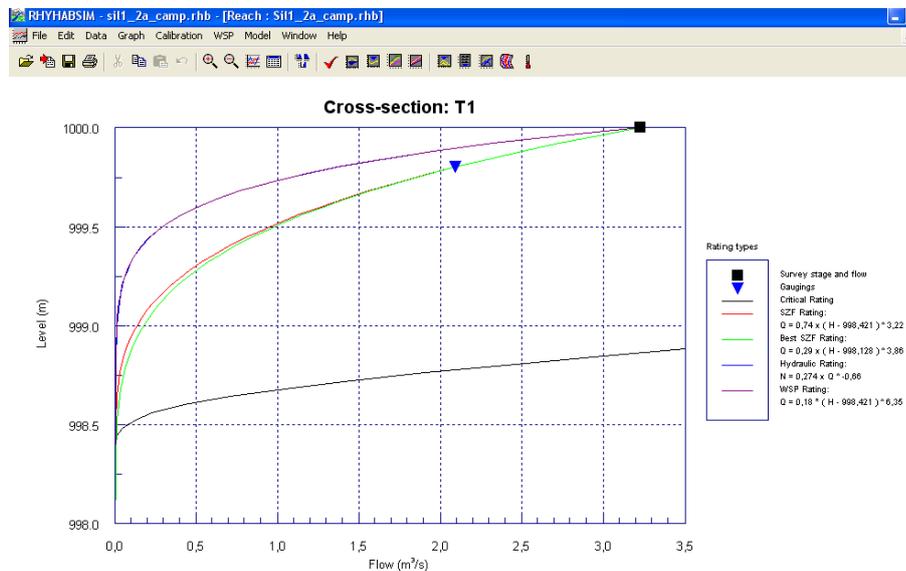


Figura 9. Detalle de las curvas de gasto de altura-caudal de una sección (transecto)

- Simulación del perfil longitudinal de la lámina de agua (WSP). Se trata de un “subprograma” que calcula el perfil de la lámina de agua a partir de la cota en una sección dada, siguiendo el método hidráulico clásico del paso estándar, del mismo modo que hacen otros programas como HEC-Ras. Permite simular el perfil longitudinal del río para diversos caudales, de modo que genera para cada transecto varios pares de puntos (altura, caudal), con los cuales se puede calcular una curva de gasto. Este método es el menos fiable para obtener la cota de agua en cada transecto, por lo que se ha aplicado sólo en caso de que la segunda campaña de campo no fuera coherente con la primera (por ejemplo, en aquellos casos donde el caudal introducido de la segunda campaña, con, por ejemplo, un caudal menor que en la primera, tenga una lámina de agua con una cota más elevada). El programa calcula un valor N de

Manning que podemos llamar “ficticio” ya que corresponde a todos los tipos de pérdidas (continuas y locales) que existen en el cauce entre dos transectos. En el caso de tener que utilizar éste modelo en algún caso excepcional, es necesario volver a calcular después las curvas de gasto, incorporándose un nuevo método de cálculo.

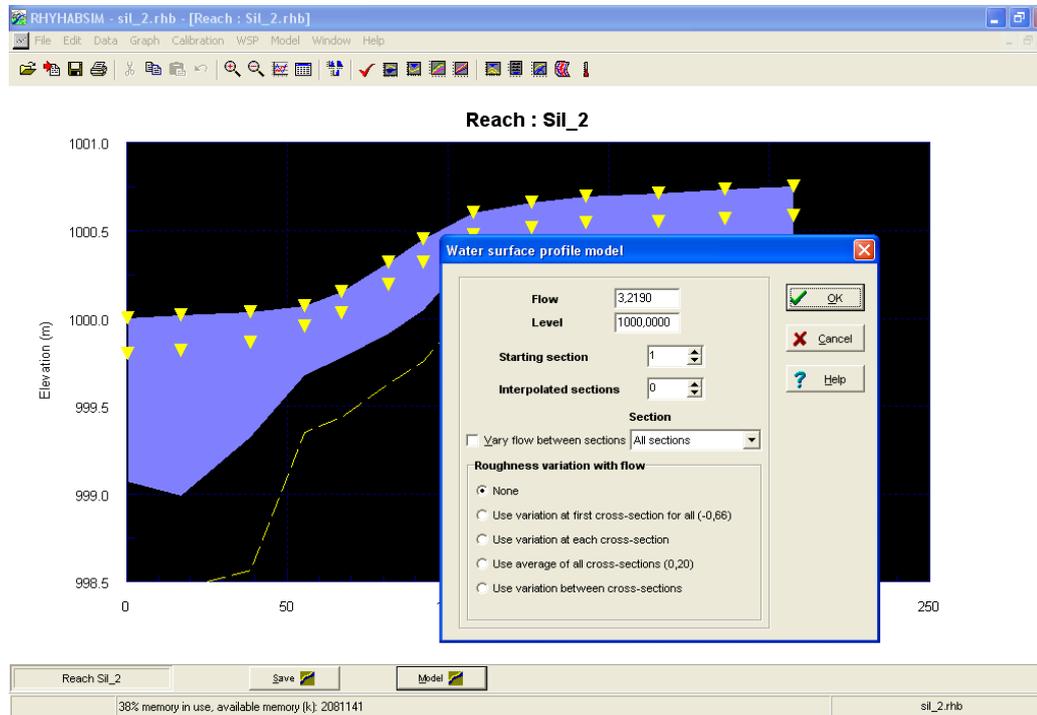


Figura 10. Detalle de la Simulación del perfil longitudinal de la lámina de agua

- Selección de curvas de altura-caudal. El programa calcula 4 diferentes curvas de gasto: la de mejor ajuste a los puntos, mejor ajuste pasando por nivel de caudal cero o por sección mínima, curva basada en los puntos generados por simulación del perfil de lámina (WSP), o basada en fórmula de Manning, en caso de haber hecho dos campañas de campo mínimas. En el caso de que tan solo se pudiesen utilizar una campaña de campo, calcula tan solo dos (WSP y Manning).
- Seleccionar curvas de preferencia y obtención de la curva HPU – Q.

Para la SIMULACIÓN HIDRÁULICA BIDIMENSIONAL se ha utilizado el programa River 2D, un paquete informático integrado por cuatro programas con los que se modeliza el ecosistema fluvial sobre el que se va a llevar a cabo el estudio. Estos programas son los siguientes: R2D_BED, R2D_MESH, R2D_ICE (que no ha sido necesaria su utilización en los presentes estudios, ya que es para la simulación de canales fluviales helados) y R2D. A continuación se detallan los pasos a seguir, usando los distintos programas que conforman River 2D:

R2D_BED

Se encarga de la edición de los datos topográficos obtenidos en el campo mediante estación total y GPS; permite principalmente retocar los nodos, crear líneas de rotura y crear un TIN (red irregular de triángulos) como modelo digital de elevaciones del cauce. En cada nodo, además de sus coordenadas, el archivo de datos almacena la rugosidad absoluta especificada en unidades métricas.

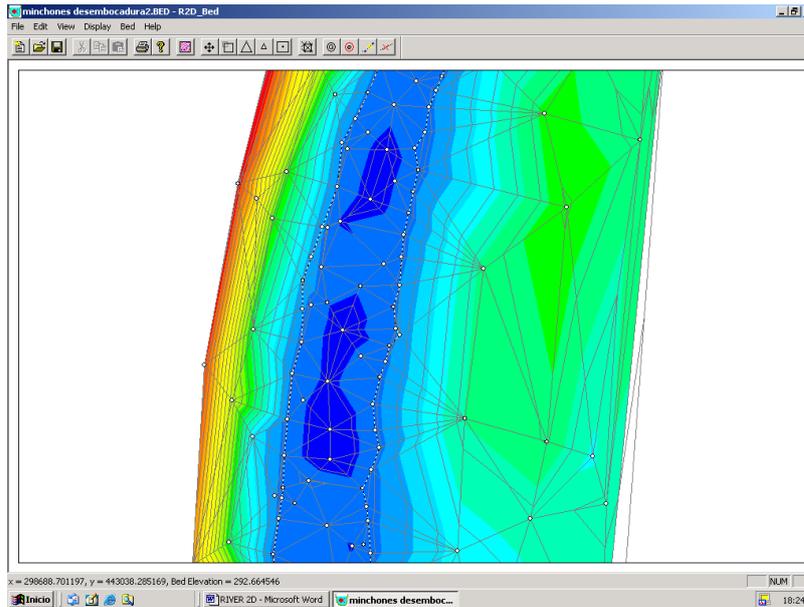


Figura 11. Detalle de la topografía representada en el BED

2D_MESH

Donde se ajustará una malla de cálculo computacional a la topografía del lecho fluvial ya obtenida previamente mediante el RIVER BED. La malla también contiene sus propias líneas de rotura y se triangula formando un TIN. Así pues está formada por triángulos que conectan los nodos, entre los cuales las variables de cálculo se interpolan de modo lineal. La malla se ha creado con la densidad adecuada para conseguir un ajuste a la topografía real, manteniendo una calidad de la malla aceptable, que permita obtener soluciones de simulación en pocas horas.

Esta malla constituye la auténtica topografía final que será utilizada en el programa de cálculo por elementos finitos, el RIVER-2D.

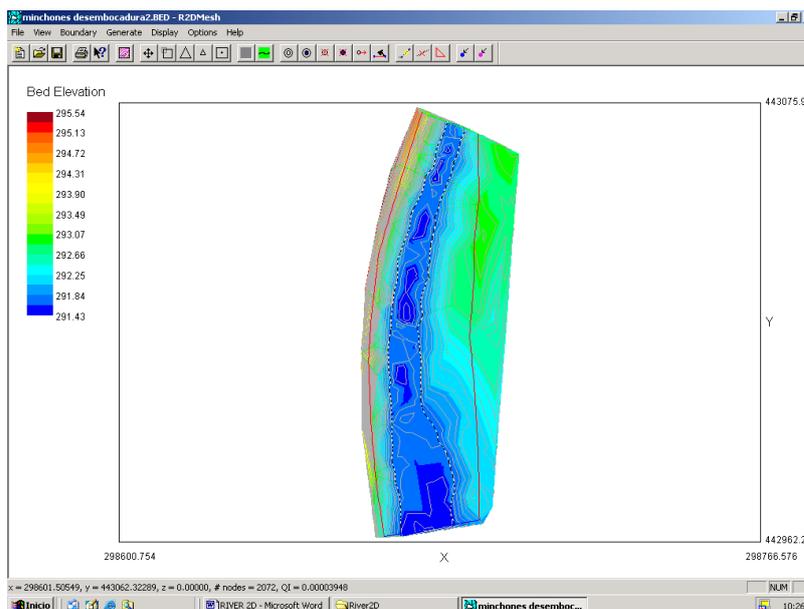


Figura 12. Detalle de la topografía representada en el MESH

RIVER 2D

Es el programa específico de simulación hidráulica y del hábitat en dos dimensiones (basado en la velocidad media de la columna de agua), para determinar mediante metodología IFIM el Hábitat Potencial Útil (WUA).

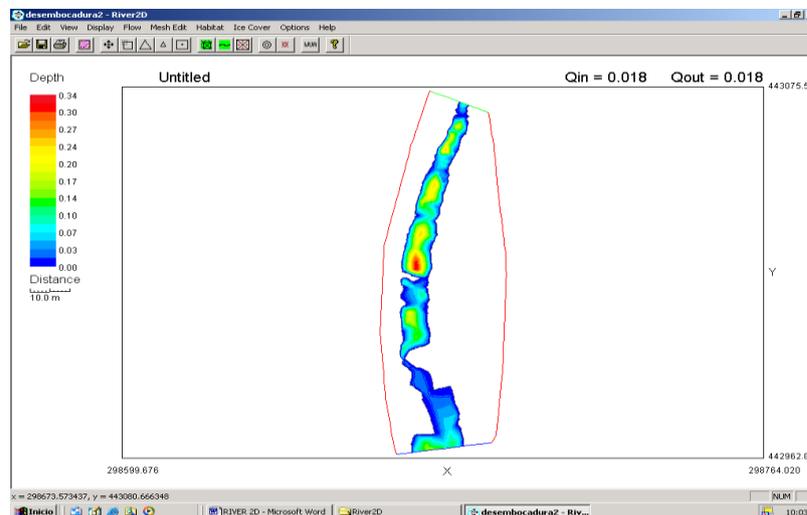


Figura 13. Detalle del tramo representado en el RIVER 2D

Este modelo se basa en las ecuaciones de Saint Venant expresadas en forma conservativa, expresando en derivadas parciales la conservación de la masa en las dos componentes o direcciones del vector velocidad. Dichas ecuaciones son resueltas por el programa mediante el método de elementos finitos (formulación de residuos ponderados de Petrov-Galerkin). La formulación permite obtener soluciones estables independientemente de que se presenten zonas de flujo subcrítico y supercrítico.

Las variables dependientes en dichas ecuaciones son la profundidad y la velocidad media de la columna de agua en dos direcciones (contenida en el plano horizontal). Este programa considera como hipótesis de cálculo, para promediar las profundidades, que la distribución vertical de presiones sigue una ley hidrostática y que el perfil de velocidades en la columna de agua es aproximadamente uniforme.

Para la calibración del modelo, el programa debe correr y resolver satisfactoriamente los principios hidráulicos sobre los que se apoya. Estas operaciones se realizan nodo a nodo de tal forma que el caudal que se introduce como condición de contorno (caudal en la sección de entrada al tramo) debe coincidir razonablemente (error < a 10^{-4}) con el calculado por el simulador en la sección de salida.

El éxito de la operación anterior depende lógicamente de la buena definición del modelo digital del terreno y del grado de fidelidad de las estimaciones de caudal así como de las medidas de la altura de la lámina de agua.

La simulación de distintos escenarios provocados por incremento o descenso del caudal circulante requiere los parámetros m y k de la curva de gasto específica del tramo, $q=kh^m$, donde q es el caudal unitario y h la altura de la lámina. Esta curva de gasto debe ser característica de la sección donde se

ha realizado la estimación del caudal, mediante la que se pasaría de la condición fija (en el momento del muestreo) a un modelo en el cual se pueden modificar las condiciones hidráulicas.

La obtención de estos parámetros de la curva se solventa realizando repetidas salidas de campo en las que se realicen aforos del caudal y medidas de la altura de la lámina de agua en el mismo punto del tramo (sección de salida) en distintas épocas del año, obteniéndose los puntos mínimos necesarios en la representación gráfica q/h para el ajuste de la curva. Se han efectuado dos salidas de campo.

Con el simulador hidráulico calibrado, es posible conocer características hidráulicas de cualquier punto del tramo como la profundidad o velocidad de la corriente para cualquier caudal deseado. A partir de aquí, fusionando los conceptos de habitabilidad y de caudal, se generarán las curvas HPU/Q, de la que se obtienen los valores de los caudales mínimos ecológicos.

Como se ha podido apreciar en la anterior descripción, los programas son completamente diferentes, tanto la entrada de datos, como en la calibración y la simulación. Pero ambos utilizan las mismas curvas de idoneidad de las especies con las tres variables de velocidad, profundidad y sustrato (el programa RHYHABSIM también podría funcionar con la variable temperatura).

Como norma general, para los ríos de menor entidad, se ha empleado modelos 1D (en unos pocos casos se han utilizado los modelos 2D), mientras que para aquellos que no han sido vadeables, se ha acudido a un modelo 2D mediante el empleo de una ecosonda que recoge los datos de batimetría acoplada a una embarcación.

En base a la experiencia, se puede afirmar que no existen grandes diferencias en la calidad de los resultados obtenidos mediante modelización con tramos unidimensionales ó bidimensionales.

Selección de especies y curvas empleadas

Una vez que se ha realizado el calibrado del modelo hidráulico, para proceder a la simulación de diferentes caudales y a la obtención de los valores del hábitat potencial útil (HPU ó WUA), es necesario introducir las condiciones de cada uno de los estadios de las especies consideradas en el tramo.

La selección de las especies piscícolas presentes en cada tramo de estudio se ha obtenido en función de la información bibliográfica de la que se ha dispuesto (censos piscícolas, Atlas y Libro Rojo, estudios de caudales ecológicos ya realizados, publicaciones específicas al respecto, etc.)

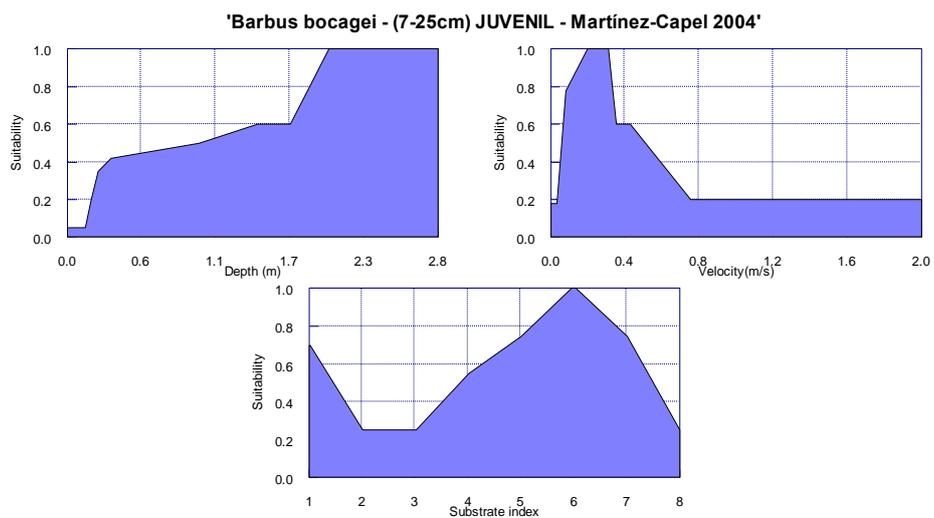
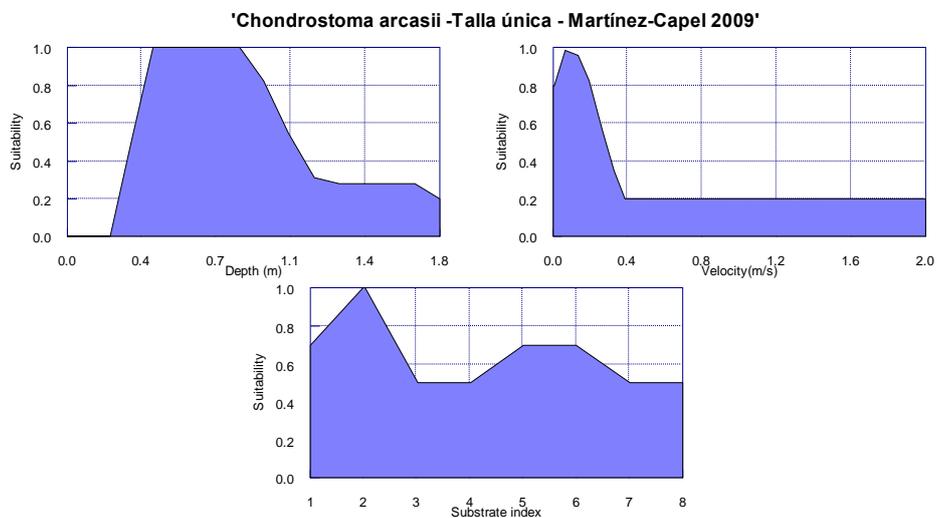
En el momento de inicio de los trabajos para la determinación de los caudales ecológicos, la disponibilidad de curvas de preferencia era reducida.

De esta circunstancia surgió la necesidad de elaboración de curvas de preferencia de varios estadios de las especies objetivo, tarea realizada en el marco de los citados trabajos. Asimismo, se ha procedido a adaptar alguna de las curvas ya existentes, con vistas a posibilitar su utilización.

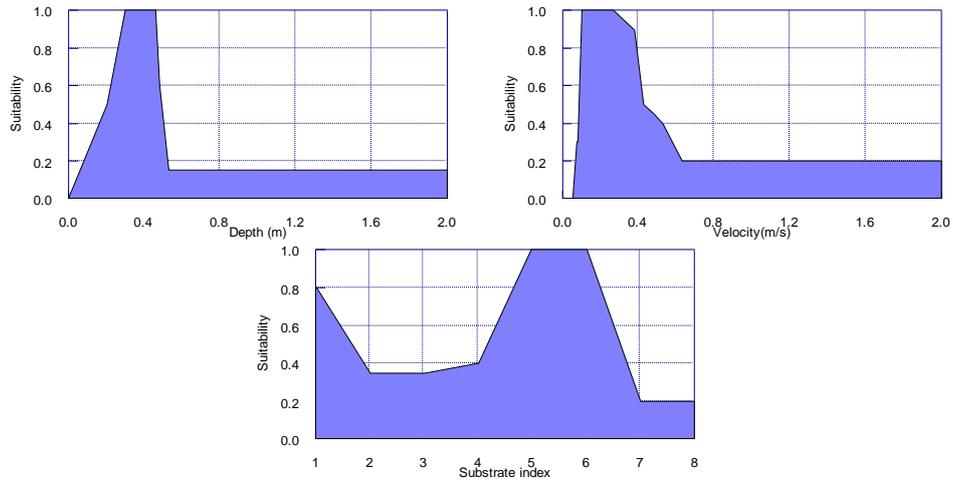
En la siguiente tabla se presentan las especies para las que se ha dispuesto de curvas de preferencia y que han podido ser introducidas en el proceso de simulación.

ESPECIES SIMULADAS	FUENTE DE LA CURVA
Squalius pyrenaicus (Cacho)	Bibliográfica
Barbus bocagei (Barbo común)	Bibliográfica
Chondrostoma arcasii (Bermejuela)	Para este estudio
Chondrostoma duriense (Boga del Duero)	Bibliográfica/para este estudio
Squalius carolitertii (Bordallo)	Bibliográfica/para este estudio
Salmo trutta (Trucha)	Bibliográfica/Para este estudio

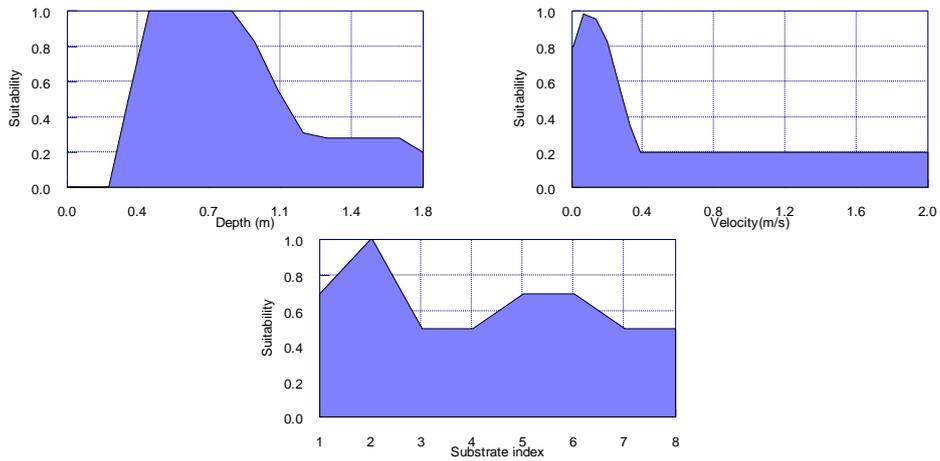
Se presentan a continuación ejemplos de curvas utilizadas en las simulaciones.



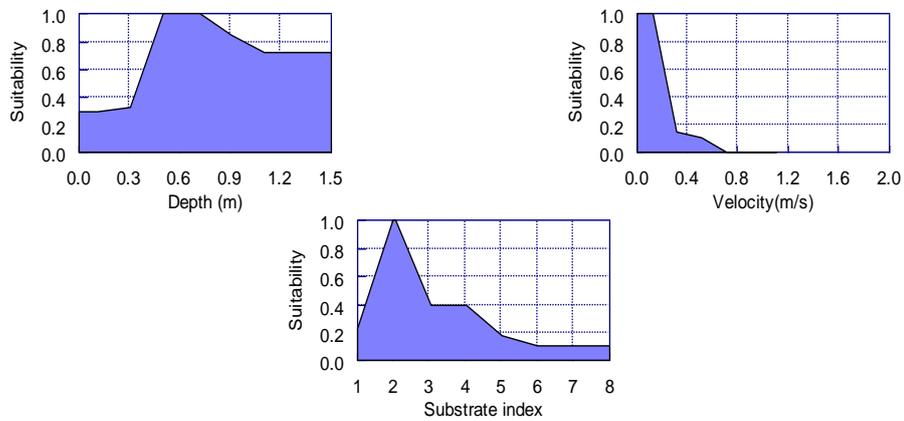
'Barbus bocagei - (<7cm) ALEVIN - Martínez-Capel 2004'

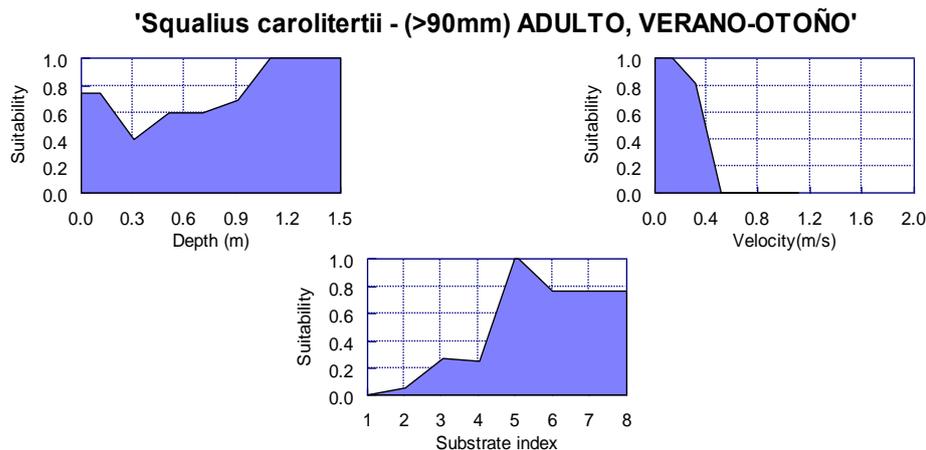


BERMEJUELA AD-JU-AL (Martínez-Capel (2009))



'Squalius carolitertii - (<90mm) ALEVÍN, VERANO-OTOÑO'





Elaboración y utilización de las curvas HPU/Q

Las funciones de idoneidad se determinan para aquellos parámetros directamente ligados a las condiciones hidráulicas: velocidad, profundidad, sustrato, temperatura, refugio... Se presentan en forma de curvas de probabilidad de uso, cuyo pico representa la condición óptima o máxima idoneidad para un determinado parámetro.

Las curvas de preferencia de la fauna son distintas para cada estadio del ciclo vital de los peces, siendo posible analizar el grado de adecuación de las condiciones hidrológicas para un mismo pez en sus etapas de freza, alevín, juvenil y adulto. De igual forma, las exigencias de hábitat y de caudales circulantes por parte de los peces y de las comunidades reófilas no son las mismas a lo largo de las diferentes estaciones, sino que existen temporadas críticas en las cuales estas exigencias se hacen más perentorias por ejemplo en los períodos de freza y de desarrollo de los embriones.

Tradicionalmente, a escala local de un determinado tramo de un río (microhábitat) son modeladas tres variables abióticas clave, que son con las que posteriormente se hacen las "curvas de idoneidad", para el cálculo de las curvas HPU-Q:

- La velocidad media de la columna de agua, que básicamente aporta información sobre el gasto bioenergético necesario por los individuos durante la natación y la búsqueda de alimento.
- La profundidad relacionada con la penetración de la luz y con la predación (por su valor como refugio, según sea la turbidez).
- Sustrato: tiene influencia en la calidad de los frezaderos, la producción de invertebrados y las oportunidades de refugio.

La valoración de cada microhábitat, en un modelo del hábitat acuático, se realiza a través de índices de idoneidad. Se trata de un valor entre 0 y 1, que puede corresponder a una sola o a varias variables en conjunto, según los métodos de cálculo utilizados. Para cada microhábitat, en función de las variables escogidas, se calcula un índice combinado de calidad o idoneidad. Los índices de cada variable pueden proceder de funciones binarias y curvas de idoneidad, pero también pueden utilizarse funciones multivariantes obtenidas por modelos estadísticos. Para la definición de la especie objetivo se ha efectuado un análisis inicial para los distintos estadios de cada una de las

especies a simular y otro posterior con los estadios restrictivos obtenidos para cada especie, de tal forma que se obtiene el estadio y especie objetivo como aquel que requiere mayor caudal para un mismo porcentaje de su habitabilidad.

Se define el Hábitat Potencial Útil (HPU) como el equivalente al porcentaje del hábitat, expresado como superficie del cauce inundado o como anchura por unidad de longitud de río, que puede ser potencialmente utilizado con una preferencia máxima por una población o una comunidad fluvial.

El Hábitat Potencial Útil se expresa en Superficie Potencial Útil, calculada al multiplicar el Índice Combinado de idoneidad por la Superficie real de cada unidad en la que se ha dividido el río:

$$\text{HPU} = \text{ICi} \cdot \text{Sreal}$$

A escala de tramo para un caudal dado, el índice cuantitativo para valorar el hábitat disponible es el Hábitat Potencial Útil (HPU) o Área Ponderada Útil (Weighted Usable Area), cuando el modelo del medio acuático se desarrolla en 1 dimensión o en 2 dimensiones, respectivamente.

El valor potencial del hábitat fluvial es pues la apetencia de la especie acuática para cada uno de los posibles segmentos fluviales o nodos simulados en los modelos hidráulicos. Esta preferencia se obtiene a partir de la combinación de tres parámetros, definidos a su vez por tres índices: la velocidad (Ivel), la profundidad (Iprof) y la composición del sustrato (Iprof). La idoneidad por una determinada velocidad, profundidad o sustrato están tabuladas en función del caudal para los estadios de las especies a estudiar.

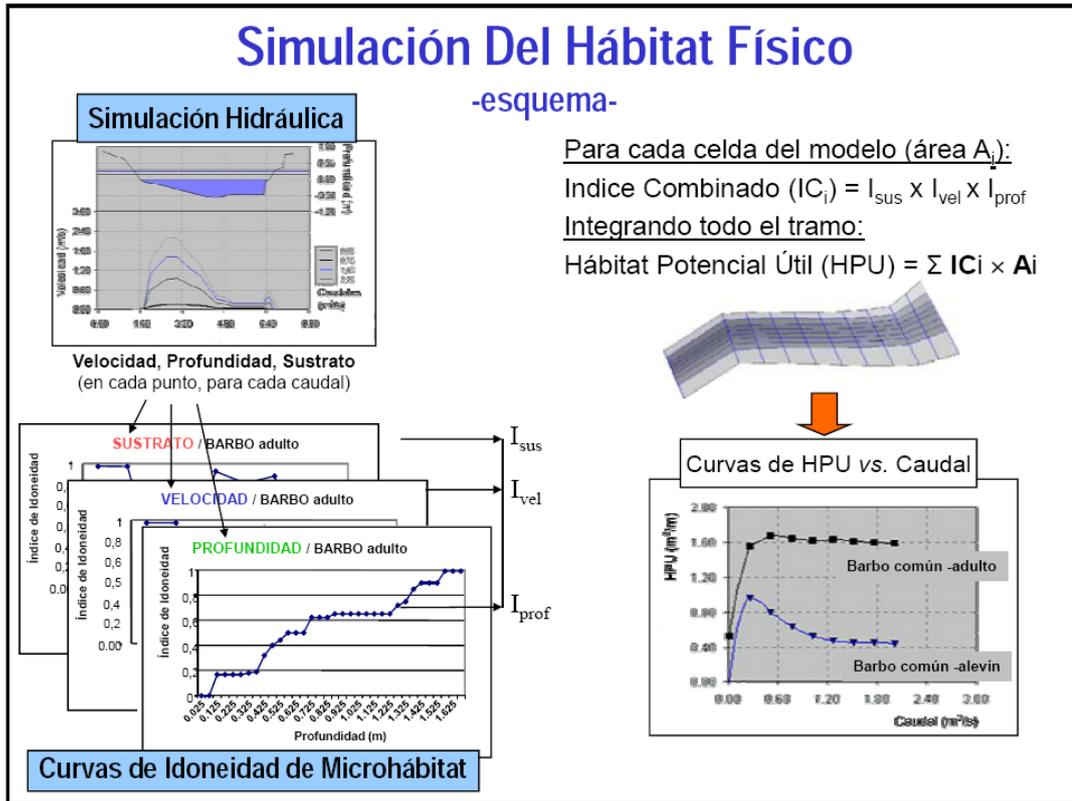
El Índice Combinado de idoneidad (ICi) puede relacionarse con los tres índices parciales por alguna de las fórmulas siguientes (multiplicativa o geométrica respectivamente).

$$\text{ICi} = (\text{Cv} \cdot \text{Ch} \cdot \text{Cs}); \quad \text{ICi} = (\text{Cv} \cdot \text{Ch} \cdot \text{Cs})^{1/3}$$

El estudio del Hábitat Potencial Útil permite conocer las posibilidades de uso del río por parte de la especie o especies consideradas, en función de las características de la corriente y a medida que va variando el caudal. Se trata de establecer una combinación de condiciones hidráulicas (velocidad y profundidad) y características del cauce (sustrato y cobertura), óptimas para cada especie y estado de vida. Con la información del tramo de río recogida en el desarrollo del modelo hidráulico y en la puesta a punto de las curvas de preferencia, se dispone de una serie de datos sobre la profundidad, velocidad, tipo de sustrato y cobertura, así como su distribución longitudinal y transversal en el río.

Dicho de otra forma, utilizando el modelo de simulación hidráulica se pueden estimar las condiciones de los distintos parámetros en cada celda bajo un caudal diferente, y con ellas volver a calcular el HPU con ese caudal. Realizando este cálculo para distintos caudales se obtendrán relaciones numéricas que permiten conocer como evoluciona el HPU en función del régimen de caudales, que constituyen las curvas HPU/Q.

