



Trabajo final de grado

Estudio de alteración hidrológica en cuencas con elevado estrés hídrico: el caso de la cuenca del río Júcar

Valencia, septiembre de 2017

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2016/17

AUTOR: Antonio Ortín León

TUTOR: Teodoro Estrela Monreal

COTUTOR: Miguel Ángel Pérez Martín

COTUTOR EMPRESA: Sara Jiménez Argudo

Índice

MEMORIA

1. Introducción.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Alcance.....	3
2. Descripción general de la cuenca del río Júcar.....	4
2.1 Ámbito territorial.....	4
2.2 Marco físico.....	5
2.3 Infraestructuras hidráulicas.....	7
2.3.1 Embalses.....	7
2.3.2 Canales y conducciones.....	9
2.3.3 Azudes.....	10
2.3.4 Aprovechamientos hidroeléctricos.....	11
3. Usos y presiones.....	16
3.1 Factor de escala.....	16
3.1.1 Estudio a escala mensual-anual.....	16
3.1.2 Estudio a escala horaria.....	16
3.2 Herramientas.....	16
3.3 Caracterización de los usos y presiones.....	17
3.3.1 Embalses.....	18
3.3.2 Extracciones del acuífero.....	26
3.3.3 Derivación de caudales.....	30
3.3.4 Aprovechamientos hidroeléctricos.....	34
4. Metodología.....	39
4.1 Metodologías existentes para la evaluación de la alteración hidrológica.....	39
4.1.1 Indicators of Hydrologic Alteration (IHA).....	39
4.1.2 Indicadores de Alteración Hidrológica en Ríos (IAHRIS).....	41
4.2 Herramientas.....	43
4.3 Diseño de la metodología.....	44
4.3.1 Elección de la metodología en base a las ya existentes.....	44
4.3.2 Justificación de la validez de usar series mensuales.....	44
4.3.3 Descripción de los parámetros e indicadores.....	45
4.3.4 Delimitación de los periodos de estudio.....	48
4.4 Problemas al aplicar la metodología prevista. Corrección de la misma.....	50
4.4.1 Evaluación de la alteración hidrológica usando un modelo como caracterización del régimen natural.....	50
4.4.2 Evaluación de la alteración hidrológica usando registros aforados como caracterización del régimen natural.....	52

4.4.3 Metodología combinada real respecto a real y modelo respecto a modelo.....	54
4.5 Metodología para la evaluación de la alteración hidrológica a escala intradiaria.....	61
5. Evaluación de la alteración hidrológica.....	63
5.1 Evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual.....	63
5.1.1 Puntos de estudio.....	63
5.1.2 Ficha de parámetros para la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual.....	67
5.2 Evaluación de la alteración hidrológica a escala horaria.....	68
5.2.1 Puntos de estudio.....	68
5.2.2 Ficha de parámetros para la evaluación de la alteración hidrológica a escala horaria.....	70
6. Resultados.....	71
6.1 Resultados de la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual.....	71
6.2 Resultados de la evaluación de la alteración hidrológica a escala horaria.....	93
7. Programa de medidas.....	94
7.1 Medidas de explotación.....	94
7.2 Medidas de mejora de la red.....	96
8. Conclusiones y líneas futuras de investigación.....	97
9. Referencias.....	99
ANEJO I. Fichas de parámetros para la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual	
ANEJO II. Resultados de la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual mediante la aplicación de la metodología real/real-modelo/modelo	

Índice de Figuras

Figura 1. Clasificación del estado ecológico de las masas de agua superficial (Fuente: apuntes asignatura Gestión de cuencas, recursos hídricos e ingeniería de ríos).....	2
Figura 2. Distribución geográfica de la cuenca del río Júcar referida a las provincias.....	4
Figura 3. Distribución geográfica de la cuenca del río Júcar referida la DHJ.....	5
Figura 4. Masas de agua superficial existentes en la cuenca del río Júcar.....	6
Figura 5. Principales embalses de la cuenca del río Júcar.....	7
Figura 6. Complejo hidroeléctrico en Cortes de Pallás.....	8
Figura 7. Principales canales y conducciones de la cuenca del río Júcar.....	9
Figura 8. Azudes de derivación para regadío en el bajo Júcar.....	11
Figura 9. Aprovechamientos hidroeléctricos en la cuenca del río Júcar.....	13
Figura 10. Aprovechamiento El Molinar-Cofrentes.....	21
Figura 11. Cultivos de la Mancha Oriental en las márgenes del Júcar.....	26
Figura 12. Bajo Júcar dividido en subtramos, con afluentes, azudes y canalizaciones.....	30
Figura 13. Esquema de los aprovechamientos y aforos del río Júcar aguas abajo del embalse de Tous (Fuente: CHJ).....	31
Figura 14. Ataguía en el embalse de Alarcón (1943-1947) (Fuente: CHJ).....	59
Figura 15. Localización geográfica de los puntos de estudio (en verde) y de las EA auxiliares que se utilizan para completar o corregir las series (en naranja).....	65
Figura 16. Localización geográfica de los puntos de estudio (en verde) y de los aprovechamientos hidroeléctricos que analizan (en rojo).....	69

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de la Toba (GESHIDRO 8023).....	18
Gráfico 2. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en la estación de aforo de Castellar (ROEA 8091 y PATRICAL).....	19
Gráfico 3. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en la estación de aforo aguas abajo del embalse de Alarcón (ROEA 8091 y PATRICAL).....	19
Gráfico 4. Comparativa de las series de aportaciones mensuales a la salida del embalse de Alarcón (ROEA 8091+ROEA 8129 y PATRICAL).....	20
Gráfico 5. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse del Molinar (GESHIDRO 8026).....	21
Gráfico 6. Comparativa de las series de aportaciones mensuales a la entrada de Contreras (GESHIDRO 8009 Reconstruida y PATRICAL).....	22
Gráfico 7. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Contreras (GESHIDRO 8009).....	22
Gráfico 8. Comparativa de las series de aportaciones mensuales a la salida del embalse de Contreras y en la EA de Cofrentes (GESHIDRO 8009 y ROEA 8112).....	23
Gráfico 9. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Cortes II (GESHIDRO 8027).....	23
Gráfico 10. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse del Naranjero (GESHIDRO 8029).....	23
Gráfico 11. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en los embalse de Contreras y El Naranjero (GESHIDRO 8027 y GESHIDRO 8029).....	24
Gráfico 12. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Tous (GESHIDRO 8030).....	24
Gráfico 13. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Tous, con volumen embalsado (GESHIDRO 8030).....	25
Gráfico 14. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Bellús (GESHIDRO 8032).....	25
Gráfico 15. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Forata (GESHIDRO 8013).....	26
Gráfico 16. Evolución de la superficie de cultivo y las extracciones del acuífero de la Mancha Oriental.....	27
Gráfico 17. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en las EA El Picazo y Los Frailes (ROEA 8129 y ROEA 8036).....	28
Gráfico 18. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en las EA de Requena y Macastre (ROEA 8060 y ROEA 8093).....	29

Gráfico 19. Comparativa de las series de aportaciones mensuales de PATRICAL en las EA de Requena y Macastre (ROEA 8060 y ROEA 8093).....	29
Gráfico 20. Comparativa de las series de caudales diarios en las EA de Tous Salida Embalse y Azud de Antella (ROEA 8042 y SAIH 7E06DQG1).....	32
Gráfico 21. Comparativa de las series de caudales diarios en las EA de Azud de Antella y Huerto Mulet (SAIH 7E06DQG1 y ROEA 8089).....	32
Gráfico 22. Comparativa de las series de caudales diarios en las EA de Huerto Mulet y Azud de Sueca (ROEA 8089 y SAIH 7E07DQG1).....	33
Gráfico 23. Comparativa de las series de caudales diarios en las EA de Azud de Sueca y Azud de Cullera (SAIH 7E07DQG1 y SAIH 7E08DQG1).....	33
Gráfico 24. Comparativa de las series de caudales diarios en las EA Azud de Cullera y el Azud de la Marquesa (SAIH 7E08DQG1 y SAIH ORO4DQG1+SAIH ORO4DQG2).....	33
Gráfico 25. Tasas de cambio en la EA Venta de Juan Romero (ROEA 8126) en el periodo 01/01/2015-31/03/2017.....	34
Gráfico 26. Tasas de cambio en la EA Cuenca (ROEA 8032) en el periodo 01/01/2015-31/03/2017.....	35
Gráfico 27. Tasas de cambio en la EA El Castellar (ROEA 8091) en el periodo 01/01/2015-31/03/2017.....	35
Gráfico 28. Tasas de cambio en la EA El Picazo (ROEA 8129) en el periodo 01/01/2015-15/07/2016.....	36
Gráfico 29. Tasas de cambio en la EA Los Frailes (ROEA 8036) en el periodo 01/01/2015-31/03/2017.....	37
Gráfico 30. Tasas de cambio en la EA Alcalá del Júcar (ROEA 8144) en el periodo 01/01/2015-31/01/2017.....	37
Gráfico 31. Tasas de cambio en la EA Villora (ROEA 8139) en el periodo 01/10/2015-30/09/2016.....	38
Gráfico 32. Curvas de caudales clasificados diaria y mensual en la EA Cuenca (8032).....	45
Gráfico 33. Curvas de caudales clasificados diaria y mensual en la EA Pajaroncillo (8090).....	45
Gráfico 34. Comparativa de las series de aportaciones mensuales EA Cuenca (ROEA 8032 y PATRICAL).....	51
Gráfico 35. Serie de aportaciones mensuales EA Cuenca (ROEA 8032) con periodos de estudio.....	54
Gráfico 36. Distribución media intraanual de aportaciones mensuales EA Cuenca (ROEA 8032) en el Periodo 3 para los años secos.....	57
Gráfico 37. Comparativa de las series de aportaciones mensuales aguas abajo del embalse de Alarcón (ROEA 8091+ROEA 8129) con periodos de estudio.....	59

Gráfico 38. Reservas del embalse de Alarcón desde el comienzo de su construcción.....	60
Gráfico 39. Series de entradas y salidas a Alarcón (Anuario de aforos) en el periodo 1945/46-1954/55, a partir de las cuales se realiza la restitución a régimen natural.....	66
Gráfico 40. Comparativa de las series EA Cofrentes (ROEA 8112), EA Enguídanos (8021) y PATRICAL para el periodo 1946/47-1954/55.....	66
Gráfico 41. Distribución mensual de las series de entradas y salidas a los embalses de Alarcón y Contreras para el Periodo 3.....	97

Índice de Tablas

Tabla 1. Superficie de la cuenca del río Júcar que pertenece a cada provincia.....	4
Tabla 2. Embalses de la cuenca del río Júcar.....	8
Tabla 3. Centrales hidroeléctricas existentes en la cuenca del río Júcar.....	12
Tabla 4. Resumen de parámetros IHA y sus influencias en el ecosistema.....	41
Tabla 5. Resumen de parámetros IAHRIS.....	42
Tabla 6. Resumen de los indicadores utilizados en este estudio.....	46
Tabla 7. Estados de alteración según el valor del indicador.....	46
Tabla 8. Línea del tiempo con las presiones que alteran el régimen hidrológico a escala mensual en las masas de estudio.....	49
Tabla 9. Resultados en la EA Cuenca (ROEA 8032) tras aplicar la metodología inicial utilizando PATRICAL como caracterizador del régimen natural.....	50
Tabla 10. Resultados en la EA Venta de Juan Romero (ROEA 8126) tras aplicar la metodología inicial utilizando PATRICAL como caracterizador del régimen natural.....	51
Tabla 11. Resultados en la EA Cuenca (ROEA 8032) utilizando indicadores IAHRIS y registros aforados diarios como caracterización de los regímenes natural y alterado.....	53
Tabla 12. Estados de alteración según el valor del indicador (calculado por diferencia).....	56
Tabla 13. Resultados en la EA Cuenca (ROEA 8032) utilizando la metodología real/real-modelo/modelo.....	57
Tabla 14. Resultados aguas abajo del embalse de Alarcón (ROEA 8091+ROEA 8129) utilizando la metodología real/real-modelo/modelo.....	58
Tabla 15. Puntos de estudio de la alteración hidrológica a escala mensual.....	64
Tabla 16. Ficha de parámetros para la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual en el punto de estudio Júcar en EA Cuenca.....	68
Tabla 17. Puntos en los que se estudia la alteración hidrológica a escala horaria.....	69
Tabla 18. Ficha de parámetros para la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual.....	70
Tabla 19. Ficha de resultados Río Júcar en EA Cuenca.....	72
Tabla 20. Ficha de resultados Río Júcar aguas abajo embalse Alarcón.....	75
Tabla 21. Ficha de resultados Río Júcar en EA Los Frailes.....	78
Tabla 22. Ficha de resultados Río Cabriel en EA Pajaroncillo.....	81
Tabla 23. Ficha de resultados Río Cabriel aguas abajo embalse Contreras.....	83
Tabla 24. Ficha de resultados Río Cabriel en EA Cofrentes.....	86
Tabla 25. Ficha de resultados Río Júcar aguas abajo embalse Tous.....	88

Tabla 26. Ficha de resultados Río Magro en EA Requena.....	92
Tabla 27. Ficha de resultados Río Magro en EA Macastre.....	92
Tabla 28. Ficha de resultados de la evaluación de la alteración hidrológica a escala horaria.....	93

1. Introducción

1.1 Motivación

La Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, más conocida como Directiva Marco del Agua (DMA), establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Uno de sus objetivos principales es el de alcanzar el buen estado de las masas de agua superficiales y subterráneas, protegiéndolas y evitando su deterioro (Art. 4, DMA).

La DMA fue traspuesta al ordenamiento jurídico español mediante una modificación de la Ley de Aguas en diciembre de 2003 y mediante la aprobación del Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH) en 2007. Los dos principales objetivos que se marcan en el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA) respecto a la planificación hidrológica son el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas objeto de esta Ley, y la satisfacción de las demandas de agua (Art. 40, TRLA).

Posteriormente, en 2008, con la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) se establecen los criterios técnicos para la homogenización y sistematización de los trabajos de elaboración de los planes hidrológicos de cuenca, conforme a lo establecido en el artículo 82 del Reglamento de Planificación Hidrológica. En el apartado 5.1.3 de la IPH se establece que el estado de las masas de agua superficial quedará determinado a partir del peor valor de su estado ecológico y su estado químico.

La evaluación del estado ecológico de las aguas superficiales se determina por la combinación de los indicadores biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos (Anexo V, DMA). Según el apartado 5.1.2.1 de la IPH las masas de agua naturales se clasifican en cinco clases de estado ecológico: muy bueno, bueno, moderado, deficiente o malo.

De la misma forma, el apartado 5.1.2.1 de la IPH establece que si se alcanzan los valores de referencia de calidad biológica se garantiza un estado moderado (en caso contrario el estado será deficiente o malo en función de la desviación de los valores respecto a los de referencia). Si las condiciones biológicas determinan el estado moderado, son las físico-químicas las que otorgan el buen estado, en caso de que estas últimas alcancen el muy buen estado. Por último, son las hidromorfológicas las que determinan que una masa de agua se considere en muy buen estado ecológico (Figura 1).



Figura 1. Clasificación del estado ecológico de las masas de agua superficial (Fuente: apuntes asignatura Gestión de cuencas, recursos hídricos e ingeniería de ríos)

Estas últimas condiciones, las hidromorfológicas, para las masas de agua superficiales, se dividen en tres categorías o elementos de calidad, según el apartado 5.1.2.1.1.2 de la IPH: régimen hidrológico, continuidad del río y condiciones morfológicas.

Por otra parte, se puede afirmar que el régimen de caudales es un elemento vertebrador en los ecosistemas fluviales, estructurando tanto el medio acuático como el ripario, modelando sus condiciones ambientales y posibilitando la variedad de hábitats y el dinamismo en sus interacciones. Esta hipótesis es conocida como el Paradigma del régimen de caudales, sobre el que existe numerosa bibliografía. Una forma de sintetizar las ideas principales de este paradigma es la siguiente:

“El rango completo de variación intra e interanual del régimen hidrológico con sus características asociadas de estacionalidad, duración, frecuencia y tasa de cambio, son críticas para sustentar la biodiversidad natural y la integridad de los ecosistemas acuáticos.” (Proff et al., 1997)

Dicho paradigma establece el régimen natural de caudales (RNC) como el estado de referencia desde el punto de vista hidrológico para un determinado ecosistema fluvial.

Por todo lo anteriormente citado, y ante la falta de trabajos que versen sobre esta materia, se plantea la elaboración de este estudio de alteración hidrológica, en colaboración con la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), en la cuenca de un río que en el que se han desarrollado distintos usos y presiones a lo largo de las últimas décadas, que han supuesto una notable modificación de su régimen hidrológico.

1.2 Objetivo

El objetivo principal de este estudio es caracterizar todos los usos y presiones existentes en la cuenca del río Júcar que provocan una alteración en el régimen hidrológico, evaluando la magnitud de dicha alteración, y proponiendo una serie de medidas orientadas a corregirla.

De forma secundaria, para llevar a cabo dicha tarea, se analizan las metodologías existentes en lo relativo a la evaluación de la alteración hidrológica, estudiando su validez y viabilidad de aplicación para el caso concreto de estudio, determinando si existe alguna que satisfaga dichas condiciones, y en caso contrario, elaborando una metodología que permita evaluar este aspecto.

1.3 Alcance

El alcance espacial de este trabajo se circunscribe a la cuenca del río Júcar, aunque solo se evaluará la alteración hidrológica en aquellas masas de agua (superficiales de tipo río) que estén sometidas a usos o presiones que actúen sobre su régimen hidrológico.

El alcance temporal se extenderá desde el comienzo de dichos usos o alteraciones, hasta la actualidad.

2. Descripción general de la cuenca del río Júcar

En los siguientes apartados se realiza una descripción del ámbito territorial en el que se enmarca la cuenca del río Júcar, una caracterización del marco físico y de las masas de agua existentes y una descripción de sus principales infraestructuras hidráulicas.