Así, se han desarrollado curvas HPU/Q (Hábitat Potencial Útil/Caudal), a partir de las simulaciones de idoneidad del hábitat para los distintos estadios fisiológicos de cada especie de la que se ha dispuesto de curvas de preferencia, o de los que se han construido curvas de preferencia.



A continuación, se muestran dos ejemplos de curvas HPU/Q, usando como especie objeto la trucha común.

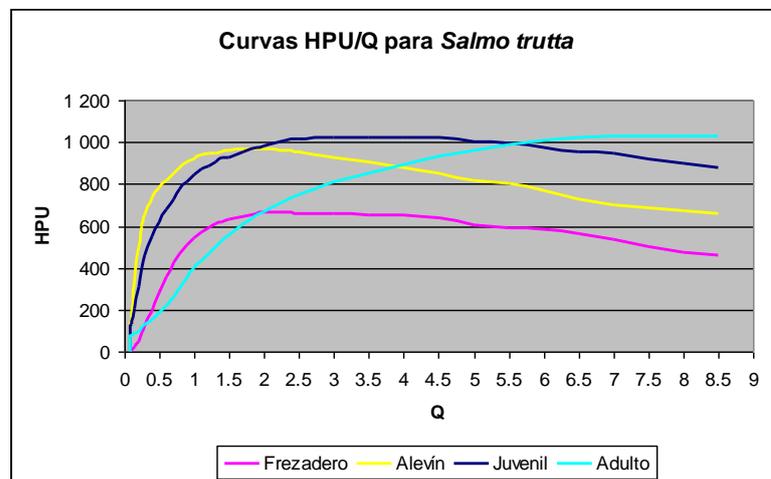


Figura 14. Ejemplo Curvas HPU/Q para un río modelo

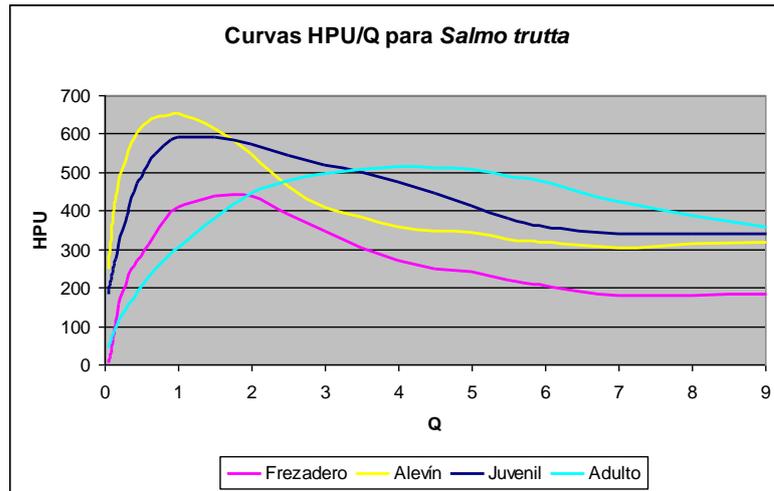


Figura 15. Ejemplo Curvas HPU/Q para otro cauce

3.1.3 Resultados hidrobiológicos

El resultado hidrobiológico deriva de la determinación, entre las especies y estadios autóctonos del tramo, de cuál es la que mayor caudal requiere para lograr su óptimo de habitabilidad.

Debido a la gran disparidad de demandas de caudal existente, tanto entre tallas de una misma especie como entre diferentes individuos, se debe relativizar los valores absolutos de HPU (m²) con el fin de establecer un criterio unificador, que equipare todos los óptimos de habitabilidad de las especies y estadios, en el caso que las curvas de HPU/Q no presenten máximo (ni cambio significativo de pendiente), y este haya que establecerlo a un determinado percentil de la serie de caudales medios diarios.

Así, y haciendo referencia a esto último, la Instrucción de Planificación Hidrológica, establece en su punto 3.4.1.4.1.1.3. lo siguiente:

“En el caso de que la curva de hábitat potencial sea creciente y sin aparentes máximos, podrá adoptarse como valor máximo el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el rango de percentiles 10-25% de los caudales medios diarios en régimen natural, obtenido de una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años.”

Con este fin, en todas las curvas de hábitat se relativizará el HPU (m²) respecto del máximo de habitabilidad; fijándose éste, en el óptimo marcado por la curva o en el percentil 25% de la serie corta de caudales medios diarios (se opta por el umbral superior que permite la Instrucción, para poder realizar una mejor evaluación de la evolución de la curva, como ya se explicará más adelante en el apartado de toma de decisiones y conocimiento de la metodología).

Así en la gráfica inferior, se muestra cómo relativizando el máximo de HPU (m²) a percentil 25% en la curva de la boga adulta (sin máximo de habitabilidad), permite comparar las demandas de caudal de ésta respecto a los máximos absolutos de habitabilidad del resto de las especies que sí los presentan.

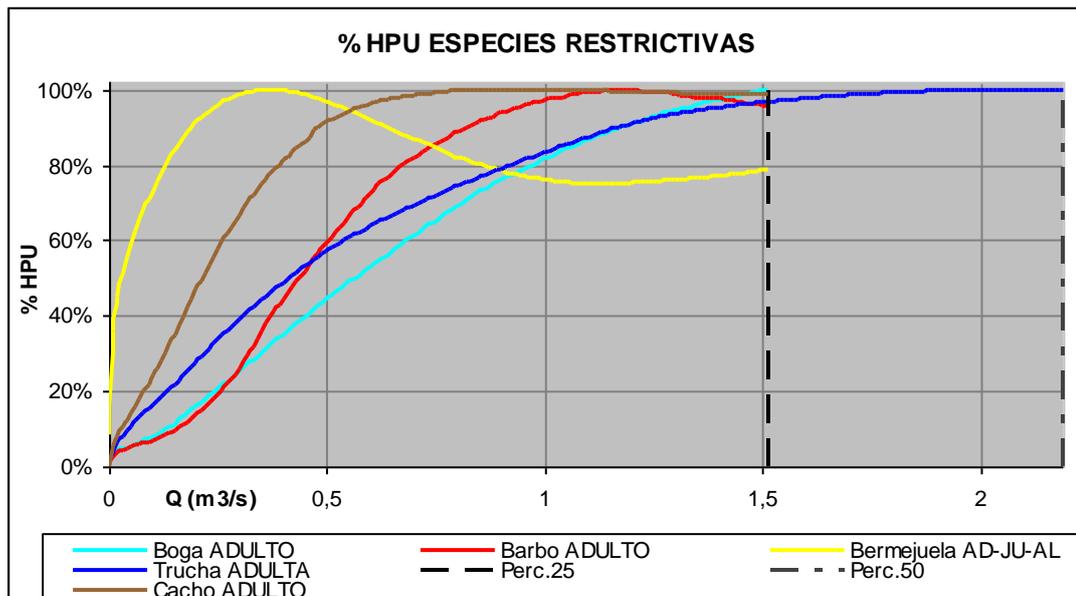


Figura 16. Ejemplo de curvas de %HPU/Q de las especies y estadios más restrictivos de un tramo.

Como se puede apreciar, la gráfica únicamente muestra el estadio más restrictivo de cada una de las especies presentes en el tramo simulado. Ello implica, que el resto de tallas no presentes, no demandan tanto caudal para alcanzar su óptimo (ya sea absoluto o relativo) y que por tanto, asegurando una habitabilidad adecuada para la talla más restrictiva, se garantizará un caudal más que aceptable para el resto de estadios de la especie.

ESTADIO	BOGA ADULTA	BARBO ADULTO	BERMEJUELA ADULTA	TRUCHA ADULTA	CACHO ADULTO
Q 100%	1,980	1,140	0,360	2,010	0,920
Q 80%	1,052	0,674	0,130	0,921	0,391
Q 50%	0,597	0,437	0,028	0,413	0,215
Q 30%	0,364	0,322	0,008	0,219	0,128
Q 25%	0,310	0,294	0,006	0,178	0,104

Tabla 1. Relación de caudales demandados por las especies más restrictivas, en función del % de HPU requerido.

Para el ejemplo mostrado en la tabla superior, se verifica que la especie y estadio objetivo del tramo es la boga adulta; ya que para los caudales que demanda ésta a cualquier porcentaje de HPU, se va a garantizar un porcentaje de habitabilidad superior a éste para el resto de especies.

Así, para la obtención de resultados se considerará como objetivo aquella especie autóctona y estadio presente en el tramo con mayor requerimiento de caudal, o en el caso de ser un estadio que sólo esté presente en una época del año (será la especie más restrictiva, pero no la objetivo), se ha optado por buscar otro que no sobredimensione la necesidad de recurso en el periodo de año que no está presente el primero, pero que la adopción del segundo no suponga una disminución drástica de su habitabilidad.

Posteriormente como resultado hidrobiológico preliminar, se ha considerado el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 50-80% del hábitat potencial útil máximo, tal y como dicta la IPH, calculándose también el 30% del HPU, para aquellos tramos muy alterados hidrológicamente.

Para la consideración de los máximos de HPU (m²), o la desestimación de los mismos se ha seguido, en todo caso, el resto de criterios contemplados en la Instrucción de Planificación Hidrológica:

En aquellos tramos en los que las especies presenten máximos en sus curvas, se han asumido dichos máximos, siempre que el valor de caudal al que vayan asociados sea coherente con los datos hidrológicos. En otras palabras, aquellos que se encuentre dentro de un rango de caudales que puedan ser asumidos de forma natural por el tramo.

En los casos en los que ha entendido necesario (debido al impedimento que realiza la Instrucción respecto a que se debe tomar un valor único y no un umbral de caudales), se han estudiado también puntos concretos en las curvas HPU/Q, en las que en un determinado caudal se produzca un cambio significativo de pendiente.

En cualquier caso, el resultado hidrobiológico definitivo, se ha obtenido tras una comparación de los valores de %HPU-Q con los resultados obtenidos con el método hidrológico, así como otras consideraciones que aquí se resumen:

- Grado de alterabilidad.
- Cumplimiento de probabilidades mensuales.
- Presencia estacional de los estadios más restrictivos.
- Porcentajes de habitabilidad y percentil-caudal asociado.

Hay que indicar que cuando se han comparado los datos hidrológicos con los hidrobiológicos, al no coincidir en muchas ocasiones el punto de campo donde se han llevado a cabo los trabajos con el final de masa donde se ha estimado la serie natural, se ha realizado un nuevo hidrológico adaptado al punto de campo con el fin de poder conseguir unas buenas correlaciones e interpretaciones de los resultados.

Aunque en algunos casos este trabajo pudiera ser prescindible (ubicación del punto de campo cerca del fin de masa o masas con cuencas vertientes muy pequeñas), en otros se considera fundamental, pues se trataba de masas con tributarios que dependiendo de la ubicación del punto de toma de datos en campo para la simulación, las aportaciones en dicho punto y en final de masa pueden tener un amplio margen de diferencia que puede dar al traste con una buena relación o toma de decisiones entre los datos hidrológicos e hidrobiológicos.

Además se entiende que disponer de un hidrológico en el punto de campo que se relacionará con el hidrobiológico en la misma ubicación, posibilita extrapolar el dato a otros posibles puntos de la masa en los que se tenga hidrológico, como al final de la misma e incluso a otras masas del mismo cauce.

3.2 Distribución temporal de caudales máximos

Con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas y estadios más vulnerables, se han definido unos caudales máximos que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas.

Los caudales artificialmente altos y continuados pueden reducir las poblaciones piscícolas de los estadios y especies más sensibles por agotamiento al superar las velocidades críticas, produciendo su desplazamiento hacia aguas abajo o incluso su muerte. Es recomendable durante la gestión ordinaria no superar las velocidades críticas (V_{crit}) o velocidad de agotamiento, asegurando el mantenimiento de unas condiciones medias en el medio fluvial asimilables a las velocidades óptimas de desplazamiento (velocidades a las que el pez es capaz de desplazarse grandes distancias manteniendo un coste energético de desplazamiento mínimo).

Para el estudio de los caudales máximos se han seguido las instrucciones de la IPH, y la metodología expuesta en el apartado “3.2 Distribución Temporal de Caudales Máximos” de la “Guía para la Determinación del Régimen de Caudales” (GEC-ver. 0.7). Siguiendo las Instrucciones de la IPH, el régimen máximo de caudales máximos se ha verificado mediante el uso de los modelos hidrobiológicos, 1D ó 2D, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad longitudinal del tramo.

3.2.1 Capacidad natatoria de la ictiofauna

Es preciso considerar las capacidades natatorias de los distintos estadios objetivos piscícolas durante cada hidropериodo. Para ello se han seguido los criterios que sobre velocidades son mencionados en el documento “Guía para la Determinación de Caudales Ecológicos (GEC-ver. 0.7)”.

Según la misma, “Para la definición de las velocidades óptimas se deberá recurrir a la recopilación de información científica específica para las especies objetivo seleccionadas en el tramo, a su generación específica por consulta a expertos o bien recurrir al análisis de envolventes de curvas de preferencia. En caso de carecer de información deberá recurrirse a los umbrales de velocidades críticas definidas en la Instrucción”.

Se ha recurrido a expertos y se ha buscado en la bibliografía información sobre las velocidades máximas que pueden soportar las diferentes especies, pero es muy poca y dispersa la información existente al respecto, por lo que se ha decidido tomar como intervalos limitantes de velocidad máximas las propuestas en la IPH:

- Alevines: 0.5- 1 m/s
- Juveniles: 1.5-2 m/s
- Adultos :<2.5 m/s

3.2.2 Procedimiento para la determinación de los caudales máximos

El procedimiento seguido para la distribución del régimen de caudales máximos, consta de una caracterización hidrológica del tramo, y una posterior verificación de que dicho percentil (caudal) garantiza el refugio para los estadios/especies más restrictivos y también la conectividad de tramo, mediante los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat.

Caracterización hidrológica del tramo

Según lo expuesto en la IPH, la caracterización de los caudales máximos se realizará analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración. Para la caracterización hidrológica de la distribución temporal de caudales máximos se han calculado los percentiles 90% de los meses correspondientes a los años húmedos, para la serie larga (1940/41-2017/18) de caudales a régimen natural, con el fin de validar un caudal suficientemente alto que permita incluir y validar todos los inferiores a éste.

Para ello, se ha hecho un estudio de años húmedos que, según lo que considera el IAHRIS, son aquellos años que tengan un percentil superior al 75% de la media anual, sobre la serie larga de caudales.

Posteriormente, se ha calculado el P90 con los datos mensuales de los años húmedos, con el fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos buscados a cualquier caudal menor. A este respecto la IPH recomienda no utilizar percentiles superiores al 90% de excedencia de una serie de caudales naturales mensuales representativa, de al menos 20 años.

Se debe subrayar que la IPH considera que hay que calcular los caudales máximos en *“dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos, correspondientes al periodo húmedo y seco del año”*. Después de las reuniones mantenidas con la dirección de los proyectos para la puesta en común de la metodología, se ha llegado a la conclusión de que los hidroperiodos serán bioperiodos, marcados por el estadio más restrictivo, ya que no es lógico proponer una restricción hidrológica si el estadio en cuestión es capaz de soportar las velocidades que se dan para ciertos caudales. Por lo tanto, se ha propuesto una distribución mensual de caudales máximos, limitados por la biología de las especies consideradas en los tramos.

Según la misma *“Este régimen máximo de caudales máximos deberá ser verificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo.”* Por lo tanto, en los siguientes apartados se procederá a la verificación mediante el modelo hidráulico, siguiendo la metodología expuesta en la Guía de Caudales ecológicos.

Evaluación del hábitat de refugio

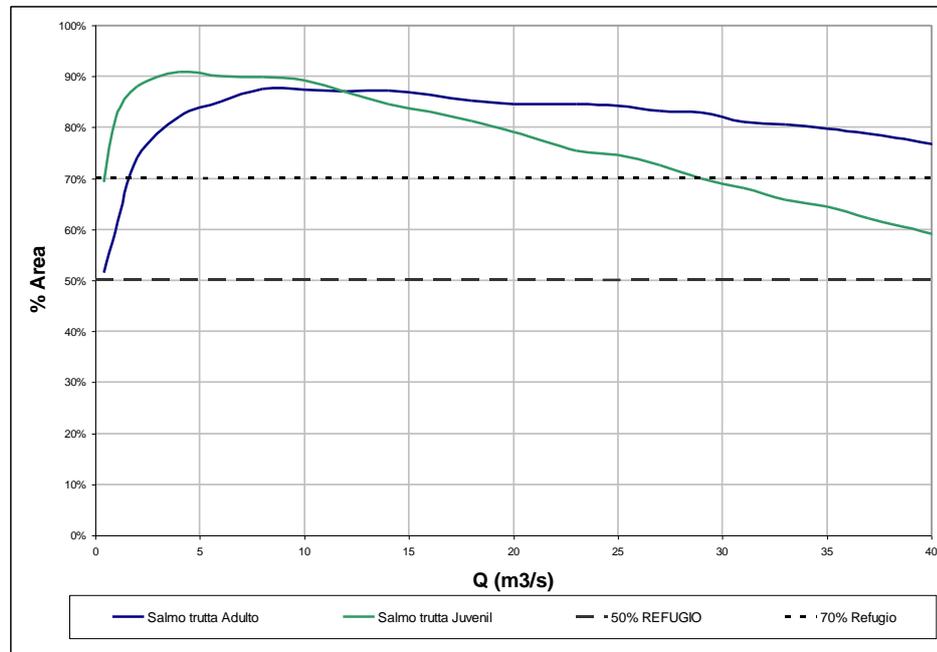
Se define como refugio aquellas zonas del río con una determinada profundidad mínima de agua y cuyas velocidades no superan las velocidades máximas para las especies existentes en el tramo. Para ello, se han considerado los intervalos limitantes de velocidades máximas propuestos en la IPH:

ESTADIO	VELOCIDAD LIMITANTE	PROFUNDIDAD LIMITANTE
Alevín	< 1	> 0,1
Juvenil	< 2	> 0,15
Adulto	< 2,5	> 0,25

Se ha hecho un análisis espacial de la distribución de velocidades, analizando el porcentaje de superficie mojada del tramo que supera las velocidades óptimas con los programas de simulación en

1 dimensión y en 2 dimensiones, obteniendo el porcentaje de superficie de refugio sobre el total de la superficie mojada del tramo, representándose en una gráfica el % refugio frente a los caudales simulados.

A continuación se presenta un ejemplo de un tramo de simulación de área utilizada como refugio:



Como puede observarse en la gráfica anterior, el juvenil es el estadio más restrictivo y el único en el que disminuye el % de refugio sobre el total de la superficie mojada.

Para aquellos caudales que proporcionan un refugio por debajo del 70% de la superficie mojada del tramo se ha comprobado la existencia/inexistencia de conectividad en el tramo, ya que según la *“Guía para la Determinación de Caudales Ecológicos”*, en su apartado de Caudales máximos *“Como buena práctica, se deberá asegurar que al menos se mantenga un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles con el fin de aplicar el principio de precaución y situarnos del lado de la seguridad. Cuando la superficie mojada que supera las velocidades óptimas supera el 30% de la superficie del tramo (refugio inferior al 70% de la superficie) será necesario analizar las condiciones de conectividad y la capacidad de refugio del tramo”*.

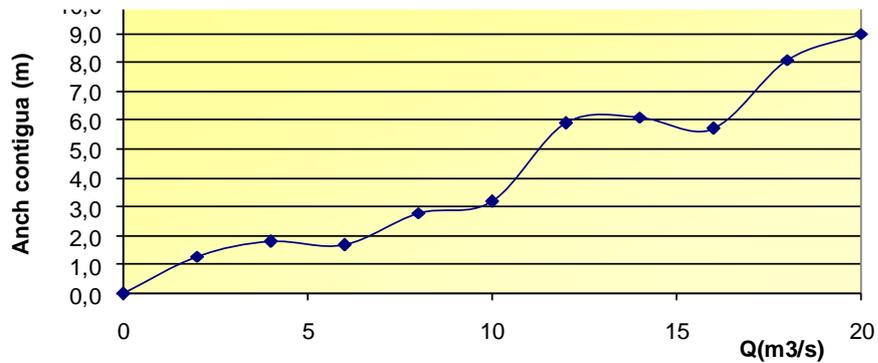
Evaluación de la conectividad

Para el cálculo de la conectividad se ha recurrido a los programas de simulación, obteniendo dos presentaciones de resultados diferentes, según se trate de simulación en una dimensión o en dos dimensiones.

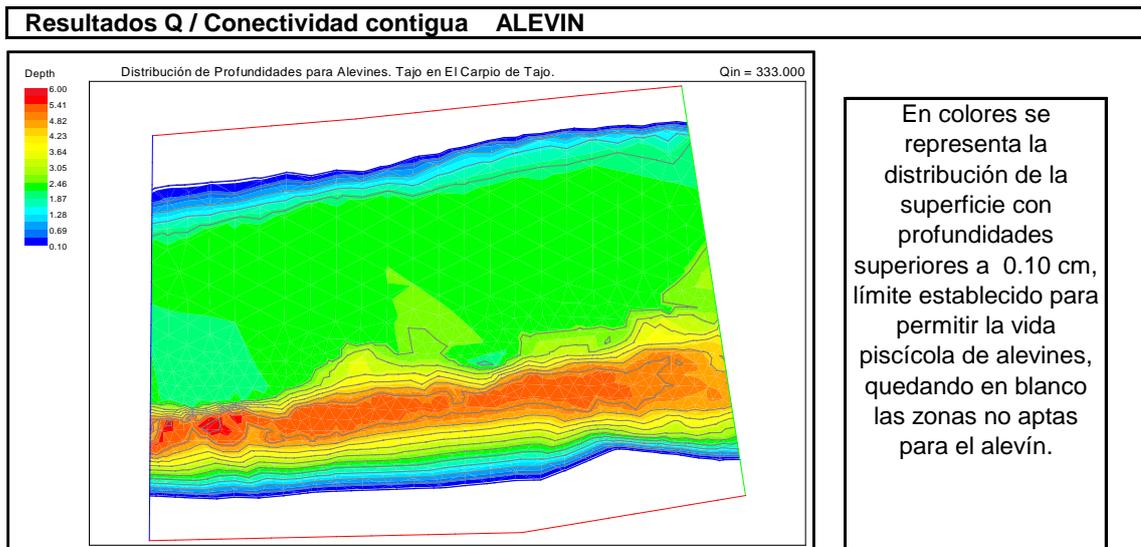
En el caso de tramos unidimensionales, el programa reproduce una gráfica de anchura de paso-caudal contigua, donde se muestra la mínima anchura de paso existente para cada caudal. El análisis de esta gráfica se ha utilizado para la comprobación de si un caudal es suficiente para producir una conexión de hábitats para los peces (considerando las variables de velocidad y de profundidad). Se ha

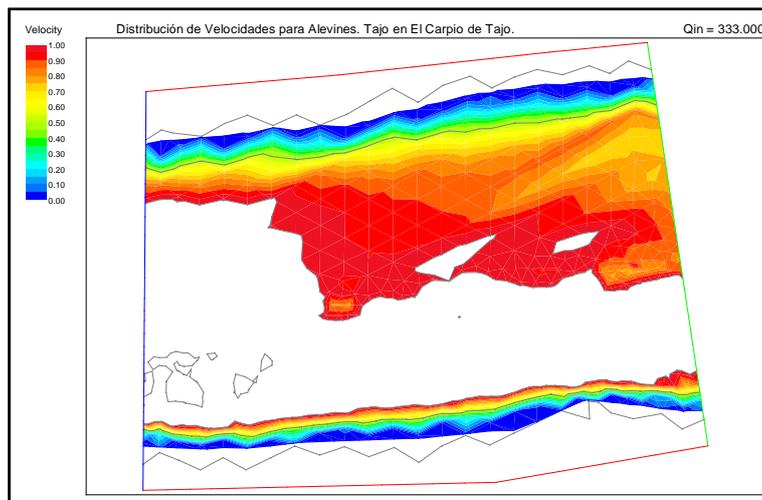
considerado, por estudios consultados previamente, que a partir de un valor de 0.25 m de anchura de paso ya existe conectividad de hábitats en el tramo.

A continuación se presenta un ejemplo de gráfica de anchura de paso-caudal para un tramo unidimensional:

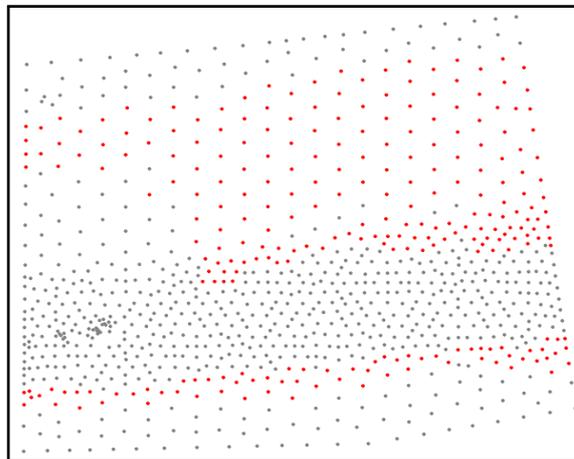


En el caso de tramos bidimensionales, se ha observado espacialmente si existe o no conectividad, y para qué caudal se rompe, como se puede observar en el ejemplo que se muestra a continuación, solapando las capas de velocidad/profundidad:





En colores se representa la distribución de la superficie con velocidades inferiores a 1m/s, límite establecido por la IPH para permitir la vida piscícola de alevines, quedando en blanco las áreas con velocidades superiores a 1m/s.



Al fusionar las capas de velocidad y profundidad con las restricciones impuestas para los alevines, se obtiene la imagen que muestra en rojo la distribución de zonas de refugio, permitiendo visualizar la existencia de conectividad en el tramo.

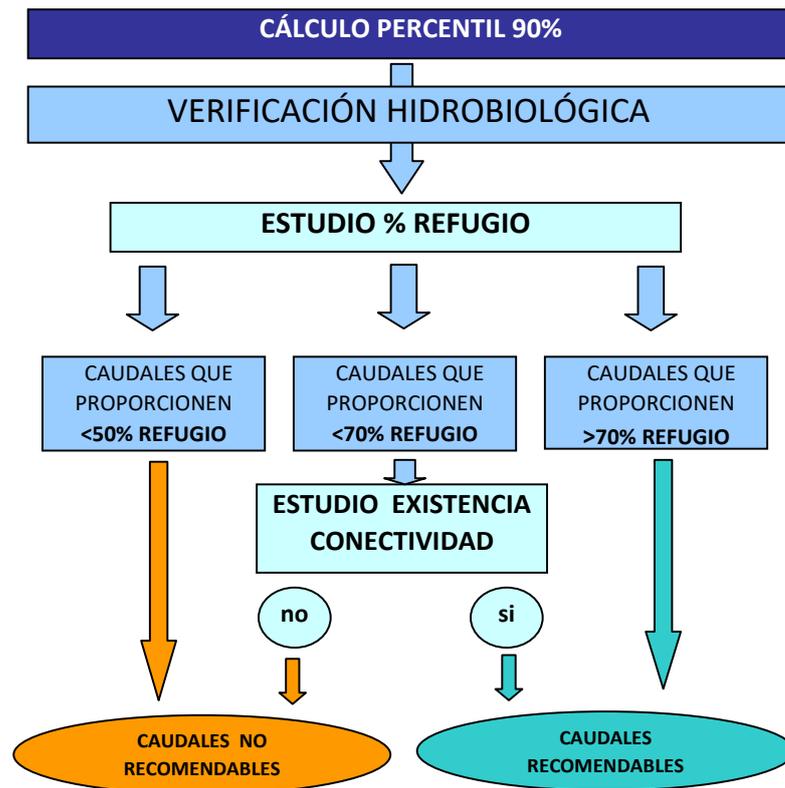
Distribución mensual del régimen de caudales máximos

Para la verificación y el reparto del caudal mensual se han tenido en cuenta los estadios de las especies presentes en el tramo. Para ello se han caracterizado los tramos como salmonícolas, ciprinícolas o ambos, y se ha seguido el siguiente esquema, que está dentro de la “Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos”, en el apartado 3.1.2.3. *Periodos biológicamente significativos*:

Mes	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVER			VERANO		
	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Grupo y Etapa Vital												
CP - Alevines	X								X	X	X	X
CP - Juveniles		X	X	X	X	X	X	X				
CP - Adultos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SL - Alevín						X	X	X	X			
SL - Juvenil							X	X	X	X	X	X
SL - Adulta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVER			VERANO		
Mes	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Grupo y Etapa Vital												
SL - Freza			X	X	X	X						

Por lo tanto, se comprobará, según los estadios de las especies presentes en el tramo de estudio que se cumplen las condiciones de refugio y de conectividad del tramo, y a partir de qué caudal se rompen, y para qué estadio, siguiendo el siguiente esquema:



Se trata por tanto de comprobar a partir de qué caudal el % de refugio está por debajo del 70% sobre la superficie mojada total del tramo, y para qué estadios se rompe. En el momento en el que el refugio esté por debajo del 50%, ya se han considerado como caudales no recomendables en ese tramo, aunque existiese conectividad. Puede ocurrir, por ejemplo, que disminuya el refugio del 50% sobre el total de la superficie mojada para las condiciones del estadio adulto (de ciprínido o de salmónido), por lo tanto no se podrá superar dicho caudal ningún mes, ya que el estadio adulto está presente durante todo el año.

Normalmente es el estadio alevín el más restrictivo debido al aumento de las velocidades con el caudal. En éste caso, dependiendo de si el tramo es ciprinícola o salmonícola, la restricción de dicho caudal será en épocas diferentes, como se ha mostrado en la tabla anterior. Mientras que para los salmónidos la restricción ocurre de febrero a mayo, el de los ciprínidos tendría lugar en los meses de mayo a septiembre.

En el caso de que el refugio esté comprendido entre el 50% y el 70% del total de la superficie mojada del tramo, se ha comprobado la conectividad del tramo. En el momento en el que la conectividad se rompía con un determinado caudal, se consideraba que no era recomendable superar ese caudal, en los meses en los que el estadio en concreto estaba presente. En el caso de que la conectividad no se rompiera para ninguno de los estadios de las especies, y siguiera dentro de los rangos entre el 50% y el 70% de la totalidad de la superficie mojada del tramo, ese caudal sí es recomendable.

3.3 Tasa de cambio y régimen de crecidas

En el estudio se ha considerado la tasa de cambio asociada a los eventos generadores (régimen de crecidas)

No se ha considerado tasa de cambio alguna en la variación temporal de los caudales mínimos entre meses o periodos de factor de variación distintos, ni horarias para la implementación de los caudales máximos.

3.3.1 Caracterización del régimen de crecidas

En la “Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos”, el caudal generador se asimila al caudal de sección llena o nivel de cauce ordinario (bankfull) o, en su defecto, por la Máxima Crecida Ordinaria (M.C.O.).

La M.C.O. es definida por la Ley de Aguas (RDL 1/2001, 20 de julio) como el caudal que conforma el cauce; y se obtiene, según el estudio “Aspectos Prácticos de Definición de la Máxima Crecida Ordinaria” del CEDEX, en base a la serie de máximos caudales medios diarios en régimen natural.

Los parámetros a determinar para caracterizar el régimen de crecidas en una determinada masa de agua son los siguientes:

- Frecuencia
- Magnitud
- Tasas de cambio
- Duración
- Estacionalidad

Frecuencia

Para determinar la periodicidad de los eventos generadores, se ha partido de la regionalización dispuesta por el CEDEX en la que asigna un coeficiente de variación (C_v) según la zona estudiada, tal como muestra la figura adjunta:



Figura 17. Coeficientes de variación del CEDEX

El período de retorno (T) de la MCO se ha estimado a partir del coeficiente de variación determinado por el CEDEX a partir de la expresión: $T \text{ MCO (años)} = 5 * C_v$

3.3.2 Magnitud

La magnitud del caudal generador se ha calculado por tres métodos diferentes:

Los dos primeros en realidad son el mismo pero con diferentes datos de partida, ajustando los máximos anuales a una distribución Gumbel, utilizando por un lado los caudales de entrada al embalse, suponiendo que estos son prácticamente naturales y por otro la restitución a nivel diario de la modelación de las aportaciones realizada por el CEDEX con el modelo SIMPA.

El método de Gumbel es útil para generar, como resultado final después de su aplicación en un hidrograma unitario para un período de retorno determinado, datos de caudales en las corrientes superficiales que atraviesa una vía durante su trayecto. El Método de Gumbel permite así mismo, a partir de una serie de registros históricos de caudal, predecir la frecuencia y el valor correspondiente de caudal por fuera del rango histórico registrado.

De cada una de las series utilizadas se han obtenido los caudales máximos anuales y se han calculado los estadísticos: media, desviación estándar y número de años de la serie. Estos datos junto con el periodo de retorno, son suficientes para el cálculo del caudal generador.

El método propuesto por el CEDEX en el mapa de caudales máximos se sintetiza más adelante. Para más detalles puede consultarse en la memoria de su aplicación:

<http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/mapa-de-caudales-maximos/>

El cálculo en los tres casos se ha realizado partiendo del periodo de retorno calculado por el CEDEX para el mapa de caudales máximos.

3.3.3 Número de eventos a estudiar

Se ha analizado los n/T eventos con caudal punta más próximo al Qgen(tanto por encima como por debajo del mismo) de entre todos los episodios de avenida identificados a lo largo de los n años de la serie de caudales.



Figura 18. Selección de eventos

3.3.4 Tasas de cambio

Se han diseñado unas tasas de cambio basadas en el método del Caudal Básico de Mantenimiento, también conocido como QBM o método de Palau (en la versión de 1999), además de establecer caudales mínimos establece también caudales de crecida y unas tasas de cambio suavizadas según una curva logística.

De forma resumida las fórmulas aplicadas son las siguientes:

Rama ascendente

$$Q_t = \frac{Q_f}{1 + e^{a-rt}}$$

Rama descendente¹

$$Q_t = \frac{Q_f}{1 + e^{rt-a}}$$

Siendo:

¹ No aparece en la Tesis de J Alcázar, pero sí en publicaciones anteriores.

$$a = \ln\left(\frac{Q_f}{Q_0} - 1\right)$$

$$r = \frac{a - \ln\left(\frac{1}{b} - 1\right)}{T_{total}}$$

El número de escalones se ha extrapolado de las siguientes tablas:

Diferencia de caudal (m ³ /s)	Nº escalones	Tiempo mínimo (min)
10	4	20
20	6	30
40	8	40
60	9	45
80	10	50
100	12	60
120	14	70
140	15	75

Tabla 2. Número de escalones y tiempo mínimo a utilizar en la fase de ascenso en función de la diferencia entre el caudal más bajo y el más alto, elaborada para el caso del Genil

Diferencia de caudal (m ³ /s)	Nº escalones	Tiempo mínimo (min)
10	5	30
20	7	35
40	9	45
60	11	55
80	12	60
100	14	70
120	16	80
140	21	105

Tabla 3. Número de escalones y tiempo mínimo a utilizar en la fase de descenso en función de la diferencia entre el caudal más bajo y el más alto, elaborada para el caso del Genil

Para cada uno de los caudales generadores propuestos se han diseñado unas tasas de cambio, utilizando tres tiempos por escalón, 10, 15 y 20 minutos (la duración mínima propuesta en el método es de 5-10 minutos por escalón). Como caudal basal se ha utilizado el caudal ecológico más bajo de los meses de la estacionalidad propuesta (ver más abajo). Los escalones y resultados se presentan a continuación:

3.3.5 Duración del evento

Viene definida por la tasas de ascenso y descenso, desde el caudal base hasta el Qgen y viceversa.

3.3.6 Estacionalidad

La fase del año propuesta para el caudal generador es en los meses de aguas altas, es decir, desde el mes de noviembre al mes de mayo, época en la que se suelen dar las crecidas habituales del río.

Metodología CEDEX para caudales máximos.

Recientemente el CEDEX ha finalizado la elaboración de los mapas de caudales máximos en la red fluvial de las demarcaciones hidrográficas con cuencas intercomunitarias como parte de los trabajos llevados a cabo dentro del Convenio “Asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en materia de gestión del dominio público hidráulico y explotación de obras”, firmado entre la Dirección General del Agua y el CEDEX. A partir de dichos trabajos, y aguas abajo de los grandes embalses, se ha elaborado un procedimiento alternativo de cálculo para el caudal generador, adicional al ya expuesto conforme establece la IPH.

Como resultado de los trabajos, el CEDEX ha obtenido seis capas SIG en cada una de las demarcaciones hidrográficas estudiadas, con las siguientes características:

- Formato raster.
- Resolución de 500x500 m.
- Los caudales corresponden al régimen natural, es decir, no se ha tenido en cuenta la alteración del régimen hidrológico provocada por la presencia de presas en la cuenca.
- Ofrece información en aquellos puntos de la red fluvial con una cuenca vertiente igual o superior a 50 km².
- Cada uno de los seis mapas corresponde a uno de los siguientes periodos de retorno: 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años. (Los caudales correspondientes a periodos de retorno intermedios pueden obtenerse interpolando entre los seis cuantiles proporcionados por los mapas).

De manera complementaria, el CEDEX ha realizado trabajos adicionales orientados a facilitar la estimación de la máxima crecida ordinaria a partir de la información proporcionada por los mapas. Estos trabajos se han basado en los resultados obtenidos a partir de los trabajos realizados para el informe “Aspectos prácticos de la definición de la máxima crecida ordinaria” (CEDEX, 1994).

En el citado informe se pudo establecer una relación entre el caudal de la máxima crecida ordinaria (identificado con el caudal que produce el inicio del desbordamiento del cauce) y diversas magnitudes descriptivas de las características estadísticas de la serie temporal de caudales máximos anuales. De forma aproximada, se puede determinar el caudal correspondiente a la máxima crecida ordinaria (QMCO) en función de la media (Qm) y el coeficiente de variación (Cv) de la serie temporal de caudales máximos anuales mediante la siguiente expresión:

$$Q_{MCO} = Q_m (0,7 + 0,6 \cdot C_v)$$

Una expresión alternativa, para la que es necesario conocer la ley de frecuencia de caudales máximos, es la siguiente en la que se relaciona el periodo de retorno correspondiente al caudal de la máxima crecida ordinaria (TMCO) con el coeficiente de variación de la serie temporal:

$$T_{MCO} = 5 \cdot C_v$$

Esta última expresión es más útil que la anterior para estimar la máxima crecida ordinaria a partir de la información proporcionada por los mapas de caudales máximos. De esta forma, se ha realizado una estimación del coeficiente de variación regional para cada una de las regiones estadísticas identificadas, a partir del cual se ha estimado, mediante la expresión anterior, el periodo de retorno correspondiente, de forma aproximada, a la máxima crecida ordinaria.

En la siguiente tabla se recogen los valores regionales del coeficiente de variación para las regiones estadísticas correspondientes a las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias, así como los valores correspondientes al periodo de retorno aproximado de la máxima crecida ordinaria.

Región	Cv	T (años)
11	0.59	3.0
12	0.54	2.5
13	0.54	2.5
21	0.48	2.5
22	1.15	6.0
23	0.66	3.5
24	0.75	4.0
25	0.75	4.0
26	0.81	4.0
31	0.79	4.0
32	0.79	4.0
33	1.04	5.0
34	0.76	4.0
41	1.20	6.0
42	1.05	5.5
43	0.83	4.0
51	0.96	5.0
52	0.74	3.5
71	1.13	5.5
72	1.44	6.5
73	1.07	5.5
81	0.87	4.5
82	1.21	6.0
83	1.19	6.0
84	0.88	4.5
91	0.47	2.5
92	0.70	3.5
93	1.36	7.0
94	1.04	5.0
95	1.04	5.0
96	0.74	3.5

De esta forma, el caudal correspondiente a la máxima crecida ordinaria se puede estimar en cualquier punto de la red fluvial, conociendo su periodo de retorno aproximado, mediante interpolación entre los cuantiles proporcionados por los mapas.

Por otra parte, dado que, tanto el caudal de la máxima crecida ordinaria como el caudal generador, se identifican, de manera aproximada, con el caudal que produce el inicio de desbordamiento del cauce, ambos conceptos pueden considerarse como equivalentes. De esta forma, los periodos de retorno expuestos anteriormente para la máxima crecida ordinaria pueden considerarse también válidos para el caudal generador, lo que ha permitido obtener su valor mediante interpolación entre la información proporcionada por los mapas.

Por otra parte, quiere hacerse notar, que en cualquier caso, los resultados teóricos obtenidos por una u otra de las metodologías, deberán ser validados en trabajos posteriores, mediante estudios hidráulicos detallados realizados al efecto.

4. RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN RÍOS TEMPORALES O EFÍMEROS

En este Plan del III ciclo se han realizado unos trabajos de caracterización de las masas no permanentes de la cuenca del Duero. En concreto el contrato "*CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA NO PERMANENTES DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO*", cuya conclusión se ha producido en noviembre de 2021.

En estos trabajos se ha empleado una metodología distinta a los planes anteriores y se han considerado los siguientes criterios e información:

- Datos del nuevo inventario de recursos
- Metodología del Life TRIVERS (software TREHS)
- Metodología IPH
- Datos del Área de Calidad de Comisaría de Aguas
- Datos de la Guardería Fluvial
- Muestreos en campo

El resultado ha dado lugar a una caracterización de 68 masas de agua no permanentes de la Cuenca del Duero con sus periodos de cese y sus caudales ecológicos.

4.1 Estudio "*Caracterización de las masas de agua no permanentes de la Confederación Hidrográfica del Duero*"

Los trabajos realizados, han versado sobre los siguientes aspectos:

- Recopilación de la información existente
- Análisis y tratamiento de los datos
- Caracterización previa de las MNP
- Trabajos de campo
- Caracterización final de las MNP
- Fichas resumen sobre las masas

Las tareas fundamentales han sido:

1. Recopilación de la información. Se ha conseguido información de interés sobre:

- Información sobre muestreos y visitas efectuadas que dan información sobre fechas de ausencia de agua en cauce, o al contrario.
- Ficheros sobre análisis de caudales cero, de aplicación directa para el estudio.
- Información sobre las masas (cambios en geometría, estado, presiones, etc) y las cuencas vertientes (pendientes, evapotranspiración, etc)
- Información sobre caudales ecológicos
- Inventario de recursos por masa en serie corta
- Información río - acuífero

- Información GIS al respecto

Adicionalmente, a lo largo del proyecto se ha ido recopilando nueva información que se ha incorporado para la mejor definición de las MNP (momentos de sequía, trabajos de campo, encuestas, hábitats potencialmente relacionados con MNP, etc.)

2. Análisis y tratamiento de datos. A partir de la información anterior, se ha seleccionado aquella de mayor utilidad para los objetivos del estudio, procediendo al análisis y tratamiento de la misma, abordando aspectos tales como:

- Análisis de caudales cero:
 - Números de meses con valores diarios ceros.
 - Suma de porcentajes de días cero de los distintos meses.
 - Mayor valor mensual de % días cero.
 - Valor medio, considerado como la suma de porcentajes de días cero, entre el número de meses con días cero.
- Información sobre pescas.
- Información de visitas sobre existencia de agua en la masa.
- Aportaciones en régimen natural considerando:
 - Caudal promedio de la serie inferior a $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Promedio del mes de mínimo caudal inferior a $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$
- Presencia de estaciones de aforo.
- Extracciones considerando el volumen anual y el volumen en agosto, en relación con sus aportaciones promedio.
- Pendiente de las cuencas vertientes y grado de permeabilidad.
- Ausencia de azudes en la masa y que no se haya detectado una alteración hidrológica por el programa IAHRIS.
- Información sobre ríos perdedores (IGME y OPH).
- Estudio de hábitats ribereños de la Directiva que pudieran ser indicadores de MNP.

3. Caracterización previa: La caracterización previa se ha elaborado en dos etapas. Una, a partir de una caracterización preliminar con distintas variables, y a partir de la aplicación del Software TREHS (LIFE TRIVERS):

- Caracterización preliminar o previa utilizando la información ya analizada, mediante un análisis multicriterio de distintas variables, abordado por dos aproximaciones:
 - Dar pesos a todas las variables.
 - Considerar la información existente en dos grupos: básica y complementaria.

En ambos métodos, la información de partida se ha transformado a una escala de valores entre 0 y 1, siendo los valores más próximos a 1, aquellos con mayor potencialidad de relación con masas no permanentes.

Las variables básicas han sido:

- El análisis de caudales cero y la propuesta del PH 22 – 27, variables que se han unificado en una sola denominada “fusión de temporales”.
- El resultado de la información recopilada sobre visitas secas.

Las variables complementarias han sido:

- MNP en plan actual.
- $Q_{mes\ min} < 0,02\ m^3/s$: Q en el mes mínimo por debajo de 20 l/s.
- $Q_m < 0,25\ m^3/s$: Valores de caudales medios inferiores a 250 l/s.
- Sin datos peces, sin usos.
- Sin azudes, sin estaciones de aforo.
- Masas perdedoras (estudio del IGME).
- Hábitats indicadores de MNP.
- Pendientes y permeabilidad.

Los resultados de ambos métodos se han unificado, obteniendo un único listado de MNP posibles. Esta preselección, se realizó sobre 80 masas, a las que se les añadió otras 7, a partir de los comentarios dados desde el Área de Calidad de la CHD.

- Empleo de la metodología del Life TRIVERS (software TREHS), lo que se ha ejecutado en base a tres fuentes de datos distintas:
 - Serie de caudales del inventario de recursos naturales.
 - Encuesta basada en la que se utiliza en el programa TRESH, y que ha sido enviada al servicio de Guardería para su cumplimentación.
 - Observaciones realizadas en distintas fechas, introduciendo en el programa el estado hidrológico visto (seco, balsas y fluye).

Para cada una de las fuentes de datos, y para las 87 masas de la propuesta previa, se ha obtenido la categoría que el programa TREHS ofrece de forma preliminar para dichas masas.

En la figura siguiente se muestran las categorías del régimen, según el programa TREHS.

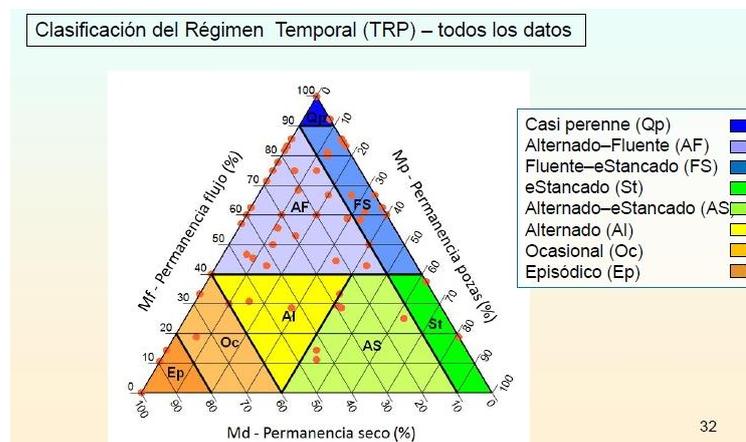


Figura 19. Categorías de resultados en función del diagrama ternario TREHS

En la siguiente tabla se muestra el número de masas que se encuadran en las categorías de regímenes TREHS, en función de los datos de caudales naturales y de las encuestas.

Categorías Régimen TREHS	TREHS Q	TRESH enc.
Perenne	4	0
Casi perenne	14	0
Fluente -estancado	69	19
Alternado -fluente	0	54
Estancado	0	1
Alternado - estancado	0	1
Alternado	0	7
Ocasional	0	5
Episódico	0	0

Tabla 4. Número de masas en las categorías TREHS para caudales (Q) y encuestas (enc).

Así se dispone de resultados TRESH para los caudales naturales y para la situación real actual, obtenida a partir de las encuestas. A este respecto hay que comentar que la información obtenida a partir de las observaciones disponibles, se ha considerado sólo a nivel indicativo, pues únicamente para una de las masas de las 87 de la preselección, se ha dispuesto de los datos adecuados, en cuanto a número de observaciones y distribución de las mismas a lo largo del año, para obtener una catalogación congruente.

4. Trabajos de campo. Se han desarrollado en tres etapas, una de planificación y definición de la ficha de toma de datos, y dos campañas de campo, la primera realizada en 2020 en la zona geográfica con mayor potencial concentración de masas de agua temporales, y otra en 2021, en aquellas masas potencialmente temporales en el resto de la cuenca, si bien en la segunda campaña se ha vuelto a visitar algunas masas de la primera campaña. Hay que comentar que la mayoría de las masas ha sido visitada en varios puntos.

Los aspectos principales recogidos en la campaña de campo (ficha), han sido:

- Información general: masa, coordenadas, población, acceso...
- Descripción del cauce: datos bankfull, márgenes, lecho, flujo, pozas...
- Descripción de los estados acuáticos presentes en la visita
- Sección transversal característica y datos de caudal
- Vegetación ribereña: conectividad, sombreado, anchura, especies presentes...
- Análisis variables físico-químicas "in situ" (cuando existe agua)
- Presiones, fotografías y observaciones

5. Caracterización final: Para ello se ha efectuado una precatalogación, considerando la nueva información recopilada (aumento del número de observaciones por fuentes digitales y de campo, incorporación de resultados TREHS, nueva información sobre tramos de río perdedores), y con una caracterización adicional, basada en los siguientes aspectos:

- Información adicional sobre el régimen hidrológico de la masa (natural y alterado).

- Régimen de caudales ecológicos de la masa.
- Riesgo, naturalidad y estado de la masa.
- Propuesta de actuaciones adicionales (seguimiento y mejora), basadas en las siguientes líneas de actuación:
 - Línea de actuación para la verificación de la temporalidad dada
 - Línea de actuación para comprobación de la coherencia hidrológica
 - Línea de actuación sobre el régimen de caudales ecológicos
 - Línea de actuación sobre cambio climático
 - Otros posibles estudios adicionales
- Posible evolución ante el cambio climático: Resultados TREHS frente a la serie natural

Con todo ello, y considerando las últimas fuentes de información (segunda campaña campo, periodos de cese propuestos, comentarios de encuestas, etc.) se ha procedido a la selección final de las MNP. Se han considerado como indicadores básicos, los siguientes:

- Los resultados TREHS, en especial los obtenidos de caudales simulados.
- Comentarios de encuestas sobre permanencia de agua
- Información de los procesos de preselección efectuados en el proyecto y catalogación de masas temporales de la propuesta de PH 22 – 27.
- Las visitas secas en todo el año y de las visitas fluye en estiaje.
- Propuesta de periodos de cese anuales.
- Diferencia entre los resultados TREHS de los caudales naturales y de las encuestas.

Tipología	Número masas	Número masas con seguimiento
Permanentes	19	16
MNP estacionales	31	7
MNP intermitentes	37	10

Tabla 5. Resumen de resultados de la catalogación final de las masas

Los resultados dependen mucho, evidentemente de las características geográficas de la zona. La mayoría de las masas que se han catalogado como MNP se sitúan en el suroeste de la provincia de Salamanca, aunque hay masas que se han catalogado como tal en la zona del Sistema Central, y en la meseta, tanto al este de los montes de León como algún tributario del Duero y el Esla.

Desde un punto de vista numérico, los resultados son los siguientes:

- Las masas que se propone considerar como MNP son 68. En función de los valores obtenidos, 50 son claramente MNP.
- Las masas que se propone catalogar como permanentes son 19, de las que 3 son claramente permanentes. Otras 14 se han considerado como permanentes, pues existen indicadores que pueden llevar a ello, como el resultado TREHS para la serie de caudales naturales, para el que se ha obtenido en todos los casos, la categoría de “casi perenne”. Muchas de estas masas están en zonas geográficas donde no hay presencia de otras MNP y tienen una tipología similar entre ellos.

Finalmente, de cara a confirmaciones futuras del régimen establecido, se ha propuesto la realización de seguimientos para aquellas masas con bajo grado de certidumbre. El tipo de seguimiento y el número de masas al que se le propone aplicar, se muestran en la tabla siguiente.

Seguimiento propuesto	Número de masas
Aunque se trata de una MNP, podría ser recomendable un seguimiento para verificación de la conexión río - acuífero y del régimen intermitente	5
Seguimiento de la repercusión en el régimen de la interacción río - acuífero	2
Seguimiento del régimen	8
Seguimiento del régimen y convendría aumentar el número de encuestas	4
Seguimiento del régimen. Convendría aumentar el número de encuestas y estudiar la influencia de la ramificación	1
Seguimiento para verificar número de días de cese, también conveniente aumentar el número de encuestas y verificar si existen presiones adicionales	5
Seguimiento de la influencia de la ramificación	2
Seguimiento para verificar régimen. Convendría aumentar el número de encuestas y verificar la existencia de posibles de presiones adicionales	5
Sin propuesta de seguimiento	54

Tabla 6. Tipos de seguimientos propuestos y número de masas relacionados

Hay 33 masas con seguimiento y 54 sin seguimiento. De aquellas que presentan seguimiento, 16 de ellas con catalogadas como permanentes, pues hay muchas que necesitan verificación en su catalogación, mientras que las restantes 17 son catalogadas como MNP, para las que la mayoría se circunscribe a la verificación de presiones y de la conexión río – acuífero, o conveniencia de aumentar el número de encuestas.

La distribución de resultados de la catalogación definitiva se muestra en la siguiente figura.

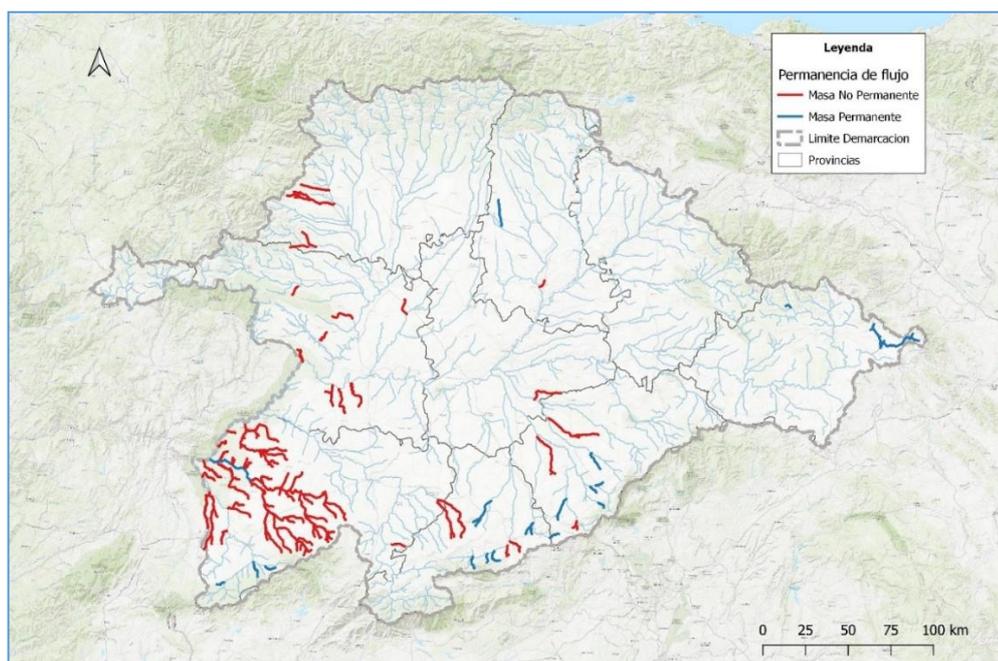


Figura 20. Masas no permanentes y masas permanentes, según la clasificación final

Las masas consideradas permanentes, han sido:

Masa	Nombre (propuesta PH 22-27)	Propuesta de seguimiento
30400180	Arroyo Cueva de Cabañas desde cabecera hasta confluencia con arroyo de Fuentearriba	Sí
30400303	Arroyo Remonico	-
30400325	Río Araviana desde cabecera hasta confluencia con río de la Matilla, y río de la Matilla	Sí
30400326	Río Rituerto y desde cabecera hasta la confluencia con río Araviana y río Araviana desde confluencia con arroyo de la Matilla hasta confluencia con río Rituerto.	-
30400387	Arroyo de Polendos desde cabecera hasta confluencia con río Pirón	Sí
30400451	Río Arevalillo desde cabecera hasta confluencia con río Rivilla, y río Ríoondo	-
30400513	Río Huebra desde confluencia con el río Yeltes hasta el embalse de Saucelle	Sí
30400540	Río Ciguiñuela desde cabecera hasta su desembocadura en el río Eresma	Sí
30400543	Arroyo Tejadilla desde cabecera hasta confluencia con el río Eresma	Sí
30400548	Río Frío hasta el embalse de Puente Alta o Revenga, y río de la Acebeda	Sí
30400574	Río Viñegra desde cabecera hasta confluencia con río Moros	Sí
30400576	Arroyo de Berrocalejo desde cabecera hasta su confluencia con el río Voltoya, y río de Mediana	Sí
30400593	Río Voltoya desde cabecera hasta el embalse de Serones o Voltoya	Sí
30400610	Arroyo de la Hija desde cabecera hasta su confluencia con el río Adaja	Sí
30400612	Río Fortes desde cabecera en Riofrío hasta aguas arriba de Mironcillo	Sí
30400613	Río Picuezo desde cabecera hasta confluencia con el río Adaja	Sí
30400618	Río Chico de Porteros desde cabecera hasta confluencia con el río Agadón	Sí
30400628	Río Burguillo desde cabecera hasta el embalse de Águeda	Sí
30400631	Arroyo del Rolloso desde cabecera hasta el embalse de Irueña	Sí

Tabla 7. Masas seleccionadas como permanentes

Las masas consideradas temporales, han sido:

Masa	Nombre (propuesta PH 22-27)	Propuesta de seguimiento
30400101	Río Argañoso desde cabecera hasta confluencia con río Tuerto	-
30400104	Río Turienzo desde cabecera hasta confluencia con río Tuerto, y río Santa Marina y arroyos de Villar de Ciervos y del Ganso	Sí
30400121	Río de la Vega desde cabecera hasta confluencia con río Valderaduey	-
30400170	Arroyo Serranos desde cabecera hasta confluencia con río Eria	-
30400171	Arroyo Valdepinilla y río Codres desde confluencia con arroyo Valdepinilla hasta confluencia con río Eria	-
30400257	Arroyo de Villalobón desde cabecera hasta confluencia con río Carrión en Palencia	Sí
30400281	Arroyo de las Ciervas desde cabecera hasta embalse Nuestra Señora del Agavanzal	Sí
30400318	Arroyo de la Burga de Enmedio desde arroyo del Casal hasta el embalse de Ricobayo, y afluentes	-

Masa	Nombre (propuesta PH 22-27)	Propuesta de seguimiento
30400341	Arroyo de Valdeladrón y regato de los Vallones desde cabecera hasta embalse de Ricobayo	-
30400352	Arroyo de Prado Nuevo, arroyo del Manzanal, ribeira Prateira y arroyo de la Ribera desde cabecera hasta confluencia con el embalse (albufeira) de Miranda	-
30400389	Río Malucas desde cabecera hasta confluencia con río Pirón	-
30400391	Arroyo del Henar desde cabecera hasta confluencia con río Cega	-
30400425	Rivera de Sogo desde cabecera hasta límite LIC "Cañones del Duero"	-
30400426	Rivera de Fadoncino desde confluencia con rivera Valnaro hasta confluencia con río Duero, y riveras Valnaro y de Sogo	Sí
30400437	Rivera de Campeán desde cabecera hasta el embalse de San Román	Sí
30400443	Arroyo de la Balisa desde cabecera hasta confluencia con río Voltoya	-
30400464	Rivera de Sobradillo de Palomares desde cabecera hasta su confluencia con río Duero	-
30400477	Rivera de la Cabeza de Iruelos desde cabecera hasta confluencia con el Río Uces	-
30400478	Arroyo del Roble desde confluencia con arroyo del Picón Cuerno y regato del Valle de las Abubillas hasta límite LIC "Arribes del Duero", y arroyo del Picón Cuerno y regato del Valle de las Abubillas	-
30400479	Río Uces desde cabecera hasta LIC "Riberas de los ríos Huebra, Yeltes, Uces y afluentes" y riveras Grande, de los Casales y de Sanchón	-
30400480	Río Uces desde comienzo del LIC "Riberas de los ríos Huebra, Yeltes, Uces y afluentes" hasta el embalse de Aldeadávila, y Regato de la Retuerta del Vallecabo y Arroyo de los Haces	-
30400483	Arroyo de Ropinal desde cabecera hasta confluencia con el embalse de Saucelle	-
30400495	Arroyo de la Nava desde cabecera hasta el embalse de Saucelle	-
30400511	Arroyo de la Rivera de las Casas desde cabecera hasta confluencia con el río Huebra	-
30400512	Arroyo Grande desde confluencia con arroyos de Valdeahigal y Valdecepo hasta su confluencia con el río Huebra, y arroyos de Valdeahigal y Valdecepo	Sí
30400514	Arroyo de la Rebofa desde confluencia con arroyo Grande y de la Carbonera hasta confluencia con el río Huebra, y arroyos Grande, de la Carbonera, de los Casales y de la Bardionera	Sí
30400526	Rivera de Froya desde cabecera hasta el embalse de Pociño	-
30400527	Río Camaces desde cabecera hasta límite del LIC y ZEPA "Arribes del Duero"	-
30400528	Río Camaces desde límite del LIC y ZEPA "Arribes del Duero" hasta la confluencia con el río Huebra	-
30400529	Arroyo Arganza desde cabecera hasta confluencia con el río Huebra, y arroyos de Huelmos y de Maniel	-
30400530	Río Oblea desde cabecera hasta su confluencia con el río Huebra	-
30400531	Arroyo Tumbafrailles desde cabecera hasta confluencia con el río Huebra	Sí
30400532	Arroyo Valdeguilera desde cabecera hasta confluencia con el río Huebra	-
30400533	Arroyo del Granizo desde cabecera hasta confluencia con el río Huebra	-
30400535	Río Huebra desde aguas abajo de San Muñoz hasta confluencia con el río Yeltes	Sí
30400536	Rivera de Cabrillas desde cabecera hasta límite del LIC "Riberas de los ríos Huebra, Yeltes, Uces y afluentes", y arroyo de la Fresneda	Sí

Masa	Nombre (propuesta PH 22-27)	Propuesta de seguimiento
30400537	Arroyo Caganchas desde cabecera hasta confluencia con el río Yeltes	-
30400538	Río Yeltes desde confluencia con rivera de Campocerrado hasta confluencia con el río Huebra y rivera de Campocerrado	Sí
30400539	Río Morgáez desde cabecera confluencia con el río Águeda	-
30400551	Río Almar desde cabecera hasta presa del embalse del Milagro	-
30400552	Río Almar desde presa del embalse del Milagro hasta su confluencia con el río Zamplón en la Bóveda del Río Almar	-
30400553	Río Zamplón desde cabecera hasta confluencia con río Almar y río Navazamplón y arroyo de Mataburros	-
30400560	Rivera de Dos Casas desde confluencia con rivera de la Mimbre y rivera del Berrocal hasta límite del LIC "Campo de Argañán", y riveras del Berrocal y de la Mimbre	-
30400561	Rivera de Dos Casas desde límite del LIC y ZEPA "Campos de Argañan" hasta límite del LIC y ZEPA "Arribes del Duero"	-
30400562	Arroyo de la Rivera del Lugar desde cabecera hasta su confluencia con la rivera de Dos Casas	-
30400563	Rivera de Dos Casas desde límite del LIC y ZEPA "Arribes del Duero" hasta confluencia con el río Águeda	-
30400564	Río Turones desde límite LIC y ZEPA "Arribes del Duero" hasta confluencia con la rivera de Dos Casas	-
30400567	Rivera de la Granja desde cabecera hasta confluencia con el río Águeda, y rivera de Campos Carniceros	-
30400570	Arroyo de Albericocas desde confluencia con arroyos de los Valles y de Navarredonda hasta confluencia con el río Huebra, y arroyos de Navarredonda de los Valles y de Marigallega	-
30400571	Río Huebra desde su confluencia con el arroyo de Albaricocas hasta aguas arriba de San Muñoz	-
30400578	Arroyo de Varazas desde cabecera hasta confluencia con en el río Huebra	-
30400581	Río Turones desde punto donde hace frontera con Portugal hasta límite LIC y ZEPA "Arribes del Duero" (tramo fronterizo)	-
30400582	Arroyo de Altejos desde cabecera hasta confluencia con el río Yeltes	-
30400583	Río Yeltes desde confluencia con arroyos del Zarzoso y de Zarzosillo hasta su confluencia con arroyo El Maillo, y arroyos del Zarzoso, de Zarzosillo y de la Barranca	Sí
30400584	Río Yeltes desde su confluencia con el arroyo de El Maillo hasta su confluencia con el río Morasverdes, y arroyo de El Maillo	Sí
30400585	Río Morasverdes desde límite del LIC y ZEPA "Las Batuecas-Sierra de Francia" hasta su confluencia con el río Yeltes	Sí
30400586	Río Yeltes desde su confluencia con río Morasverdes hasta su confluencia con la rivera de Campocerrado	Sí
30400587	Río Tenebrilla desde cabecera hasta su confluencia con el arroyo de Gavilanes	-
30400588	Arroyo de Gavilanes	-
30400589	Río Gavilanes	-
30400590	Río Huebra desde cabecera hasta su confluencia con el arroyo del Cubo, y arroyos de la Hojita, del Cubo y de la Cañada	-

Masa	Nombre (propuesta PH 22-27)	Propuesta de seguimiento
30400591	Río Huebra desde confluencia con el arroyo del Cubo hasta su confluencia con el arroyo de Albericocas	-
30400597	Rivera de Gallegos desde cabecera hasta confluencia con el río Águeda	Sí
30400599	Río de Revilla de Pedro Fuertes desde cabecera hasta el embalse de Santa Teresa	-
30400602	Rivera del Campo desde límite del LIC y ZEPA "Campo de Azaba" hasta límite del LIC "Campo de Argañán"	-
30400603	Río Chico desde cabecera hasta confluencia con el río Adaja, y arroyos de los Vaquerizos y de la Nava	-
30400605	Arroyo de Gemiguel desde cabecera hasta confluencia con arroyo de la Reguera, y arroyo del Gemional	-
30400820	Arroyo de la Tejera desde cabecera hasta confluencia con río Moros, y arroyo de la Soledad	Sí

Tabla 8. Masas seleccionadas como temporales

4.2 Periodos de cese considerados

Partiendo de información obtenida de los trabajos TREHS realizados, se ha realizado una propuesta sobre los periodos de cese de caudales.

El programa TREHS muestra un conjunto temporal automático de umbrales del flujo basado en fracciones obtenidas del caudal máximo observado, si bien los valores de estas fracciones se pueden modificar en la página de configuración.

Empleando los umbrales que el programa TREHS obtiene de forma automática para los distintos tipos de estados acuáticos a partir de una serie de caudales validada, se puede conocer para cada masa, cual es el umbral entre el estado oligorreico y arreico, estableciéndose ese límite como el umbral en el que el río deja de fluir.

- Estado oligorreico: el caudal de agua en superficie es escaso, pero suficiente para conectar la mayoría de pozas a través de hilos de agua.
- Estado arreico: flujo en superficie cero, pero con pozas aisladas.

TREHS obtiene dicho límite, mediante un algoritmo interno, a partir de un porcentaje sobre el caudal máximo de la serie introducida al modelo, como se puede apreciar en la figura siguiente.