2.1 Ámbito territorial

El ámbito de la cuenca del río Júcar (al que en numerosas ocasiones se le denominará sistema de explotación, referido a la explotación de sus recursos hídricos), se extiende dentro de tres Comunidades Autónomas (Aragón, Castilla-La Mancha y Comunidad Valenciana) y de cinco provincias (Albacete, Alicante, Cuenca, Teruel y Valencia).

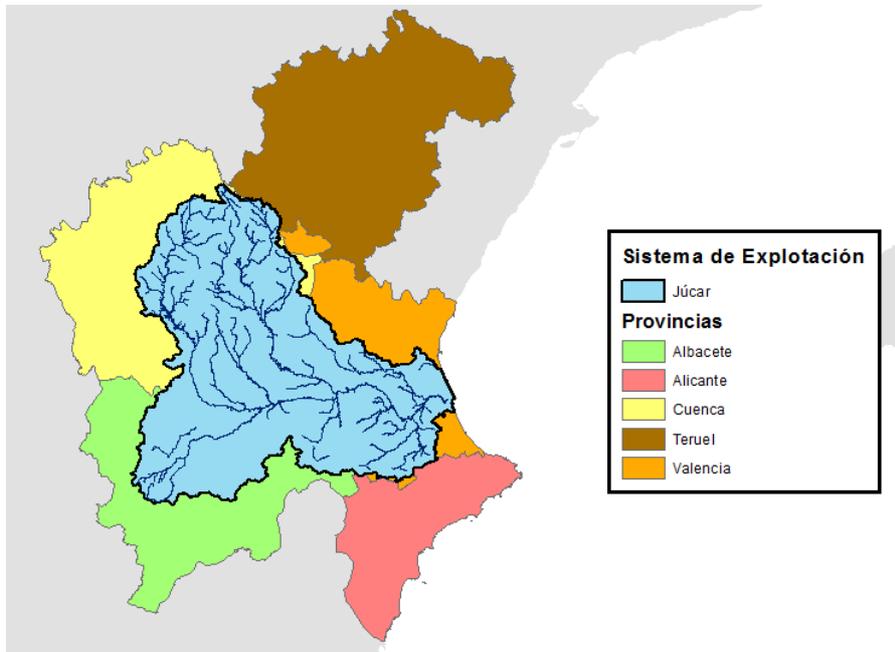


Figura 2. Distribución geográfica de la cuenca del río Júcar referida a las provincias

Como se puede apreciar en la Figura 2, su superficie se reparte principalmente entre las provincias de Albacete, Cuenca y Valencia, siendo muy testimonial en Alicante y Teruel, como se muestra en la Tabla 1.

Provincia	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Albacete	7190,47	32,56
Alicante	27,98	0,13
Cuenca	8420,41	38,13
Teruel	164,8	0,75
Valencia	6282,42	28,45

Tabla 1. Superficie de la cuenca del río Júcar que pertenece a cada provincia

En cuanto a la gestión de sus recursos, se engloba dentro de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ), gestionada por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ). Representa el 52% de su superficie (22186 km² de sus 42735 km²).

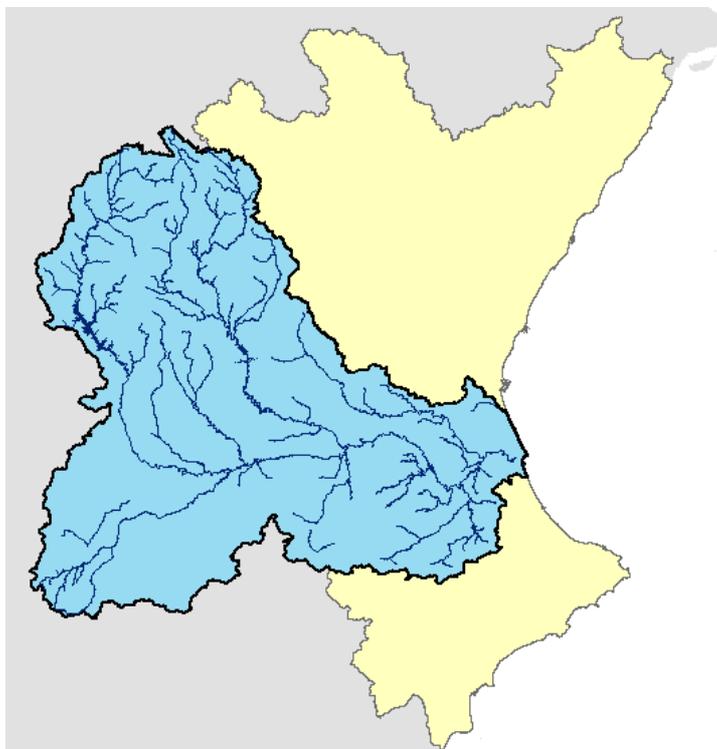


Figura 3. Distribución geográfica de la cuenca del río Júcar referida a la DHJ

2.2 Medio Físico

El marco físico de la cuenca del río Júcar queda definido por los aspectos geológicos, geomorfológicos, litológicos, climáticos e hidrológicos.

En lo relativo a los geomorfológicos, las principales características se pueden agrupar en dos grandes zonas, una interior montañosa con altitudes en muchas ocasiones superiores a los 1.500 metros pero que casi por debajo de los 1.000 metros, y otra costera, constituida por llanuras litorales comúnmente conocidas como planas. La primera se correspondería con la mayor parte de la cuenca (tramo alto y medio del Júcar y los afluentes que recibe), mientras que la segunda se correspondería con la parte baja del Júcar, desde Tous hasta su desembocadura en el mar Mediterráneo, la plana de Valencia Sur.

El sistema Ibérico actúa como una barrera para los frentes marinos, originando las precipitaciones que abastecen a la cuenca. En este sistema montañoso nacen los dos principales ríos, el Júcar y el Cabriel. La llanura costera es una plataforma aluvial que proporciona un suelo rico en nutrientes, el cual sostiene la mayor parte de la producción agrícola de regadío de la cuenca, y concentra la mayor densidad de población (en el interior de la cuenca los únicos núcleos destacables

son las capitales de provincia, Albacete y Cuenca). La llamada zona de la Mancha se caracteriza por presentar una superficie relativamente llana con una altura media de 650 metros. Esta llanura se asienta sobre el acuífero de la Mancha Oriental (MO), conectado al río Júcar cuando atraviesa la llanura, mostrando claras interacciones de drenaje y recarga.

El clima en este territorio es mediterráneo, con veranos cálidos y secos e inviernos suaves, siendo una excepción el fenómeno meteorológico conocido como “gota fría”, que tiene mayor probabilidad de ocurrencia en los meses de octubre y noviembre y que provoca precipitaciones repentinas y bruscas.

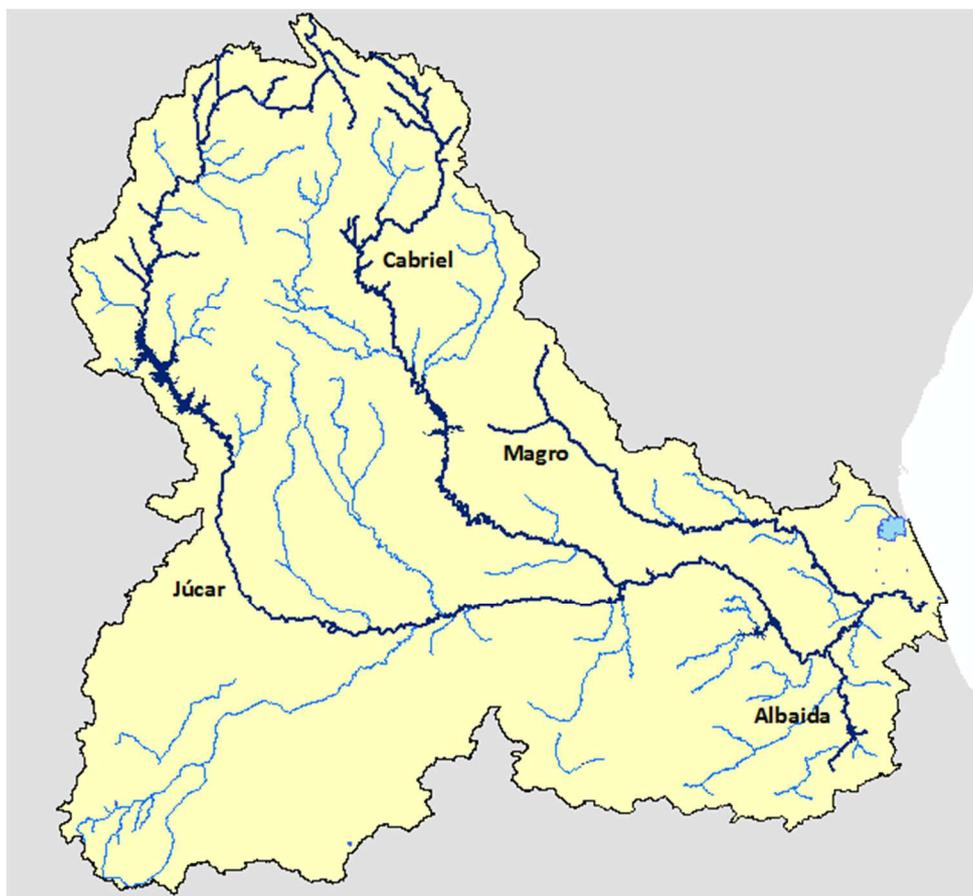


Figura 4. Masas de agua superficial existentes en la cuenca del río Júcar

La red de drenaje de la cuenca está articulada por el río Júcar y sus afluentes, siendo los principales el Cabriel, el Albaida y el Magro, y existiendo otros ríos y ramblas con una menor aportación.

En la costa destaca el lago de la Albufera, que tiene sus límites dentro del parque natural (declarado por la legislación ambiental de la Generalitat Valenciana por el Decreto 89/1986). Esta reserva natural consiste principalmente en un humedal de 21.210 ha que incluyen no solo el lago, sino también las zonas circundantes compuestas por grandes extensiones de arrozales, y una hilera de dunas que la protege de la costa. La característica más relevante de La Albufera es ser una

laguna de baja profundidad (valor medio del calado de 0.88 metros), que cubre 2.443 ha.

2.3 Infraestructuras hidráulicas

Para satisfacer todos los usos y demandas existentes en la cuenca del río Júcar, se han construido numerosas infraestructuras, principalmente para garantizar el suministro de caudales para el regadío, aunque también para garantizar el abastecimiento urbano y la producción de energía eléctrica.

2.3.1 Embalses

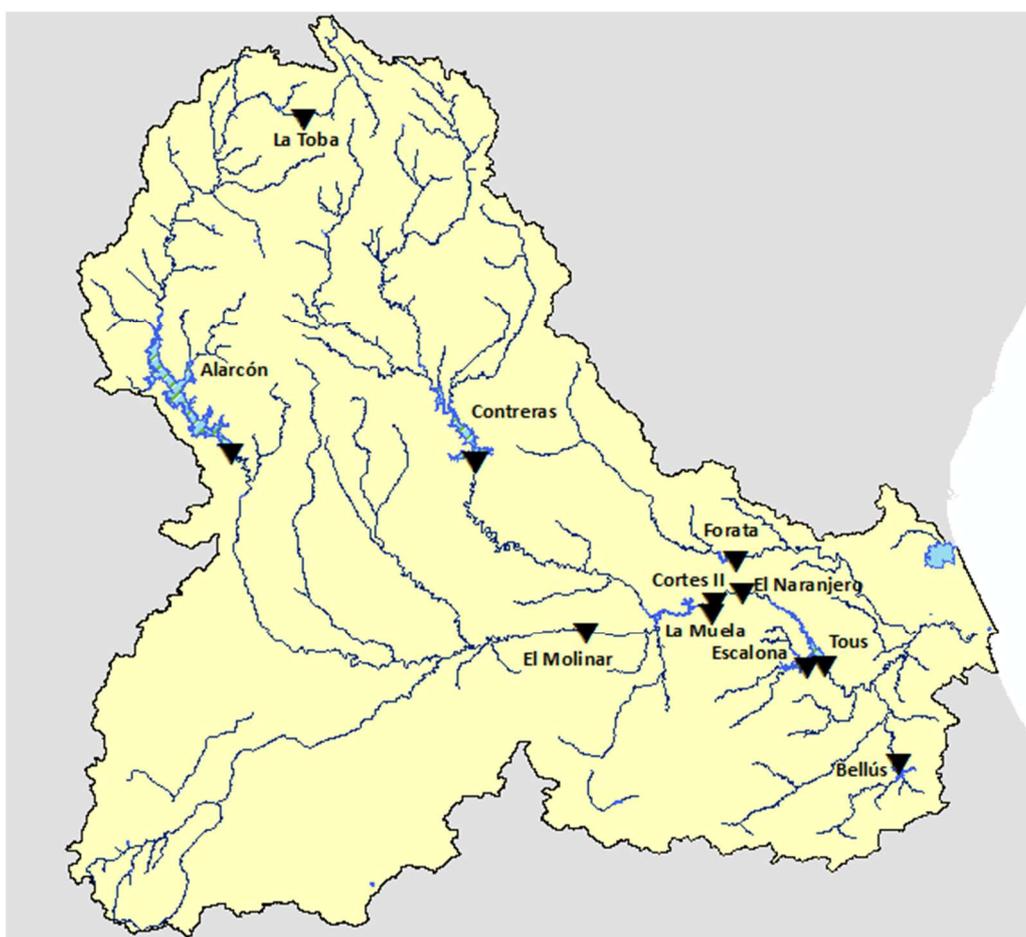


Figura 5. Principales embalses de la cuenca del río Júcar

En la primera mitad del siglo XX se construyeron los primeros embalses, de muy poca capacidad, pues su objetivo era el aprovechamiento hidroeléctrico. Primero se construyó el embalse del Molinar, en 1909 (que quedó fuera de servicio en 1951 tras la construcción del actual), y posteriormente el de La Toba, en 1925.

Ya en la segunda mitad del siglo XX se construyeron los grandes embalses de regulación, destinados principalmente a garantizar las demandas de caudales

para regadío. En la cabecera del Júcar el embalse de Alarcón, inaugurado en 1952, en la cabecera del Cabriel el de Contreras, terminado en 1974, y en la parte baja del Júcar el de Tous, terminado en 1978, destruido por una crecida en 1982 y reconstruido en 1996.

Nombre	Año Construcción	Capacidad (hm ³)	Usos
La Toba	1925	10	H
Alarcón	1955	1118	R, H
El Molinar	1951 (1909)	4,3	H
Contreras	1974	852	R, H
La Muela	1988	20	H
Cortes II	1988	118	H
El Naranjero	1989	29	H
Tous	1996	378	R, D
Bellús	1994	69	R
Forata	1969	38,5	R, D

Tabla 2. Embalses de la cuenca del río Júcar

(H-Hidroeléctrico, R-Regulación para abastecimiento o regadío, D-Defensa contra avenidas)

En el tramo medio del Júcar, en el enclave de Cortes de Pallás, existe un complejo de grandes embalses de uso hidroeléctrico, que ha ido evolucionando a lo largo de los años. En 1930 se construyó el embalse de Millares, para garantizar el nivel de las aguas necesario para la toma del aprovechamiento hidroeléctrico del Salto de Millares. En 1952 se puso en servicio el embalse de Embarcaderos, aguas abajo de la confluencia del Júcar y el Cabriel, del que tomaba el agua el salto de Cortes I. Posteriormente, con la puesta en marcha de la central nuclear de Cofrentes, en 1984, se situó en este embalse la toma de agua para refrigeración.



Figura 6. Complejo hidroeléctrico en Cortes de Pallás

Más adelante se proyectó una remodelación del complejo de Cortes de Pallás, y entre 1988 y 1989 se pusieron en servicio el embalse de Cortes II (quedando el antiguo embalse de Embarcaderos bajo el nivel de sus aguas), el embalse del Naranjero, contraembalse del anterior (dejando fuera de servicio al de Millares),

y el embalse de la Muela, una balsa a 500 metros sobre el nivel del embalse de Cortes II que funciona como central reversible.

Otros embalses de la cuenca son, el de Forata en el Magro, el de Bellús en el Albaida, y el de Escalona en el Escalona, este último con escasa capacidad de regulación. Existen unos pequeños embalses en la cabecera del Cabriel, de uso hidroeléctrico, de los que se tratará en el apartado relativo a los aprovechamientos hidroeléctricos.

2.3.2 Canales y conducciones

En el sistema Júcar existen numerosas conducciones que tienen por objetivo el transporte de caudales para atender las demandas urbanas y agrícolas, en la propia cuenca y fuera de esta.

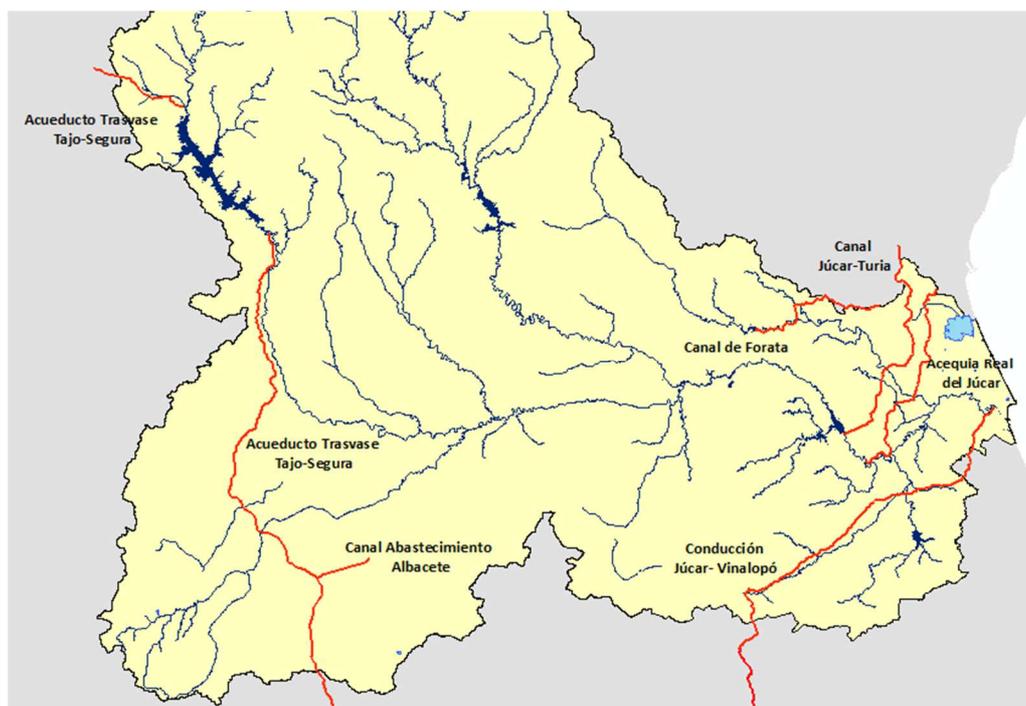


Figura 7. Principales canales y conducciones de la cuenca del río Júcar

La más antigua es la Acequia Real del Júcar (ARJ), que data de principios del siglo XIV, a partir de la cual se crearon los conocidos como regadíos tradicionales, en la comarca de la Ribera en el tramo bajo del Júcar. Es en el tramo final del río donde se concentran la mayor parte de derivaciones para regadío, formando una compleja red de tomas en los azudes, acequias para regadío y azarbes que devuelven los retornos de riego al río y al lago de la Albufera.