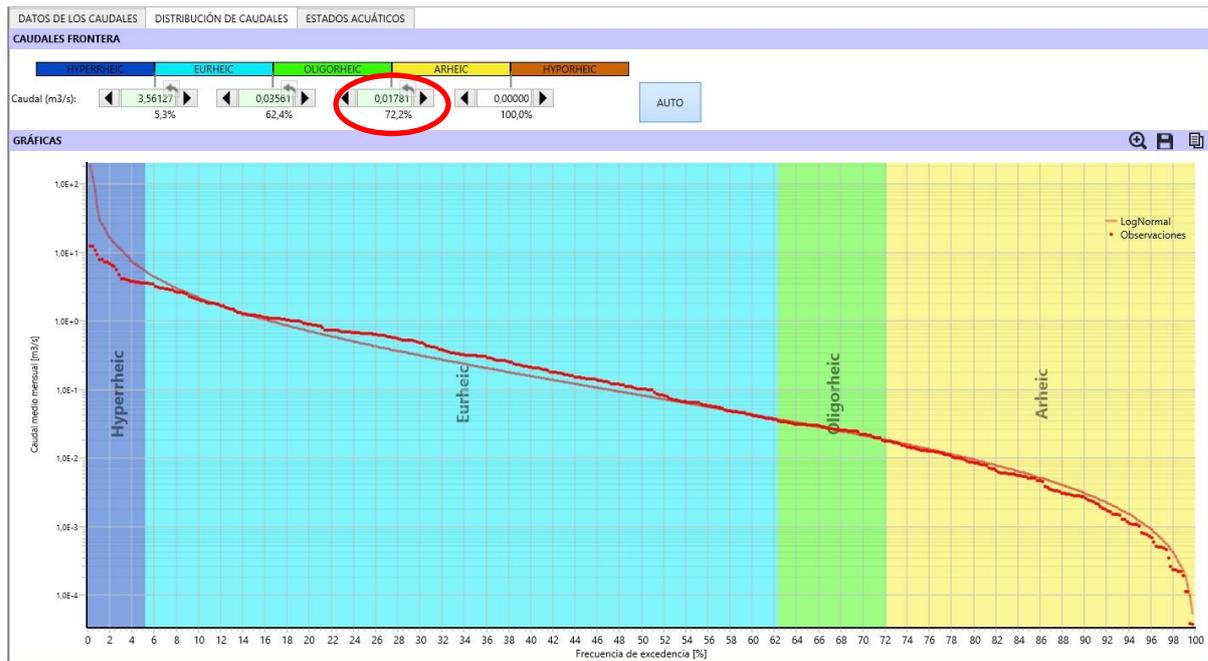


Figura 21. Ejemplo de distribución de estados acuáticos en función de la frecuencia de excedencia

En base a ello, se ha realizado un ensayo sobre la homogeneidad o heterogeneidad de dicho porcentaje sobre el caudal máximo, con el fin de conseguir un umbral que establezca el caudal cero para cada masa.

Se han tomado masas de distinta tipología de régimen, tanto fuente- estancado como casi perenne y perenne, así como de distinta entidad. Se ha obtenido para cada ellas el límite oligorreico – arreico y se ha obtenido el % que supone sobre el caudal máximo. Adicionalmente, se ha considerado el valor del parámetro de permanencia de flujo, M_f (media a largo término del número relativo anual de meses con agua circulando), con el fin de reflejar en el ensayo, masas con un parámetro M_f que pudiera ser representativo de las masas trabajadas.

Así se ha incluido en el ensayo las masas con mayor y menor M_f , así como otras con valores de M_f muy próximos a la media y mediana de los M_f obtenidos para todas las masas. El resultado de lo expuesto se aprecia en la siguiente tabla.

Masa	Nombre	Qmax (m3/s)	Límite oligo-arreic	M_f	REGIMEN TREHS	% Qmax serie	Comentarios
30400104	Río Turienzo desde cabecera hasta confluencia con río Tuerto, y río Santa Marina y arroyos de Villar de Ciervos y del Ganso	12,416	0,018	0,7215*	Fluente-estancado	0,1434	*Próximo al M_f promedio de todas las masas (0,720)
30400590	Río Huebra desde cabecera hasta su confluencia con el arroyo del Cubo, y arroyos de la Hojita, del Cubo y de la Cañada	8,158	0,011	0,608	Fluente-estancado	0,1880	-
30400513	Río Huebra desde confluencia con el río Yeltes hasta el embalse de Saucelle	160,618	0,197	0,601	Fluente-estancado	0,1230	-

Masa	Nombre	Qmax (m3/s)	Límite oligorreico	Mf	REGIMEN TREHS	% Qmax serie	Comentarios
30400325	Río Araviana desde cabecera hasta confluencia con río de la Matilla, y río de la Matilla	3,921	0,003	0,983	Casi perenne	0,0852	-
30400326	Río Rituerto y desde cabecera hasta la confluencia con río Araviana y río Araviana desde confluencia con arroyo de la Matilla hasta confluencia con río Rituerto.	6,196	0,013	0,991	Perenne	0,2096	-
30400303	Arroyo Remonico	1,267278	0,002	1*	Perenne	0,1862	*Mf máximo de todas las masas
30400526	Rivera de Froya desde cabecera hasta el embalse de Pociño	4,497386	0,006	0,5241*	Fluente-estancado	0,1307	*Mf mínimo de todas las masas
30400562	Arroyo de la Rivera del Lugar desde cabecera hasta su confluencia con la rivera de Dos Casas	3,069706	0,004	0,6754*	Fluente-estancado	0,1251	*Próximo a la Mf mediana de todas las masas (0,675)

Tabla 9. Resultados del ensayo realizado para obtener el porcentaje del Q máximo para la delimitación entre los estados oligorreico y arreico

La diferencia entre los valores obtenidos para el límite oligorreico – arreico, varía entre un porcentaje del caudal máximo entre 0,0852 y 0,209. Finalmente, se ha adoptado un porcentaje de 0.143, similar al obtenido para el Mf promedio de todas las masas estudiadas con TREHS.

Dicho porcentaje se ha aplicado al caudal máximo de la serie de todas las masas, y con ello se ha obtenido el caudal equivalente al caudal nulo, donde el cauce deja de fluir.

Con posterioridad se ha aplicado un porcentaje de meses que han de cumplir dicha condición de caudal nulo, para considerarlos periodo de cese. Se considera cese cuando el número de meses que cumple la condición es superior a 25 de los 38 meses de la serie.

Este procedimiento se ha usado para todas las masas, salvo para la 513, *Río Huebra desde confluencia con el río Yeltes hasta el embalse de Saucelle*; 535 *Río Huebra desde aguas abajo de San Muñoz hasta confluencia con el río Yeltes*; y 538 *Río Yeltes desde confluencia con rivera de Campocerrado hasta confluencia con el río Huebra y rivera de Campocerrado*.

En estas masas, se entiende que el procedimiento no se ajusta a la realidad hidrológica como consecuencia de la importante entidad de los cauces y de las cuencas vertientes a ellos, lo que ocasiona unos caudales máximos muy superiores a los que se presentan en el resto de las masas en estudio (ver en Tabla 2), por lo que el algoritmo que se ha empleado, al partir de dicho dato (Qmax), supone un resultado de meses de cese que se entiende sobredimensionado y que no se corresponde con la visión en campo de dichas masas. En base a ello, para estas tres masas se ha dado un ajuste por criterio experto, correspondiéndose con los resultados con asterisco en la tabla siguiente (Tabla 3). Para la masa 513 no se ha propuesto periodo de cese, mientras que para la masa 535 y 538, se han propuesto 2 meses de cese.

Los resultados de los periodos de cese son variables, de unas masas a otras, oscilando entre 0 y hasta 4 meses.

Masa	Periodo de cese												Nº meses cese
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
30400101	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400104	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400121	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400257	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400281	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400303	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400318	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	2
30400325	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400326	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400341	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	1
30400352	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400387	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400389	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400391	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400425	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	cese	4
30400426	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	cese	4
30400437	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	cese	4
30400443	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400464	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	cese	4
30400477	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4
30400478	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4
30400479	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4
30400480	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4
30400483	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400495	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400511	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400512	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4
30400513	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0*
30400514	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4
30400526	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4
30400527	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4
30400528	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4

Masa	Periodo de cese												Nº meses cese
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
30400529	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400530	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400531	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400532	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4
30400533	cese	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	4
30400535	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2*
30400536	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400537	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400538	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2*
30400539	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2
30400543	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400548	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400551	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400552	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400553	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400560	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2
30400561	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2
30400562	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2
30400563	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2
30400564	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2
30400567	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2
30400570	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400571	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400574	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400578	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400581	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2
30400582	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400583	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400584	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400585	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400586	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400587	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400588	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400589	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400590	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400591	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	cese	3
30400593	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Masa	Periodo de cese												Nº meses cese	
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep		
30400597	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2
30400599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400602	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	cese	2
30400603	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400605	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400610	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400612	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400613	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cese	1
30400180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400451	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400576	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400618	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400628	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30400631	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Tabla 10. Propuesta de periodos de cese

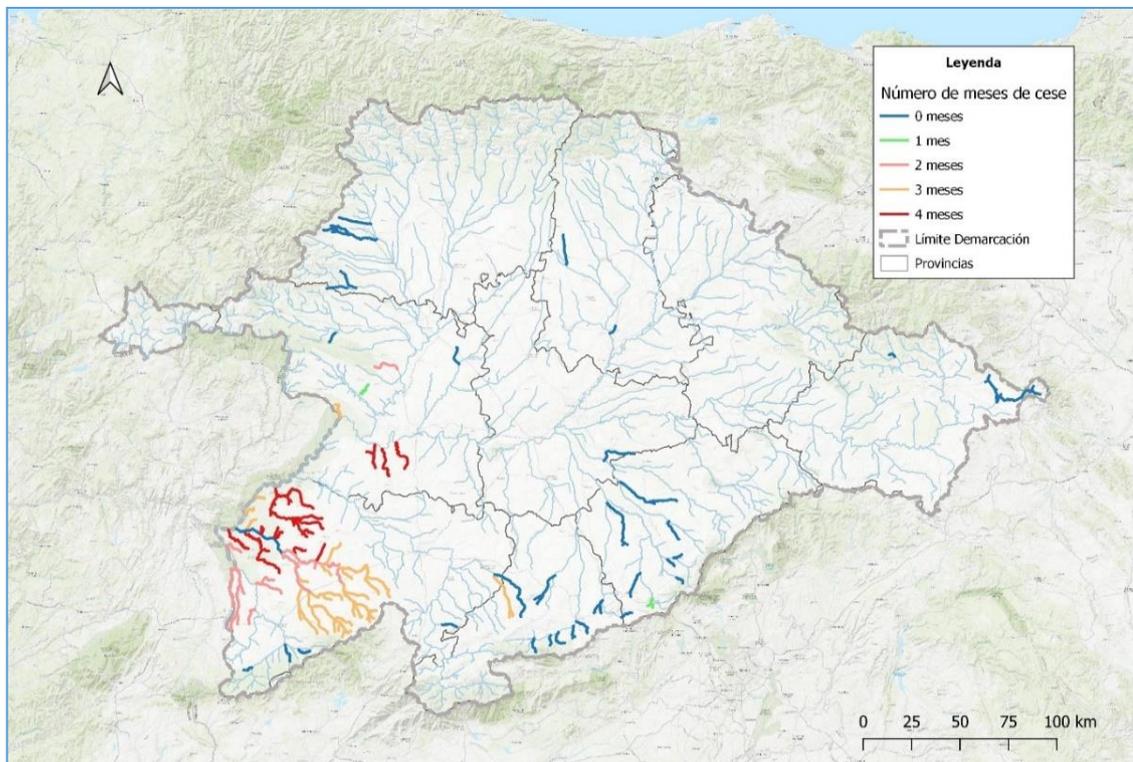


Figura 22. Mese de cese propuestos para las masas

Como se puede apreciar, las masas con meses de cese se localizan fundamentalmente en la zona suroeste de Salamanca. También es reseñable que hay más masas con una propuesta de tres y

cuatro meses de cese, que con uno o dos. Las masas sin cese se distribuyen fundamentalmente por el resto de la cuenca.

Los meses de la anterior tabla, son los que se han propuesto como cese en base al algoritmo empleado. Sin embargo, si se considera la probabilidad de presencia de meses con ausencia de caudales en algún momento, se verifica que dicha probabilidad de caudales muy bajos o nulos, es mayor que en la propuesta de ceses efectuada. Para recoger este aspecto, se ha introducido el concepto de cese probable que son aquellos meses en los que, sin estar considerados de cese según la Tabla 10, tienen una alta probabilidad de secarse. Con carácter general, se ha establecido un umbral de probabilidad de secarse del 37 % para considerar mes de cese probable. Además, en aquellas masas que no alcanzaban este umbral se ha propuesto como cese probable el mes con mayor número de ceros. Esto se entiende de interés para potenciales actuaciones de gestión en dichas masas.

En la tabla siguiente, se recogen para las masas no permanentes los meses de cese probable.

MASA	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
30400101	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400104	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob
30400121	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400180	Masa definida como permanente											
30400257	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400281	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400303	Masa definida como permanente											
30400318	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400325	Masa definida como permanente											
30400326	Masa definida como permanente											
30400341	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob
30400352	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400387	Masa definida como permanente											
30400389	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400391	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400425	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob				
30400426	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob				
30400437	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob				
30400443	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400451	Masa definida como permanente											
30400464	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob				
30400477	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400478	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob

MASA	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
30400479	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400480	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400483	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400495	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400511	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400512	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400513	Masa definida como permanente											
30400514	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400526	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400527	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400528	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400529	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400530	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400531	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400532	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400533	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400535	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400536	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400537	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400538	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400539	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400540	Masa definida como permanente											
30400543	Masa definida como permanente											
30400548	Masa definida como permanente											
30400551	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400552	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400553	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400560	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400561	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400562	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400563	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400564	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400567	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400570	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400571	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400574	Masa definida como permanente											
30400576	Masa definida como permanente											
30400578	C. Prob	C. Prob	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400581	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob

MASA	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
30400582	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400583	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400584	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400585	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400586	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400587	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400588	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400589	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400590	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400591	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400593	Masa definida como permanente											
30400597	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400602	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob	C. Prob
30400603	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob
30400605	C. Prob	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30400610	Masa definida como permanente											
30400612	Masa definida como permanente											
30400613	Masa definida como permanente											
30400618	Masa definida como permanente											
30400628	Masa definida como permanente											
30400631	Masa definida como permanente											
30400820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C. Prob	C. Prob

Tabla 11. Meses con mayor probabilidad de cese en las masas estudiadas

5.

5. MASAS DE AGUA MUY ALTERADAS HIDROLÓGICAMENTE

Tal y como establece la IPH, se ha analizado el grado de alteración hidrológica de las masas de agua de la categoría río mediante el cálculo de índices de alteración hidrológica, los cuales evalúan la distorsión originada en los caudales circulantes con respecto a los caudales naturales, identificándose aquellas masas que se encuentren en un grado severo de alteración hidrológica en la situación actual, presentando conflictos entre los usos existentes y el régimen de caudales ecológicos.

Este trabajo, se ha realizado para las masas simuladas hidrobiológicamente, con el fin de poder ajustar, tal y como dice la IPH, los caudales mínimos a una potencial habitabilidad del 30%.

Para realizar esta evaluación se ha empleado el programa IAHRIS, software diseñado a partir de un convenio entre la DGA y el CEDEX para la aplicación práctica de los índices de alteración hidrológica, basado en el manual “*IAHRIS 2.2 Indicador de masas de agua muy alteradas: Manual de referencia metodológica*” (Fernández Yuste & Martínez Santa-María, 2010).

En el citado manual se presentan dos métodos para la asignación de la condición de “Masa muy alterada” (MMA):

- El primero de ellos, **método IAH-MMA**, utiliza los resultados de los Índices de Alteración Hidrológica facilitados por la aplicación informática IAHRIS. Los índices obtenidos varían en función de la tipología de los datos facilitados -hasta cuatro situaciones o casos posibles-. Es por ello, que el método IAH-MMA establece, para cada uno de esos casos, las condiciones que deben cumplir los respectivos índices para asignar a la masa en estudio la condición de MMA.
- El segundo de los métodos, o **método P10%-90%**, trabaja exclusivamente con aportaciones mensuales, estableciendo, a partir de los valores en régimen natural, cual es el “rango normal” de variación de las aportaciones mensuales y anuales. Este método establece unos porcentajes a cumplir, fuera de los cuales la masa se cataloga como MMA.

MÉTODO	CASOS POSIBLES	INDICADORES	CRITERIO para MMA
IAH-MMA	Caso 1: datos diarios coetáneos	12 Índices de Alteración Hidrológica IAH1,2,3,5,6,8,10,13,14,16,19,21	C1 más de 6 IAH son $\leq 0,5$ Si 6 IAH son $\leq 0,5$ se aplicará C1a al menos DOS componentes con IAH MEDIO $\leq 0,5$
	Caso 2: datos diarios no coetáneos	12 Índices de Alteración Hidrológica M1,M3,V1,E1,E2,IAH8,10,13,14,16,19,21	C1 más de 6 IAH son $\leq 0,5$ Si 6 IAH son $\leq 0,5$ se aplicará C1a al menos DOS componentes con IAH MEDIO $\leq 0,5$
	Caso 3: datos mensuales coetáneos	5 Índices de Alteración Hidrológica IAH1,2,4,5,6	C2 dos o más IAH son $\leq 0,5$
	Caso 4: datos mensuales no coetáneos	5 Índices de Alteración Hidrológica M1,M3,V1,E1,E2	C2 dos o más IAH son $\leq 0,5$
P10%-90%		Percentiles 10% y 90% mensuales y anual	C3 menos del 50% de los meses o de los años están dentro del rango

Figura 23. Rasgos más destacados de los dos métodos propuestos

El uso conjunto de los dos métodos anteriores, método IAH-MMA y método P10%-90% conforma la herramienta de decisión que se denomina criterio P-IAHRIS.

CATEGORÍA DE LA MASA POR MÉTODO		¿EXISTE DISCREPANCIA?	CARACTERÍSTICAS DE LA MASA	CATEGORÍA DE LA MASA CRITERIO P_IAHRIS
IAH-MMA	P10%-90%			
MMA no MMA	MMA no MMA	no		MMA no MMA
MMA no MMA	No MMA MMA	Si, pero algún método cataloga en condición límite		(1) Se acepta el resultado del método que no está en el entorno del umbral de decisión
MMA	no MMA	si	Amplio rango P10%-90%	(2a) MMA
No MMA	MMA	si	Alteración muy localizada	(2b) MMA
No MMA	MMA	sí	Reducido rango P10%-90%	(2c) No MMA

Figura 24. Síntesis del criterio P-IAHRIS

En los casos en que el criterio P-IAHRIS indica que se trata de masas muy alteradas hidrológicamente, identificación corroborada con el criterio de experto, la estimación para fijar el régimen de mínimos se realiza utilizando el rango comprendido entre el 30% y el 80% del hábitat potencial útil máximo para las especies seleccionadas.

6. RÉGIMEN EN SEQUÍAS PROLONGADAS

Tal y como se especifica en la IPH, en el caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente siempre que se cumplan las condiciones que se establece en el Reglamento de la Planificación Hidrológica sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua, y de conformidad con lo determinado en el correspondiente Plan de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía. Sin embargo, esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la Red Natura 2000 o lista de humedales Ramsar.

Este régimen estará caracterizado por una distribución mensual de mínimos y deberá ser determinado mediante simulación de la idoneidad del hábitat. La simulación del hábitat se basará en un umbral de relajación con el objetivo de permitir el mantenimiento, como mínimo, de un 25% del hábitat potencial útil máximo.

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

La adaptación desde el régimen ordinario será proporcional a la situación del sistema hidrológico, definida según los indicadores establecidos en el Plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, teniendo en cuenta las curvas combinadas elaboradas para tal fin, y evitando, en todo caso, deterioros irreversibles de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados.

7. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAS MASAS DE AGUA LAGO

7.1 Introducción

Tal y como se indica en el ETI del III ciclo, para las 14 masas lago identificadas en la demarcación, sería necesario definir sus requerimientos hídricos (artículo 18.1 RPH) para mantener de forma sostenible la funcionalidad de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, ya que durante el segundo ciclo de planificación y anteriores los estudios realizados se han centrado únicamente en masas de agua de la categoría río.

De estas 14 masas de agua de la categoría lago, el Lago de Sanabria es la única de ellas que está conectada a la red principal hidrográfica y tiene establecido un régimen de caudales ecológicos.

El presente informe trata de dar respuesta a las necesidades planteadas en el ETI del III ciclo, y estimar los requerimientos hídricos mediante el estudio de la evolución de la superficie encharcada en las 14 masas lago consideradas.

Con ese fin se ha llevado a cabo un análisis multitemporal con teledetección espacial de las 14 masas de agua de la categoría lago presentes en la Demarcación Hidrográfica del Duero. Para ello, se han establecido periodos de años hidrológicos secos, medios y húmedos, y en cada uno de ellos se realiza a su vez un análisis por estación (otoño, invierno, primavera y verano).

Por otro lado se ha identificado el origen de alimentación de cada laguna en base a la información disponible en:

- La Actividad 4 del acuerdo de Encomienda de Gestión entre el antiguo MMA y el IGME, referente a la *“Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico”*.
- Fichas del catálogo de Zonas Húmedas de Castilla y León.

El análisis de temporalidad de las lagunas se ha tenido en cuenta según la descripción contenida en las fichas del catálogo de Zonas Húmedas de Castilla y León.

Por último, se ha tenido en cuenta la posible afección a la vegetación en relación con las variaciones de superficie encharcada del humedal, estimada en los trabajos de *“Consultoría y asistencia para la realización de tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Norte, Miño-Limia, Duero y Tajo”* (DGA, 2011).

7.2 Análisis de la temporalidad y origen de la alimentación

La siguiente tabla muestra, para cada una de las 14 masas lago analizadas, cuál es su temporalidad y el origen del recurso que alimenta a las lagunas.

Esta información ha sido extraída de los siguientes estudios:

- La Actividad 4 del acuerdo de Encomienda de Gestión entre el antiguo MMA y el IGME, referente a la *“Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico”*.
- Fichas del catálogo de Zonas Húmedas de Castilla y León.

					FICHA CATÁLOGO ZONAS HÚMEDAS CyL			
Cód.	Nombre	TEMPORALIDAD	Subzona	Relación humedal-acuífero - IGME	Cód.	HIDROLOGÍA (origen alimentación laguna)	HIDROGEOLOGÍA	TIPO DE HUMEDAL
101101	Lago de Sanabria	PERMANENTE	2 - Tera	Sin relación con la FGP (formación geológica permeable)	ZA-12	PERMANENTE no fluctuante. Aportes de escorrentía superficial muy abundante, más pluviometría y nivación. Emisario importante. No hay prácticamente aportación de aguas subterráneas.	Zona sin acuíferos Permeabilidad: Impermeable	Lago de alta montaña originado por erosión glaciár tipo "morrena"
101102	Salina Grande (Lagunas de Villafáfila)	TEMPORAL	11 - Bajo Duero	Humedal con alimentación subterránea mixta (vertical y externa)	ZA-18	TEMPORAL. Recarga de agua en las zonas de interfluvios, principalmente por infiltración vertical, hasta que se produce la descarga del agua subterránea en zonas bajas. Hay algo de aporte superficial. El conjunto está drenado por una sobreexcavación del cauce fluvial de salida.	Clasificación acuífero: 8 Tipo de acuífero: Libre Permeabilidad: Baja Tipo de permeabilidad: Porosidad	Humedal en valle fluvial originado por salida de flujo subterráneo. El flujo subterráneo es de tipo regional.
101103	Laguna de Barillos (Lagunas de Villafáfila)	TEMPORAL	11 - Bajo Duero	Humedal con alimentación subterránea mixta (vertical y externa)	ZA-19	TEMPORAL. Recarga de agua en las zonas de interfluvios, principalmente por infiltración vertical, hasta que se produce la descarga del agua subterránea en zonas bajas. Hay algo de aporte superficial. El conjunto está drenado por una sobreexcavación del cauce fluvial de salida.	Clasificación acuífero: 8 Tipo de acuífero: Libre Permeabilidad: Baja Tipo de permeabilidad: Porosidad	Humedal en valle fluvial originado por salida de flujo subterráneo. El flujo subterráneo es de tipo regional.
101104	Laguna de Lacillos	PERMANENTE	2 - Tera	Sin relación con la FGP (formación geológica permeable)	ZA-1	PERMANENTE. Aportación de origen superficial, sobretodo pluviometría y nivación.	Zona sin acuíferos Permeabilidad: Impermeable	Lago de alta montaña de origen glaciár tipo "circo"
101105	Laguna de Sotillo	PERMANENTE	2 - Tera	Sin relación con la FGP (formación geológica permeable)	ZA-11	PERMANENTE no fluctuante. Aportación exclusivamente superficial, sobretodo pluviometría y nivación.	Zona sin acuíferos Permeabilidad: Impermeable	Lago de alta montaña de origen glaciár tipo "circo"
101106	Laguna Grande de Gredos	PERMANENTE	12 - Tormes	Sin relación con la FGP (formación geológica permeable)	AV-13	PERMANENTE. Alimentación por aportes de escorrentía, afluentes en régimen pluvionival y nivación.	Zona sin acuíferos Permeabilidad: Impermeable	Humedal de alta montaña originado por erosión glaciár tipo "circo"

					FICHA CATÁLOGO ZONAS HÚMEDAS CyL			
Cód.	Nombre	TEMPORALIDAD	Subzona	Relación humedal-acuífero - IGME	Cód.	HIDROLOGÍA (origen alimentación laguna)	HIDROGEOLOGÍA	TIPO DE HUMEDAL
101107	Laguna de las Salinas (Lagunas de Villafáfila)	TEMPORAL	11 - Bajo Duero	Humedal con alimentación subterránea mixta (vertical y externa)	ZA-16	TEMPORAL. Recarga de agua en las zonas de interfluvios, principalmente por infiltración vertical, hasta que se produce la descarga del agua subterránea en zonas bajas. Hay algo de aporte superficial.	Clasificación acuífero: 8 Tipo de acuífero: Libre Permeabilidad: Baja Tipo de permeabilidad: Porosidad Muy afectada por la extracción, por pozos, del agua del acuífero profundo del Mioceno.	Humedal en valle fluvial originado por salida de flujo subterráneo. El flujo subterráneo es de tipo regional.
101108	Laguna de Boada de Campos	TEMPORAL	5 - Carrión	Sin criterio hidrogeológico	--			
101109	Laguna o embalse de Cárdena	PERMANENTE	2 - Tera	Sin relación con la FGP (formación geológica permeable)	ZA-63	PERMANENTE. Aportación de origen superficial, sobretodo pluviometría y nivación.	Zona sin acuíferos	Embalse construido sobre una laguna de alta montaña de origen glaciar tipo "circo" sobre diaclasas. Laguna glaciar permanente. Forma parte del complejo de lagos y lagunas glaciares de Sanabria y Sierra Segundera. Sus aguas alimentan el Lago Sanabria y regulan su renovación.
101110	Laguna de La Nava de Fuentes	TEMPORAL	5 - Carrión	Origen Antrópico	PA-6	TEMPORAL. Recarga hídrico regulado de forma artificial por un sistema de acequias procedentes del canal de Campos.	Clasificación acuífero: 8 Tipo de acuífero: Libre Permeabilidad: Baja Tipo de permeabilidad: Porosidad Recibe el drenaje del acuífero de la terraza.	Humedal artificial originado por la restauración parcial de la Laguna de la Nava
101111	Laguna del Barco	PERMANENTE	12 - Tormes	Sin relación con la FGP (formación geológica permeable)	AV-5	PERMANENTE fluctuante. Alimentación por aportes de escorrentía, afluentes en régimen pluvionival y nivación. Represada. Fluctuación por uso para riegos locales.	Zona sin acuíferos Permeabilidad: Impermeable	Humedal de alta montaña originado por erosión glaciar tipo "circo"
101112	Laguna del Duque	PERMANENTE	12 - Tormes	Sin relación con la FGP (formación geológica permeable)	AV-4	PERMANENTE fluctuante. Alimentación por aportes de escorrentía, afluentes en régimen pluvionival y nivación.	Zona sin acuíferos Permeabilidad: Impermeable	Humedal de alta montaña originado por erosión glaciar tipo "circo"

					FICHA CATÁLOGO ZONAS HÚMEDAS CyL			
Cód.	Nombre	TEMPORALIDAD	Subzona	Relación humedal-acuífero - IGME	Cód.	HIDROLOGÍA (origen alimentación laguna)	HIDROGEOLOGÍA	TIPO DE HUMEDAL
101113	Complejo lagunar de Villafáfila, mineralización media (Laguna de la Fuente)	TEMPORAL	11 - Bajo Duero	Humedal con alimentación subterránea mixta (vertical y externa)	ZA-22 ZA-20 ZA-21 ZA-17 ZA-70 ZA-79	TEMPORAL. Recarga de agua en las zonas de interfluvios, principalmente por infiltración vertical, hasta que se produce la descarga del agua subterránea en zonas bajas. Hay algo de aporte superficial. El conjunto está drenado por una sobreexcavación del cauce fluvial de salida.	Clasificación acuífero: 8 Tipo de acuífero: Libre Permeabilidad: Baja Tipo de permeabilidad: Porosidad	Humedal en valle fluvial originado por salida de flujo subterráneo. El flujo subterráneo es de tipo regional.
101114	Complejo lagunar de Villafáfila, mineralización alta (Laguna de Villardón o San Pedro)	TEMPORAL	11 - Bajo Duero	Humedal con alimentación subterránea mixta (vertical y externa)	ZA-14 ZA-15	TEMPORAL. Recarga de agua en las zonas de interfluvios, principalmente por infiltración vertical, hasta que se produce la descarga del agua subterránea en zonas bajas. Hay algo de aporte superficial. El conjunto está drenado por una sobreexcavación del cauce fluvial de salida.	Clasificación acuífero: 8 Tipo de acuífero: Libre Permeabilidad: Baja Tipo de permeabilidad: Porosidad Muy afectada por la extracción, por pozos, del agua del acuífero profundo del Mioceno.	Humedal en valle fluvial originado por salida de flujo subterráneo. El flujo subterráneo es de tipo regional.

Tabla 12. Temporalidad, origen del recurso y relación con el sistema subterráneo, de las masas lago

7.3 Metodología de la superficie encharcada

Se detalla en este apartado la metodología seguida para el análisis multitemporal con teledetección de las 14 masas de agua de la categoría lago presentes en la Demarcación Hidrográfica del Duero.

En primer lugar se han establecido periodos de años hidrológicos secos, medios y húmedos, y en cada uno de ellos se realizara a su vez un análisis por estación (otoño, invierno, primavera y verano).

Para ello se han analizado las aportaciones de la serie corta (1980/81-2017/18) en cada una de las lagunas estableciéndose como años húmedos los años con un Percentil >75 y los años secos los años con un percentil <25.

La selección de los años hidrológicos secos, medios y húmedos se ha realizado teniendo en cuenta las 7 lagunas temporales, que son las lagunas que se desecan en periodo estival y es donde el análisis multitemporal para las superficies tendrá mayor importancia.

	PERMANENTE	TEMPORAL	TEMPORAL	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	TEMPORAL	TEMPORAL	PERMANENTE	TEMPORAL	PERMANENTE	PERMANENTE	TEMPORAL	TEMPORAL
AÑO	101101	101102	101103	101104	101105	101106	101107	101108	101109	101110	101111	101112	101113	101114
1980/81	MEDIO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO
1981/82	MEDIO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO	MEDIO	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO
1982/83	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	SECO	MEDIO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
1983/84	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	MEDIO	SECO	MEDIO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
1984/85	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO
1985/86	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
1986/87	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
1987/88	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	HUMEDO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO
1988/89	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO
1989/90	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO
1990/91	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
1991/92	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO
1992/93	MEDIO	SECO	SECO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO
1993/94	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	MEDIO
1994/95	MEDIO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO
1995/96	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO
1996/97	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	HUMEDO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO
1997/98	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO
1998/99	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	SECO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	SECO
1999/00	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
2000/01	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO
2001/02	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	MEDIO	MEDIO
2002/03	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO
2003/04	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
2004/05	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	SECO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	SECO
2005/06	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
2006/07	HUMEDO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
2007/08	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
2008/09	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO
2009/10	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO

	PERMANENTE	TEMPORAL	TEMPORAL	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	TEMPORAL	TEMPORAL	PERMANENTE	TEMPORAL	PERMANENTE	PERMANENTE	TEMPORAL	TEMPORAL
AÑO	101101	101102	101103	101104	101105	101106	101107	101108	101109	101110	101111	101112	101113	101114
2010/11	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	HUMEDO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO
2011/12	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	SECO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	SECO
2012/13	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
2013/14	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
2014/15	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
2015/16	HUMEDO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	HUMEDO	MEDIO	MEDIO
2016/17	SECO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO	SECO	SECO
2017/18	MEDIO	SECO	SECO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	SECO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	HUMEDO	HUMEDO	SECO	SECO

Tabla 13. Años secos, medio y húmedos de cada una de las lagunas para la serie corta (1980/81-2017/18)

Años sin suficiente disponibilidad de imágenes Landsat

Año SECO: Percentil < 25 (SC 1980/81-2017/18)

Año MEDIO: Percentil 25-75 (SC 1980/81-2017/18)

Año HÚMEDO: Percentil > 75 (SC 1980/81-2017/18)

El año hidrológico 1985/86, aunque en principio y según los resultados de la Tabla 13, debería de considerarse como un año medio, finalmente ha sido considerado como seco, tras el análisis de las imágenes Landsat, al percibir que se trata de un año que presenta una de las superficies encharcadas más reducidas de los años analizados, especialmente para las lagunas temporales del conjunto de las lagunas de Villafáfila, entre otras.

En estos humedales con alimentación de recursos de origen subterráneo es posible que en años medios no generen superficie encharcada característica de un año medio porque los recursos subterráneos pueden presentar cierto decalaje temporal frente a la precipitación.

Por lo tanto, los periodos objeto de estudio finalmente quedan de la siguiente manera:

Años secos: 1985/1986, 1991/1992, 2004/2005, 2017/2018

Años medios: 1990/1991, 2007/2008, 2015/2016

Años húmedos: 1995/1996, 2000/2001

El procesamiento de las imágenes se ha realizado de acuerdo a las siguientes fases: recorte de la zona de estudio, corrección radiométrica, corrección atmosférica, cálculo del índice espectral MNDWI y edición cartográfica temática.

Las imágenes descargadas del servidor del USGS son imágenes originales, quiere decir que no se les ha aplicado ninguna corrección. Para poder aplicar el índice espectral elegido se ha tenido que realizar una corrección radiométrica y posteriormente una corrección atmosférica de las 108 imágenes utilizadas en el procesamiento.

Previo a la corrección radiométrica, se recortó la zona de estudio a partir del shape de los 4 cuadrantes predefinidos, dando como resultado 4 cortes de imágenes.

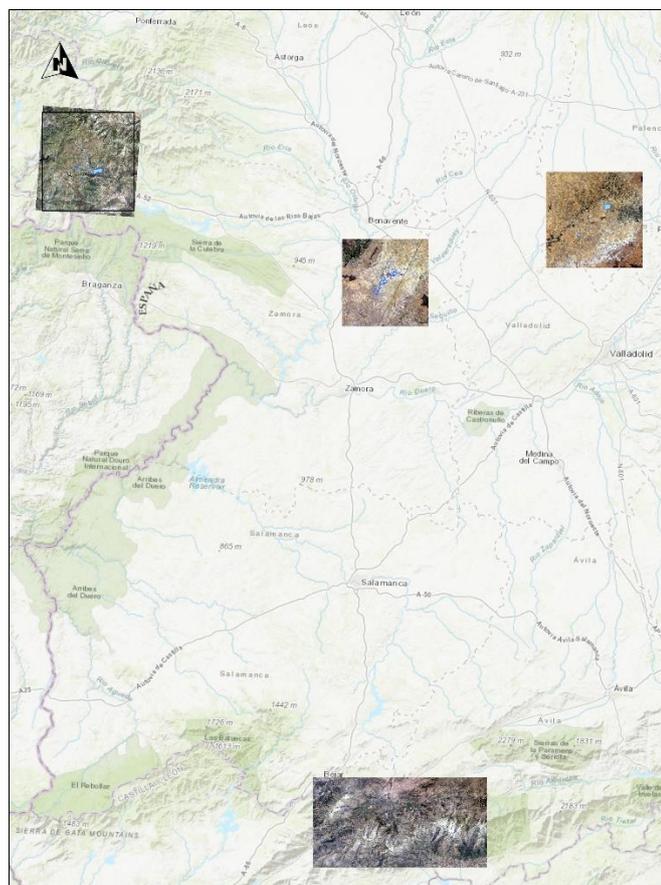


Figura 25. Imágenes resultado del corte de escenas con los cuadrantes de la zona de estudio. Ejemplo verano de 1992

Estos cortes fueron utilizados en la corrección radiométrica, en la corrección atmosférica y en el cálculo del índice MNDWI.

7.3.1 Corrección radiométrica

Las escenas de las imágenes Landsat suelen presentar distorsiones radiométricas debido a la diferencia de fechas y a que la luminosidad y las condiciones atmosféricas en cada día son distintas. En algunos casos se han podido utilizar dos escenas de la misma fecha, pero nunca se han podido emplear las tres escenas de un mismo día para obtener los datos de una estación concreta.

La normalización de las imágenes para corregir los saltos radiométricos se ha realizado empleando el programa ENVI 5.5.

Previo a la aplicación del proceso de corrección atmosférica los datos deben configurarse de forma espacial y debe incluirse cierta información clave sobre las características del sensor.

Para la mayoría de las imágenes se utiliza el método de codificación *BSQ*; sin embargo, para que la corrección radiométrica fuera también compatible con el módulo de corrección atmosférica *FLAASH* se ha usado el método *BIL*, también llamado intercalado de banda por línea, que toma la información de la cantidad de filas y columnas y almacena todos los valores de la primera fila de la imagen para la primera banda, seguidos de los valores de la primera fila para la segunda banda y así hasta la última banda.

Para la corrección radiométrica se han realizado los ajustes por defecto *FLAASH* en el módulo *Radiometric Calibration*, para obtener los valores de radiancia.



Figura 26. Escena sin correcciones. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)

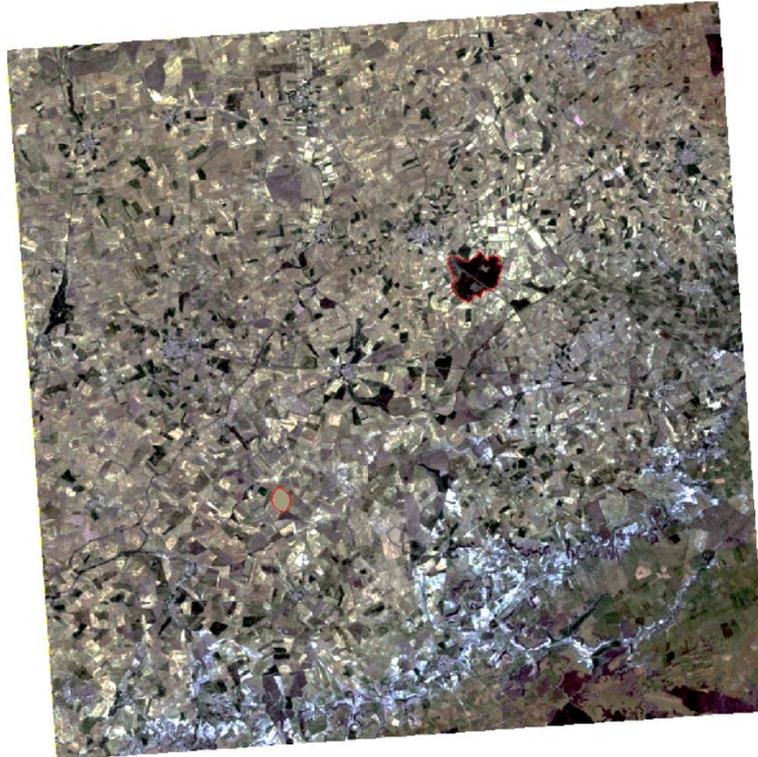


Figura 27. Imagen con corrección radiométrica. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)

7.3.2 Corrección atmosférica

El software ENVI cuenta con dos Módulos de Corrección Atmosférica para obtener la reflectancia espectral de imágenes multispectrales: Quick Atmospheric Correction (*QUAC*) y Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (*FLAASH*).

FLAASH es una herramienta básica de corrección atmosférica que corrige longitudes de ondas en los rangos de espectro visible, SWIR y NIR. Para utilizar el módulo *FLAASH* es necesario conocer parámetros referidos al sensor, fecha, hora y altura de vuelo en el momento de la toma, intensidad de iluminación solar, y las coordenadas del centro de la imagen.

A diferencia de los métodos básicos de corrección atmosférica, *QUAC* determina los parámetros de compensación atmosférica directamente desde la información contenida dentro de la escena (espectros de píxel observados), sin información auxiliar.

Por ello, y dado que es considerablemente más rápido, se ha decidido utilizar el módulo *QUAC* (Farjas M., Domínguez J. A., Picazo A., & Pérez C., 2015).

En algunos casos donde los resultados no han sido del todo satisfactorios se ha probado el módulo *FLAASH*, pero no se han observado mejoras considerables y además necesita mucho tiempo de procesado.

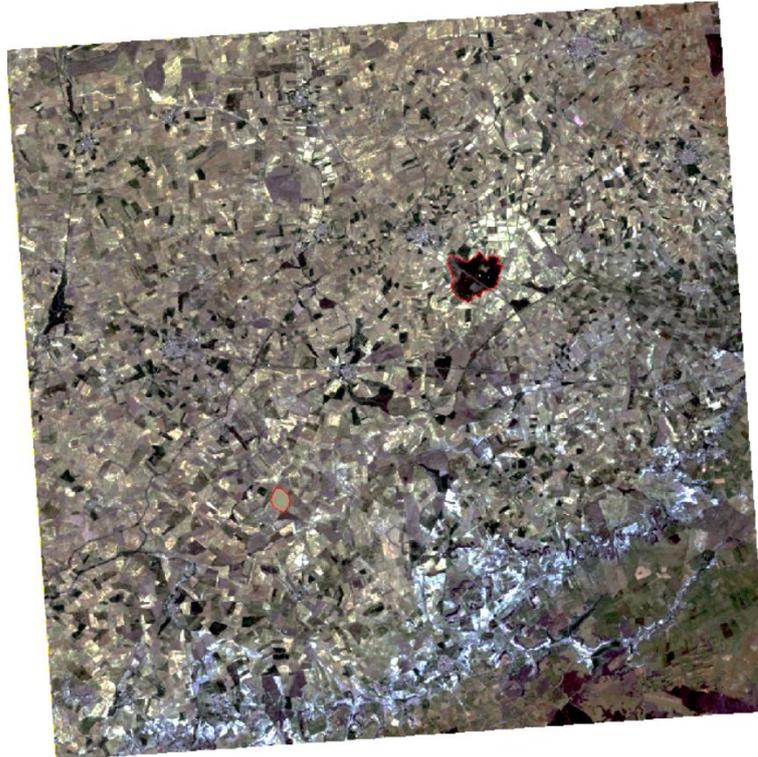


Figura 28. Imagen con corrección atmosférica. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)

7.3.3 Índice de Diferencia de Agua Normalizado Modificado (MDWI)

Para obtener información a partir del tratamiento de imágenes satélite se pueden usar varias metodologías, en el caso que nos ocupa se ha decidido utilizar un índice espectral para extraer cuerpos de agua, el MDWI (Índice de Diferencia de Agua Normalizado Modificado).

Este índice nace como respuesta a la incapacidad del Índice de Diferencia de Agua Normalizado (NDWI) (McFeeters, 1996) para separar territorios cubiertos del agua. Por este motivo en 2006, Xu propuso modificar el NDWI reemplazando la banda del infrarrojo cercano (NIR) por la banda del infrarrojo medio (SWIR). Los valores de este índice varían entre -1 y 1, donde los valores superiores a cero corresponderían a cuerpos de agua.

$$MNDWI = Verde - SWIR / Verde + SWIR$$

El cálculo del MNDWI tiene tres resultados: el agua tiene valores positivos mayores que en el NDWI, ya que se absorbe más luz en el SWIR que en el NIR; las construcciones, el suelo y la vegetación tendrán valores negativos, ya que el suelo refleja más luz en el SWIR que en el NIR y la vegetación refleja aún más luz en el SWIR que en el verde (Xu, H. 2006).

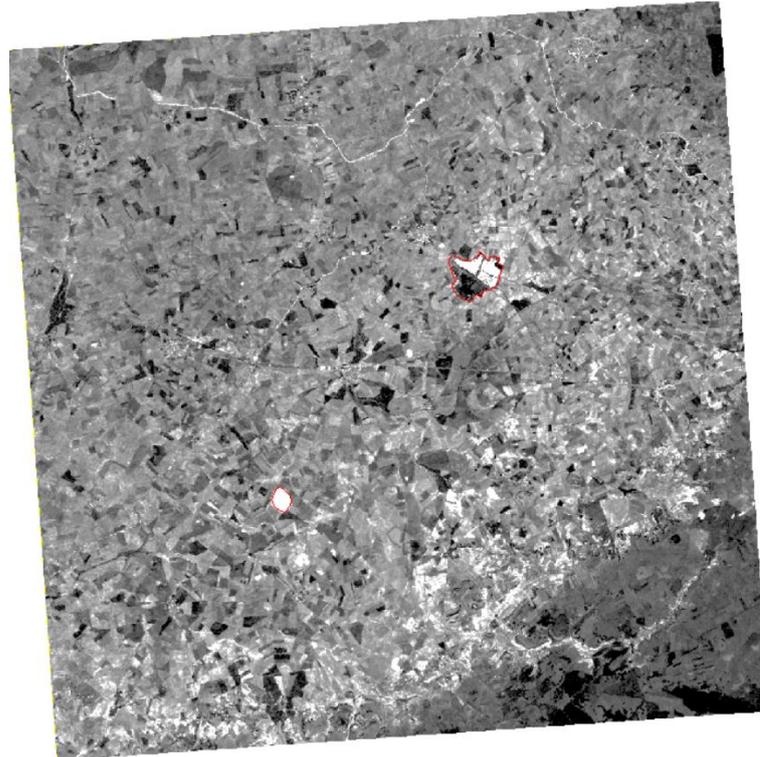


Figura 29. Imagen resultado de aplicar el índice MNDWI en blancos y negros. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)

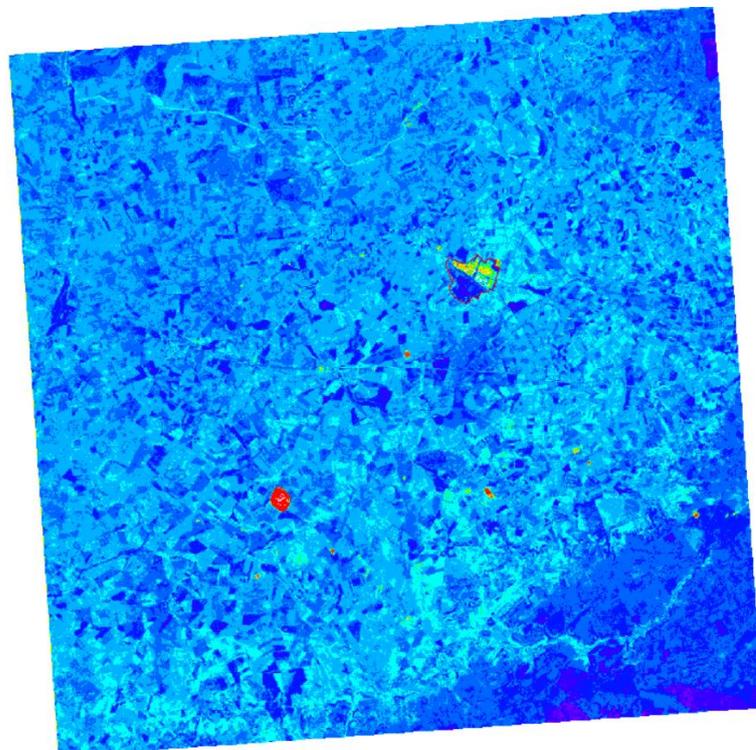


Figura 30. Imagen resultado de aplicar el índice MNDWI con un Raster Color Slice. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)

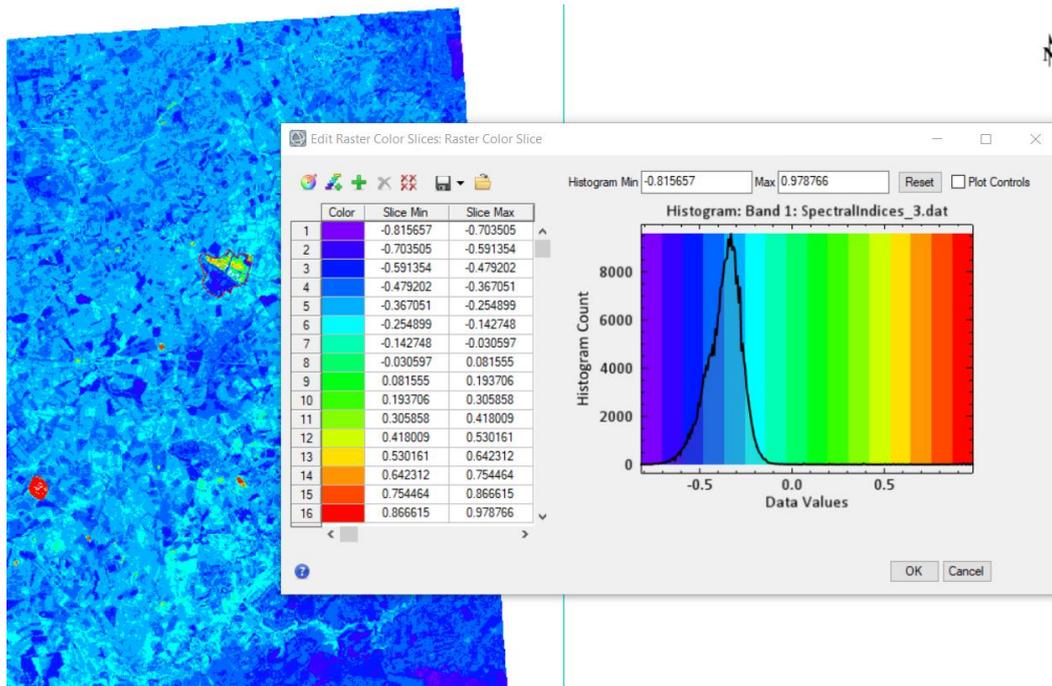


Figura 31. Imagen aplicado el índice MNDWI con un Raster Color Slice, los valores positivos corresponden a agua. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)

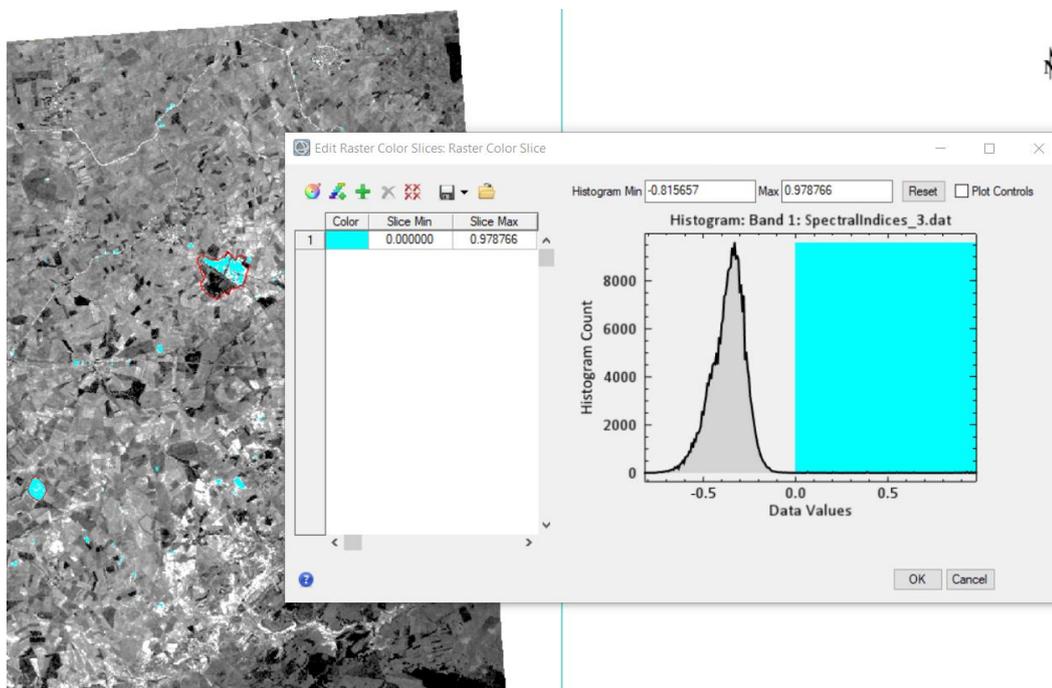


Figura 32. Imagen aplicado el índice MNDWI con un Raster Color Slice, dónde ya se han excluido los valores negativos creando una sola clase agua. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)

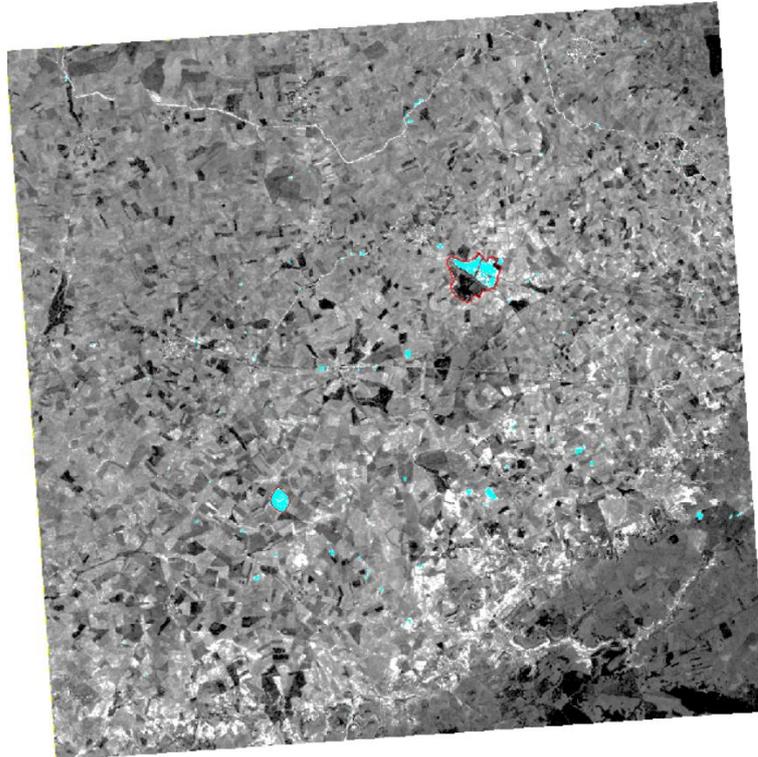


Figura 33. Imagen resultado de aplicar el índice MNDWI, en color azul se puede ver los cuerpos de agua. Laguna de La Nava de Fuentes y Laguna de Boada de Campos, primavera de 2001 (18/04/2001)

7.3.4 Edición cartográfica temática

El resultado de cuerpo de agua tras aplicar el MNDWI sobre una imagen corregida puede ser exportado en formato vectorial desde ENVI.

Se han generado 4 archivos shape por estación, correspondientes a los 4 cuadrantes de la zona de estudio.

Con el software ArcGIS Desktop 10.8 se han cargado los 4 archivos resultantes en formato shape y se han seleccionado sólo los píxeles coincidentes con las 14 lagunas, ya que cuando se exporta desde ENVI no se discriminan.

Mediante varias operaciones de geoprocésamiento (merge, clip, spatial join) y edición se ha obtenido un shape con los polígonos (píxeles) de agua para cada laguna a los que se le han agregado también los atributos del archivo *Duero_Masa_Agua_Lago_General_20200615.shp*, posteriormente se ha generado un nuevo campo para calcular por geometría la superficie de agua en hectáreas obteniendo el resultado final.

7.4 Datos de partida para el análisis de la superficie encharcada

Para la realización del estudio se han empleado varias fuentes de información, por un lado el archivo vectorial en formato shape *Duero_Masa_Agua_Lago_General_20200615.shp*, correspondiente a la delimitación de las masas lago de la demarcación del Duero en el Plan Hidrológico vigente,

proporcionado por La Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Duero.

Por otro lado, como datos principales para el estudio, se han empleado imágenes multiespectrales de los satélites Landsat 5-TM, Landsat 7-ETM+ y Landsat 8-OLI/TIRS.

El programa Landsat es una serie de satélites construidos y desarrollados por la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio) en conjunto con el USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos). El programa Landsat ha desplegado ocho satélites, el primero lanzado en el año 1972 y el último en 2013 (Landsat 8 OLI/TIRS).

Las imágenes han sido descargadas del sitio web <https://earthexplorer.usgs.gov/> del USGS.

Para realizar el trabajo se ha tenido en cuenta como factor determinante la resolución temporal o intervalo de revisita, que es la capacidad de un sensor remoto para producir imágenes de una misma área geográfica en diversos periodos de tiempo, ya que se establecieron 9 años hidrológicos que van desde 1985 hasta 2018. El sistema de satélites que dispone de mayor frecuencia de cobertura de imágenes para la zona de estudio es Landsat.

Se han elegido las imágenes Landsat ya que para todos los años tienen la misma resolución espacial de 30 m/píxel, con lo que la información resultante es más homogénea que si se emplearan sensores con distintas resoluciones espaciales.

Se han descargado aproximadamente unas 140 imágenes para realizar el estudio, debido a que las masas lago se encuentra distribuidas en 3 escenas, en concreto las 202-31, 202-32 y 203-31 (columna-fila), las escenas Landsat tienen un tamaño aproximado de 185 x 185 km.

A continuación se presenta una tabla con las imágenes empleadas en el análisis por fecha, estación, año y tipo de sensor.

Fecha	Año hidrológico	Lago de Sanabria	Laguna de Lacillos	Laguna de Sotillo	Laguna de Cárdena	Salina Grande	Laguna de Barillos	Laguna de las Salinas	Laguna de la Fuente	Laguna de Villardón	Laguna de Boada de Campos	Laguna de La Nava de Fuentes	Laguna Grande de Gredos	Laguna del Barco	Laguna del Duque
Otoño 00/01	Húmedo	07/10/2000 - Landsat 7	08/10/2000 - Landsat 5	08/10/2000 - Landsat 5	08/10/2000 - Landsat 5	08/10/2000 - Landsat 5	08/10/2000 - Landsat 5								
Invierno 00/01	Húmedo	20/02/2001 - Landsat 5	21/02/2001 - Landsat 7	21/02/2001 - Landsat 7	13/02/2001 - Landsat 5	13/02/2001 - Landsat 5	13/02/2001 - Landsat 5								
Primavera 00/01	Húmedo	19/05/2001 - Landsat 7	18/04/2001 - Landsat 5	18/04/2001 - Landsat 5	10/04/2001 - Landsat 7	10/04/2001 - Landsat 7	10/04/2001 - Landsat 7								
Verano 00/01	Húmedo	30/07/2001 - Landsat 5	24/08/2001 - Landsat 5	24/08/2001 - Landsat 5	29/06/2001 - Landsat 7	29/06/2001 - Landsat 7	29/06/2001 - Landsat 7								

Tabla 14. Imágenes Landsat utilizadas por fecha, estación, año y tipo de sensor

Se han clasificado las masas lago en 4 cuadrantes respecto del marco general de localización para realizar el análisis.

- Cuadrante 1 (noroeste): Lago de Sanabria (101101), Laguna de Lacillos (101104), Laguna de Sotillo (101105) y Laguna de Cárdena (101109).
- Cuadrante 2 (centro): Salina Grande (101102), Laguna de Barillos (101103), Laguna de las Salinas (101107), Laguna de la Fuente (101113) y Laguna de Villardón (101114).
- Cuadrante 3 (noreste): Laguna de Boada de Campos (101108) y Laguna de La Nava de Fuentes (101110).
- Cuadrante 4 (sur): Laguna Grande de Gredos (101106), Laguna del Barco (101111) y Laguna del Duque (101112).

Para determinar los cuadrantes se ha realizado un buffer de 10 km respecto del borde de cada grupo de lagunas para hacer los cortes con las imágenes satélite y así reducir el área y el tiempo de procesamiento de los datos.

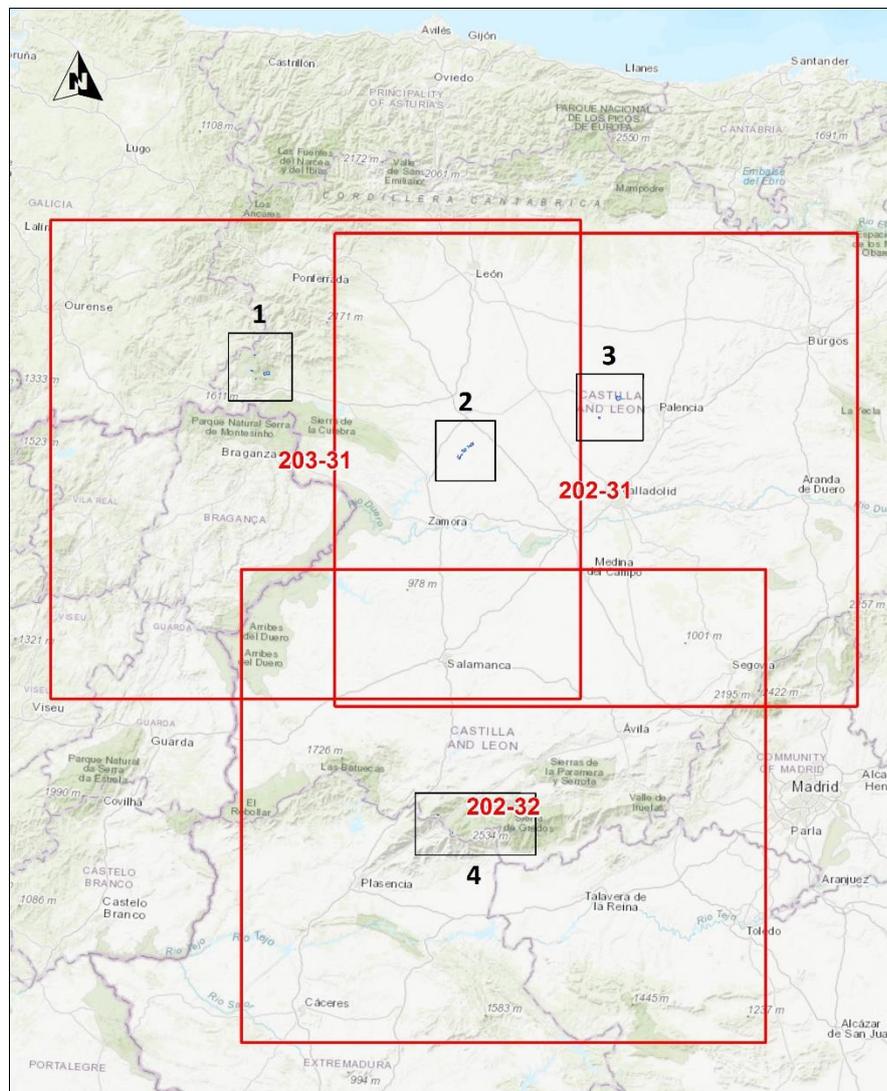


Figura 34. Escenas Landsat y cuadrantes de la zona de estudio

En el visor de descarga de imágenes del USGS se han previsualizado las escenas de imágenes para seleccionar las que a priori tuvieran un porcentaje de nubes bajo en los cuadrantes predefinidos.

En algunos casos no fue posible descargar imágenes con pocas nubes, con lo que se tuvieron que descargar varias imágenes por estación para después en el procesamiento elegir la más idónea.

Cabe indicar que en las zonas de alta montaña, dónde se localizan las masas de agua de carácter permanente existía mayor probabilidad de encontrar nubes. Las estaciones con mayor porcentaje de nubes son otoño e invierno.

Del mismo modo en época estival han predominado las imágenes con bajo o muy bajo porcentaje de nubes para toda la zona de estudio.

Para el procesamiento de las imágenes Landsat se utilizó el software ENVI 5.5 (ENvironment for Visualizing Images), especializado en teledetección y tratamiento de imágenes de sensores remotos.

Para el postprocesado de la información se utilizó el software ArcGIS Desktop 10.8, con el que se realizó la depuración de los datos obtenidos en ENVI y la generación del producto final en formato shape con el que se realizó el cálculo de superficie de agua para cada periodo.

7.5 Resultados del análisis de la superficie encharcada

Tras aplicar la metodología descrita para el cálculo de superficies de agua de la zona de estudio, se ha obtenido el resultado del procesado de las imágenes multiespectrales.

Como se ha indicado anteriormente, se ha escogido el cálculo del índice MNDWI porque a priori iba a dar buen resultado para este tipo de estudio, optimizando además tiempo y recursos.

Después del cálculo de éste índice se ha visto que en algunos casos el resultado no ha sido el esperado, si bien es cierto que en las zonas de láminas de agua que se muestran secas en algún momento de año el resultado ha sido satisfactorio, en las zonas donde se localizan las láminas de agua de carácter permanente no se han conseguido resultados óptimos en todas las estaciones, debido a que en la mayoría de casos existe un alta presencia de nubes y nieve. También puede ser debido a la presencia de sombras provocadas por las crestas de las montañas que cambian dependiendo de la hora de toma del satélite, ángulo del sol u orientación y también puede ser debido a que los procesos de corrección radiométrica o atmosférica no han logrado conseguir una depuración adecuada de los datos.

Cabe indicar que este índice no distingue el agua de la nieve, en zonas de alta montaña encontramos nieve la mayoría del año, que en algunos casos cubre la totalidad o parte de las lagunas.

En algunos casos no se han podido calcular valores de superficie, ya que no se han encontrado imágenes sin nubes, pese a descargar varias escenas por estación, incluso de diferentes sensores, esos datos han quedado vacíos.

Después de aplicar el índice MNDWI, en las imágenes sin incidencia de nubes o nieve, se ha observado que el histograma resultante de la imagen procesada tiene una curva espectral en los

valores negativos, ya que se refleja más luz en la vegetación, suelo y construcciones, y una tendencia plana en los resultados positivos dada la baja reflectividad del agua en este índice (Xu, H. 2006).