Otra conducción cercana es el canal Júcar-Turía, puesto en servicio en 1979. Toma las aguas directamente del embalse de Tous, atravesando la huerta valenciana

hasta la planta potabilizadora de Manises. Sus caudales se destinan al regadío de superficies agrícolas y al abastecimiento de Valencia y Sagunto.

En ese mismo año, se puso en servicio otra canalización que atraviesa gran parte de la cuenca, a pesar de que no toma ni aporta caudales a la misma. Se trata del Acueducto Tajo Segura (ATS), que transporta caudales de la cabecera del Tajo (embalses de Entrepeñas y Buendía) al levante peninsular, tanto para abastecimiento urbano como para regadío. La conducción comienza en el embalse de la Bujeda (al que se elevan los caudales desde el embalse del Bolarque), llegando hasta la cola del embalse de Alarcón. Desde el contraembalse de Alarcón (Henchideros), aprovecha el canal de derivación de la central del Picazo, y es en su depósito de carga donde se reanuda la canalización, que abandona la cuenca del río Júcar hasta el embalse del Talave.

Posteriormente este canal también se ha aprovechado para derivar caudales de Alarcón para el abastecimiento de la ciudad de Albacete y el regadío de los llanos de Albacete, con la construcción del Canal de Albacete en 2002.

La canalización más reciente es el canal Júcar-Vinalopó, puesta en servicio en 2014, que tomando las aguas al final del Júcar, en el Azud de la Marquesa, tiene por objetivo transportar caudales para regadío a la comarca del Vinalopó.

Otra conducción destacable es el canal del Magro o de Forata, que toma aguas de este embalse para regadío.

2.3.3 Azudes

Tanto en el río Júcar como en sus afluentes existen multitud de azudes, tanto para derivación de caudales como para tomas de centrales hidroeléctricas fluyentes. Por norma general suelen ser muy antiguos, con concesiones que en algunos casos han expirado, quedando estos en desuso. Pero como este trabajo no estudia la conectividad longitudinal, sino el impacto de las infraestructuras sobre el régimen hidrológico, sólo se tratan en este apartado aquellos en los que se localiza una considerable derivación para regadío. Los que forman parte de un aprovechamiento hidroeléctrico serán descritos en el siguiente apartado.

Como se comentó en el apartado anterior, relativo a canales y conducciones, la mayoría de derivaciones para regadío están presentes en el bajo Júcar, desde el embalse de Tous hasta el azud de la Marquesa, a partir de la cual comienzan las aguas de transición.

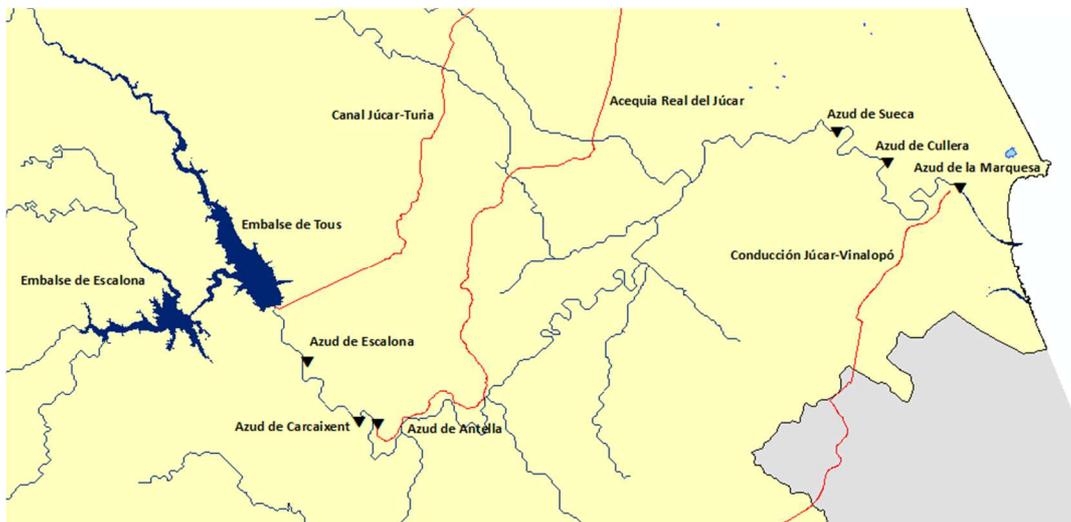


Figura 8. Azudes de derivación para regadío en el bajo Júcar

Los azudes presentes en este tramo, como se observa en la Figura 8, son los de Escalona, Carcaixent, Antella, Sueca, Cullera y la Marquesa.

2.3.4 Aprovechamientos hidroeléctricos

Los aprovechamientos hidroeléctricos en la cuenca del río Júcar se concentran en el Júcar y en el Cabriel. Existen cuatro tipos de aprovechamientos hidroeléctricos:

- Las centrales situadas a pie de presa, en los grandes embalses.
- Las centrales fluyentes, que cuentan con un azud que proporciona una pequeña regulación (a escala diaria). Desde dicho azud se produce una derivación mediante una canalización para turbinar el caudal, que después es devuelto al cauce.
- Las centrales de derivación o salto, que de la misma forma que las fluyentes, constan de un azud o presa desde el que se derivan caudales. La diferencia con las anteriores es que las canalizaciones presentan una mayor longitud, de forma que poco a poco se va ganando cota respecto a cauce, hasta llegar a un punto donde se localiza un salto y la central. Por ello presentan una mayor potencia instalada y una mayor producción eléctrica.
- Las centrales reversibles, constan siempre de dos embalses o un embalse y un depósito. Su objetivo es el de elevar caudales en los momentos en los que existe un excedente de energía eléctrica, y turbinarla en los momentos de mayor demanda.

La mayor parte de las centrales se remontan a principios del siglo XX, cuando comenzó la demanda de electricidad, sobre todo las de derivación. Primero tenían por objetivo abastecer energéticamente a Madrid, pero posteriormente también suministraron electricidad a todo el levante peninsular.

En la siguiente tabla se resumen los aprovechamientos existentes en ambos cauces, reflejando la tipología, la potencia instalada, el salto bruto y el caudal turbinado.

Nombre	Tipología	Potencia (MW)	Salto bruto (m)	Qturbinado (m ³ /s)
La Toba	Pie de presa	0,775	16,8	5,7
Villalba	Derivación	11,05	152,2	10
Las Granjas	Fluyente	0,424	9	9,8
El Batán	Fluyente	0,316	3,8	5,5
Molino de Santiago	Fluyente	0,2	3,5	10
El Castellar	Fluyente	0,5	8,2	10,16
Alarcón	Pie de presa	16,43	56	35
El Picazo	Derivación	18	54,48	46
Los Batanejos	Fluyente	0,69	8,5	18
La Gosálvez	Fluyente	0,72	6	14
La Manchega	Fluyente	0,58	4,9	14
Moranchel-Cantalobos	Fluyente	2,92	14,4	25,2
Los Donarjos	Fluyente	1,76	10,5	20
La Recueja	Fluyente	3,44	12,54	50
Alcalá del Júcar	Fluyente	1,06	5,5	22
El Bosque	Fluyente	8	23,69	40
Tranco del Lobo	Fluyente	3,84	19,67	42
El Batanejo	Derivación	2,04	75	3
Lucas de Urquijo	Derivación	39,6	112	44,55
Contreras II	Pie de presa	52,5	102	80
Contreras I (Mirasol)	Fluyente	1,2	9	15
Cofrentes	Derivación	124,2	156,73	108,3
La Muela de Cortes	Reversible	628,35	524	145
Cortes II	Pie de presa	280	96	336
Millares II	Derivación	67,07	137,3	55
Antella-Escalona	Fluyente	3,6	6,6	40

Tabla 3. Centrales hidroeléctricas existentes en la cuenca del río Júcar

Comenzando en la cabecera del Júcar, el primer aprovechamiento que se encuentra es el del Salto de Villalba, una central de derivación. Dicho aprovechamiento se alimenta del embalse de la Toba, del que parte un canal hasta la laguna de Uña (que también recibe las aportaciones de un arroyo), la cual fue remodelada con la construcción de un dique. Desde la laguna los caudales se recirculan hasta un depósito regulador y una cámara de carga, desde la que parten las tuberías que llegan hasta la central. Este complejo se diseñó de tal forma que se contaba con tres regulaciones complementarias: a nivel anual, el embalse de la Toba, a nivel diario y semanal la laguna de Uña y a nivel instantáneo el depósito regulador. Además existe una central a pie de presa en el embalse de la Toba. La potencia en la central de derivación (11.05 MW) es mayor a la de la central a pie de presa (0.75 MW), ya que el caudal turbinado es el doble, pero sobre todo porque el salto bruto es diez veces mayor. Este complejo fue puesto en servicio en 1925.

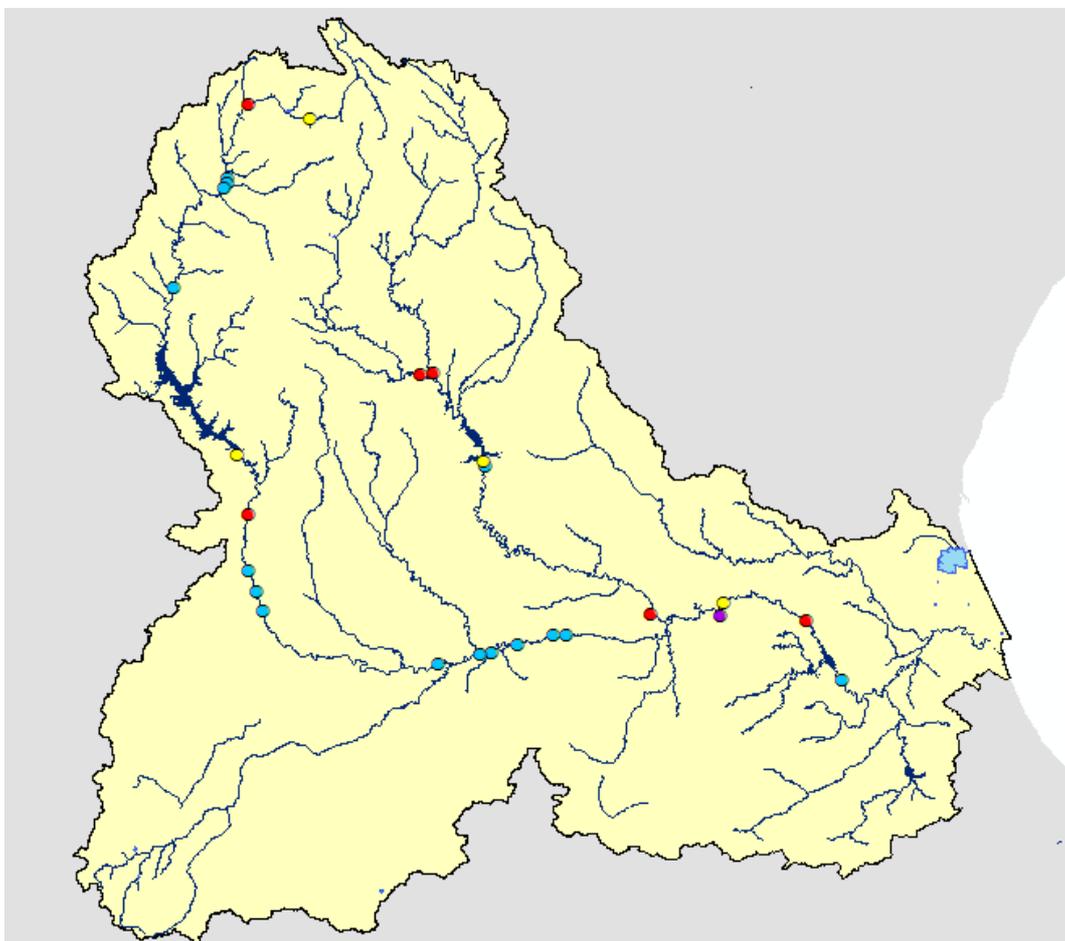


Figura 9. Aprovechamientos hidroeléctricos en la cuenca del río Júcar (en amarillo en pie de presa, en rojo de derivación o salto, en azul fluyentes y en morado reversibles).

Entre el Salto de Villalba y la ciudad de Cuenca, existe una sucesión de centrales fluyentes. Dichas centrales acumulan una potencia instalada de 0.94 MW. Aguas abajo de Cuenca se encuentra la central del Castellar, de potencia superior a las anteriores.

En el embalse de Alarcón existe una central a pie de presa, mientras que aguas abajo de esta, la central hidroeléctrica de derivación del Picazo, que comparte el canal con el ATS, que parte desde su depósito de carga.

Aguas abajo de esta existe una sucesión de tres centrales fluyentes de fluyentes, con una potencia acumulada de 2.09 MW, y después una sucesión de otras seis, con una potencia acumulada de 21.42 MW.

Finalmente, antes de la confluencia con el Cabriel, se encuentra el aprovechamiento del Molinar, de derivación. Puesto en servicio en 1909, consta de un embalse desde el que se derivan los caudales por un túnel hasta la central de Cofrentes, con una potencia instalada de 124.2 MW (en la actualidad, inicialmente eran 22.5 MW). Una vez turbinadas, las aguas se vierten al río Cabriel.

En la cabecera del Cabriel, existe un importante aprovechamiento, el de Lucas de Urquijo (llamada así en honor al fundador de la compañía Hidroeléctrica Española), también conocido como el Salto de Villora. En sus inicios, solo contaba con el embalse de Villora, en el Cabriel, desde el que con un canal de 900 metros se consiguió un salto de 112 metros. Fue inaugurado en 1914. Con el aumento de la demanda energética, en 1921 comenzó la construcción del embalse del Bujoso, aguas arriba del de Villora, para aumentar la capacidad de regulación y garantizar la operatividad del aprovechamiento. Aguas abajo, en la confluencia con el Guadazaón, se construyó el contraembalse de Lastra, para que las variaciones del régimen no afectaran a otros aprovechamientos. Dicho embalse quedó fuera de servicio tras la construcción del embalse de Contreras. Desde que fuera inaugurado, contando con 12 MW instalados, se han ido añadiendo unidades de producción hasta alcanzar una potencia instalada de 39.6 MW en 1945. Además en 1926 se construyó el embalse del Batanejo, en el Guadazaón, desde el que parte otro salto, en este caso de 75 metros pero solo con una potencia de 2.04 MW, debido al menor caudal turbinado.

En el embalse de Contreras, al igual que en el de Alarcón, existe una central a pie de presa (Contreras II). Además aguas abajo se encuentra la central fluyente de Contreras I, en el azud de Mirasol.

Aguas abajo de la confluencia del Júcar y el Cabriel, se encuentra el complejo de Cortes la Muela, una serie de embalses cuyo uso es el de la producción hidroeléctrica, a diferencia de los de Alarcón y Contreras. Ya se describió la evolución de las infraestructuras en el apartado dedicado a los embalses, así que se describe el estado actual del aprovechamiento. Está formado por dos unidades, la central de Cortes II, a pie de presa del embalse de mismo nombre, y la central de la Muela de Cortes, una central reversible de bombeo, una tipología distinta a las descritas anteriormente. El objetivo de la central de la Muela es

convertirse en una gran batería de almacenamiento de energía, que ayude a regular las variaciones intradiarias en la demanda energética. Su funcionamiento se basa en la elevación de caudales desde el embalse de Cortes II hasta el depósito de la Muela, situado a más de 500 metros respecto a la lámina de agua de Cortes II, en los momentos en los que existe un excedente de energía eléctrica en la red. De la misma forma, cuando la demanda lo requiere, se turbinan los caudales del depósito, que retornan al embalse de Cortes II. A nivel energético el sistema siempre presenta pérdidas, el beneficio se presenta a nivel económico. Si bien este sistema podría situarse en cualquier punto de la geografía española, tiene especial interés esta ubicación no solo por la orografía que permite un salto de tal magnitud, sino por encontrarse junto a la Central Nuclear de Cofrentes, y añadiendo que recientemente se ha instalado un parque eólico en las inmediaciones. El hecho de que los centros de producción se encuentren tan próximos disminuye las pérdidas por transporte, que serían mayores de encontrarse en otra ubicación más lejana. En este caso concreto, la central nuclear tiene una producción constante a lo largo del día, y los aerogeneradores producen de forma variable a lo largo del día en función del viento, por lo que como se ha explicado anteriormente, la producción y la demanda no se ajustan a nivel intradiario, teniendo la central como objetivo regular estas diferencias. La central de Cortes II cuenta con una potencia instalada de 280 MW, y la de la Muela de 628.35 MW, siendo el complejo más importante en cuanto a aprovechamiento hidroeléctrico en la cuenca del río Júcar.

Aguas abajo del embalse de Cortes II se encuentra el del Naranjero, que actúa como contraembalse del anterior, en el que se encuentra la toma de la central de derivación de Millares II. Su predecesora, la de Millares I, se puso en servicio en 1931 y su toma quedó anegada por el embalse de Tous en 1998.