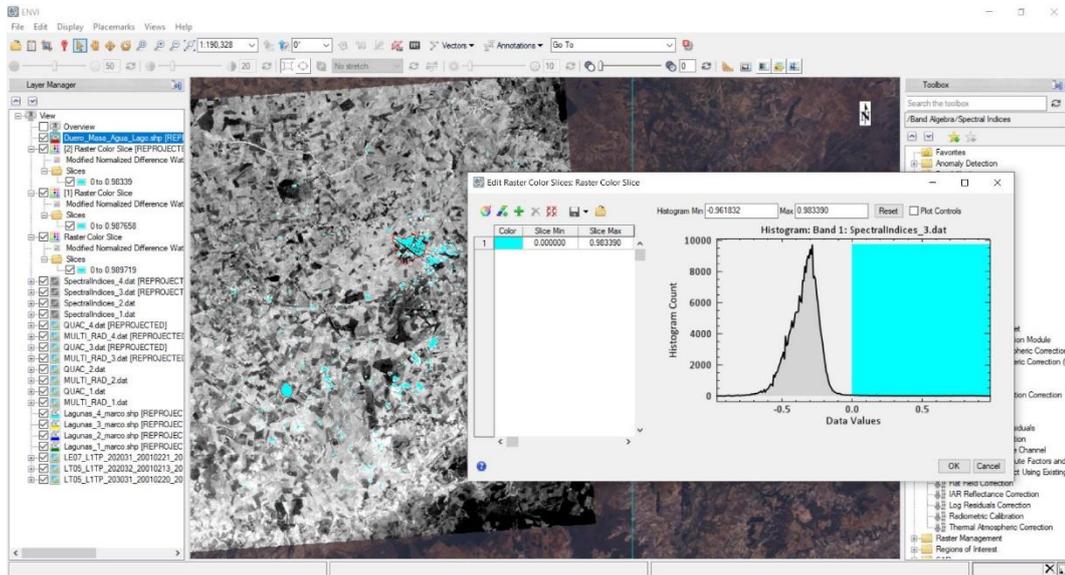


Figura 35. Resultado del histograma tras aplicar el MNDWI, se observa una tendencia plana en los valores positivos que coinciden con el agua

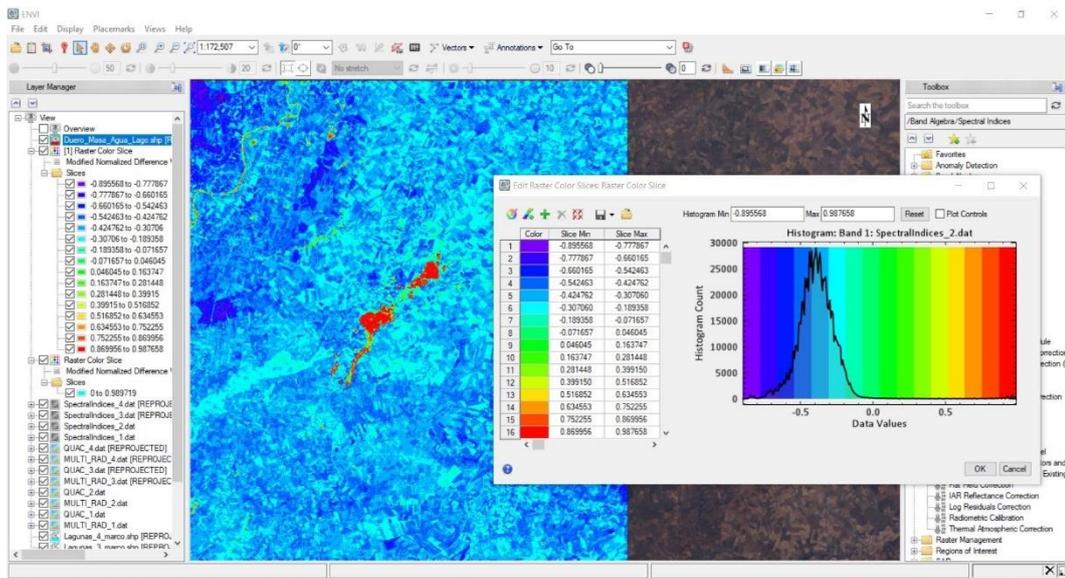


Figura 36. Resultado del histograma tras aplicar el MNDWI, se observa una tendencia plana en los valores positivos que coinciden con el agua

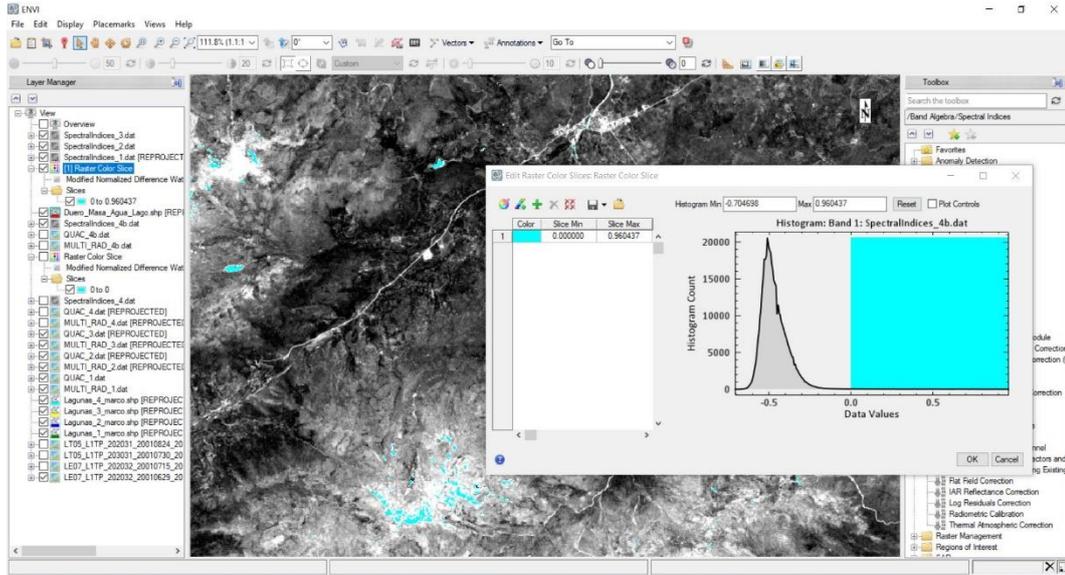


Figura 37. Resultado del histograma tras aplicar el MNDWI, se observa una tendencia plana en los valores positivos que coinciden con el agua y la nieve

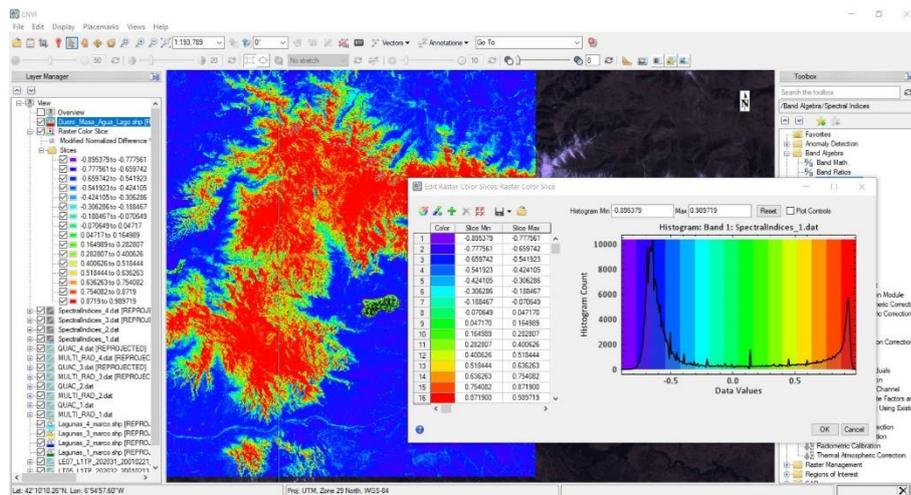


Figura 38. Resultado del histograma tras aplicar el MNDWI, se observan anomalías en los valores positivos provocadas posiblemente por nubes y nieve

En el caso de las masas de agua con mayor superficie, como es el caso del Lago de Sanabria, en numerosas ocasiones se han obtenido píxeles sin información, se ha intentado aplicar soluciones como cambiar el tipo de corrección radiométrica y atmosférica, incluso probar otros índices, pero no se han conseguido resultados satisfactorios.

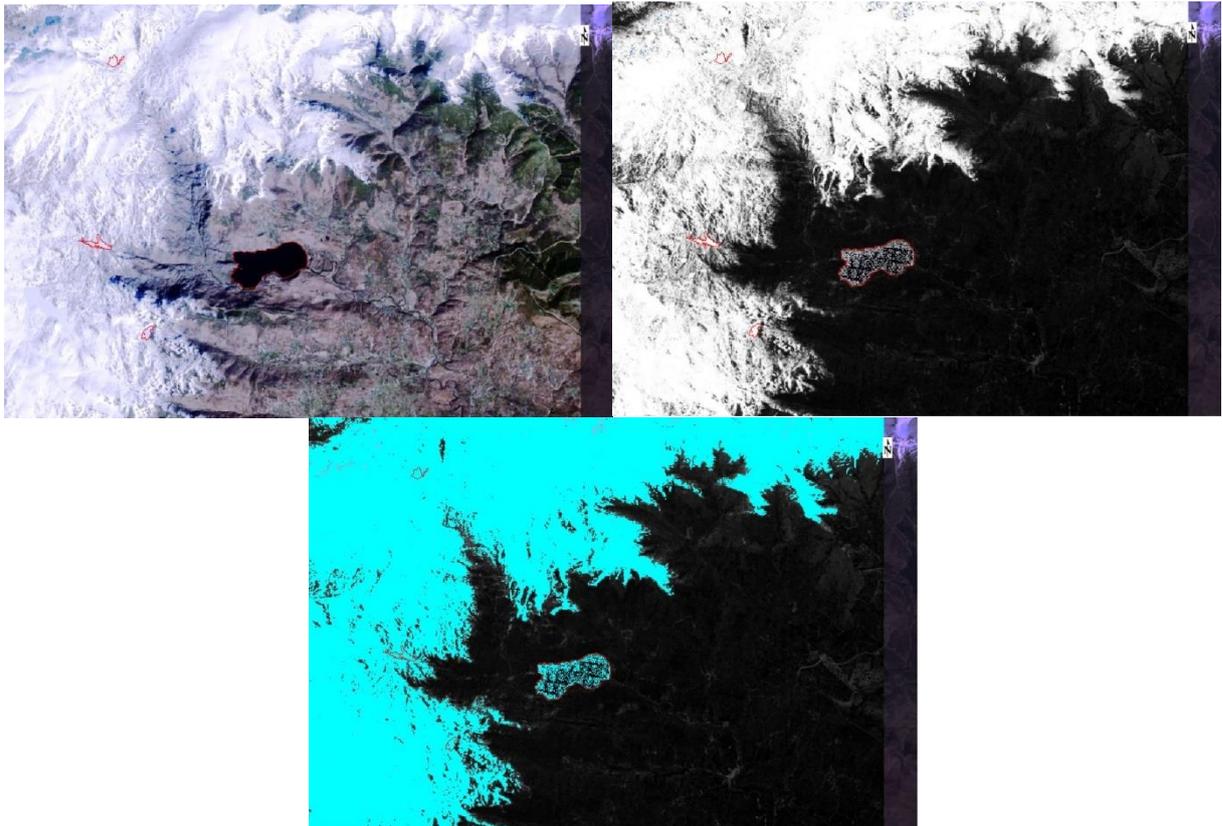


Figura 39. Secuencia de imágenes correspondientes a la corrección atmosférica, cálculo del índice MNDWI y selección de valores positivos, se observa que tras aplicar el índice se toman como valores positivos zonas con nieve, además se produce un vacío de información en cuerpos de agua como el Lago de Sanabria

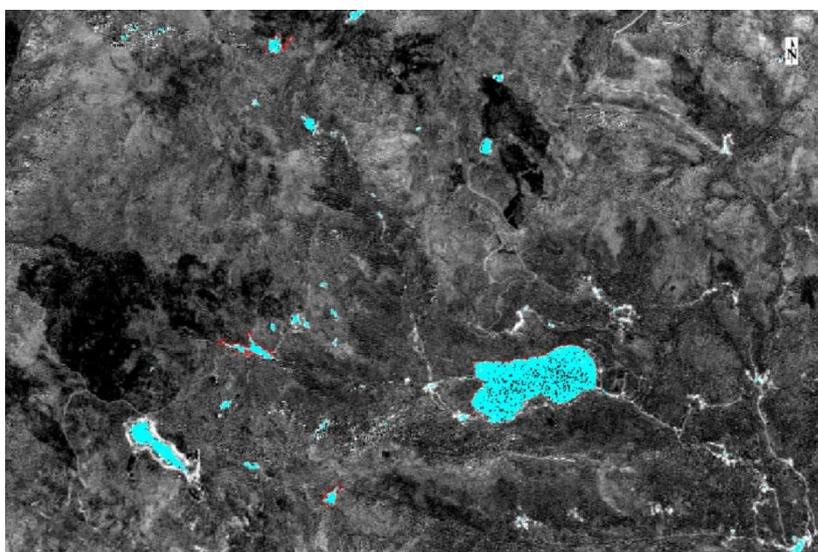


Figura 40. Resultado tras aplicar el MNDWI, en este caso se observan cuerpos de agua consistentes a excepción del Lago de Sanabria en el que se observan vacíos de información o píxeles perdidos (07/10/2000).

Los resultados del procesado de las 108 imágenes analizadas han quedado reflejados en una tabla final con la superficie de cada masa lago por estación y año.

Dado que los resultados para las estaciones de otoño e invierno en las láminas de agua permanentes no han sido concluyentes, se ha optado por sustituirlos por los datos máximos históricos conocidos para estos casos.

Para el caso del Lago de Sanabria se emplearán los datos máximos de superficie a excepción de otoño del 90/91, otoño del 91/92 y otoño del 17/18 donde no se encontraron píxeles vacíos.

Código Masa	Masa de Agua	Temporalidad	Sup. MASp (ha)	AÑOS SECOS (ha)															
				Otoño 85/86	Invierno 85/86	Primavera 85/86	Verano 85/86	Otoño 91/92	Invierno 91/92	Primavera 91/92	Verano 91/92	Otoño 04/05	Invierno 04/05	Primavera 04/05	Verano 04/05	Otoño 17/18	Invierno 17/18	Primavera 17/18	Verano 17/18
101101	Lago de Sanabria	Permanente	356,081	356,081	356,08	356,081	356,08	345,369	356,08	356,081	356,08	356,081	356,08	356,081	356,08	341,85	356,08	356,081	356,08
101102	Salina Grande	Temporal	198,982	4,5	115,85	77,863	1,26	29,697	89,063	19,68	18,501	125,698	131,55	5,036	43,282	23,13	144,6	168,538	30,838
101103	Laguna de Barillos	Temporal	112,201	0	0,989	7,47	0	0	0	0	3,412	67,824	73,637	2,428	8,158	0	1,71	96,998	34,65
101104	Laguna de Lacillos	Permanente	14,034	14,034	14,034	Nubes	2,198	14,034	14,034	14,034	2,253	14,034	14,034	3,582	3,696	14,034	14,034	7,242	3,696
101105	Laguna de Sotillo	Permanente	13,598	13,598	13,598	Nubes	4,163	13,598	13,598	10,721	4,671	13,598	13,598	6,298	6,219	13,598	13,598	0	5,859
101106	Laguna Grande de Gredos	Permanente	8,516	8,516	8,516	8,516	2,837	8,516	8,516	7,559	2,378	8,516	8,516	1,349	1,272	8,516	8,516	8,516	3,394
101107	Laguna de las Salinas	Temporal	66,282	0	2,13	0,094	0	0,706	1,834	0,382	7,116	0,09	0,18	0,09	3,84	0	0,27	25,11	0
101108	Laguna de Boada de Campos	Temporal	61,8	-	-	-	-	-	-	-	-	52,628	41,995	47,05	0	2,25	14,67	44,186	15,48
101109	Laguna de Cárdena	Permanente	23,687	23,687	23,687	Nubes	6,719	23,687	23,687	16,663	0,541	23,687	23,687	5,215	2,163	23,687	23,687	0	0
101110	Laguna de La Nava de Fuentes	Temporal	326,29	0,54	Nubes	11,34	10,53	Nubes	2,3	Nubes	7,47	114,03	118,89	61,2	8,37	0	67,86	107,753	16,2
101111	Laguna del Barco	Permanente	11,015	11,015	11,015	4,745	6,03	11,015	11,015	6,347	4,543	11,015	11,015	0	3,106	11,015	11,015	11,015	7,366
101112	Laguna del Duque	Permanente	23,468	23,468	23,468	7,29	2,34	23,468	23,468	15,354	17,884	23,468	23,468	13,312	17,895	23,468	23,468	19,435	15,03
101113	Laguna de la Fuente	Temporal	29,054	0	12,693	5,931	0,09	0,45	2,567	0,389	4,518	10,274	7,78	9,522	5,547	0,27	4,724	15,909	3,44
101114	Laguna de Villardón	Temporal	14,62	0,27	3,809	2,631	0,09	0,63	2,371	1,659	0,619	0,341	3,568	2,684	0,81	0	4,844	9,413	3,69

(-) Desecada por drenaje hasta mediados de los años 90.

Tabla 15. Resultado de superficies de agua calculada con teledetección (años secos)

Código Masa	Masa de Agua	Temporalidad	Sup. MASp (ha)	AÑOS MEDIOS (ha)											
				Otoño 90/91	Invierno 90/91	Primavera 90/91	Verano 90/91	Otoño 07/08	Invierno 07/08	Primavera 07/08	Verano 07/08	Otoño 15/16	Invierno 15/16	Primavera 15/16	Verano 15/16
101101	Lago de Sanabria	Permanente	356,081	352,857	356,08	356,081	356,08	356,081	356,08	356,081	356,08	356,081	356,08	356,081	356,08
101102	Salina Grande	Temporal	198,982	115,434	147,84	142,639	5,845	121,578	149,82	161,663	11,129	104,393	183,72	174,636	136,3
101103	Laguna de Barillos	Temporal	112,201	0	9,248	85,383	0	9,27	68,138	11,3	2,07	48,158	110,32	109,949	94,836
101104	Laguna de Lacillos	Permanente	14,034	14,034	14,034	6,621	1,983	14,034	14,034	5,502	1,082	14,034	14,034	1,983	4,778
101105	Laguna de Sotillo	Permanente	13,598	13,598	13,598	4,777	5,031	13,598	13,598	0,901	5,768	13,598	13,598	0,361	0,721
101106	Laguna Grande de Gredos	Permanente	8,516	8,516	8,516	8,516	2,184	8,516	8,516	8,516	2,7	8,516	8,516	Nubes	3,594
101107	Laguna de las Salinas	Temporal	66,282	7,206	13,777	17,028	0,27	5,176	11,871	18,406	0	0,54	33,033	30,827	0,99
101108	Laguna de Boada de Campos	Temporal	61,8	-	-	-	-	38,336	55,074	55,068	3,96	25,11	49,513	61,466	0,18
101109	Laguna de Cárdena	Permanente	23,687	23,687	23,687	2,139	2,524	23,687	23,687	0,719	0,631	23,687	23,687	0,09	0,09
101110	Laguna de La Nava de Fuentes	Temporal	326,29	51,391	25,831	16,29	13,41	11,52	121,04	124,65	1,89	58,23	109,84	131,047	5,22
101111	Laguna del Barco	Permanente	11,015	11,015	11,015	5,178	5,748	11,015	11,015	3,17	5,58	11,015	11,015	Nubes	7,29
101112	Laguna del Duque	Permanente	23,468	23,468	23,468	7,278	16,459	23,468	23,468	9	6,66	23,468	23,468	17,183	15,12
101113	Laguna de la Fuente	Temporal	29,054	6,107	10,925	7,88	0,175	5,662	10,704	13,943	3,115	8,344	24,334	18,581	1,17
101114	Laguna de Villardón	Temporal	14,62	5,125	8,146	1,502	0,09	4,19	10,104	10,701	4,895	1,974	11,74	10,576	4,105

(-) Desecada por drenaje hasta mediados de los años 90.

Tabla 16. Resultado de superficies de agua calculada con teledetección (años medios)

Código Masa	Masa de Agua	Temporalidad	Sup. MASP (ha)	AÑOS HÚMEDOS (ha)							
				Otoño 95/96	Invierno 95/96	Primavera 95/96	Verano 95/96	Otoño 00/01	Invierno 00/01	Primavera 00/01	Verano 00/01
101101	Lago de Sanabria	Permanente	356,081	356,081	356,08	356,081	356,08	356,081	356,08	356,081	356,08
101102	Salina Grande	Temporal	198,982	124,454	169,02	175,511	44,491	21,33	178,2	171,392	169,56
101103	Laguna de Barillos	Temporal	112,201	88,558	107,41	110,122	84,025	20,97	108,7	108,48	101,46
101104	Laguna de Lacillos	Permanente	14,034	14,034	14,034	Nubes	1,713	14,034	14,034	1,532	0,901
101105	Laguna de Sotillo	Permanente	13,598	13,598	13,598	Nubes	6,756	13,598	13,598	0,901	3,696
101106	Laguna Grande de Gredos	Permanente	8,516	8,516	8,516	8,516	2,495	8,516	8,516	8,516	1,35
101107	Laguna de las Salinas	Temporal	66,282	10,673	40,253	28,369	4,363	0	39,116	31,134	26,977
101108	Laguna de Boada de Campos	Temporal	61,8	-	56,371	52,225	0	0,27	59,756	56,542	34,02
101109	Laguna de Cárdena	Permanente	23,687	23,687	23,687	Nubes	0,541	23,687	23,687	0,541	0,27
101110	Laguna de La Nava de Fuentes	Temporal	326,29	32,546	197,06	57,583	1,53	0	113,04	78,504	0,36
101111	Laguna del Barco	Permanente	11,015	11,015	11,015	11,015	3,87	11,015	11,015	5,774	4,114
101112	Laguna del Duque	Permanente	23,468	23,468	23,468	23,467	11,88	23,468	23,468	13,307	14,758
101113	Laguna de la Fuente	Temporal	29,054	15,973	25,377	23,868	3,896	4,763	26,246	23,587	14,039
101114	Laguna de Villardón	Temporal	14,62	6,432	12,121	10,427	2,144	0,9	11,824	10,93	0

(-) Deseada por drenaje hasta mediados de los años 90.

Tabla 17. Resultado de superficies de agua calculada con teledetección (años húmedos)

7.5.1 Masa 101101. Lago de Sanabria

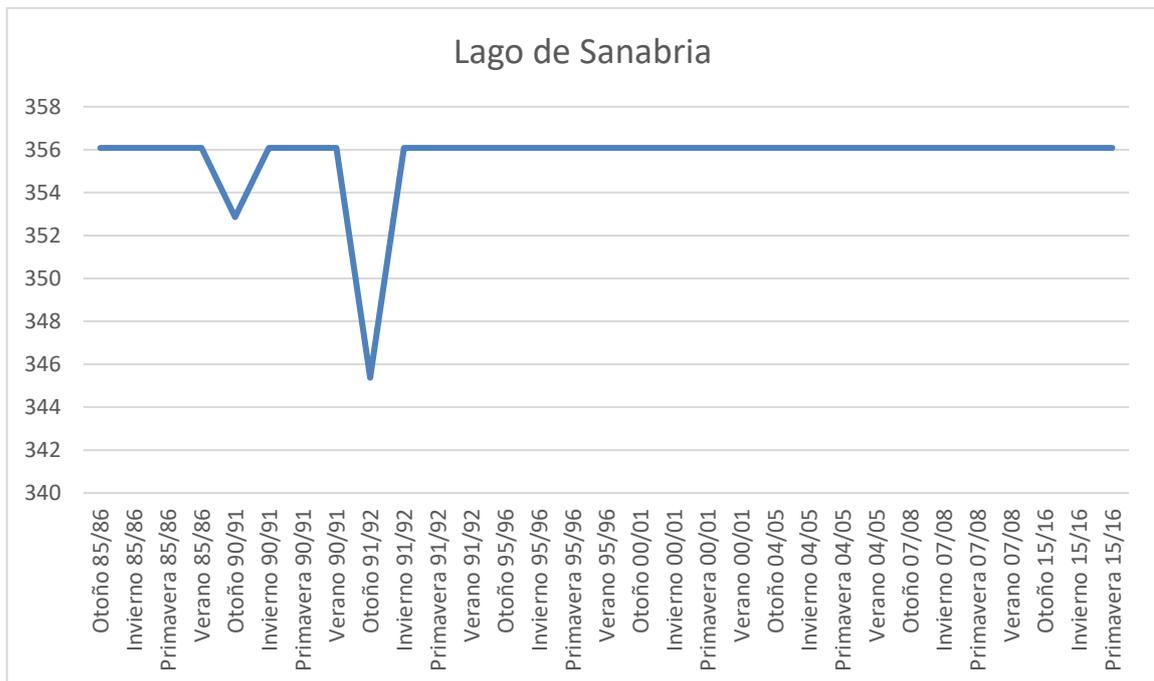


Figura 41. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101101 (ha/estación)

Nombre Lago	Lago de Sanabria		Superficie Masa (ha)	356,1	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	349,8	98%	355,0	100%	356,1	100%
Invierno	356,1	100%	356,1	100%	356,1	100%
Primavera	356,1	100%	356,1	100%	356,1	100%
Verano	356,1	100%	356,1	100%	356,1	100%

Tabla 18. Resultados promedio de la Masa lago 101101 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.2 Masa 101102. Salina Grande

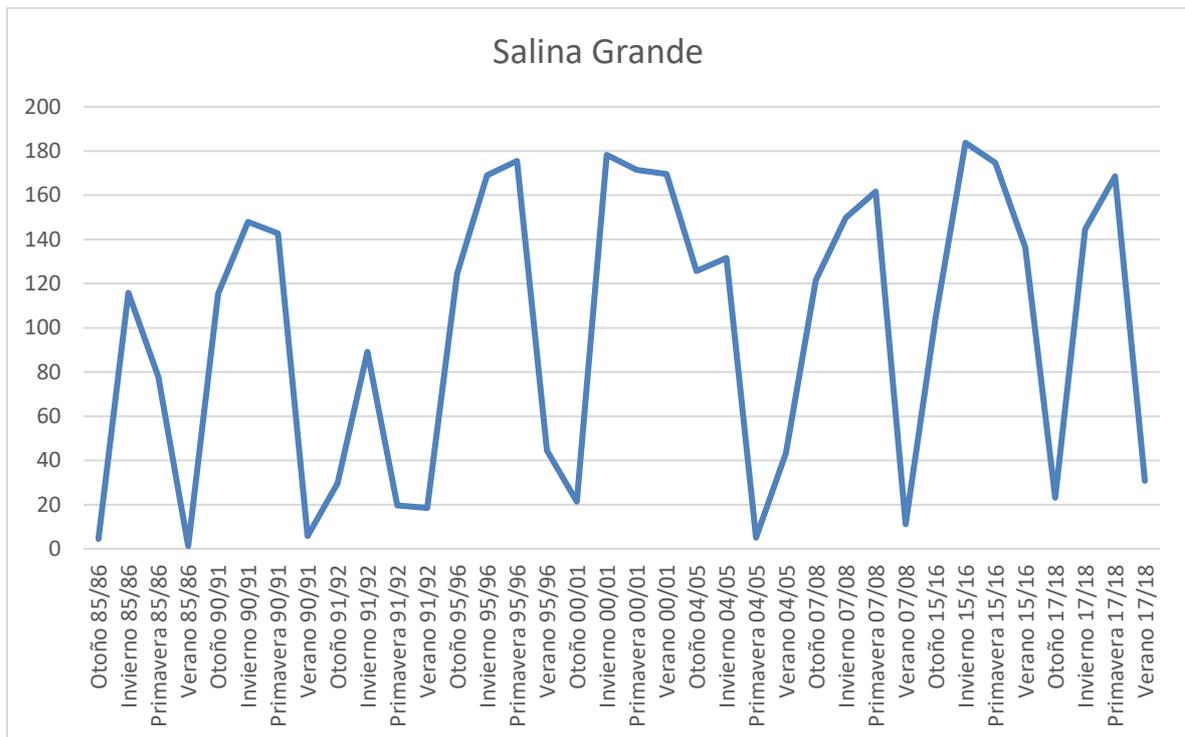


Figura 42. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101102 (ha/estación)

Nombre Lago	Salina Grande		Superficie Masa (ha)	199,0	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	45,8	23%	113,8	57%	72,9	37%
Invierno	120,3	60%	160,5	81%	173,6	87%
Primavera	67,8	34%	159,6	80%	173,5	87%
Verano	23,5	12%	51,1	26%	107,0	54%

Tabla 19. Resultados promedio de la Masa lago 101102 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.3 Masa 101103. Laguna de Barillos

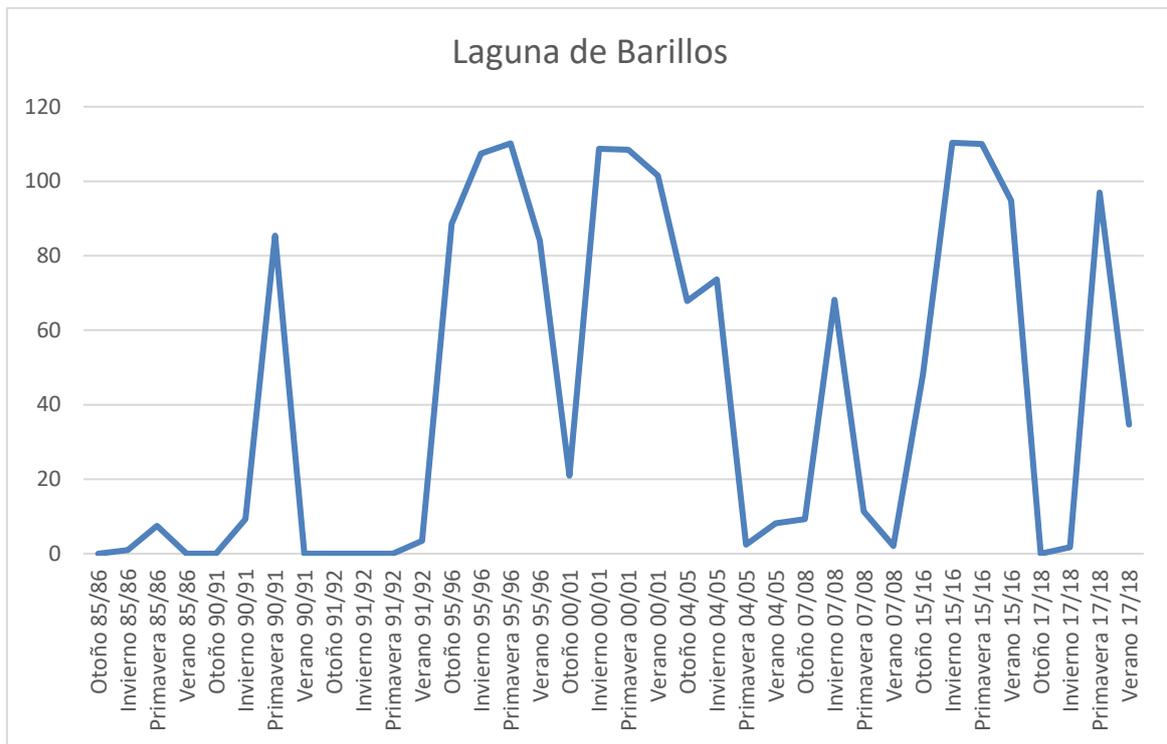


Figura 43. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101103 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna de Barillos		Superficie Masa (ha)	112,2	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	17,0	15%	19,1	17%	54,8	49%
Invierno	19,1	17%	62,6	56%	108,1	96%
Primavera	26,7	24%	68,9	61%	109,3	97%
Verano	11,6	10%	32,3	29%	92,7	83%

Tabla 20. Resultados promedio de la Masa lago 101103 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.4 Masa 101104. Laguna de Lacillos

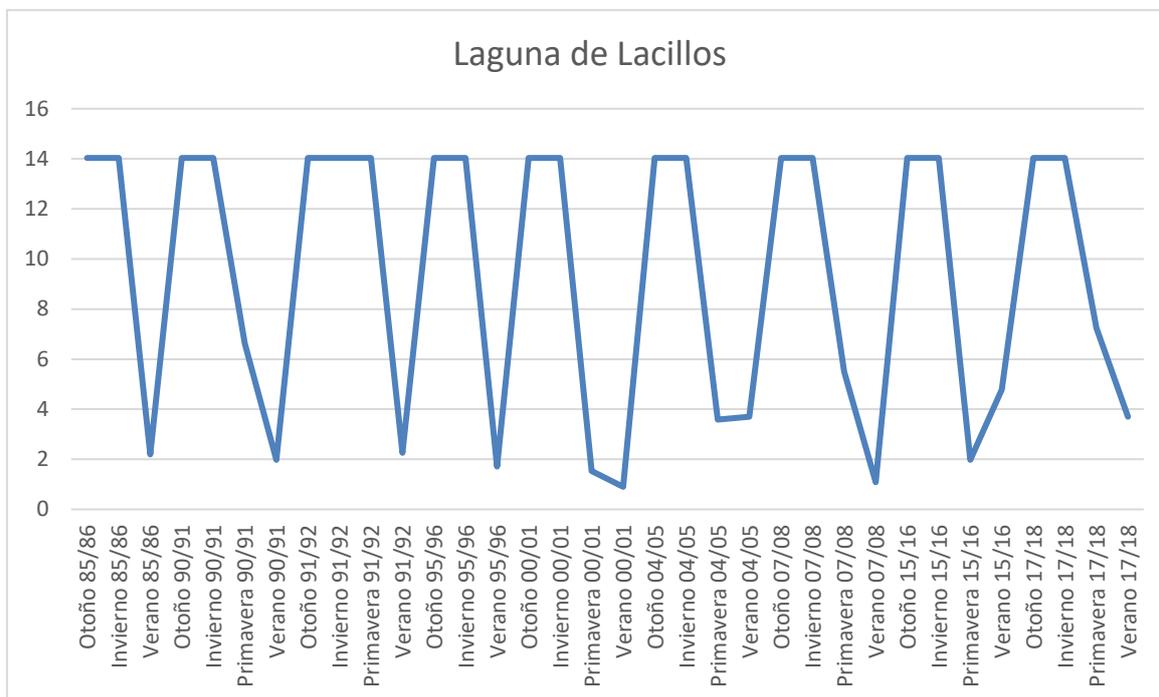


Figura 44. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101104 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna de Lacillos		Superficie Masa (ha)	14,0	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	14,0	100%	14,0	100%	14,0	100%
Invierno	14,0	100%	14,0	100%	14,0	100%
Primavera	8,3	59%	4,7	34%	1,5	11%
Verano	3,0	21%	2,6	19%	1,3	9%

Tabla 21. Resultados promedio de la Masa lago 101104 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.5 Masa 101105. Laguna de Sotillo