Por último, ya aguas abajo del embalse de Tous, se encuentra la central fluyente de Antella-Ecalona, en el azud de Escalona, compartiendo su uso con las comunidades de regantes de la Acequia de Escalona y la Acequia Particular de Antella (dependiente de la Acequia Real del Júcar, tiene como objetivo suministrar caudales de regadío al municipio de Antella).

3. Usos y presiones

En este apartado se estudia cómo las infraestructuras que se han descrito anteriormente, y los demás usos existentes en la cuenca, afectan al régimen hidrológico. Este estudio se circunscribe a los ríos Júcar, Cabriel, Albaida y Magro, no ya por ser los de mayor importancia, sino por ser los que concentran esos usos y presiones.

3.1 Factor de escala

Un factor muy importante a la hora de estudiar esta alteración, es la escala. En este apartado y en los siguientes, se diferencia dos escalas: la escala a nivel mensual-anual, referida a las alteraciones intra e interanuales, producidas por embalses, extracciones del acuífero o derivaciones de caudales; y la escala a nivel horario, referida a las variaciones intradiarias producidas por los aprovechamientos hidroeléctricos.

3.1.1 Estudio a escala mensual-anual

Se centra en los usos y presiones que producen alteración a escala mensual y anual. Consiste en un análisis temporal de cómo la entrada en funcionamiento de cada infraestructura y la aparición de cada nuevo uso ha modificado el régimen de caudales.

3.1.2 Estudio a escala horaria

Se centra en los aprovechamientos hidroeléctricos, que producen alteración a escala intradiaria, en función de la variación de la demanda energética a lo largo del día, como se ha explicado en anteriores apartados.

Partiendo de la base de que la mayoría de estos aprovechamientos están en servicio desde la primera mitad del siglo XX y que no existe ninguna regulación que haya hecho variar su modelo de explotación a lo largo del tiempo (hasta la entrada en vigor de las condiciones de explotación relativas a las tasas de cambio en el PHJ), se estudia un año hidrológico reciente. Esta decisión también está condicionada por la existencia de datos horarios y la dificultad de conseguirlos, sobre todo previos a la puesta en servicio del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), en 1988.

3.2 Herramientas

Para identificar cuáles son los usos y presiones que producen alteración hidrológica, y determinar los momentos en los que esa alteración comienza, se

utiliza por primera vez la que será la herramienta básica de este trabajo, las bases de datos de registros aforados, tanto las estaciones de aforo pertenecientes a la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA), como los elementos de medición situados en el cuerpo de presa de los embalses (GESHIDRO).

Las estaciones de aforo se sitúan en distintos puntos de los cauces, y su objetivo es medir el caudal circulante. A partir de los datos registrados, se generan bases de datos de caudales y aportaciones a nivel intrahorario, horario, diario, mensual y anual. De la misma forma, en los embalses existen válvulas que miden las salidas, y mediante el balance entre los datos de salidas y reservas (nivel de la lámina de agua), se determinan las entradas, siendo estas el dato más inexacto al tratarse de un cálculo.

El primer problema que se presenta en este estudio es la disposición de las estaciones de aforo. Si bien es cierto que se encuentran en los puntos más singulares, en determinadas ocasiones no siempre existirá una estación aguas abajo y otra aguas arriba de la presión (sobre todo en el caso de los aprovechamientos hidroeléctricos). Además, los datos disponibles no se corresponden con un periodo homogéneo, las estaciones se fueron poniendo en servicio a lo largo de todo el siglo XX, y en muchos casos los datos en años intermedios están incompletos. Siendo esta la primera limitación encontrada, se intenta sacar el máximo partido posible a los datos existentes.

Además se dispone de otra herramienta, el modelo de simulación PATRICAL (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad de Agua), que simula un ciclo hidrológico de forma distribuida en el espacio, con una resolución de 1 Km x 1 Km, y con un paso de tiempo mensual (Pérez, M.A., 2005 y Pérez-Martín y otros, 2013).

Este modelo realiza la simulación del ciclo hidrológico en régimen natural aplicando la formulación de Témez (1977) en cada pequeño elemento en el que se discretiza el territorio, incluyendo las transferencias laterales entre acuíferos, el movimiento del agua a través de la red fluvial, las relaciones río-acuífero (considerando la posibilidad de pérdidas en cauces) y la evolución de la piezometría media de los acuíferos.

Si bien esta herramienta jugará un papel esencial en este trabajo, en este apartado servirá para complementar la información de las estaciones de aforo cuando estas presenten datos insuficientes.

3.3 Caracterización de los usos y presiones

Para caracterizar los usos y presiones a nivel mensual-anual, se estudian las series mensuales, comparando en todos los casos para cada posible alteración, la

estación de aforo de aguas arriba, con la de aguas abajo, y en caso de ser necesario, con la simulación del modelo PATRICAL.

3.3.1 Embalses

En un principio, los embalses se presentan como una de las infraestructuras con mayor capacidad para alterar el régimen hidrológico, sobre todo los de gran capacidad. La regulación de caudales, tanto a nivel intra como interanual, la laminación de avenidas y el aumento de los caudales en el cauce en momentos de grandes desembalses producen una gran alteración en el régimen hidrológico. La cuestión es si teniendo la capacidad para hacerlo, su forma de explotación produce dichas alteraciones.

Embalse de la Toba

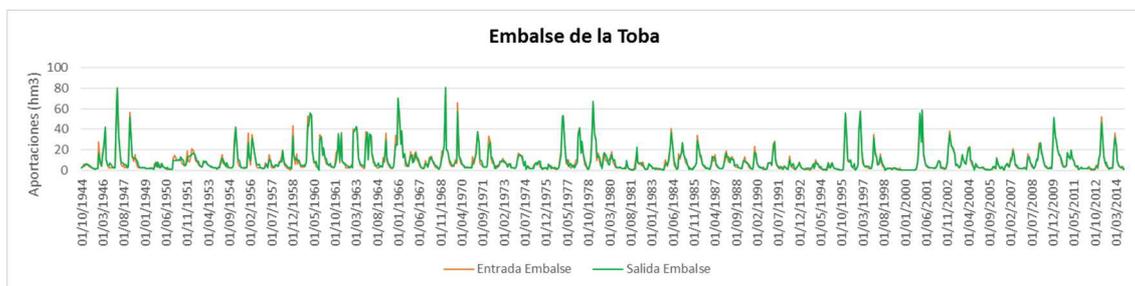


Gráfico 1. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de la Toba (GESHIDRO 8023)

Como se observa en el Gráfico 1, apenas existen diferencias entre las entradas y salidas del embalse de la Toba, debido a su baja capacidad (20 hm^3), por lo que en un principio se podría descartar como alteración. Aunque como se describió en el momento de su caracterización, las salidas del embalse no se corresponden con el caudal que se vierte al río, sino al total de salidas, incluyendo la derivación hacia la laguna de Uña para el aprovechamiento hidroeléctrico del Salto de Villalba. Hay constancia de que en la mayoría de los casos, el total de las salidas se derivarían, dejando el cauce seco durante unos kilómetros, hasta que gracias a aportes del acuífero, siendo este un tramo ganador, volvería a existir caudal circulante. Aun así, no se puede cuantificar el efecto de esta presión, ya que la siguiente estación de aforo aguas abajo es la de Cuenca (ROEA 8032), y previamente a ella el Salto de Villalba devuelve los caudales derivados al río Júcar. Al tratarse de un embalse gestionado por la explotadora del aprovechamiento, y no por la CHJ, no se disponen de datos que cuantifiquen las salidas reales al cauce. Debido a esta situación, en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar para el ciclo de planificación hidrológica 2015-2021 (PHJ15-21) se estableció un caudal ecológico de $0.34 \text{ m}^3/\text{s}$ en el cauce aguas abajo del embalse.

Embalse de Alarcón

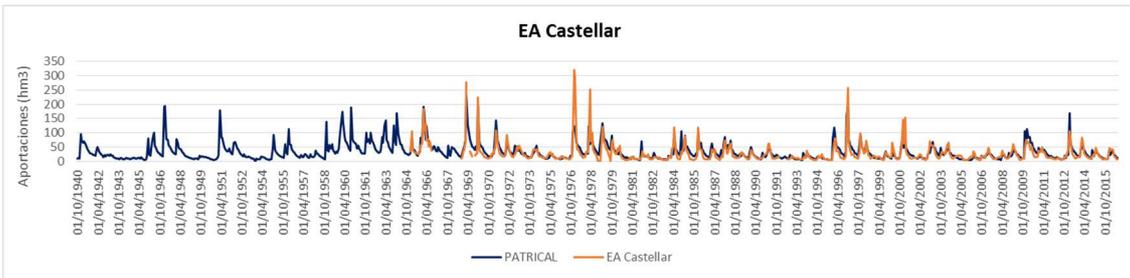


Gráfico 2. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en la estación de aforo de Castellar (ROEA 8091 y PATRICAL)

Para estudiar la afección provocada por el embalse de Alarcón, se cuenta con distintas series. La serie de la estación de aforo de Castellar (ROEA 8091) situada aguas arriba del embalse, las de las estaciones de aforo de Alarcón Salida Embalse (ROEA 8107) y El Picazo (ROEA 8129), ambas situadas aguas abajo del embalse, y las series de entradas y salidas al embalse (GESHIDRO 8001). Además, teniendo en cuenta que aguas arriba del embalse no existe ninguna alteración sobre el régimen hidrológico a nivel mensual (como se puede observar en el Gráfico 2), se puede utilizar la serie de PATRICAL en el embalse de Alarcón para observar cómo la infraestructura ha modificado el régimen hidrológico (Gráfico 3).



Gráfico 3. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en la estación de aforo aguas abajo del embalse de Alarcón (ROEA 8091 y PATRICAL)

A través de la interpretación del Gráfico 3 se obtienen muchas conclusiones, las cuales se exponen a continuación:

- La primera de ellas es que si bien el modelo se ajusta muy bien a los datos registrados por las estaciones de aforo en aquellos puntos en los que no existen alteraciones (como se observa en el Gráfico 2), este ajuste falla al principio de la serie, en los cinco primeros años hidrológicos (del 40-41 al 44-45). Este factor no se limita solo este punto, sino a muchos otros, como se verá en adelante. Este desajuste del modelo achaca a la falta de calentamiento del mismo, ya que aun existiendo algunas estaciones de aforo con registros que comienzan en 1911, no existen datos para el periodo 1930-1940, debido a la situación sociopolítica del país. Este desajuste será un factor limitante muy importante en este trabajo, como se verá en el apartado dedicado a la metodología.

- La segunda conclusión es que si bien el año oficial del final de las obras del embalse de Alarcón es el 1955, como apuntan las bases de datos de la CHJ, parece que ya existe una alteración en años anteriores. Los datos de GESHIDRO de entradas y salidas al embalse comienzan en 1957, por lo que es existe una cierta incertidumbre sobre el origen de dicha alteración, estando claro que se debe a la construcción del embalse. Más adelante, en este trabajo, se estudia este aspecto en concreto de forma detallada, en el apartado de metodología, pero como se pretende describir de forma cronológica cuál fue el desarrollo de este estudio, no se aportan más detalles en este apartado.
- De cara a la determinación de las presiones que producen una alteración sobre el régimen hidrológico a escala mensual, se observa que en este caso el embalse de Alarcón sí que es una de ellas, pudiéndose apreciar que la principal presión es relativa a la estacionalidad. El embalse, en cuya financiación participaron los agricultores de los conocidos como regadíos tradicionales, en la plana de Valencia Sur, almacena las aportaciones en invierno, soltándolas en verano para el regadío de los cultivos, produciendo una inversión del ciclo interanual. No es objeto de este apartado evaluar la presión (tarea que se llevará a cabo en posteriores apartados), sino detectarla.
- Por último, se observa un aumento en los caudales circulantes aguas abajo del embalse a partir de 1979. Esto se debe a que como se explicó en el apartado de infraestructuras, los caudales del ATS llegan hasta la cola del embalse de Alarcón y circulan por el cauce del Júcar a lo largo de 7 kilómetros, antes de ser derivados. Al estar la estación de aforo en este tramo, las mediciones incluyen dichos caudales. La serie de salidas del embalse comienza más tarde que la registrada por la estación de aforo situada en el río, y contempla estos caudales los primeros años, por lo que para extraer esta interferencia externa del estudio, se toman los datos de la estación de aforo de El Picazo (ROEA 8129) como salidas de Alarcón a partir de la entrada en servicio del ATS, en junio de 1979 (Gráfico 4).

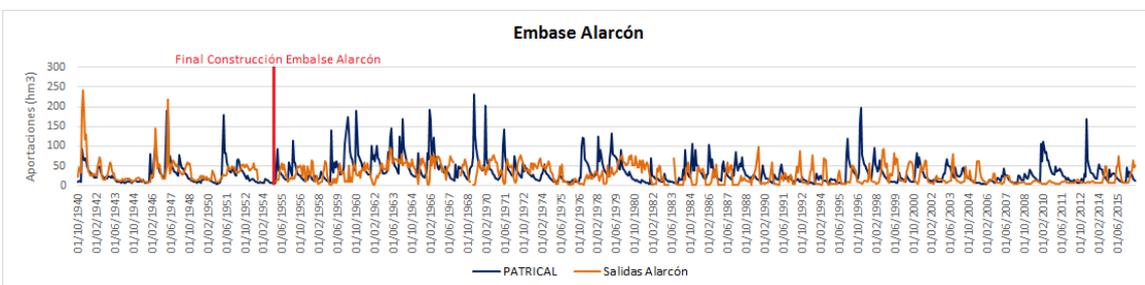


Gráfico 4. Comparativa de las series de aportaciones mensuales a la salida del embalse de Alarcón (ROEA 8091+ROEA 8129 y PATRICAL)

Embalse del Molinar

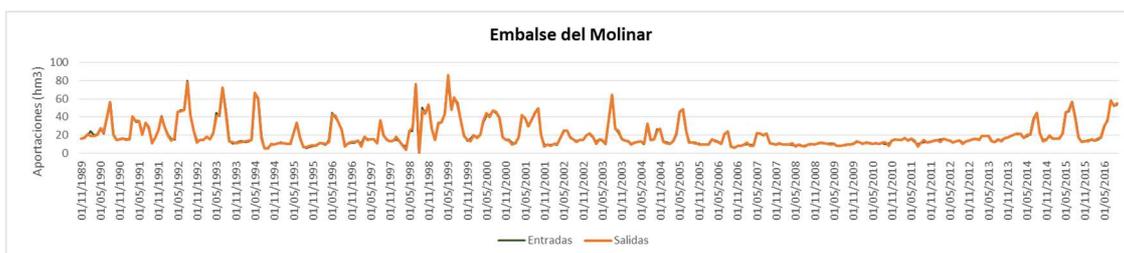


Gráfico 5. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse del Molinar (GESHIDRO 8026)

El embalse del Molinar, al igual que el de la Toba, de uso hidroeléctrico, no regula a nivel mensual (tan solo tiene una capacidad de 4.3 hm^3). Pero de la misma forma que el anterior, presenta una derivación, que en ocasiones ha llegado a dejar seco el río aguas abajo del embalse. Esta derivación transporta mediante un túnel los caudales del embalse del Molinar hasta la central hidroeléctrica, situada en Cofrentes (como se observa en la Figura 10), vertiendo los caudales al Cabriel. El tramo afectado en cuestión, es el que discurre desde aguas abajo del embalse del Molinar hasta la confluencia con el Cabriel (embalse de Cortes II).

Si bien no existe una estación de aforo que controle la gestión de los desembalses en El Molinar, en el PHJ15-21 se marcó un caudal ecológico de $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ para esta masa de agua.

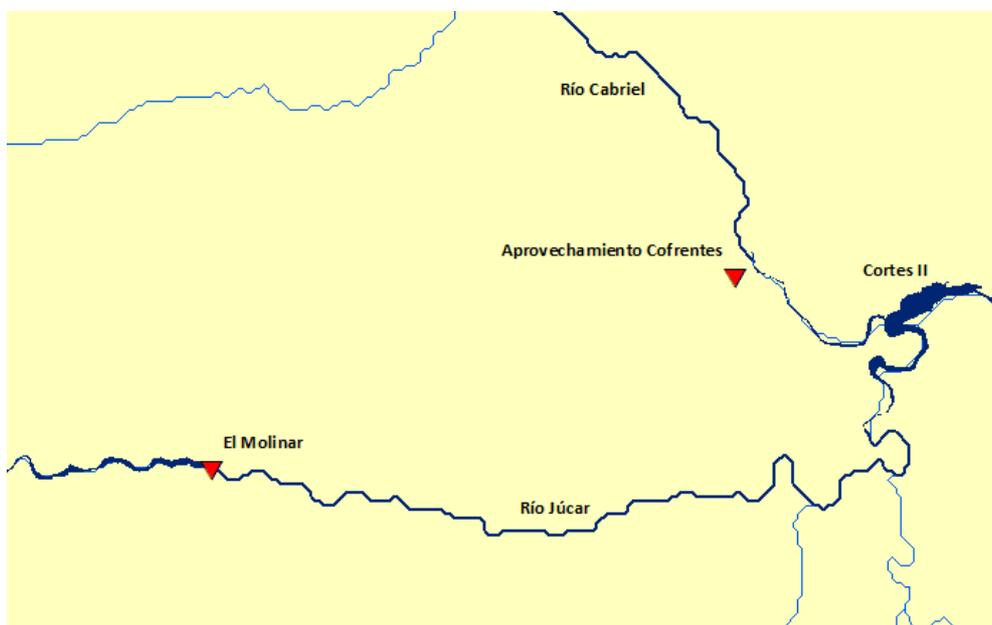


Figura 10. Aprovechamiento El Molinar-Cofrentes

Embalse de Contreras

En la cabecera del río Cabriel, de la misma forma que en la del Júcar, se puede afirmar que no existen alteraciones sobre el régimen hidrológico a nivel mensual (Gráfico 6). La primera de ellas es el embalse de Contreras. El principal problema que se presenta a la hora de estudiar la afección del embalse de Contreras, es que no existen series previas a su puesta en servicio, por ello, se reconstruye la serie a partir de las dos estaciones de aforo que recogen las entradas al embalse, la EA de Enguídanos (ROEA 8021) en el Cabriel y la EA de Río Ojos de Moya en Camporrobles (ROEA 8092) en el Ojos de Moya, como su nombre indica.

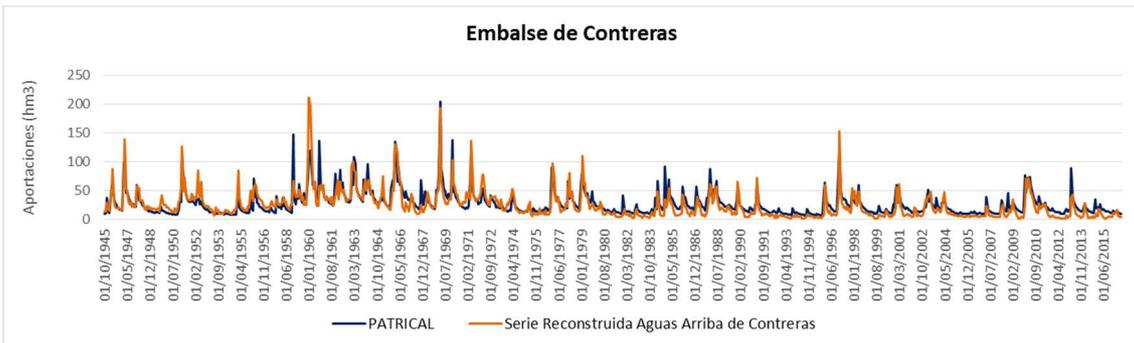


Gráfico 6. Comparativa de las series de aportaciones mensuales a la entrada de Contreras (GESHIDRO 8009 Reconstruida y PATRICAL)

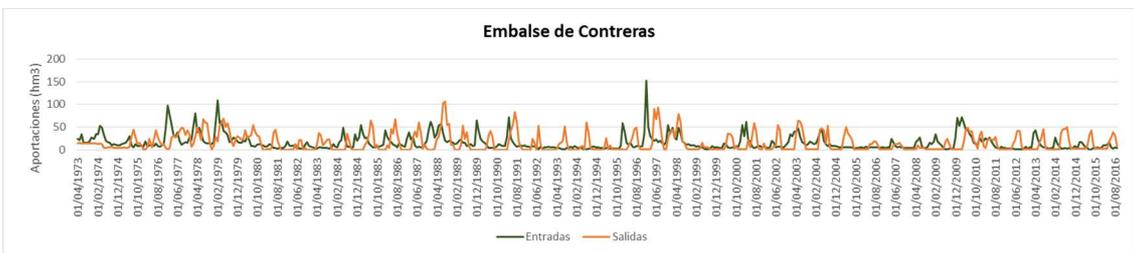


Gráfico 7. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Contreras (GESHIDRO 8009)

Comparando las entradas y salidas del embalse, se observa, al igual que en de Alarcón, una alteración interanual, almacenando los recursos en los meses húmedos, y soltándolos en los secos, invirtiendo el régimen anual.

Una característica destacable de este embalse es su problema pérdidas por filtraciones, que hace que una parte de los volúmenes almacenados se filtren al acuífero sobre el que se asienta. Por ello en el Gráfico 6 se observa cómo a partir de su construcción, momento en el que la serie es la registrada por los elementos de control de la presa, las entradas se encuentran infravaloradas. Este fenómeno se asocia a que como ya se explicó anteriormente, las entradas se determinan mediante un cálculo que contempla la variación del volumen almacenado y las salidas. Las filtraciones hacen que el volumen almacenado (nivel de la lámina de

agua) sea menor, por lo que el cálculo determina unas entradas menores a las reales.

$$\text{Entradas (-Filtraciones)} = \Delta \text{Vol} - \text{Salidas}$$

Estas filtraciones, o al menos gran parte de ellas, regresan al Cabriel en el tramo comprendido entre el embalse de Contreras hasta la confluencia con el Júcar. Los aportes subterráneos, debidos no solo los retornos de las filtraciones, sino también a la existencia de un importante acuífero, proporcionan un caudal base constante, como se observa en el Gráfico 8.

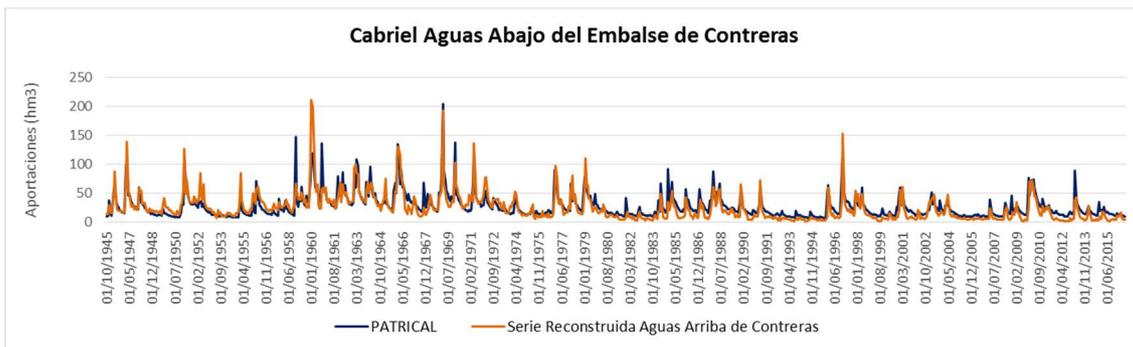


Gráfico 8. Comparativa de las series de aportaciones mensuales a la salida del embalse de Contreras y en la EA de Cofrentes (GESHIDRO 8009 y ROEA 8112)

Complejo Hidroeléctrico Cortes de Pallás

En este caso, la pregunta en cuestión es si el complejo formado por los embalses de Cortes II, La Muela y El Naranjero producen una alteración en el régimen hidrológico a escala mensual, ya que a diferencia de los de Alarcón y Contreras, su uso no está enfocado a la regulación de caudales sino al aprovechamiento hidroeléctrico.

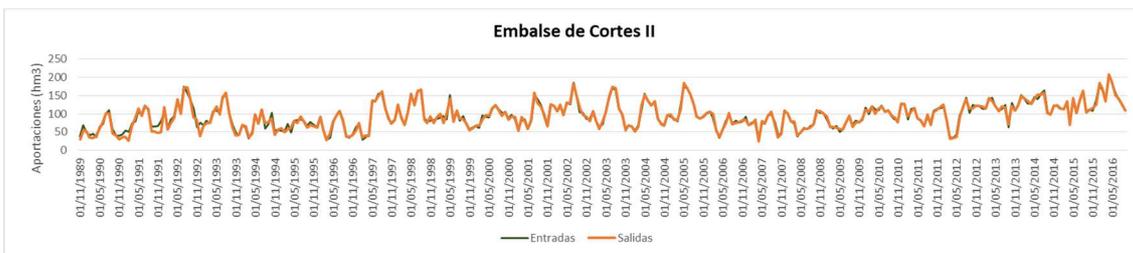


Gráfico 9. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Cortes II (GESHIDRO 8027)

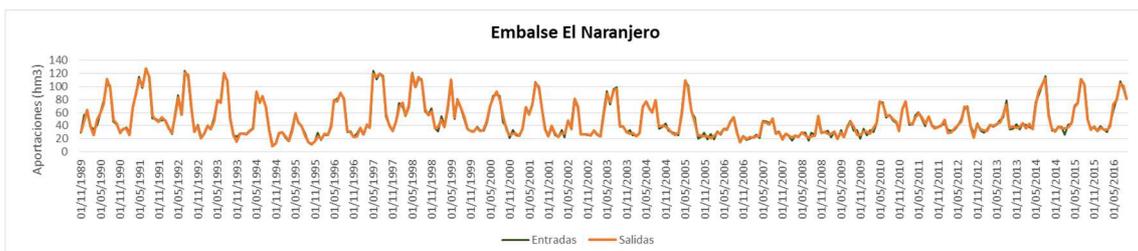


Gráfico 10. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse del Naranjero (GESHIDRO 8029)

Observando los gráficos 9 y 10 se comprueba que a nivel mensual, sus entradas y salidas coinciden, por lo que se puede asumir que a pesar de ser embalses con una gran capacidad, su modelo de explotación no produce una alteración en el régimen de caudales. Otra cuestión es el hecho de que el complejo haya supuesto que 30 kilómetros de cauce pasen a ser una masa de agua muy modificada, pero en lo referente a este trabajo, este tramo del Júcar queda fuera del estudio.

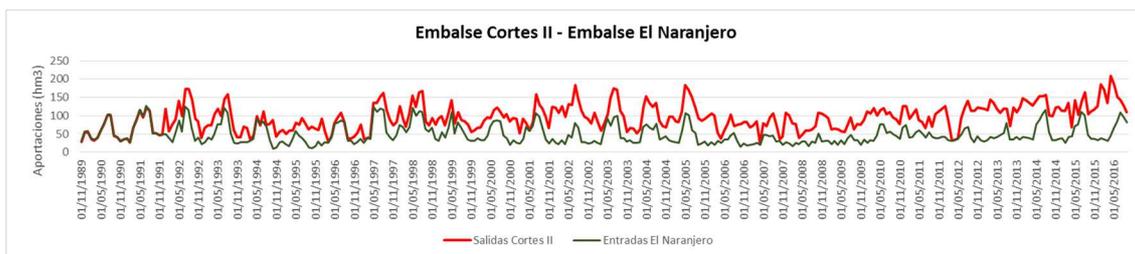


Gráfico 11. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en los embalse de Contreras y El Naranjero (GESHIDRO 8027 y GESHIDRO 8029)

Por último, cabe señalar que como se observa en el Gráfico 11, la serie de salidas de Cortes II no se ajusta a la de entradas al Naranjero, lo que en un principio no tiene sentido, ya que es su contraembalse, situado inmediatamente aguas abajo. El origen de esta variación se justifica en que la serie de salidas de Cortes II cuantifica no solo los caudales salientes hacia El Naranjero, sino también los que se elevan al embalse de La Muela. Por ello se puede concluir que las series de entradas y salidas a Cortes II no se ajustan a los caudales que realmente entran y salen del embalse, sino que ambas series están sobreestimadas por tener en cuenta los constantes intercambios entre Cortes II y la Muela.

Embalse de Tous

En el embalse de Tous no se presenta una inversión del ciclo hidrológico a nivel interanual, como en los casos de Alarcón y Contreras, justamente porque dicha inversión ya se produce aguas arriba, en estos embalses.

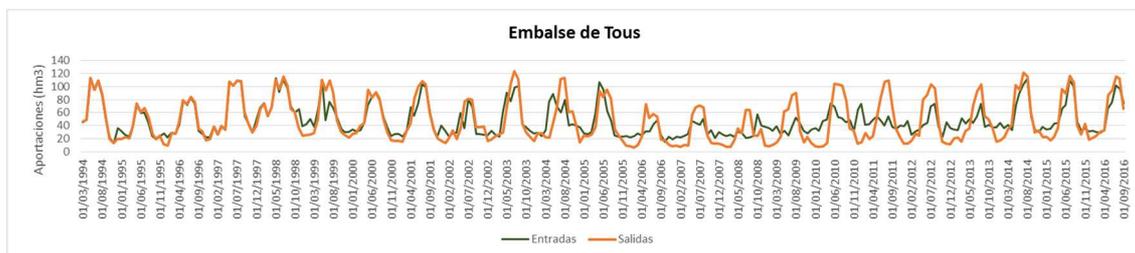


Gráfico 12. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Tous (GESHIDRO 8030)

Lo que si se observa al comparar las series de entradas y salidas (Gráfico 12) es que en los años más secos, en los que no se producen los picos de entradas tan pronunciados, el embalse sí tiene un efecto regulador, almacenando recursos

hasta el final del invierno, momento en el que comienzan a aumentar los desembalses para el regadío (normalmente el mes de abril).

Además, el embalse de Tous presenta otro factor limitante de cara a su gestión, ya que al tratarse de un embalse de laminación de avenidas, existen unos resguardos mensuales de volumen almacenado que debe cumplir. Estos resguardos son más restrictivos en los meses de octubre y noviembre, por ser aquellos en los que con mayor probabilidad suceden los fenómenos convectivos de mesoescala (conocidos como gota fría).

En el Gráfico 13 se observan las dos ideas descritas, cómo en los meses con menores aportaciones el volumen almacenado es mayor, y cómo siempre se alcanza el menor volumen almacenado al final del verano, porque los usos para regadío han sido cubiertos, como se puede pensar en primera instancia, pero también para garantizar el resguardo establecido en las normas de gestión.

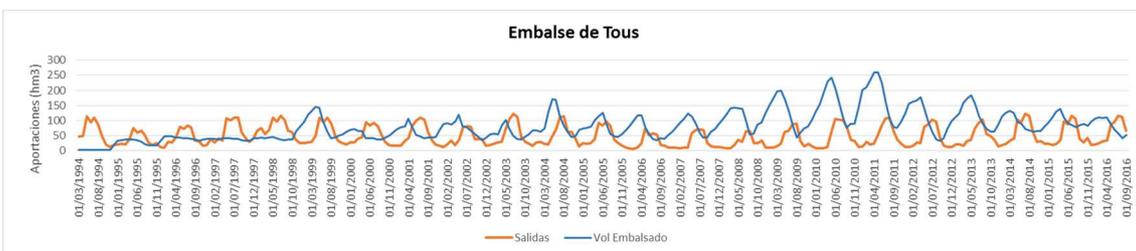


Gráfico 13. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Tous, con volumen embalsado (GESHIDRO 8030)

Embalse de Bellús

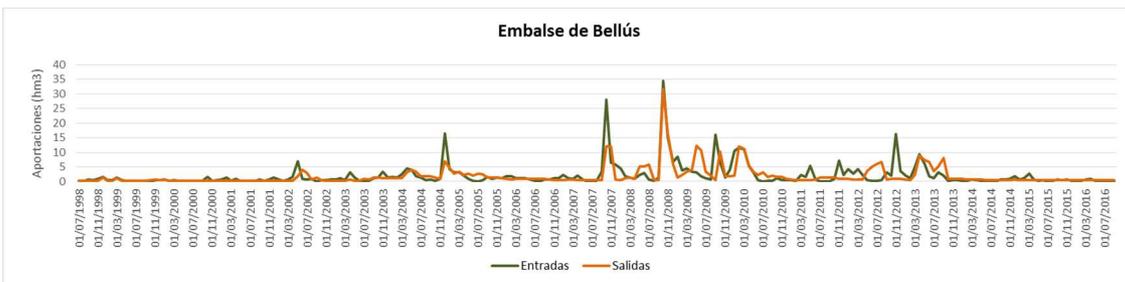


Gráfico 14. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Bellús (GESHIDRO 8032)

El embalse de Bellús, en el río Albaida, genera una regulación (como se observa en el Gráfico 14), sobre todo en meses de grandes aportaciones, principalmente provenientes de avenidas por episodios de altas precipitaciones, que posteriormente se aprovecha para regadío. Aun así, a nivel de magnitud el Albaida presenta unas aportaciones mucho menores al Júcar o al Cabriel.

Embalse de Forata

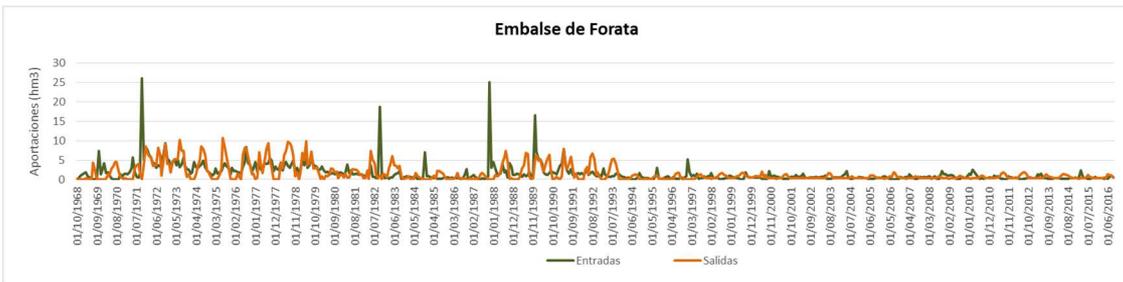


Gráfico 15. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en el embalse de Forata (GESHIDRO 8013)

El embalse de Forata, en el Magro, también tiene por objetivo la regulación de caudales para regadío, así como la laminación de avenidas. En los años de sequía, la escasez de precipitaciones reduce las aportaciones, fenómeno que se ha visto intensificado por las extracciones del acuífero.

Por ello, siendo las extracciones la principal presión existente en el Magro, se tratará con más detalle en el siguiente apartado.

3.3.2 Extracciones del acuífero

En la cuenca del Júcar no solo se aprovechan los recursos superficiales, sino que para satisfacer determinados usos también se explotan los subterráneos. La cuenca cuenta con importantes acuíferos que almacenan grandes reservas de agua subterránea, pero en algunos casos en los que las extracciones han sido superiores a las recargas llegando a la sobreexplotación, que no solo conlleva el deterioro de los acuíferos a nivel cuantitativo, sino que también afecta a las aguas superficiales, ya que en determinados puntos existe una considerable interrelación río-acuífero.

Acuífero de la Mancha Oriental



Figura 11. Cultivos de la Mancha Oriental en las márgenes del Júcar

Si bien los regadíos tradicionales del Júcar se localizaban históricamente en la parte baja de su curso, en la provincia de Valencia, en 1982 se comienzan a transformar grandes superficies en cultivos de regadío en la comarca de la Mancha Oriental, en la provincia de Albacete, con el objetivo de fomentar el desarrollo económico de la zona. Estos cultivos se abastecen a través de pozos, siendo muy común el regadío por aspersión, que da lugar a los cultivos circulares (como se observa en la figura 11), en cuyo centro de encuentra el pozo.

El notable aumento de la superficie de cultivo, supuso de la misma forma un aumento de las extracciones del acuífero (como se observa en el Gráfico 16), lo que llevó a su sobreexplotación. Y esa sobreexplotación acabó afectando al régimen hidrológico del río Júcar, que guarda una estrecha dependencia con el acuífero de la MO, como ya se destacó en apartados anteriores.