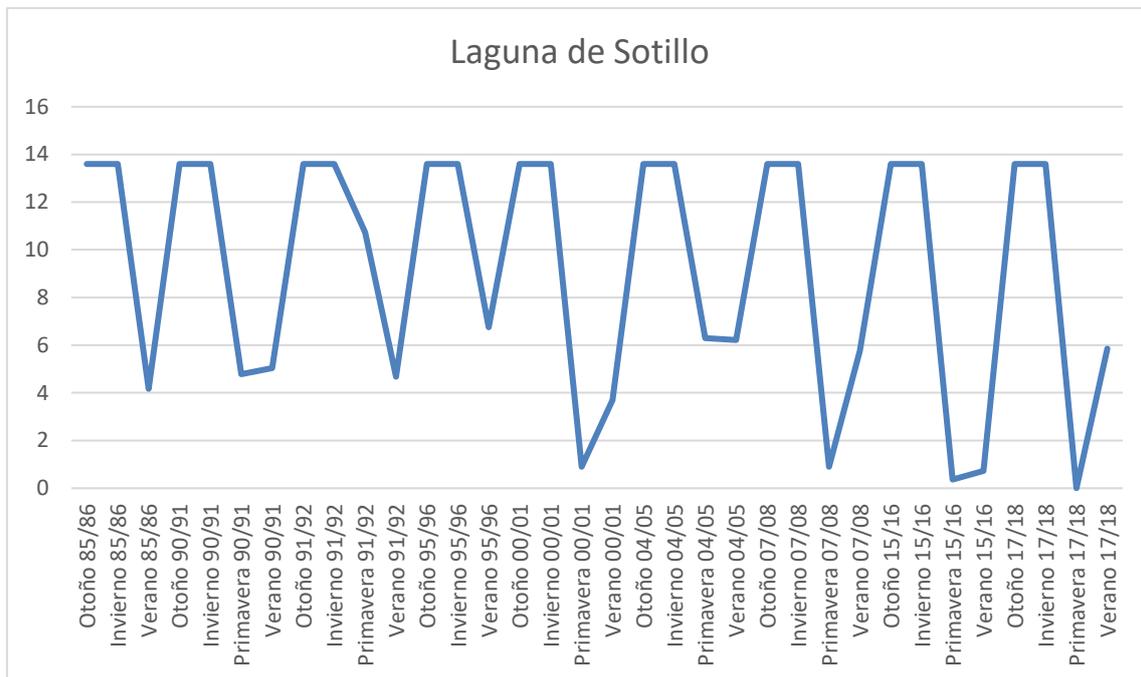


Figura 45. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101105 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna de Sotillo		Superficie Masa (ha)	13,6	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	13,6	100%	13,6	100%	13,6	100%
Invierno	13,6	100%	13,6	100%	13,6	100%
Primavera	5,7	42%	2,0	15%	0,9	7%
Verano	5,2	38%	3,8	28%	5,2	38%

Tabla 22. Resultados promedio de la Masa lago 101105 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.6 Masa 101106. Laguna Grande de Gredos

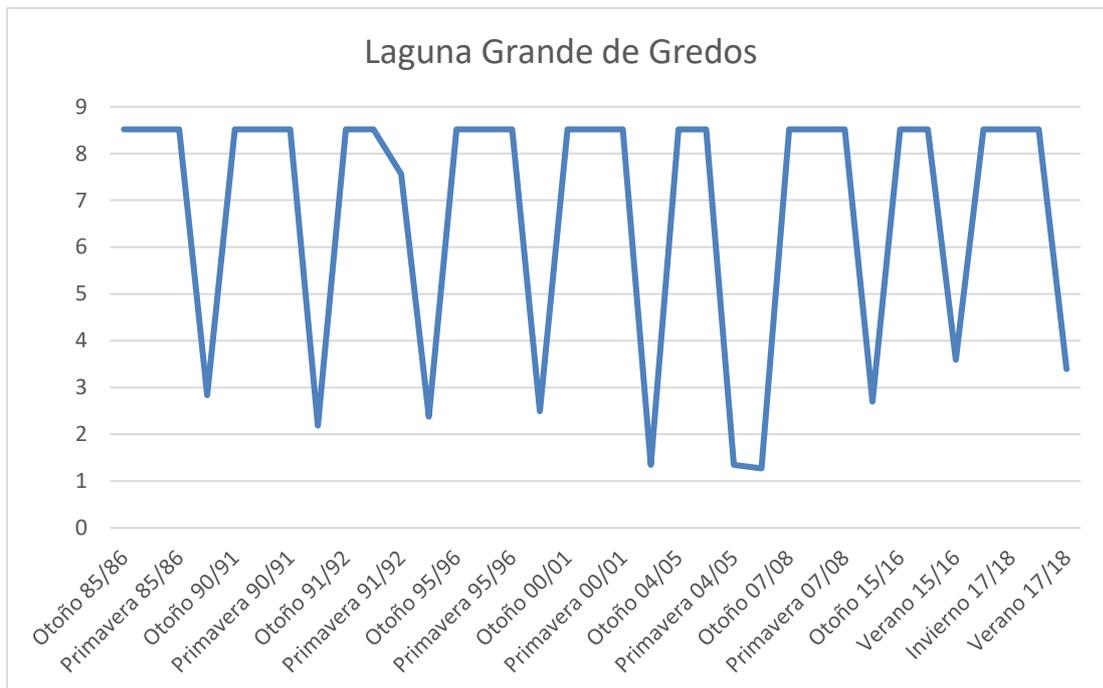


Figura 46. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101106 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna Grande de Gredos		Superficie Masa (ha)	8,5	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	8,5	100%	8,5	100%	8,5	100%
Invierno	8,5	100%	8,5	100%	8,5	100%
Primavera	6,5	76%	8,5	100%	8,5	100%
Verano	2,5	29%	1,9	23%	1,9	23%

Tabla 23. Resultados promedio de la Masa lago 101106 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.7 Masa 101107. Laguna de las Salinas

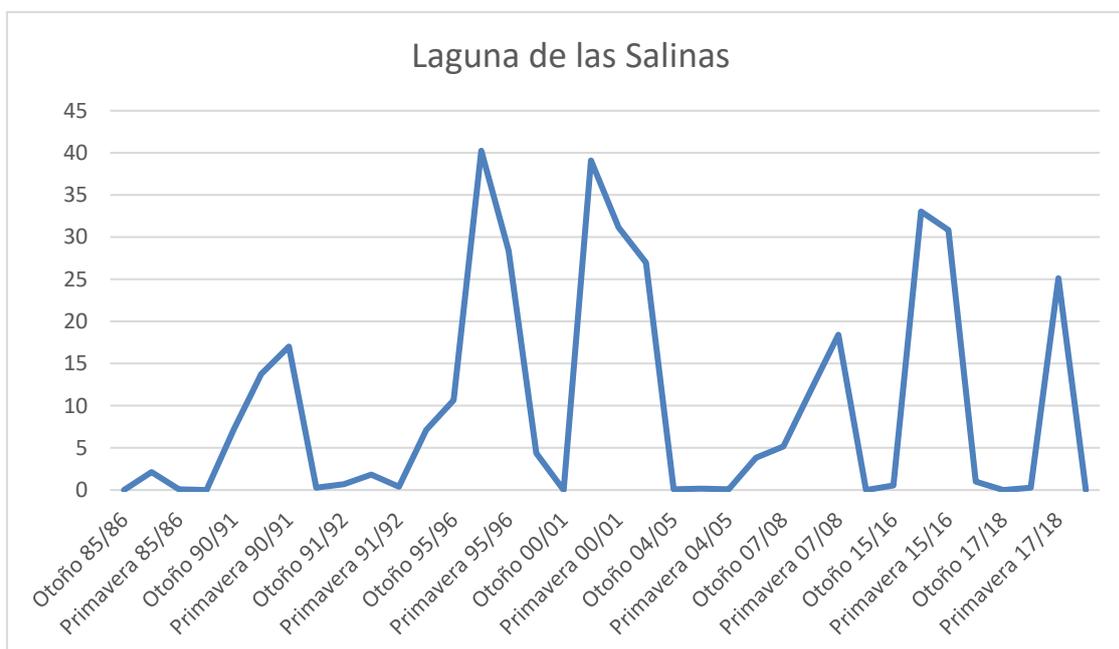


Figura 47. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101107 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna de las Salinas		Superficie Masa (ha)	66,3	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	0,2	0%	4,3	100%	5,3	8%
Invierno	1,1	2%	19,6	100%	39,7	60%
Primavera	6,4	10%	22,1	100%	29,8	45%
Verano	2,7	4%	1,3	23%	15,7	24%

Tabla 24. Resultados promedio de la Masa lago 101107 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.8 Masa 101108. Laguna de Boada de Campos

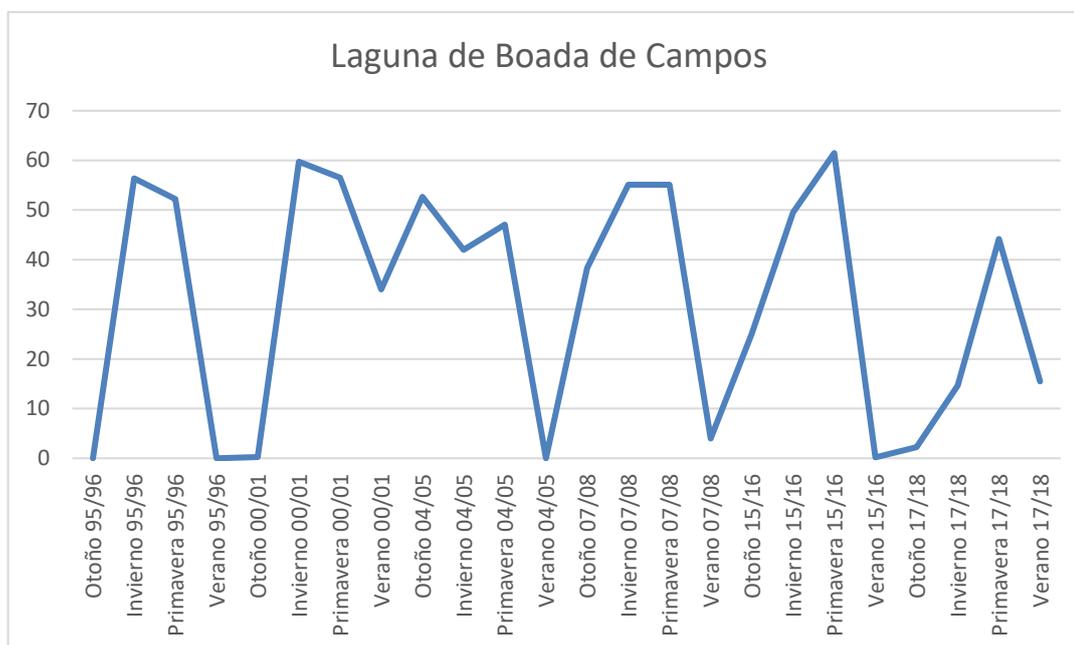


Figura 48. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101108 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna de Boada de Campos		Superficie Masa (ha)	61,8	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	27,4	44%	31,7	51%	0,3	0%
Invierno	28,3	46%	52,3	85%	58,1	94%
Primavera	45,6	74%	58,3	94%	54,4	88%
Verano	7,7	13%	2,1	3%	17,0	28%

Tabla 25. Resultados promedio de la Masa lago 101108 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.9 Masa 101109. Laguna de Cárdena

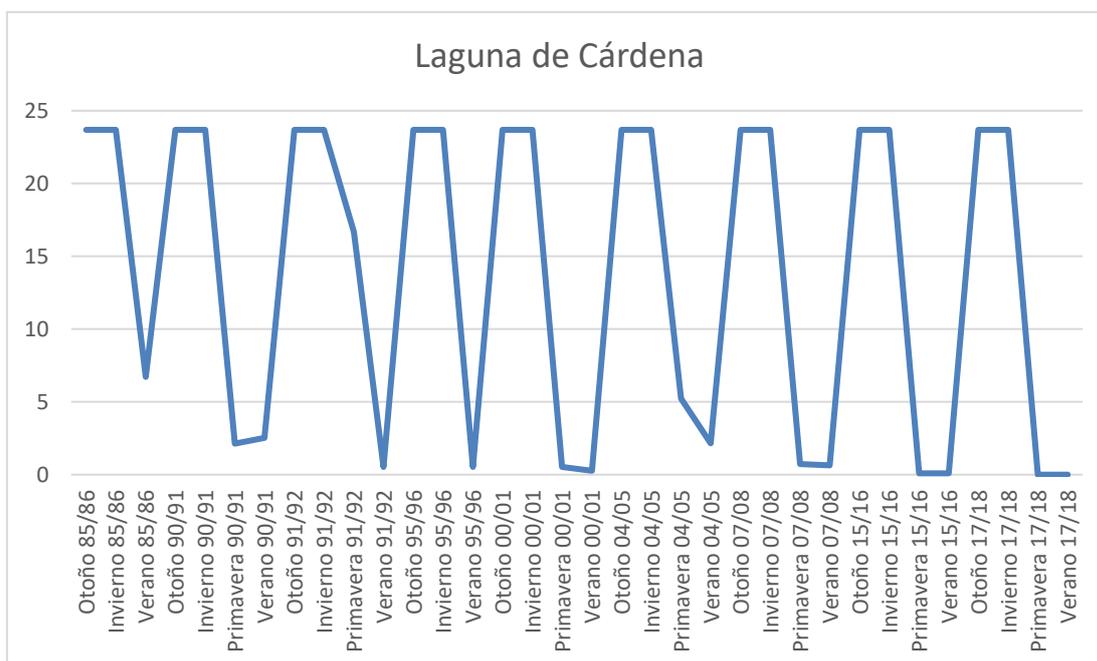


Figura 49. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101109 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna de Cárdena		Superficie Masa (ha)	23,7	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	23,7	100%	23,7	100%	23,7	100%
Invierno	23,7	100%	23,7	100%	23,7	100%
Primavera	7,3	31%	1,0	4%	0,5	2%
Verano	2,4	10%	1,1	5%	0,4	2%

Tabla 26. Resultados promedio de la Masa lago 101109 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.10 Masa 101110. Laguna de La Nava de Fuentes

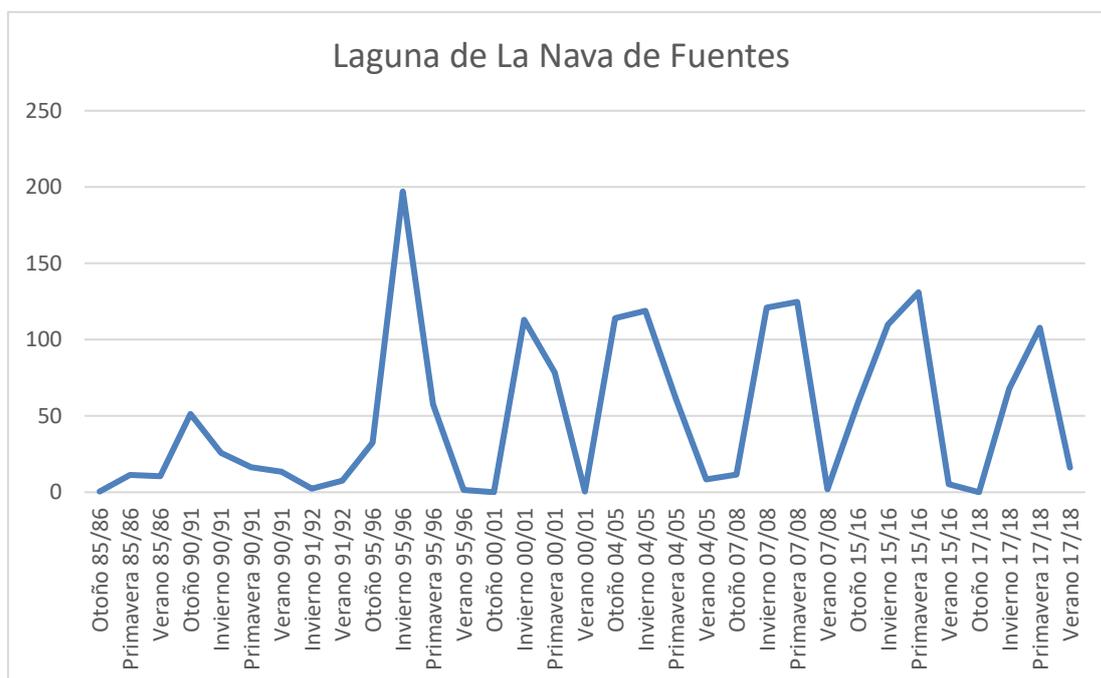


Figura 50. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101110 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna de La Nava de Fuentes		Superficie Masa (ha)	326,3	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	38,2	12%	40,4	12%	16,3	5%
Invierno	63,0	19%	85,6	26%	155,0	48%
Primavera	60,1	18%	90,7	28%	68,0	21%
Verano	10,6	3%	6,8	2%	0,9	0%

Tabla 27. Resultados promedio de la Masa lago 101110 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.11 Masa 101111. Laguna del Barco

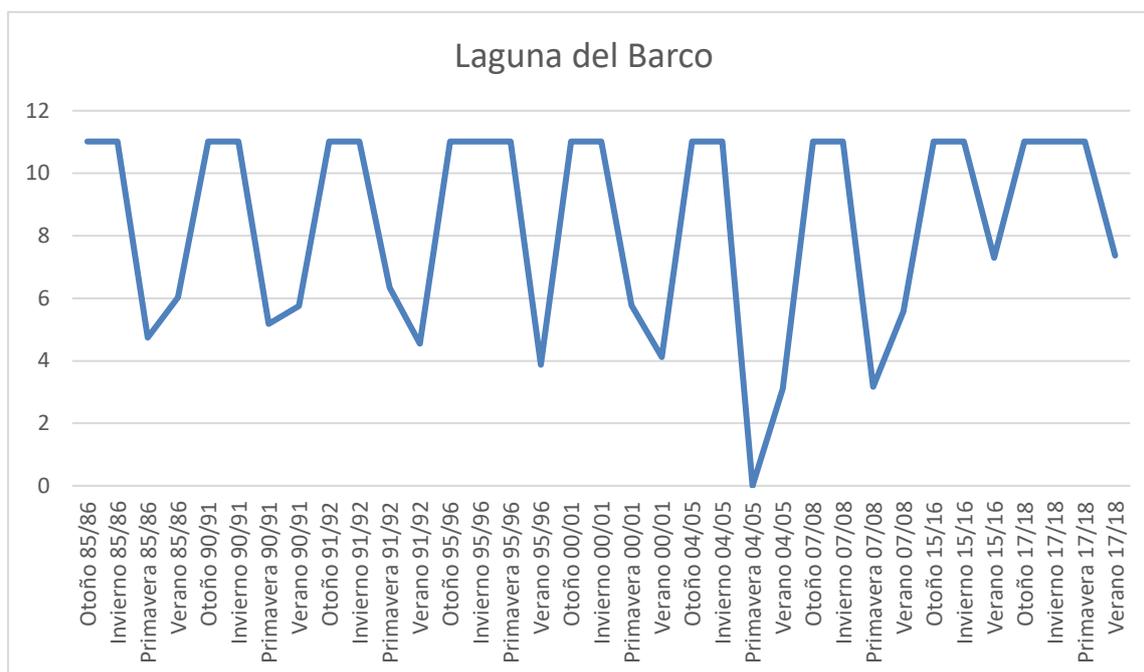


Figura 51. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101111 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna del Barco		Superficie Masa (ha)	11,0	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	11,0	100%	11,0	100%	11,0	100%
Invierno	11,0	100%	11,0	100%	11,0	100%
Primavera	5,5	50%	4,2	38%	8,4	76%
Verano	5,3	48%	6,2	56%	4,0	36%

Tabla 28. Resultados promedio de la Masa lago 101111 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.12 Masa 101112. Laguna del Duque

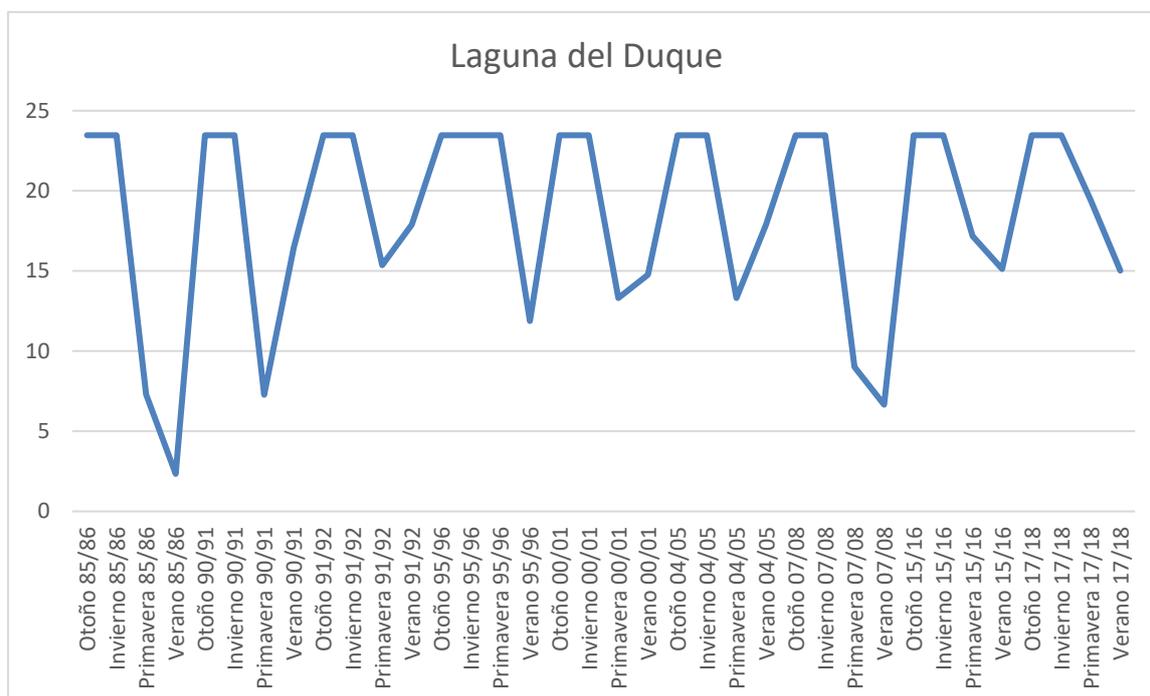


Figura 52. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101112 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna del Duque		Superficie Masa (ha)	23,5	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	23,5	100%	23,5	100%	23,5	100%
Invierno	23,5	100%	23,5	100%	23,5	100%
Primavera	13,8	59%	11,2	48%	18,4	78%
Verano	13,3	57%	12,7	54%	13,3	57%

Tabla 29. Resultados promedio de la Masa lago 101112 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.13 Masa 101113. Laguna de la Fuente

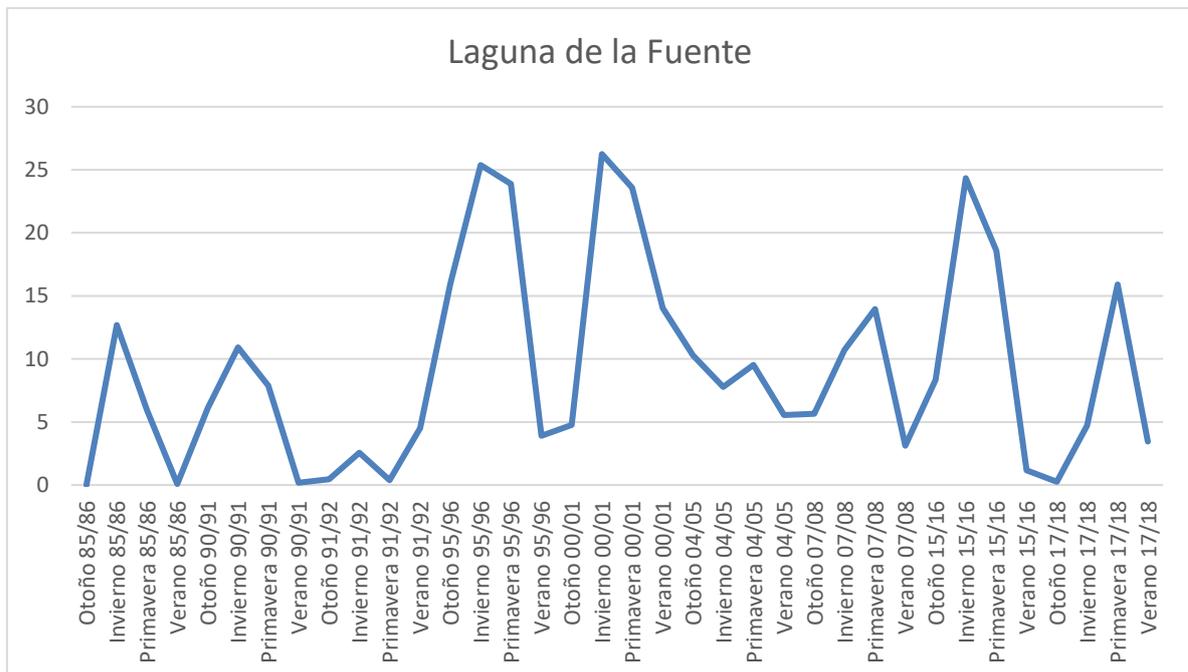


Figura 53. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101113 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna de la Fuente		Superficie Masa (ha)	29,1	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	2,7	9%	6,7	23%	10,4	36%
Invierno	6,9	24%	15,3	53%	25,8	89%
Primavera	7,9	27%	13,5	46%	23,7	82%
Verano	3,4	12%	1,5	5%	9,0	31%

Tabla 30. Resultados promedio de la Masa lago 101113 por estación y tipo de año hidrológico

7.5.14 Masa 101114. Laguna de Villardón

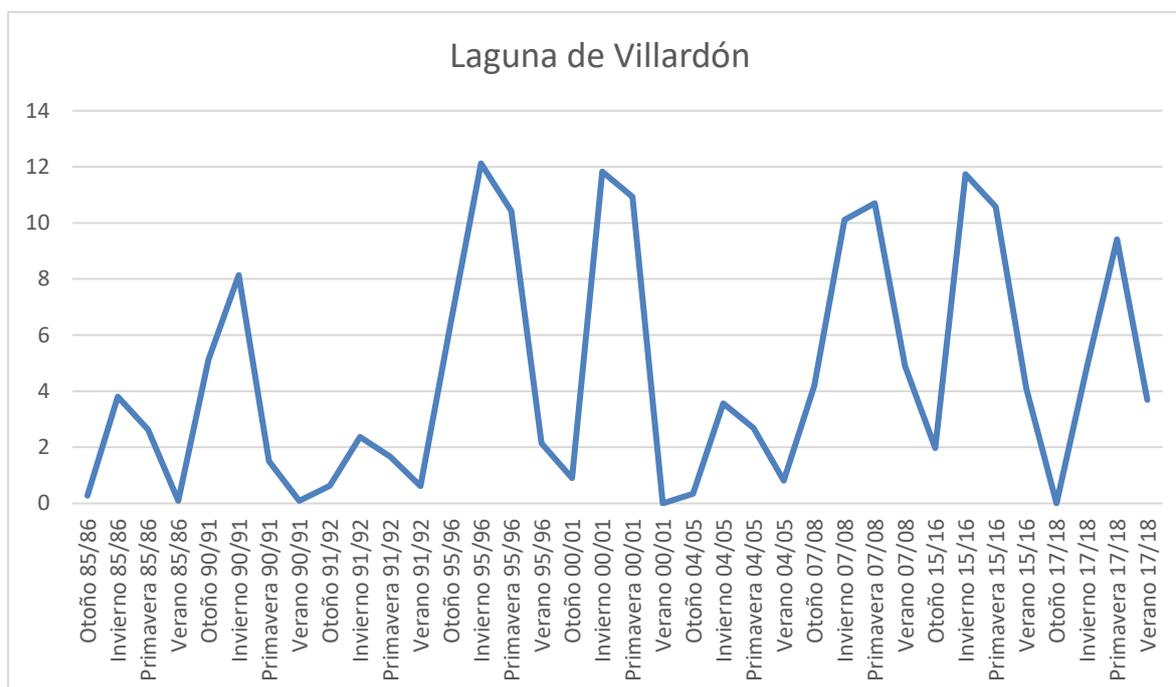


Figura 54. Gráfico con los valores de superficie de la Masa lago 101114 (ha/estación)

Nombre Lago	Laguna de Villardón		Superficie Masa (ha)	14,6	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	0,3	2%	3,8	26%	3,7	25%
Invierno	3,6	25%	10,0	68%	12,0	82%
Primavera	4,1	28%	7,6	52%	10,7	73%
Verano	1,3	9%	3,0	21%	1,1	7%

Tabla 31. Resultados promedio de la Masa lago 101114 por estación y tipo de año hidrológico

7.6 Afección a la vegetación

Se ha tenido en cuenta la posible afección a la vegetación en relación con las variaciones de la lámina de agua del humedal, estimada en los trabajos de "Consultoría y asistencia para la realización de tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Norte, Miño-Limia, Duero y Tajo" (DGA, 2011).

En este estudio, con el objeto de efectuar una valoración, orientativa, de cómo se podría ver afectada la vegetación que en la actualidad existe en el espacio natural del humedal, ante los cambios que se fueran experimentando en su cota de llenado, se efectúa una estimación de qué podría ocurrirle a esta vegetación, en el supuesto, hipotético, de que la lámina de agua en el humedal fuese descendiendo, como consecuencia de la falta de aportes hídricos y, en consecuencia,

su llenado se viese mermado. Se valora el efecto en la vegetación, en el supuesto de que la situación hidráulica del humedal se viese mantenida durante periodos de tiempo variables de 3, 6, 12 y 24 meses, siendo los niveles de afección los siguientes:

- I: sin afección (cambios dentro del régimen estacional, normal (regulado o no), de la cubeta
- II: afección mínima (cambios puntuales, recuperables a corto plazo, en las comunidades acuáticas de las zonas litorales)
- III: afección ligera (cambios puntuales, no recuperables a corto plazo, en las comunidades acuáticas de las zonas litorales)
- IV: afección moderada (cambios importantes, recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas) y acuáticas)
- V: afección grave (cambios importantes, no recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas) y acuáticas)
- VI: afección severa (cambios drásticos, recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas y leñosas) y acuáticas)
- VII: afección extrema (cambios drásticos, no recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas y leñosas) y acuáticas)

Se muestra a continuación las tablas extractadas del estudio antes reseñado sobre las afecciones a la vegetación en función de la superficie encharcada, de las lagunas que aparecen en dicho estudio.

Lago de Sanabria (DH Duero)					Meses de afección			
Cota lámina de agua	Área (m ²)	Área (%)	Volumen (m ³)	Volumen (%)	3	6	12	24
0	3.567.200,24	100,00	95.487.826,81	100,00	I	I	I	I
-1	3.494.608,11	97,97	91.958.533,32	96,30	I	II	II	III
-2	3.431.029,14	96,18	88.496.676,02	92,68	I	II	III	IV
-3	3.382.341,33	94,82	85.091.180,95	89,11	II	III	IV	V
-4	3.343.316,85	93,72	81.728.530,63	85,59	II	III	V	V
-5	3.305.823,62	92,67	78.403.911,29	82,11	III	IV	VI	VI
-6	3.268.799,13	91,63	75.116.477,46	78,67	IV	V	VI	VI
-7	3.231.088,77	90,58	71.866.493,42	75,26	V	VI	VII	VII
-8	3.193.787,13	89,53	68.653.988,19	71,90	VI	VII	VII	VII
-9	3.156.093,77	88,48	65.479.011,68	68,57	VII	VII	VII	VII
-10	3.116.588,46	87,37	62.342.394,86	65,29	VII	VII	VII	VII
-15	2.895.464,46	81,17	47.295.947,50	49,53	VII	VII	VII	VII
-20	2.620.386,74	73,46	33.454.862,26	35,04	VII	VII	VII	VII
-25	2.174.417,01	60,96	21.395.256,24	22,41	VII	VII	VII	VII
-30	1.533.417,53	42,99	12.126.939,59	12,70	VII	VII	VII	VII
-35	1.042.774,54	29,23	5.678.273,75	5,95	VII	VII	VII	VII
-40	551.874,74	15,47	1.719.697,83	1,80	VII	VII	VII	VII
-45	104.569,41	2,93	198.359,63	0,21	VII	VII	VII	VII

Tabla 32. Afecciones a la vegetación en función de la superficie del lago de Sanabria. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011

Lago del Barco (DH Duero)					Meses de afección			
Cota lámina de agua	Área (m ²)	Área (%)	Volumen (m ³)	Volumen (%)	3	6	12	24
0	107.146,79	100,00	688.126,62	100,00	I	I	I	I
-1	97.695,36	91,18	584.753,48	84,98	I	I	II	II
-2	86.128,65	80,38	492.831,73	71,62	I	I	II	III
-3	74.493,10	69,52	412.576,67	59,96	I	II	III	IV
-4	64.639,07	60,33	343.460,77	49,91	I	III	IV	IV
-5	53.986,22	50,39	283.506,91	41,20	I	III	IV	V
-6	45.727,91	42,68	234.645,57	34,10	II	III	V	VI
-7	41.001,23	38,27	191.306,85	27,80	II	IV	VI	VII
-8	36.794,80	34,34	152.435,07	22,15	III	V	VI	VII
-9	32.652,05	30,47	117.674,87	17,10	III	VI	VI	VII
-10	28.269,49	26,38	87.248,13	12,68	IV	VII	VII	VII
-11	24.474,60	22,84	60.916,04	8,85	IV	VII	VII	VII
-12	20.731,46	19,35	38.270,54	5,56	V	VII	VII	VII
-13	16.765,52	15,65	19.470,08	2,83	VI	VII	VII	VII
-14	10.164,22	9,49	5.682,61	0,83	VII	VII	VII	VII
-15	811,06	0,76	19,35	0,00	VII	VII	VII	VII

Tabla 33. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna del Barco. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011

Lago del Duque (DH Duero)					Meses de afección			
Cota lámina de agua	Área (m ²)	Área (%)	Volumen (m ³)	Volumen (%)	3	6	12	24
0	228.114,10	100,00	1.727.451,17	100,00	I	I	I	I
-1	216.519,61	94,92	1.504.988,26	87,12	I	I	II	II
-2	198.541,11	87,04	1.298.323,04	75,16	I	II	III	III
-3	183.215,98	80,32	1.107.390,76	64,11	I	III	III	III
-4	165.752,91	72,66	932.764,99	54,00	I	III	IV	IV
-5	145.494,93	63,78	776.808,53	44,97	I	IV	V	V
-6	119.234,88	52,27	643.736,43	37,27	II	V	VI	VI
-7	100.851,79	44,21	535.016,97	30,97	III	V	VI	VII
-8	87.129,00	38,20	441.139,15	25,54	IV	VI	VI	VII
-9	72.968,71	31,99	360.805,78	20,89	VI	VII	VII	VII
-10	58.389,07	25,60	294.302,55	17,04	VI	VII	VII	VII
-15	28.053,16	12,30	95.881,55	5,55	VII	VII	VII	VII
-20	7.380,17	3,24	2.958,49	0,17	VII	VII	VII	VII

Tabla 34. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna del Duque. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011

Laguna de Cárdena (DH Duero)					Meses de afección			
Cota lámina de agua	Área (m ²)	Área (%)	Volumen (m ³)	Volumen (%)	3	6	12	24
0	204.287,25	100,00	1.160.841,09	100,00	I	I	I	I
-1	187.305,48	91,69	965.926,66	83,21	I	I	II	II
-2	172.587,05	84,48	785.916,02	67,70	I	I	III	III
-3	157.972,43	77,33	620.364,06	53,44	I	II	III	IV
-4	137.894,63	67,50	471.674,95	40,63	I	II	IV	IV
-5	106.955,47	52,36	348.247,33	30,00	I	II	IV	V
-6	69.608,34	34,07	259.278,58	22,34	I	III	V	VI
-7	42.416,86	20,76	205.399,29	17,69	II	III	V	VI
-8	31.399,30	15,37	169.326,83	14,59	II	IV	VI	VII
-9	26.433,14	12,94	140.692,27	12,12	III	V	VI	VII
-10	23.064,43	11,29	115.982,64	9,99	IV	VI	VII	VII
-15	10.434,64	5,11	34.438,83	2,97	V	VII	VII	VII
-20	2.834,32	1,39	2.041,83	0,18	VI	VII	VII	VII

Tabla 35. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna de Cárdena. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011

Laguna de Boada (DH Duero)					Meses de afección			
Cota lámina de agua	Área (m ²)	Área (%)	Volumen (m ³)	Volumen (%)	3	6	12	24
739,62	570.132,76	100,00	271.944,97	100,00	I	I	I	I
739,00	72.314,66	12,68	4.362,71	1,60	I	I	II	II
738,80	834,65	0,15	15,22	0,01	I	I	III	III

Tabla 36. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna de Boada. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011

Laguna de la Nava (DH Duero)					Meses de afección			
Cota lámina de agua	Área (m ²)	Área (%)	Volumen (m ³)	Volumen (%)	3	6	12	24
742,17	2.649.544,72	100,00	553.424,13	100,00	I	I	I	I
742,00	1.569.042,03	59,22	189.932,55	34,32	I	I	II	II
741,50	19.725,81	0,74	2.488,33	0,45	I	I	II	III
741,00	321,23	0,01	13,17	0,00	I	II	III	III

Tabla 37. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna de la Nava de Fuentes. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011

Laguna de Villafáfila_Salina Grande (DH Duero)					Meses de afección			
Cota lámina de agua	Área (m ²)	Área (%)	Volumen (m ³)	Volumen (%)	3	6	12	24
678,86	1.678.730,02	100,00	300.399,84	100,00	I	I	I	I
678,70	1.008.864,94	60,10	75.929,51	25,28	I	I	I	II
678,60	353.077,37	21,03	10.336,42	3,44	I	I	II	II
678,55	44.301,81	2,64	261,57	0,09	I	I	II	III

Tabla 38. Afecciones a la vegetación en función de la superficie de la laguna de la Nava de Fuentes. Fuente: Estudio Qecol, DGA 2011

En aquellos humedales donde no existe una alteración antrópica significativa de su régimen hidrológico (recrecimiento para uso hidroeléctrico, riego, etc.), los requerimientos hídricos se han estimado en función de la superficie según los años secos, medios y húmedos.