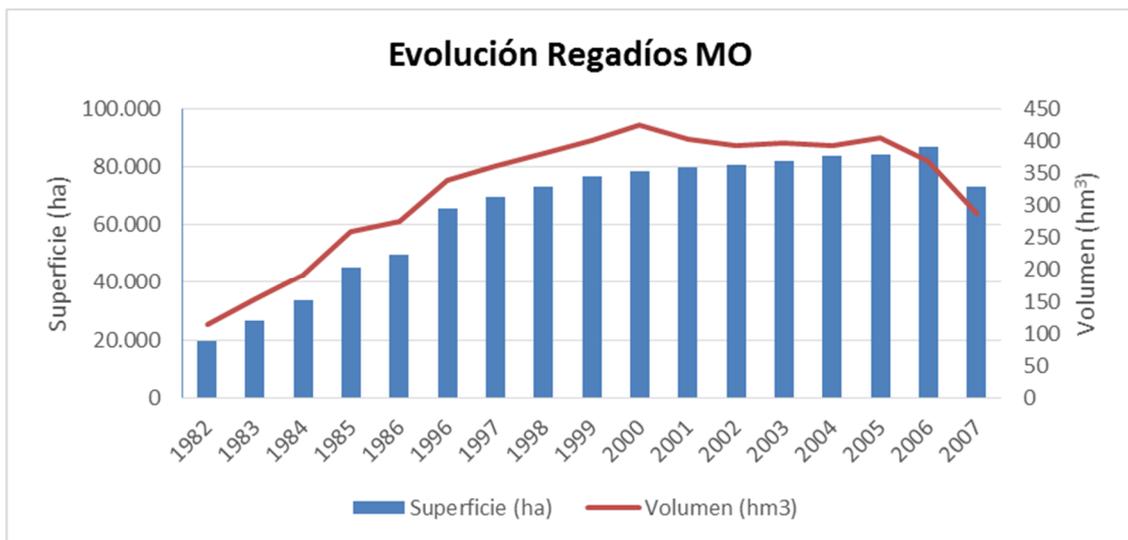


Gráfico 16. Evolución de la superficie de cultivo y las extracciones del acuífero de la Mancha Oriental

Para analizar cuál ha sido el efecto de estas extracciones sobre los caudales circulantes en el río Júcar, se comparan (de la misma forma que para los embalses), las estaciones de aforo de aguas arriba y aguas abajo del tramo. Al no tratarse de una presión puntual y localizada, como un embalse, esta comparación puede no contemplar la totalidad de la afección, pero sí la mayor parte.

Como se observa en el Gráfico 17, este tramo del río no presenta una gran pérdida de recursos en forma de infiltraciones, sino que en los años previos a la afección, se trataba de un tramo que recibía gran cantidad de recursos, los cuales ya no se aportan al cauce. Dicho de otra forma, la problemática no es que este tramo sea excesivamente perdedor, sino que ha dejado de ser ganador.

Comparando a nivel numérico, en los años previos al comienzo de las extracciones, el acuífero de la Mancha Oriental aportaba una media de 236 hm³ anuales, mientras que desde el comienzo de las extracciones hasta la actualidad solo ha aportado una media de 6 hm³ anuales. Pero como se observa en el Gráfico 15 (y teniendo en cuenta que la serie de aportaciones mensuales en Los Frailes no está completa), no fue hasta 1991 cuando las extracciones comenzaron a afectar más intensamente a los aportes al Júcar. En el periodo comprendido entre dicho año y la actualidad, el tramo si ha sido en media perdedor, cediendo 23 hm³ al acuífero en forma de infiltraciones. Pero remarcando lo explicado anteriormente, la afección no se limita a esos 23 hm³ que se han perdido, sino a 260 hm³, suma de los que se han perdido y los que se han dejado de aportar. El periodo de mayor afección se corresponde con el de mayores extracciones (2000-2007), en los que estas se situaban en torno a 400 hm³ anuales, suponiendo esto para el río una pérdida de unos 55 hm³ en forma de filtraciones, en total un balance negativo de 290 hm³.

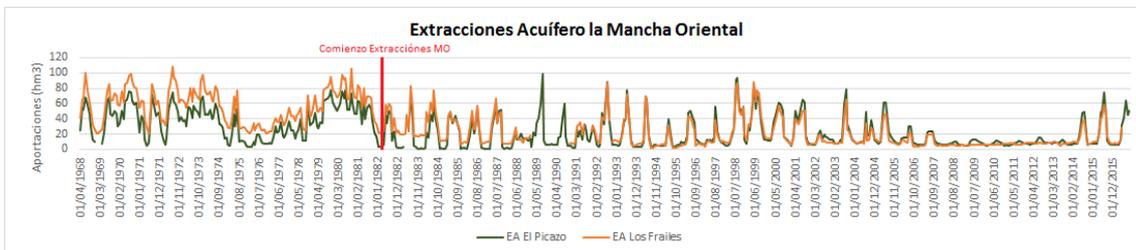


Gráfico 17. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en las EA El Picazo y Los Frailes (ROEA 8129 y ROEA 8036)

Cabe señalar lo dicho anteriormente, que estos datos no pueden tomarse como globales porque el tramo en el que se producen las relaciones río-acuífero no se corresponde exactamente con el tramo entre las dos estaciones de aforo, y que los datos aquí contemplados son valores medios, la afección no es homogénea a lo largo del tramo.

En los últimos años se han implementado numerosas medidas de cara a la mejora de la situación, comprando derechos de uso de agua por parte de la CHJ, y mediante la sustitución de recursos subterráneos por superficiales, que aunque en un principio supongan de la misma forma una detracción de los caudales circulantes, contribuye a la recuperación de los niveles piezométricos del acuífero.

Río Magro

En el Magro, como se ha comentado anteriormente, existe un problema de sobreexplotación del acuífero (principalmente en la masa de agua subterránea Requena-Utiel), que genera unas grandes alteraciones en el régimen hidrológico del río. Si bien es cierto que el embalse de Forata puede regular los caudales

circulantes aguas abajo, especialmente laminando las avenidas, el problema fundamental del Magro es de magnitud, no de estacionalidad.

Debido a que la serie de GESHIDRO de Forata solo está disponible a partir de la construcción del embalse, y que los datos de salidas no se corresponden con el caudal que lleva el río (en momentos de sequía se produce una gran infiltración aguas abajo, llegando a quedar el cauce completamente seco), se toman para el estudio de la alteración los datos de las series en las estaciones de aforo de Requena (en la cabecera) y de Macastre (7 kilómetros aguas abajo del embalse de Forata).

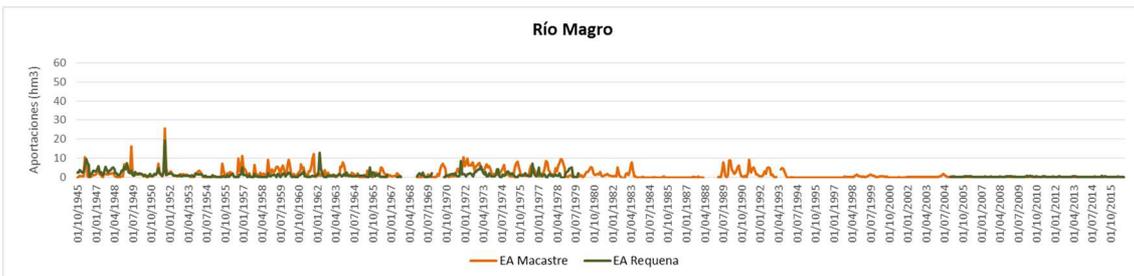


Gráfico 18. Comparativa de las series de aportaciones mensuales en las EA de Requena y Macastre (ROEA 8060 y ROEA 8093)

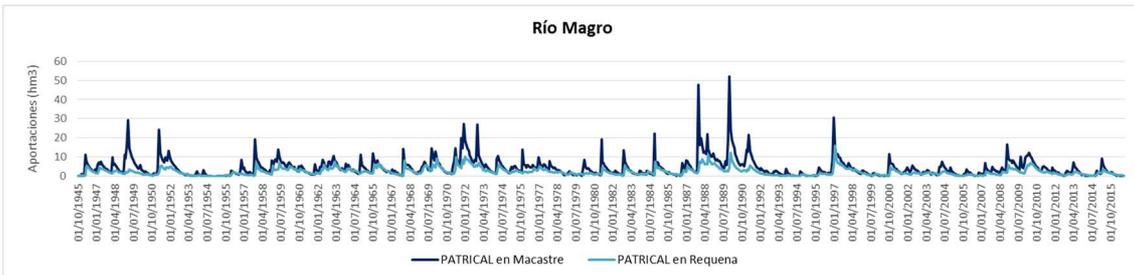


Gráfico 19. Comparativa de las series de aportaciones mensuales de PATRICAL en las EA de Requena y Macastre (ROEA 8060 y ROEA 8093)

En ese caso, para una mayor comprensión del efecto de las extracciones, se adjuntan los Gráficos 18 y 19, el primero una comparativa de las aportaciones mensuales registradas en las estaciones de aforo anteriormente citadas, y el segundo una comparativa de las series del modelo PATRICAL, en los mismos puntos. Comparando ambos gráficos (la escala del eje vertical es la misma), se evidencia el claro problema de magnitud ocasionado por las extracciones.

Si bien las primeras extracciones comenzaron al final de la década de los cincuenta (principalmente destinadas a abastecimiento), no fue hasta alrededor del 2000 cuando adquirieron unos niveles preocupantes, debido a su uso para regadío.

3.3.3 Derivación de caudales

Como se explicó anteriormente, en el apartado de infraestructuras, las principales derivaciones de caudales en el Júcar se producen en su tramo bajo, aguas abajo del embalse de Tous, hasta el azud de la Marquesa (punto a partir del cual se considera aguas de transición). En este apartado se pretende describir el funcionamiento de ese sistema, que presenta una gran complejidad (Figuras 12 y 13).

Para facilitar el análisis, el tramo se divide en siete subtramos. Debido a que solo existen dos estaciones de aforo ROEA en todo el tramo, la de Tous Salida Embalse (ROEA 8042) y la de Huerto Mulet (ROEA 8089), se utilizan también las estaciones SAIH situadas en los azudes (se cuenta con los registros de caudales diarios).



Figura 12. Bajo Júcar dividido en subtramos, con afluentes, azudes y canalizaciones

Tramo 1. Embalse de Tous – Azud de Escalona

La primera derivación se produce desde el propio Embalse de Tous, desde el que parte el Canal Júcar-Turía. En el azud de Escalona existen dos derivaciones, la de la Acequia de Escalona y la de la Acequia Particular de Antella.

Tramo 2. Azud de Escalona – Azud de Carcaixent

En el azud de Carcaixent se encuentra la derivación de la Acequia de Carcaixent.

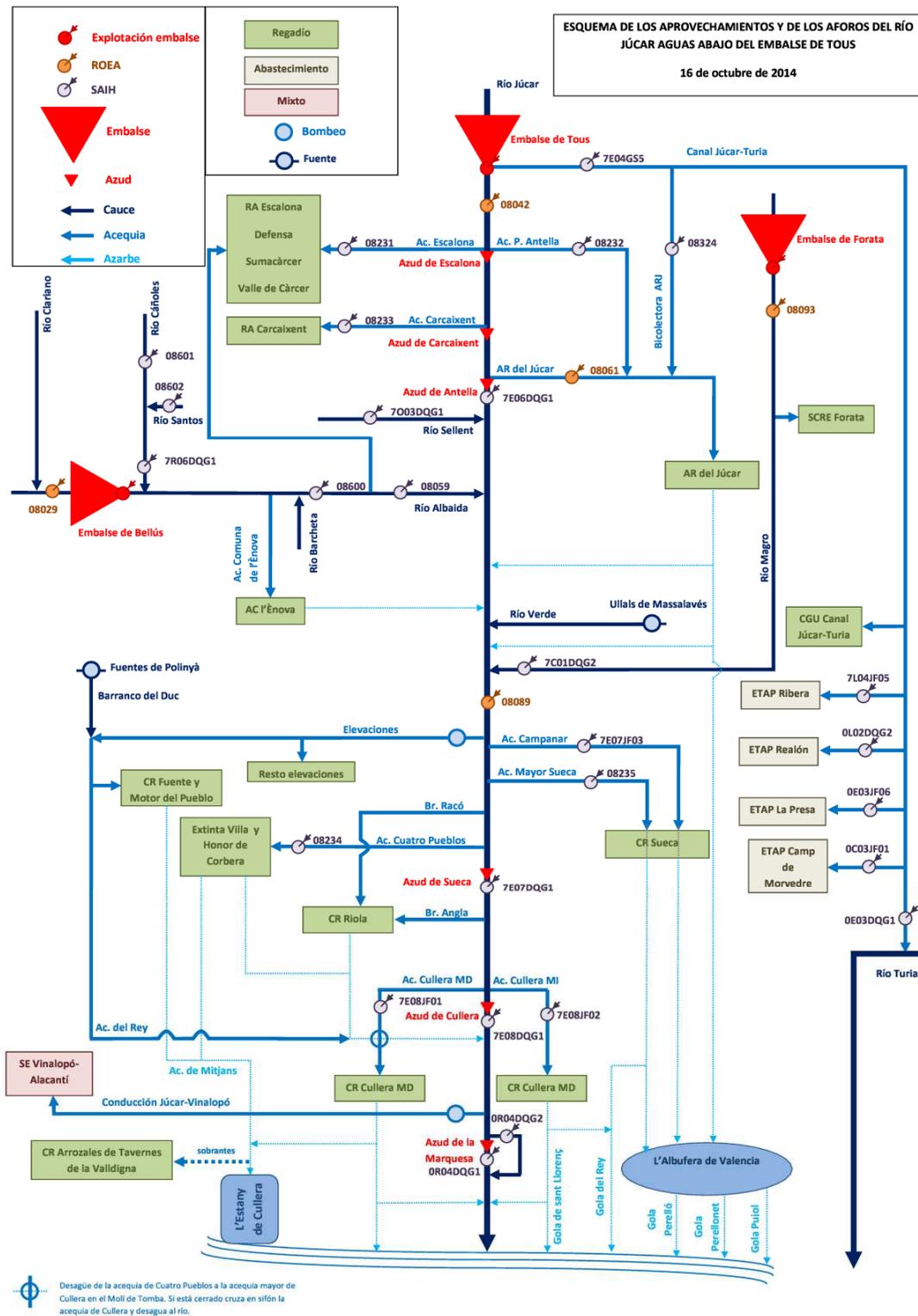


Figura 13. Esquema de los aprovechamientos y aforos del río Júcar aguas abajo del embalse de Tous (Fuente: CHJ)

Tramo 3. Azud de Carcaixent – Azud de Antella

En este tramo se produce la derivación de caudales hacia la Acequia Real del Júcar, desde el Azud de Antella. Como se observa en el Gráfico 20, los caudales son cada vez menores.

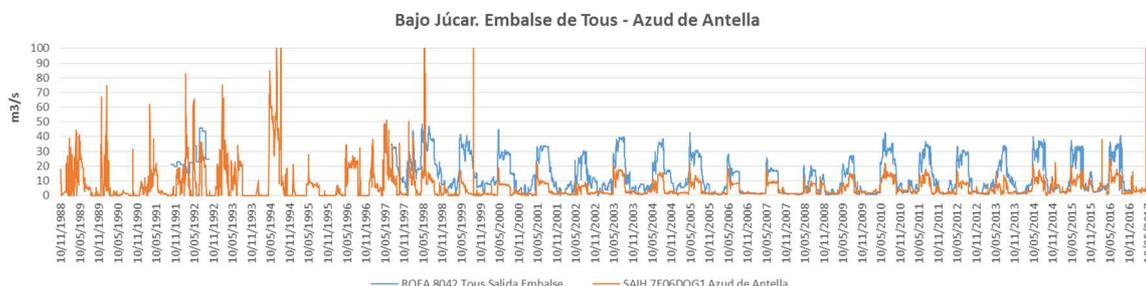


Gráfico 20. Comparativa de las series de caudales diarios en las EA de Tous Salida Embalse y Azud de Antella (ROEA 8042 y SAIH 7E06DQG1)

El Gráfico 20, que engloba los tramos 1, 2 y 3, muestra que las derivaciones son considerables, sobre todo en épocas estivales, momento en el que se consume la mayor parte de agua para regadío.

Tramo 4. Azud de Antella – Huerto Mulet

Este es el tramo de mayor longitud, y el único en el que no existen derivaciones. En este tramo se experimenta una recuperación (Gráfico 22), ya que se reciben las aportaciones de los ríos Sellent, Albaida, Verde y Magro, así como retornos de regadío procedentes de los azarbes de la Acequia Real del Júcar y la AC l'Ènova.



Gráfico 21. Comparativa de las series de caudales diarios en las EA de Azud de Antella y Huerto Mulet (SAIH 7E06DQG1 y ROEA 8089)

Tramo 5. Huerto Mulet – Azud de Sueca

En este tramo se producen de nuevo numerosas derivaciones, para suministrar caudales a la Acequia de Campanar, la Acequia Mayor de Sueca y la Acequia de Cuatro Pueblos.

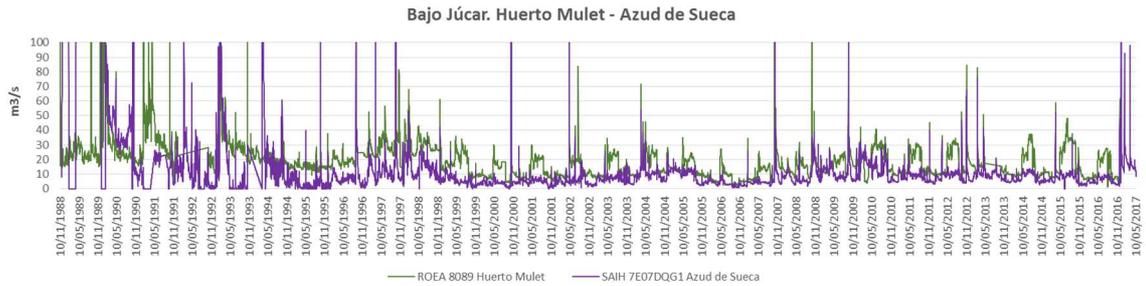


Gráfico 22. Comparativa de las series de caudales diarios en las EA de Huerto Mulet y Azud de Sueca (ROEA 8089 y SAIH 7E07DQG1)

Tramo 6. Azud de Sueca – Azud de Cullera

En este tramo, desde el Azud de Cullera, se derivan caudales hacia la Acequia de Cullera Margen Derecha y la Acequia de Cullera Margen Izquierda.

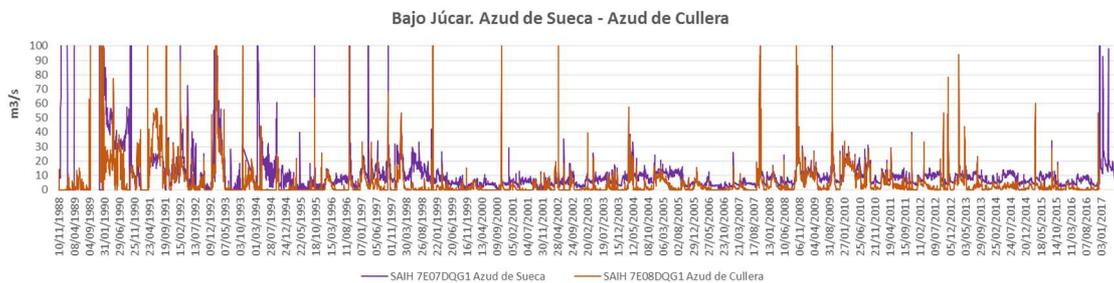


Gráfico 23. Comparativa de las series de caudales diarios en las EA de Azud de Sueca y Azud de Cullera (SAIH 7E07DQG1 y SAIH 7E08DQG1)

Tramo 7. Azud de Cullera – Azud de la Marquesa

En este tramo se reciben algunos retornos de regadío a través de azarbes, y en al final del mismo, en el Azud de la Marquesa, se encuentra la derivación de la Conducción Júcar-Vinalopó. La serie correspondiente al Azud de la Marquesa no comienza hasta 2008 porque fue cuando se llevó a cabo la restauración del azud. Existen dos estaciones SAIH, una que controla los caudales que pasan por el azud y otra los que circulan por el canal lateral (escala de peces). El río en este tramo apenas ya lleva caudal, aunque aumenta desde el azud de Cullera (Gráfico 24) por los retornos citados y porque actualmente apenas se han trasvasado caudales hacia el Vinalopó al ser esta una infraestructura muy reciente.

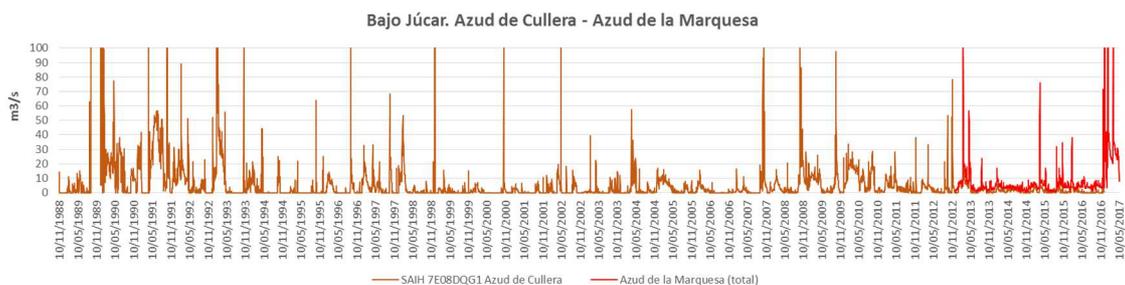


Gráfico 24. Comparativa de las series de caudales diarios en las EA Azud de Cullera y el Azud de la Marquesa (SAIH 7E08DQG1 y SAIH ORO4DQG1+SAIH ORO4DQG2)

3.3.4 Aprovechamientos hidroeléctricos

En este caso para estudiar la afección sobre el régimen hidrológico provocada por los aprovechamientos hidroeléctricos, se utilizan series horarias. El problema fundamental de cara a analizar cómo la gestión de las centrales influye el régimen hidrológico es que no se cuenta con datos de la central (lo que se deriva y lo que circula por el cauce). Por ello se tienen que analizar las series registradas en las estaciones de aforo, por lo que en muchos casos se analiza la alteración producida por varios aprovechamientos situados en serie a lo largo del río, desde la primera estación de aforo situada aguas abajo de los mismos. Para una mejor comprensión se muestran los datos expresados en forma de tasa de cambio ($m^3/s/h$).

Se estudian solo los puntos en los que hay centrales fluyentes y de derivación, ya que cuenta con que las sueltas de los embalses gestionados por la CHJ no se realizan de forma variable a nivel intradiario siguiendo criterios de demanda energética. De los que no son gestionados por la CHJ no se cuenta con las series de datos (salidas desde la Toba, el Molinar o el Naranjero hacia el cauce).

Venta de Juan Romero

Este punto se toma como referencia para analizar cómo son las tasas de cambio en un tramo de la cabecera inalterado. Como se puede observar en la mayoría de casos la tasa de cambio no supera la unidad, y en los casos con grandes tasas de cambio se comprueba que estos son debidos a crecidas.

En la memoria del PHJ15-21, en concreto en el apartado 4.2.7 “Régimen de caudales en las masas de agua categoría río”, se establecen los valores máximos de tasa de cambio ascendente y descendente establecida para cada masa de agua. Dichos valores se marcan en el Gráfico 25 y en los referentes a los siguientes puntos.

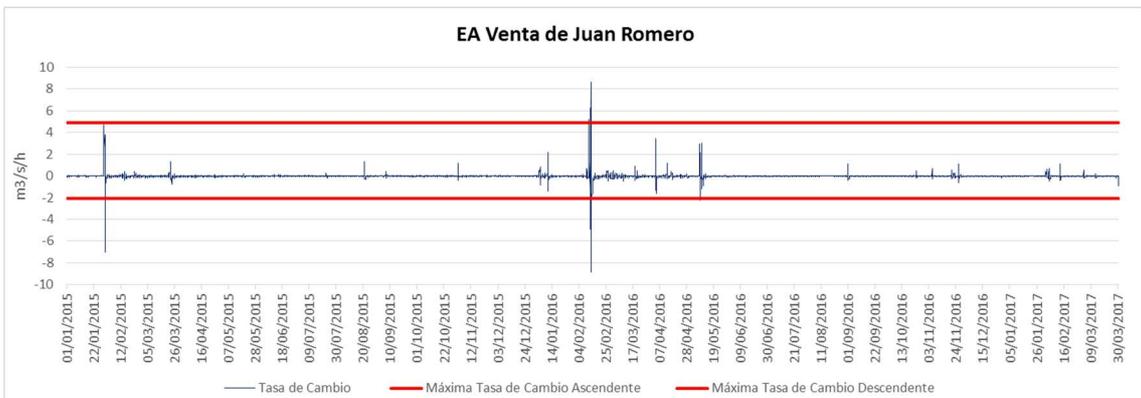


Gráfico 25. Tasas de cambio en la EA Venta de Juan Romero (ROEA 8126) en el periodo 01/01/2015-31/03/2017

Cuenca

Aguas arriba de esta estación de aforo existen tres centrales fluyentes que acumulan 0.94 MW de potencia instalada, además del salto de Villora (central de derivación) que cuenta con 11.05 MW. Como se ha explicado anteriormente no se puede evaluar la afección individual de cada aprovechamiento, sino de todos en su conjunto. Comparando el Gráfico 26 con el de Venta de Juan Romero se observa cómo estos aprovechamientos provocan una constante variación en los caudales circulantes, en función de su necesidad de turbinar más o menos caudal en función de la demanda energética. Aun así, como muestra el Gráfico 26, las tasas de cambio se encuentran dentro de los límites marcados en la memoria del PHJ15-21 (a excepción de unos pequeños casos asociados a crecidas), que establece una máxima tasa de cambio ascendente de 4.89 m³/s/h y una máxima tasa de cambio descendente de -2.01 m³/s/h para toda la cabecera del Júcar hasta el embalse de Alarcón.

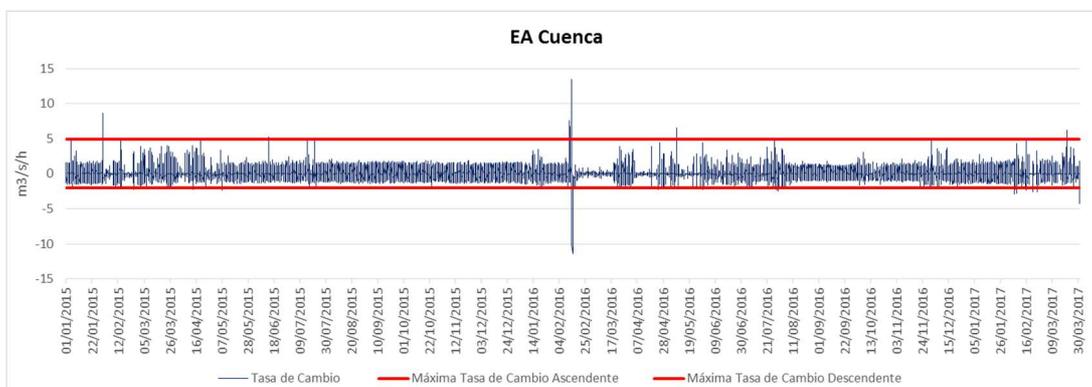


Gráfico 26. Tasas de cambio en la EA Cuenca (ROEA 8032) en el periodo 01/01/2015-31/03/2017

El Castellar

El siguiente punto de control, aguas abajo de Cuenca, es la estación de aforo del Castellar. En este caso solo existe un aprovechamiento, de este mismo nombre, con una potencia instalada de 0.5 MW. La cuestión en este punto sobre la que existe incertidumbre es si la alteración es solo producida por este aprovechamiento, o aún existe la influencia de las centrales situadas aguas arriba.

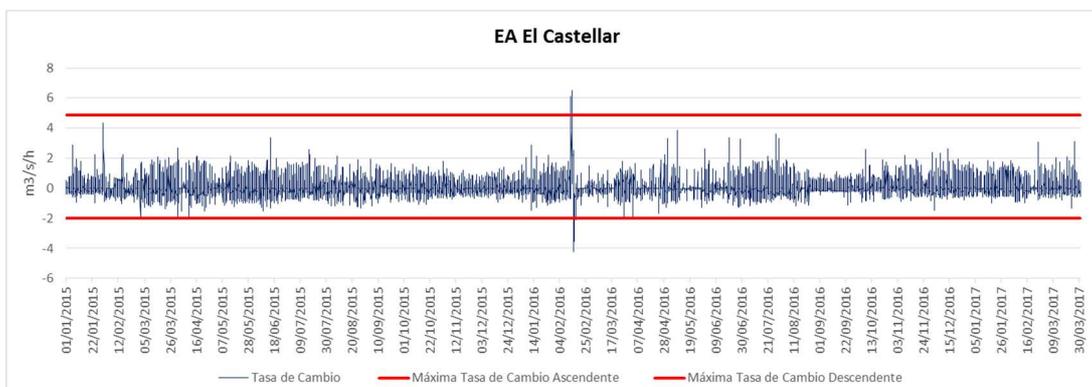


Gráfico 27. Tasas de cambio en la EA El Castellar (ROEA 8091) en el periodo 01/01/2015-31/03/2017

El hecho de que en este punto las tasas de cambio sean más variables puede deberse a que solo existe un aprovechamiento, mientras que en el caso anterior existía una sucesión de ellos.

El Picazo

Aguas abajo del embalse de Alarcón, el primer punto de interés es el aprovechamiento del Picazo, con una potencia instalada de 18 MW.

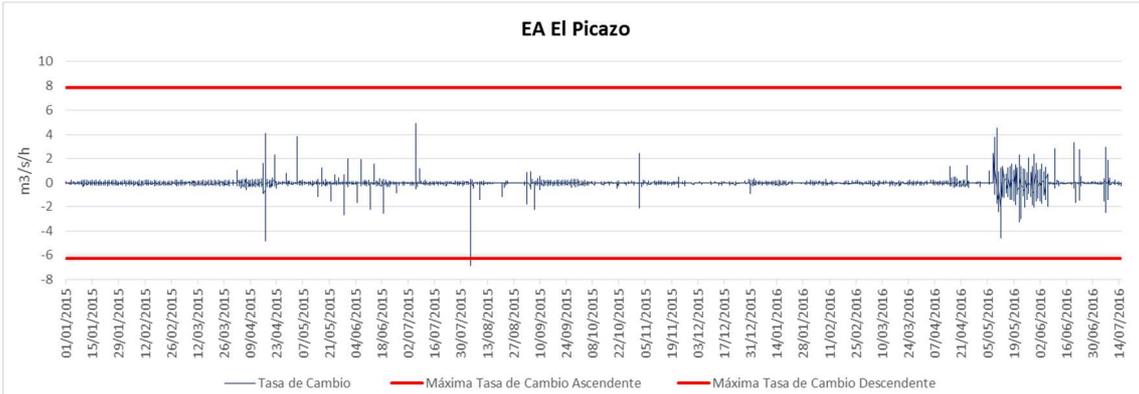


Gráfico 28. Tasas de cambio en la EA El Picazo (ROEA 8129) en el periodo 01/01/2015-15/07/2016

Como se observa en el Gráfico 28, las tasas de cambio no son de gran magnitud hasta el final del periodo. El problema a la hora de analizar este aprovechamiento es que aguas abajo del punto en el que se devuelven los caudales al río, se encuentra el embalse del Picazo, por lo que se puede suponer que este, pese a su baja capacidad, amortigua la variación intradiaria. Por ello este aprovechamiento no se puede estudiar a través de los datos registrados en esta estación de aforo.

Los Frailes

Entre las estaciones de aforo de El Picazo y Los Frailes, existen 3 centrales fluyentes que acumulan una potencia instalada de 2.09 MW. Si bien en el punto en el que se encuentra la estación de aforo de Los Frailes no se han establecido unas limitaciones de tasas de cambio, en el tramo en el que se encuentran dichas centrales sí. Aun así, como muestra el Gráfico 29, las tasas de cambio se encuentran sobradamente dentro de los límites marcados en la memoria del PHJ15-21, que establece una máxima tasa de cambio ascendente de 7.87 m³/s/h

una máxima tasa de cambio descendente de $-6.28 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$, desde el embalse de Alarcón hasta la carretera de Fuensanta (CM-3106).

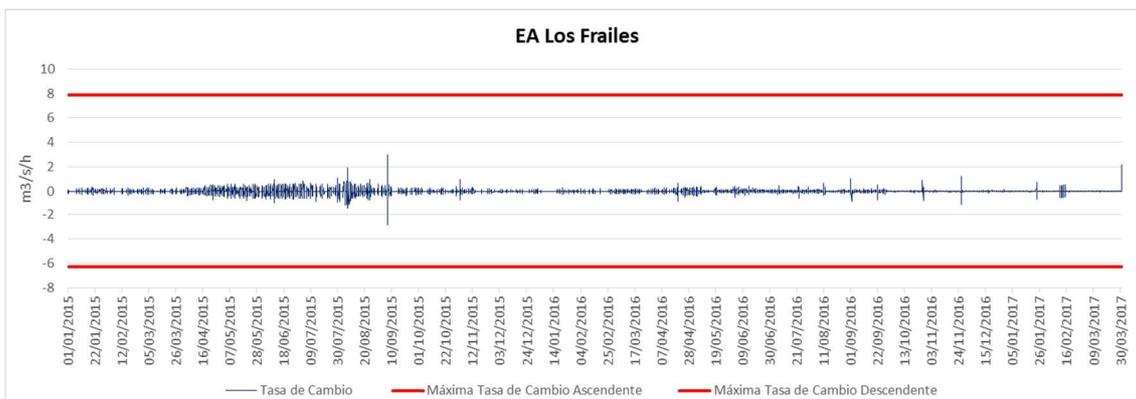


Gráfico 29. Tasas de cambio en la EA Los Frailes (ROEA 8036) en el periodo 01/01/2015-31/03/2017

Alcalá del Júcar

Entre la estación de aforo de Los Frailes, y el embalse de Molinar, existen 6 centrales fluyentes. El problema aquí es que solo 4 se encuentran aguas arriba de la estación de aforo de Alcalá del Júcar, y las dos de aguas abajo no se pueden estudiar (precisamente las dos de mayor potencia), ya que no se cuenta con una serie de entradas horarias a Molinar (y en caso de tenerla, al no ser mediciones directas no tendrían suficiente rigor para ser utilizadas).

Estas 4 centrales acumulan una potencia instalada de 9.18 MW. Como se observa en el Gráfico 30, presentan altas tasas de cambio, pero no de forma homogénea en el tiempo. Para este tramo no existen limitaciones de tasas de cambio establecidas por el PHJ15-21.

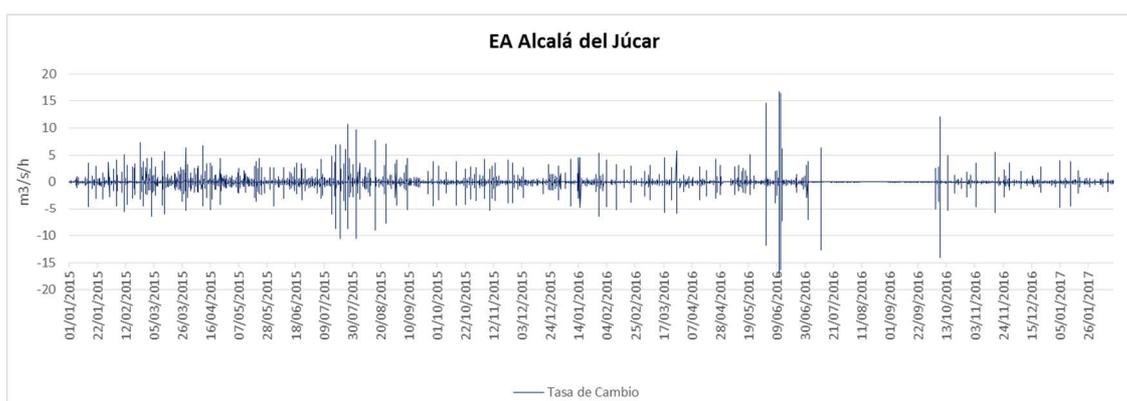


Gráfico 30. Tasas de cambio en la EA Alcalá del Júcar (ROEA 8144) en el periodo 01/01/2015-31/01/2017

Víllora

Por último, se analizan los datos de la estación de aforo de Víllora en el Cabriel. Si bien el aprovechamiento de Lucas de Urquijo es uno de los de mayor potencia, no es posible cuantificar su acción real sobre el régimen hidrológico del río. Lo ideal sería conocer cuáles son los caudales diarios en el Cabriel aguas abajo del embalse de Víllora (antes y después del Salto de Víllora), y los del Guadazaón (a la salida del embalse del Batanejo y después del salto de la central del Batanejo). Los registros antes de los saltos permitirían conocer el régimen de caudales que no se deriva (si es nulo o si se cumple un caudal ecológico), de la misma forma que en la Toba o en Molinar no se conocen. Los de después de los saltos nos permitirían estudiar las tasas de cambio, como se ha hecho en las anteriores estaciones de aforo.