En aquellos humedales donde se ha visto que la lámina de agua sufre grandes alteraciones antrópicas, por uso hidroeléctrico, regadío, etc., los datos históricos registrados no son válidos ya que las alteraciones del nivel del agua responden a alteraciones antrópicas.

Tan solo estos casos los requerimientos hídricos se han estimado en función a la afección a la vegetación extraída del estudio antes reseñado.

7.7 Revisión de resultados y estimación de requerimientos hídricos

7.7.1 Masa 101101. Lago de Sanabria

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Lago de Sanabria		Superficie Masa (ha)	356,1	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	349,8	98%	355,0	100%	356,1	100%
Invierno	356,1	100%	356,1	100%	356,1	100%
Primavera	356,1	100%	356,1	100%	356,1	100%
Verano	356,1	100%	356,1	100%	356,1	100%

Tabla 39. Resultados promedio de la Masa lago 101101 por estación y tipo de año hidrológico

El lago de Sanabria (permanente) se mantiene prácticamente con la misma superficie inundada todos los años analizados y en todas las estaciones.

El requerimiento ambiental debe ser tal que permita el mantenimiento de la superficie inundada en cerca de 356 ha en todo momento.

Nombre Lago	Lago de Sanabria	Superficie Masa (ha)	356,1	Temporalidad	Permanente
Estación	Objetivo				
	ha	% Sup masa			
Otoño	356,1	100%			
Invierno	356,1	100%			
Primavera	356,1	100%			
Verano	356,1	100%			

Tabla 40. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101101 por estación

7.7.2 Masa 101102. Salina Grande

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Salina Grande		Superficie Masa (ha)	199,0	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	45,8	23%	113,8	57%	72,9	37%
Invierno	120,3	60%	160,5	81%	173,6	87%
Primavera	67,8	34%	159,6	80%	173,5	87%
Verano	23,5	12%	51,1	26%	107,0	54%

Tabla 41. Resultados promedio de la Masa lago 101102 por estación y tipo de año hidrológico

La Salina Grande (temporal) presenta una elevada temporalidad intraanual e interanual.

Tras el análisis de las superficies encharcadas en la serie histórica analizada, se ha propuesto los siguientes requerimientos en términos de superficie inundada, redondeando los resultados y teniendo en cuenta que los elevados encharcamientos registrados en otoños de años medios se deben tan sólo a patrones de lluvias de otoño que no tienen que ser representativos de años con precipitación media o húmeda.

Nombre Lago	Salina Grande	Superficie Masa (ha)	199,0	Temporalidad	Temporal
Estación	Objetivo				
	ha	% Sup masa			
Otoño	65,0	33%			
Invierno	160,0	80%			
Primavera	160,0	80%			
Verano	50,0	25%			

Tabla 42. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101102 por estación

7.7.3 Masa 101103. Laguna de Barillos

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna de Barillos		Superficie Masa (ha)	112,2	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	17,0	15%	19,1	17%	54,8	49%
Invierno	19,1	17%	62,6	56%	108,1	96%
Primavera	26,7	24%	68,9	61%	109,3	97%
Verano	11,6	10%	32,3	29%	92,7	83%

Tabla 43. Resultados promedio de la Masa lago 101103 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna de Barillos (temporal) presenta una elevada temporalidad intraanual e interanual.

Tras el análisis de las superficies encharcadas en la serie histórica analizada, se ha propuesto los siguientes requerimientos en términos de superficie inundada, redondeando los resultados.

Nombre Lago	Laguna de Barillos		Superficie Masa (ha)	112,2	Temporalidad	Temporal
Estación	Objetivo					
	ha	% Sup masa				
Otoño	20,0	18%				
Invierno	60,0	53%				
Primavera	65,0	58%				
Verano	30,0	27%				

Tabla 44. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101102 por estación

7.7.4 Masa 101104. Laguna de Lacillos

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna de Lacillos		Superficie Masa (ha)	14,0	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	14,0	100%	14,0	100%	14,0	100%
Invierno	14,0	100%	14,0	100%	14,0	100%
Primavera	8,3	59%	4,7	34%	1,5	11%
Verano	3,0	21%	2,6	19%	1,3	9%

Tabla 45. Resultados promedio de la Masa lago 101104 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna de Lacillos es un lago de origen glacial y permanente pero altamente fluctuante intraanualmente, de forma que en otoño e invierno alcanza su máxima superficie inundada con independencia de la pluviometría del año hidrológico. En primavera y verano el lago reduce su superficie inundada sin llegar a secarse y sin que el régimen de lluvias del año influya en la superficie inundada, que está más influenciado por el momento en que se produzca el fundido de nieve en cada extracción.

Tras el análisis de las superficies encharcadas en la serie histórica analizada, se ha propuesto los siguientes requerimientos en términos de superficie inundada, redondeando los resultados y estableciendo un objetivo común independiente de la pluviometría de cada año.

Nombre Lago	Laguna de Lacillos		Superficie Masa (ha)	14,0	Temporalidad	Permanente
Estación	Objetivo					
	ha		% Sup masa			
Otoño	14,0		100%			
Invierno	14,0		100%			
Primavera	5,0		36%			
Verano	2,0		14%			

Tabla 46. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101104 por estación

7.7.5 Masa 101105. Laguna de Sotillo

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna de Sotillo		Superficie Masa (ha)	13,6	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	13,6	100%	13,6	100%	13,6	100%
Invierno	13,6	100%	13,6	100%	13,6	100%
Primavera	5,7	42%	2,0	15%	0,9	7%
Verano	5,2	38%	3,8	28%	5,2	38%

Tabla 47. Resultados promedio de la Masa lago 101105 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna de Sotillo es un lago de origen glacial y permanente pero altamente fluctuante intraanualmente, de forma que en otoño e invierno alcanza su máxima superficie inundada con independencia de la pluviometría del año hidrológico. En primavera y verano el lago reduce su superficie inundada hasta prácticamente secarse (la superficie inundada se redujo por debajo de 1 ha en los AH 2000/01, 2007/08, 2015/16 y 2017/18) y sin que el régimen de lluvias del año influya en la superficie inundada, que está más influenciado por el momento en que se produzca el fundido de nieve en cada estación.

Tras el análisis de las superficies encharcadas en la serie histórica analizada, se ha propuesto los siguientes requerimientos en términos de superficie inundada, redondeando los resultados y estableciendo un objetivo común independiente de la pluviometría de cada año.

Nombre Lago	Laguna de Sotillo		Superficie Masa (ha)	13,6	Temporalidad	Permanente
Estación	Objetivo					
	ha		% Sup masa			
Otoño	13,6		100%			
Invierno	13,6		100%			
Primavera	5,0		37%			
Verano	5,0		37%			

Tabla 48. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101105 por estación

7.7.6 Masa 101106. Laguna Grande de Gredos

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna Grande de Gredos		Superficie Masa (ha)	8,5	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	8,5	100%	8,5	100%	8,5	100%
Invierno	8,5	100%	8,5	100%	8,5	100%
Primavera	6,5	76%	8,5	100%	8,5	100%
Verano	2,5	29%	2,8	33%	1,9	23%

Tabla 49. Resultados promedio de la Masa lago 101106 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna Grande de Gredos es un lago de origen glacial y permanente pero altamente fluctuante intraanualmente, de forma que en otoño, invierno y primavera alcanza su máxima superficie inundada con independencia de la pluviometría del año hidrológico. En verano (ampliable a la primavera en años secos) el lago reduce su superficie inundada hasta cerca de las 2 ha de extensión.

Tras el análisis de las superficies encharcadas en la serie histórica analizada, se ha propuesto los siguientes requerimientos en términos de superficie inundada, redondeando los resultados.

Nombre Lago	Laguna Grande de Gredos		Superficie Masa (ha)	8,5	Temporalidad	Permanente
Estación	Objetivo					
	ha	% Sup masa				
Otoño	8,5	100%				
Invierno	8,5	100%				
Primavera	8,5	100%				
Verano	2,0	23%				

Tabla 50. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101106 por estación

7.7.7 Masa 101107. Laguna de las Salinas

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna de las Salinas		Superficie Masa (ha)	66,3	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	0,2	0%	4,3	6%	5,3	8%
Invierno	1,1	2%	19,6	30%	39,7	60%
Primavera	6,4	10%	22,1	33%	29,8	45%
Verano	2,7	4%	0,4	1%	15,7	24%

Tabla 51. Resultados promedio de la Masa lago 101107 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna de las Salinas (temporal) presenta una elevada temporalidad intraanual e interanual.

Tras el análisis de las superficies encharcadas en la serie histórica analizada, se ha propuesto los siguientes requerimientos en términos de superficie inundada, redondeando los resultados.

Nombre Lago	Laguna de las Salinas		Superficie Masa (ha)	66,3	Temporalidad	Temporal
Estación	Objetivo					
	ha		% Sup masa			
Otoño	2,0		3%			
Invierno	20,0		30%			
Primavera	20,0		30%			
Verano	1,5		2%			

Tabla 52. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101107 por estación

7.7.8 Masa 101108. Laguna de Boada de Campos

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna de Boada de Campos		Superficie Masa (ha)	61,8	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	27,4	44%	31,7	51%	0,3	0%
Invierno	28,3	46%	52,3	85%	58,1	94%
Primavera	45,6	74%	58,3	94%	54,4	88%
Verano	7,7	13%	2,1	3%	17,0	28%

Tabla 53. Resultados promedio de la Masa lago 101108 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna de Boada fue desecada en los años 70 para aumentar la superficie agrícola de Tierra de Campos. Antes de su desecación, el tamaño de la laguna alcanzaba las 100 ha. Las imágenes por satélite analizadas muestran presencia de agua desde el año 1996, por lo que sólo se han analizado los años hidrológicos desde 1995/96.

Desde 1998 se realizan trasvases de agua a la laguna desde el Canal de Castilla, complementando los aportes superficiales de su cuenca de drenaje (muy disminuida desde los años 70). El régimen de alimentación a la laguna, artificial en su mayor parte, comienza en octubre y en los meses de enero y febrero se alcanza la máxima altura de la lámina de agua. Desde el mes de abril la laguna ya no recibe aportes del Canal de Castilla, reduciendo su extensión por el estiaje hasta su práctica desecación.

Este régimen de alimentación artificial hace a la laguna independiente de la pluviometría del año, por lo que se ha propuesto los siguientes requerimientos en términos de superficie inundada, ajustados a esta alimentación artificial.

Nombre Lago	Laguna de Boada de Campos	Superficie Masa (ha)	61,8	Temporalidad	Temporal
Estación	Objetivo				
	ha	% Sup masa			
Otoño	30,0	49%			
Invierno	60,0	97%			
Primavera	60,0	97%			
Verano	2,0	3%			

Tabla 54. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101108 por estación

7.7.9 Masa 101109. Laguna de Cárdena

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna de Cárdena		Superficie Masa (ha)	23,7	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	23,7	100%	23,7	100%	23,7	100%
Invierno	23,7	100%	23,7	100%	23,7	100%
Primavera	7,3	31%	1,0	4%	0,5	2%
Verano	2,4	10%	1,1	5%	0,4	2%

Tabla 55. Resultados promedio de la Masa lago 101109 por estación y tipo de año hidrológico

La laguna de Cárdena, laguna permanente de origen glaciar por excavación de la cubeta, fue recrecida en la década de los años 50 para su aprovechamiento hidroeléctrico en la central de Ribadelago, modificando el régimen hidrológico de la laguna.

En la actualidad, esta laguna presenta aportes de su cuenca vertiente y un trasvase que procede del embalse de Puente Porto y que pasa por el embalse de Playa. Por otra parte, presenta además de las salidas por aliviadero, la derivación de sus caudales para uso hidroeléctrico.

Por ello, no es posible establecer objetivos de superficie encharcada en función de los registros históricos, sino que es necesario evaluar este objetivo en función de la posible afección al ecosistema. Esta afección se ha estimado a partir de los resultados de los trabajos de *“Consultoría y asistencia para la realización de tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Norte, Miño-Limia, Duero y Tajo”* (DGA, 2011), donde se estimó que *“la ausencia de una orla vegetal intensa asociada al entorno del embalse hace que los cambios en el volumen de agua que se aporta al mismo influyan poco sobre la vegetación acuática existente”* y se fijó una *Afección moderada (Cambios importantes, recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas) y acuáticas)* para superficies encharcadas inferiores al 15% de la potencial en periodos iguales o superiores a 6 meses.

Nombre Lago	Laguna de Cárdena		Superficie Masa (ha)	23,7	Temporalidad	Permanente
Estación	Objetivo					
	ha	% Sup masa				
Otoño	23,7	100%				
Invierno	23,7	100%				
Primavera	3,6	15%				
Verano	3,6	15%				

Tabla 56. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101109 por estación

7.7.10 Masa 101110. Laguna de La Nava de Fuentes

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna de La Nava de Fuentes		Superficie Masa (ha)	326,3	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	38,2	12%	40,4	12%	16,3	5%
Invierno	63,0	19%	85,6	26%	155,0	48%
Primavera	60,1	18%	90,7	28%	68,0	21%
Verano	10,6	3%	6,8	2%	0,9	0%

Tabla 57. Resultados promedio de la Masa lago 101110 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna de La Nava de las Fuentes es una laguna temporal que fue desecada en 1968 y que antes de esta desecación alcanzaba las 2.000 ha, llegando a 5.000 ha en años muy húmedos.

En 1990 comenzaron los trabajos de recuperación de este humedal, mediante los cuales se inundaron 60 ha de la laguna y se anularon los desagües de la red de canales y acequias existentes. En 1991 fue aprobado el proyecto “Restauración del humedal de la laguna de la Nava (Mar de Campos), Palencia” por la Unión Europea que consistió principalmente en la compra y arrendamiento de terrenos y en trabajos de restauración dentro y fuera del vaso lagunar, así como actividades de gestión.

Dado que los datos históricos antes del AH 91/92 no son representativos de la situación actual de la laguna, en el presente análisis se ha optado sólo por considerar los resultados de los AH con posterioridad al momento de recuperación del humedal (AH 91/92).

En la tabla siguiente se muestran los resultados de superficie encharcada registrados con posterioridad al AH 91/92, momento de recuperación de la laguna.

Nombre Lago	Laguna de La Nava de Fuentes		Superficie Masa (ha)	326,3	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 07/08 y 14/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	57,0	17%	34,9	11%	16,3	5%
Invierno	93,4	29%	115,4	35%	155,0	48%
Primavera	84,5	26%	127,8	39%	68,0	21%
Verano	12,3	26%	3,6	39%	0,9	21%

Tabla 58. Resultados promedio de la Masa lago 101110 por estación y tipo de año hidrológico, a partir del AH 91/92.

La laguna recibe aportes superficiales de su cuenca vertiente y aportes artificiales desde el Canal de Castilla a través del río Retortillo y el arroyo de Carrepadilla. Mediante estas aportaciones conjuntas se intenta reproducir el ciclo natural de la laguna, es decir, inundación en otoño-invierno y primavera y estiaje durante el verano. De acuerdo con los trabajos de “Consultoría y asistencia para la realización de tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las

necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Norte, Miño-Limia, Duero y Tajo” (DGA, 2011), los aportes son diferentes en función de la época del año, así es:

- Octubre - marzo: inundación de la laguna con trasferencias del Canal de Castilla a partir de octubre.
- Abril - junio: se mantiene un alto nivel de la lámina de agua. La fecha y volumen de esta segunda entrada se hace en función de las precipitaciones registradas cada año.
- Julio - septiembre: no hay aportes y la laguna y su vegetación se van secando.

Este régimen de alimentación artificial hace a la laguna independiente de la pluviometría del año, por lo que se ha propuesto los siguientes requerimientos en términos de superficie inundada, ajustados a esta alimentación artificial. Cada valor estacional de objetivo de encharcamiento se ha estimado como la media de los datos analizados a partir del AH 91/92 (AH no incluido).

Nombre Lago	Laguna de La Nava de Fuentes	Superficie Masa (ha)	326,3	Temporalidad	Temporal
Estación	Objetivo				
	ha	% Sup masa			
Otoño	35,0	11%			
Invierno	120,0	37%			
Primavera	100,0	31%			
Verano	5,0	2%			

Tabla 59. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101110 por estación

7.7.11 Masa 101111. Laguna del Barco

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna del Barco		Superficie Masa (ha)	11,0	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	11,0	100%	11,0	100%	11,0	100%
Invierno	11,0	100%	11,0	100%	11,0	100%
Primavera	5,5	50%	4,2	38%	8,4	76%
Verano	5,3	48%	6,2	56%	4,0	36%

Tabla 60. Resultados promedio de la Masa lago 101111 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna del Barco es un lago de origen glacial y permanente pero altamente fluctuante intraanualmente, de forma que en otoño e invierno alcanza su máxima superficie inundada con independencia de la pluviometría del año hidrológico. En primavera y verano se reduce su superficie inundada por el estiaje y por el uso para riego de sus aguas.

Debido al recrecimiento existente y uso para regadío de sus aguas, no es posible establecer objetivos de superficie encharcada en función de los registros históricos, sino que es necesario evaluar este objetivo en función de la posible afección al ecosistema. Esta afección se ha estimado a partir de los resultados de los trabajos de "Consultoría y asistencia para la realización de tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Norte, Miño-Limia, Duero y Tajo" (DGA, 2011), donde se estimó una *Afección moderada (Cambios importantes, recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas) y acuáticas)* para superficies encharcadas inferiores al 38% de la potencial en periodos iguales o superiores a 6 meses.

Nombre Lago	Laguna del Barco	Superficie Masa (ha)	11,0	Temporalidad	Permanente
Estación	Objetivo				
	ha	% Sup masa			
Otoño	11,0	100%			
Invierno	11,0	100%			
Primavera	4,2	38%			
Verano	4,2	38%			

Tabla 61. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101111 por estación

7.7.12 Masa 101112. Laguna del Duque

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna del Duque		Superficie Masa (ha)	23,468	Temporalidad	Permanente
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	23,5	100%	23,5	100%	23,5	100%
Invierno	23,5	100%	23,5	100%	23,5	100%
Primavera	13,8	59%	11,2	48%	18,4	78%
Verano	13,3	57%	12,7	54%	13,3	57%

Tabla 62. Resultados promedio de la Masa lago 101112 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna del Duque es un lago de origen glaciar y permanente pero altamente fluctuante intraanualmente, de forma que en otoño e invierno alcanza su máxima superficie inundada con independencia de la pluviometría del año hidrológico. En primavera y verano se reduce su superficie inundada por el estiaje y por el uso para riego de sus aguas.

Esta laguna presenta un recrecimiento mediante presa, construido en los años 20 del siglo 20, para uso hidroeléctrico y además presenta extracciones para riego en verano.

Debido al recrecimiento existente y uso hidroeléctrico y de regadío de sus aguas, no es posible establecer objetivos de superficie encharcada en función de los registros históricos, sino que es necesario evaluar este objetivo en función de la posible afección al ecosistema. Esta afección se ha estimado a partir de los resultados de los trabajos de "Consultoría y asistencia para la realización de tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Norte, Miño-Limia, Duero y Tajo" (DGA, 2011), donde se estimó una *Afección moderada (Cambios importantes, recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas) y acuáticas)* para superficies encharcadas inferiores al 64% de la potencial en periodos iguales o superiores a 6 meses.

Nombre Lago	Laguna del Duque		Superficie Masa (ha)	23,468	Temporalidad	Permanente
Estación	Objetivo					
	ha	% Sup masa				
Otoño	23,5	100%				
Invierno	23,5	100%				
Primavera	15,0	64%				
Verano	15,0	64%				

Tabla 63. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101112 por estación

7.7.13 Masa 101113. Laguna de la Fuente

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna de la Fuente		Superficie Masa (ha)	29,1	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	2,7	9%	6,7	23%	10,4	36%
Invierno	6,9	24%	15,3	53%	25,8	89%
Primavera	7,9	27%	13,5	46%	23,7	82%
Verano	3,4	12%	1,5	5%	9,0	31%

Tabla 64. Resultados promedio de la Masa lago 101113 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna de la Fuente (temporal) presenta una elevada temporalidad intraanual e interanual.

Tras el análisis de las superficies encharcadas en la serie histórica analizada, se ha propuesto los siguientes requerimientos en términos de superficie inundada, redondeando los resultados.

Nombre Lago	Laguna de la Fuente	Superficie Masa (ha)	29,1	Temporalidad	Permanente
Estación	Objetivo				
	ha	% Sup masa			
Otoño	7,0	24%			
Invierno	15,0	52%			
Primavera	14,0	48%			
Verano	3,0	10%			

Tabla 65. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101102 por estación

7.7.14 Masa 101114. Laguna de Villardón

Los resultados de los trabajos técnicos muestran:

Nombre Lago	Laguna de Villardón		Superficie Masa (ha)	14,6	Temporalidad	Temporal
Estación	Superficie encharcada años secos (media AH 85/86, 91/92, 04/05 y 17/18)		Superficie encharcada años medios (media AH 90/91, 07/08 y 15/16)		Superficie encharcada años húmedos (media AH 95/96 y 00/01)	
	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa	ha	% Sup masa
Otoño	0,3	2%	3,8	26%	3,7	25%
Invierno	3,6	25%	10,0	68%	12,0	82%
Primavera	4,1	28%	7,6	52%	10,7	73%
Verano	1,3	9%	3,0	21%	1,1	7%

Tabla 66. Resultados promedio de la Masa lago 101114 por estación y tipo de año hidrológico

La Laguna de Villardón (temporal) presenta una elevada temporalidad intraanual e interanual.

Tras el análisis de las superficies encharcadas en la serie histórica analizada, se ha propuesto los siguientes requerimientos en términos de superficie inundada, redondeando los resultados.

Nombre Lago	Laguna de Villardón	Superficie Masa (ha)	14,6	Temporalidad	Permanente
Estación	Objetivo				
	ha	% Sup masa			
Otoño	4,0	27%			
Invierno	10,0	68%			
Primavera	8,0	55%			
Verano	1,0	7%			

Tabla 67. Objetivos de superficie inundada de la Masa lago 101102 por estación

7.8 Conclusiones

Con respecto al trabajo de teledetección realizado se pone de manifiesto la ventaja de utilizar índices espectrales mediante el uso del tratamiento de imágenes multispectrales como herramienta para el estudio de la evolución de superficies de lámina de agua.

Cómo se ha indicado anteriormente se ha utilizado para el análisis el índice espectral MDWI (Índice de Diferencia de Agua Normalizado Modificado), que tiene como ventaja la separación en valores positivos a los cuerpos de agua.

En la mayoría de los casos el resultado del cálculo del índice ha sido satisfactorio, menos en las estaciones de otoño e invierno en zonas de alta montaña, donde se producen alteraciones en los píxeles provocadas posiblemente por nubes, nieve o sombras.

Con todo lo anterior, se puede concluir que los datos de superficie obtenidos para las masas de agua de carácter temporal, que se localizan en zonas que no son alta montaña, son consistentes y permiten hacer un correcto seguimiento de la evolución de la lámina de agua a lo largo del tiempo.

Sin embargo, en el caso de las masas de agua de carácter permanente, que se localizan en zonas de alta montaña, la incidencia de nubes y nieve hace que los datos obtenidos para las estaciones de otoño e invierno tengan que tomarse con cierta cautela. No obstante, en estos casos se ha considerado que, para estas fechas, las lagunas cuentan con su superficie máxima de lámina de agua, ya que el análisis visual de las imágenes satélites así lo aconsejaba.

Tras las correcciones realizadas en la Laguna de La Nava de las Fuentes, por su desecación hasta comienzos de los años 1990, expuestas en el apartado 7.7.10, la superficie encharcadas en los años secos, medio y húmedos son las expuestas en la siguiente tabla.

Código Masa	Masa de Agua	Temporalidad	Media otoño secos	Media invierno secos	Media primavera secos	Media veranos secos	Media otoño medios	Media invierno medios	Media primavera medios	Media veranos medios	Media otoño húmedos	Media invierno húmedos	Media primavera húmedos	Media veranos húmedos
101101	Lago de Sanabria	Permanente	349,845	356,081	356,081	356,081	355,006	356,081	356,081	356,081	356,081	356,081	356,081	356,081
101102	Salina Grande	Temporal	45,756	120,265	67,779	23,470	113,802	160,457	159,646	51,091	72,892	173,607	173,452	107,026
101103	Laguna de Barillos	Temporal	16,956	19,084	26,724	11,555	19,143	62,569	68,877	32,302	54,764	108,054	109,301	92,745
101104	Laguna de Lacillos	Permanente	14,034	14,034	8,286	2,961	14,034	14,034	4,702	2,614	14,034	14,034	1,532	1,307
101105	Laguna de Sotillo	Permanente	13,598	13,598	5,673	5,228	13,598	13,598	2,013	3,840	13,598	13,598	0,901	5,226
101106	Laguna Grande de Gredos	Permanente	8,516	8,516	6,485	2,470	8,516	8,516	8,516	2,826	8,516	8,516	8,516	1,923
101107	Laguna de las Salinas	Temporal	0,199	1,104	6,419	2,739	4,307	19,560	22,087	0,420	5,337	39,685	29,752	15,670
101108	Laguna de Boada de Campos	Temporal	27,439	28,333	45,618	7,740	31,723	52,294	58,267	2,070	0,270	58,064	54,384	17,010
101109	Laguna de Cárdena	Permanente	23,687	23,687	7,293	2,356	23,687	23,687	0,983	1,082	23,687	23,687	0,541	0,406
101110	Laguna de La Nava de Fuentes	Temporal	57,015	93,375	84,477	12,285	34,875	115,438	127,849	3,555	16,273	155,049	68,044	0,945
101111	Laguna del Barco	Permanente	11,015	11,015	5,527	5,261	11,015	11,015	4,174	6,206	11,015	11,015	8,395	3,992
101112	Laguna del Duque	Permanente	23,468	23,468	13,848	13,287	23,468	23,468	11,154	12,746	23,468	23,468	18,387	13,319
101113	Laguna de la Fuente	Temporal	2,749	6,941	7,938	3,399	6,704	15,321	13,468	1,487	10,368	25,812	23,728	8,968
101114	Laguna de Villardón	Temporal	0,310	3,648	4,097	1,302	3,763	9,997	7,593	3,030	3,666	11,973	10,679	1,072

Tabla 68. Resultados promedio de superficie encharcada (ha) por masa, estación y tipo de año hidrológico

Los requerimientos hídricos se han evaluado a partir de la tabla anterior, redondeándose los resultados históricos y corregidos, para el caso de humedales antropizados con alimentación artificial o que funcionan como embalses para uso hidroeléctrico o regadío entre otros, con la afección a la vegetación del estudio *“Consultoría y asistencia para la realización de tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Norte, Miño-Limia, Duero y Tajo” (DGA, 2011).*

La siguiente tabla muestra la síntesis de los objetivos propuestos de requerimientos en términos de superficie inundada.

Cod.	Nombre Lago	Temporalidad	Estación	Objetivo	
				ha	% Sup masa
101101	Lago de Sanabria	Permanente	Otoño	356,1	100%
			Invierno	356,1	100%
			Primavera	356,1	100%
			Verano	356,1	100%
101102	Salina Grande	Temporal	Otoño	65,0	33%
			Invierno	160,0	80%
			Primavera	160,0	80%
			Verano	50,0	25%
101103	Laguna de Barillos	Temporal	Otoño	20,0	18%
			Invierno	60,0	53%
			Primavera	65,0	58%
			Verano	30,0	27%
101104	Laguna de Lacillos	Permanente	Otoño	14,0	100%
			Invierno	14,0	100%
			Primavera	5,0	36%
			Verano	2,0	14%
101105	Laguna de Sotillo	Permanente	Otoño	13,6	100%
			Invierno	13,6	100%
			Primavera	5,0	37%
			Verano	5,0	37%
101106	Laguna Grande de Gredos	Permanente	Otoño	8,5	100%
			Invierno	8,5	100%
			Primavera	8,5	100%
			Verano	2,0	23%
101107	Laguna de las Salinas	Temporal	Otoño	4,0	6%
			Invierno	20,0	30%
			Primavera	20,0	30%
			Verano	1,5	2%
101108	Laguna de Boada de Campos	Temporal	Otoño	30,0	49%
			Invierno	60,0	97%
			Primavera	60,0	97%
			Verano	2,0	3%
101109	Laguna de Cárdena	Permanente	Otoño	23,7	100%
			Invierno	23,7	100%
			Primavera	3,6	15%
			Verano	3,6	15%
101110	Laguna de La Nava de Fuentes	Temporal	Otoño	35,0	11%
			Invierno	120,0	37%
			Primavera	100,0	31%
			Verano	5,0	2%
101111	Laguna del Barco	Permanente	Otoño	11,0	100%
			Invierno	11,0	100%

Cod.	Nombre Lago	Temporalidad	Estación	Objetivo	
				ha	% Sup masa
			Primavera	4,2	38%
			Verano	4,2	38%
101112	Laguna del Duque	Permanente	Otoño	23,5	100%
			Invierno	23,5	100%
			Primavera	15,0	64%
			Verano	15,0	64%
101113	Laguna de la Fuente	Permanente	Otoño	7,0	24%
			Invierno	15,0	52%
			Primavera	14,0	48%
			Verano	3,0	10%
101114	Laguna de Villardón	Permanente	Otoño	4,0	27%
			Invierno	10,0	68%
			Primavera	8,0	55%
			Verano	1,0	7%

Tabla 69. Objetivos de superficie inundada de las masas lago, por estación

7.9 Bibliografía

Castro R., 2020. Introducción a ENVI Analytics (Geospace Solutions).

Farjas M., Domínguez J. A., Picazo A., & Pérez C., 2015. Utilización de recursos Open Data en procesos de documentación cartográfica de bajo coste sobre territorios no estructurados de interés arqueológico mediante imágenes Landsat 8: Área de Mleiha-Khor Fakkan (E.A.U).

Pérez J., Corcuera P., Calvo S., Romo S. & Soria J. M., 2015. El renacer de la laguna temporal de San Benito: Un análisis multitemporal a partir de imágenes Landsat.

Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery.

Actividad 4 del acuerdo de Encomienda de Gestión entre el antiguo MMA y el IGME, referente a la *“Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico”*.

Fichas del catálogo de Zonas Húmedas de Castilla y León.

Estudio *“Consultoría y asistencia para la realización de tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Norte, Miño-Limia, Duero y Tajo”* (DGA, 2011).

Estudio *“Caracterización de las masas de agua no permanentes de la Confederación Hidrográfica del Duero”* (CHD, 2021)