En cambio en este caso los datos con los que se cuentan corresponden a una estación en el río Cabriel en el pequeño tramo entre los embalses del Bujioso y Víllora. Como se explicó en la descripción de las infraestructuras, el embalse de Víllora fue construido para suministrar los caudales a la central de Lucas de Urquijo (Salto de Víllora), y posteriormente el embalse del Bujioso, aguas arriba del anterior, aumentó la capacidad de regulación. Por tanto los datos no son determinantes ya que se tratan de las tasas de cambio entre un embalse y su contraembalse, no aguas abajo del aprovechamiento en sí.

En ese tramo, como se observa en el Gráfico 31, las tasas de cambio son las mayores de todas las estudiadas, superando ampliamente los límites marcados en la memoria del PHJ15-21, que establece una máxima tasa de cambio ascendente de $4.46 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$ y una máxima tasa de cambio descendente de $-4.47 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$, para toda la cabecera del Cabriel hasta el embalse de Alarcón. La cuestión es, como se ha planteado, si estas tasas de cambio se deben a la existencia de un contraembalse o también son de tal magnitud aguas abajo del aprovechamiento.

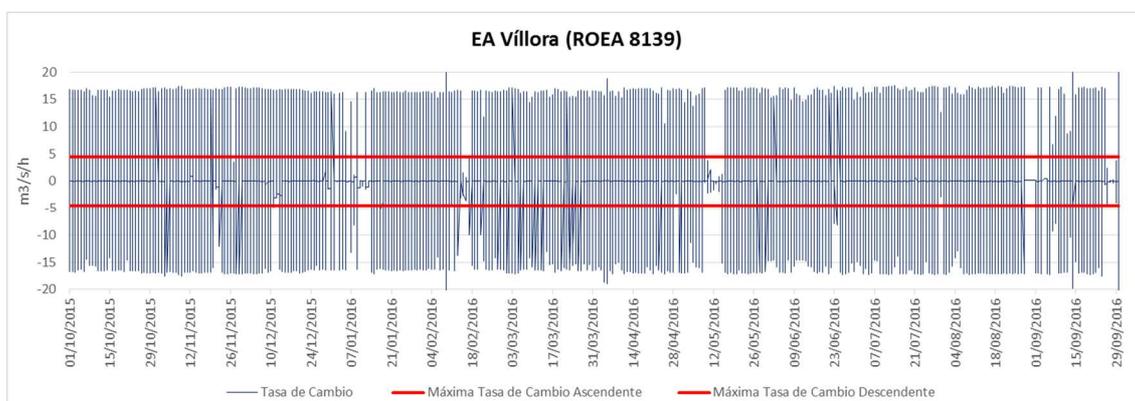


Gráfico 31. Tasas de cambio en la EA Víllora (ROEA 8139) en el periodo 01/10/2015-30/09/2016

4. Metodología

En este apartado se pretende describir el proceso llevado a cabo para establecer una metodología que evalué la alteración hidrológica de forma válida para el caso concreto de estudio.

4.1 Metodologías existentes para la evaluación de la alteración hidrológica

Las metodologías existentes se basan en la comparación del régimen hidrológico en estado natural (previo a la aparición de alteraciones) con el régimen hidrológico existente, mediante una serie de indicadores de alteración hidrológica. En lo relativo a estos indicadores, existen principalmente dos propuestas, los Indicators of Hydrologic Alteration (IHA), y los Indicadores de Alteración Hidrológica en Ríos (IAHRIS). En ambos casos, existe un software que mediante la introducción de las series hidrológicas, determina el valor de los indicadores. La idea de este trabajo no es utilizar este software (que como se verá más adelante no se puede aplicar para el caso de estudio), sino elaborar una metodología basada en el mismo.

4.1.1 Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)

Este método, de origen estadounidense, ha sido desarrollado por los investigadores de la organización The Nature Conservancy (Richter et al., 1996; 1997; 1998).

El documento que se analiza es el manual de usuario de la versión 7.1 del software, publicado en castellano en junio de 2011. Se proponen 33 parámetros (Tabla 4), calculados a partir de las series de caudales diarios. La ventaja de este software es la flexibilidad que presenta a la hora de establecer los valores límites de los indicadores según los que se determina el resultado de la evaluación, aunque esta no es una ventaja en este caso, ya que no se plantea utilizar el software.

El principal inconveniente de este método es la fuerte dependencia que tienen los parámetros respecto a las series diarias, es decir, no se pueden adaptar para una situación en la que haya que utilizar series mensuales al no existir diarias. Este factor sí será condicionante en este estudio.

El valor de los indicadores se obtiene calculando los parámetros seleccionados en los dos regímenes (natural y alterado), su media y su desviación típica, para comparar los 66 estadísticos y expresar el índice de alteración como porcentaje de la desviación del régimen alterado respecto al natural (distinguiendo valores positivos y negativos).

Grupo de parámetros IHA	Parámetros Hidrológicos	Influencias del ecosistema
1. Magnitud de las condiciones hidrológicas mensuales	Valor de la media o la mediana para cada mes del calendario ----- Subtotal 12 parámetros	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad del hábitat para organismos acuáticos - Disponibilidad de humedad del suelo para las plantas - Disponibilidad de agua para los animales terrestres - Disponibilidad de alimentos/cobertura para mamíferos con pelo - Confiabilidad del abastecimiento de agua para los animales terrestres - Acceso de los depredadores a los sitios de anidación - Influye en la temperatura del agua, los niveles de oxígeno y la fotosíntesis en la columna de agua
2. Magnitud y duración de las condiciones hidrológicas extremas anuales	Mínimos anuales, media de 1 día Mínimos anuales, medias de 3 días Mínimos anuales, medias de 7 días Mínimos anuales, medias de 30 días Mínimos anuales, medias de 90 días Máximos anuales, media de 1 día Máximos anuales, medias de 3 días Máximos anuales, medias de 7 días Máximos anuales, medias de 30 días Máximos anuales, medias de 90 días Cantidad de días con caudal cero Índice de flujo de base: caudal mínimo de 1 días/caudal medio anual ----- Subtotal 12 parámetros	<ul style="list-style-type: none"> - Equilibrio de organismos competitivos, ruderales y tolerantes a las presiones - Creación de sitios para la colonización de plantas - Estructuración de los ecosistemas acuáticos por factores abióticos vs. bióticos - Estructuración de la morfología del canal del río y las condiciones físicas del hábitat - Estrés de la humedad del suelo en las plantas - Deshidratación en los animales - Estrés anaeróbico en las plantas - Volumen del intercambio de nutrientes entre los ríos y las planicies de inundación - Duración de las condiciones de presión tales como bajo nivel de oxígeno y concentración de químicos en los ambientes acuáticos - Distribución de las comunidades de plantas en lagos, estanques y planicies de inundación - Duración de los caudales altos para la eliminación de residuos, aeración de los lechos de desove en los sedimentos del canal
3. Momento de las condiciones hidrológicas extremas anuales	Fecha juliana de cada máximo anual de 1 día Fecha juliana de cada mínimo anual de 1 día ----- Subtotal 2 parámetros	<ul style="list-style-type: none"> - Compatibilidad con los ciclos de vida de los organismos - Predictibilidad/evitabilidad del estrés en los organismos - Acceso a hábitats especiales durante la reproducción o para evitar la depredación - Indicios para el desove de los peces migratorios - Evolución de las estrategias de los ciclos biológicos, mecanismos de comportamiento

<p>4. Frecuencia y duración de los pulsos altos y bajos</p>	<p>Cantidad de pulsos bajos en cada año hidrológico Media o mediana de la duración de los pulsos bajos (días) Cantidad de pulsos altos en cada año hidrológico Media o mediana de la duración de los pulsos altos (días)</p> <hr/> <p>Subtotal 4 parámetros</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia y magnitud del estrés de la humedad del suelo sobre las plantas - Frecuencia y magnitud del estrés anaeróbico sobre las plantas - Disponibilidad de hábitats en las planicies de inundación para organismos acuáticos - Intercambios de nutrientes y de materia orgánica entre el río y las planicies de inundación - Disponibilidad de minerales del suelo Acceso a sitios de alimentación, descanso y reproducción para las aves acuáticas - Influye en el transporte de las cargas del fondo, la textura de los sedimentos del canal y la duración de las perturbaciones del sustrato (pulsos altos)
<p>5. Tasa y frecuencia de los cambios de las condiciones hidrológicas</p>	<p>Tasas de ascenso: Media o mediana de todas las diferencias positivas entre valores diarios consecutivos Tasas de descenso: Media o mediana de todas las diferencias negativas entre valores diarios consecutivos Cantidad de inversiones hidrológicas</p> <hr/> <p>Subtotal 3 parámetros</p> <hr/> <p>Total 33 parámetros</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Estrés de la sequía en las plantas (niveles decrecientes) - Atrapamiento de los organismos en las islas, planicies de inundación (niveles crecientes) - Estrés por la desecación de los organismos de baja movilidad en el borde de la corriente (varial zone)

Tabla 4. Resumen de parámetros IHA y sus influencias en el ecosistema

Además, como se observa en la tercera columna de la Tabla 4, el manual describe la influencia en el ecosistema de cada grupo de parámetros, analizando para cada uno de ellos las características del medio que dependen de su estado (significación ambiental).

4.1.2 Indicadores de Alteración Hidrológica en Ríos (IAHRIS)

Este método, de origen español, ha sido desarrollado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), financiado por la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente. En concreto por Carolina Martínez Santa-María y José Anastasio Fernández Yuste.

El documento que se analiza es el Manual de referencia metodológica, correspondiente al software IAHRIS 2.2, de abril de 2010. Se proponen 19 parámetros (Tabla 5), siendo los tres primeros calculados a partir de las series de aportaciones mensuales y el resto a partir de las series de caudales diarios. Si bien este software presenta más rigidez que el anterior, como ya se precisó este factor no va a ser significativo de cara a este estudio.

Este método se plantea como el primer procedimiento que permita hacer una valoración objetiva de la alteración producida por el aprovechamiento de los recursos hídricos de la red fluvial, ya que indica que los parámetros utilizados en EEUU (IHA) no contemplan las peculiaridades del régimen mediterráneo.

Tabla 5. Resumen de parámetros IAHRIS

COMPONENTE DEL RÉGIMEN		ASPECTO	PARÁMETRO	
VALORES HABITUALES	APORTACIONES ANUALES Y MENSUALES	MAGNITUD	Media de las aportaciones anuales	Por tipo de año Año húmedo Año medio Año seco AÑO PONDERADO (P1)
		VARIABILIDAD	Diferencia entre la aportación mensual máxima y mínima en el año	Por tipo de año Año húmedo Año medio Año seco AÑO PONDERADO (P2)
		ESTACIONALIDAD	Mes de máxima y mínima aportación del año	Por tipo de año (P3) Año húmedo Año medio Año seco
	CAUDALES DIARIOS	VARIABILIDAD	Diferencia entre los caudales medios correspondientes a los percentiles de excedencia del 10% y 90%	Por tipo de año (P4) Año húmedo Año medio Año seco
		MAGNITUD Y FRECUENCIA	Media de los máximos caudales diarios anuales Caudal Generador del Lecho Caudal de conectividad Caudal de la avenida habitual (Q 5%)	Qc (P5) QGL (P6) QCONNECT (P7) Q 5% (P8)
		VARIABILIDAD	Coefficiente de variación de máximos caudales diarios anuales Coefficiente de variación de la serie de avenidas habituales	CV (Qc) (P9) CV (Q 5%) (P10)
VALORES EXTREMOS	VALORES MÁXIMOS de caudales diarios (AVENIDAS)	DURACIÓN	Máximo nº días consecutivos al año con q>Q 5%	Duración avenidas (P11)
		ESTACIONALIDAD	Nº medio de días al mes con q>Q 5%	12 valores (uno para cada mes) (P12)
		MAGNITUD Y FRECUENCIA	Media de los mínimos caudales diarios anuales Caudal de sequía habitual (Q 95%)	Qs (P13) Q 95% (P14)
	VALORES MÍNIMOS de caudales diarios (SEQUÍAS)	VARIABILIDAD	Coefficiente de variación de mínimos caudales diarios anuales Coefficiente de variación de la serie de sequías habituales	CV (Qs) (P15) CV (Q 95%) (P16)
		DURACIÓN	Máximo nº días consecutivos al año con q>Q 95%	Duración sequías (P17)
		ESTACIONALIDAD	Número medio de días al mes con caudal diario nulo	12 valores (uno para cada mes) (P18)
				12 valores (uno para cada mes) (P19)

Los parámetros se clasifican en valores habituales, valores extremos máximos (avenidas) y valores extremos mínimos (sequías). Además para cada uno de estos tipos, se establecen cinco aspectos que de forma generalizada se seleccionan como los de mayor significancia ambiental:

- Magnitud: ya que determina la disponibilidad general de agua en el ecosistema.
- Frecuencia con la que un evento se produce en un intervalo de tiempo dado: indicativa de la variabilidad en el régimen de caudales y condicionante de la dinámica geomorfológica y ecológica y por ende de la diversidad.
- Duración o intervalo de tiempo asociado con unas determinadas condiciones de flujo: en situaciones extremas, avenidas y sequías, la duración está íntimamente ligada a los umbrales de resiliencia de las diferentes especies.
- Estacionalidad: o regularidad con la que ese evento acontece en una época determinada del año. Es un aspecto vinculado estrechamente y en sincronía con los ciclos de vida de las especies (fluviales, de estuarios y marinas).

- Tasas de cambio: referente a la rapidez con la que se producen los cambios de unas magnitudes a otras, afectando a la capacidad de respuesta de la biota.

En cuanto al cálculo de los indicadores, este método establece unas pautas distintas al IHA:

- En la mayoría de los casos, se determina el indicador como la media aritmética de los valores de los cocientes de parámetros (en régimen natural y régimen alterado) para cada año.
- Los indicadores están comprendidos entre 0 y 1, representando el 0 la alteración total, y el 1 el estado inalterado. En los casos en los que el valor del indicador sea superior a 1, se cambia este valor por su inverso.
- Para los valores habituales, se clasifican todos los años en húmedo, medio y seco. Un año es húmedo si su aportación anual es mayor a la correspondiente al percentil 25 del régimen natural. De la misma forma, los años medios son los comprendidos entre los percentiles 25 y 75, y los secos los valores menores al percentil 75. Se calcula un indicador para cada tipo de año y se obtiene el total a partir de la media ponderada.

$$IAHRIS_{total} = 0.25 IAHRIS_{húmedo} + 0.5 IAHRIS_{medio} + 0.25 IAHRIS_{seco}$$

4.2 Herramientas

La primera cuestión a determinar es la caracterización de los regímenes natural y alterado. En estos estudios lo habitual es contar con un modelo que represente el régimen natural, y unos registros de valores medidos que representen el régimen alterado.

En este caso para caracterizar el régimen natural, como ya se describió en el apartado de presiones, se cuenta con el modelo PATRICAL, que simula de forma espacial y temporal los caudales que existirían en los cauces si no se dieran los usos y presiones existentes. De la misma forma, para caracterizar el régimen alterado, se cuenta con los registros de la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) y los de los elementos de medición situados en el cuerpo de presa (GESHIDRO).

Estas son las dos herramientas básicas con las que se lleva a cabo este estudio, además de los propios indicadores.

4.3 Diseño de la metodología

4.3.1 Elección de la metodología en base a las ya existentes

Mientras que para el régimen alterado existen series anuales, mensuales y horarias, las series de PATRICAL solo tienen un alcance mensual, no existen series de datos diarios en régimen natural. Sin duda este es el factor que más condiciona el desarrollo del estudio, ya que los indicadores de alteración hidrológica descritos previamente se determinan a partir de las series diarias. Este factor imposibilita la utilización de ninguno de los dos software, y plantea la necesidad de adaptar en la medida de lo posible los indicadores a escala mensual.

De entre las dos propuestas de indicadores, los IAHRIS presentan la posibilidad de adaptación a escala mensual (algunos indicadores, no todos), mientras que en los IHA difícilmente se plantea la posibilidad de adaptación por su gran dependencia de los valores diarios. Además se presupone que esta metodología contempla las peculiaridades del régimen mediterráneo y es muy interesante su clasificación de parámetros en función de los aspectos de magnitud, variabilidad, estacionalidad y duración. El método IHA también está basado en estos aspectos pero no los señala de forma tan específica.

También es cierto que el método IAHRIS tal como se ha descrito no contempla el aspecto de las tasas de cambio, pero en el manual existe un parámetro referido a este aspecto, que el software no es capaz de calcular, ya que se determina a partir de las series horarias, pero que sí será utilizado en este estudio para la evaluación de la alteración hidrológica producida por los aprovechamientos hidroeléctricos.

4.3.2 Justificación de la validez de usar series mensuales

En este apartado se pretende justificar la validez de usar series mensuales en lugar de series diarias para calcular los indicadores de alteración hidrológica.

Para parámetros obtenidos a partir de medias (aportaciones anuales, mensuales, meses de mayor o menor aportación) es indiferente utilizar series diarias o mensuales.

La cuestión es si se puede establecer una equivalencia entre otros parámetros. Para las series de máximos o mínimos caudales diarios anuales, no existe ninguna relación proporcional con las series de máximos o mínimos caudales mensuales anuales, por lo que todos los indicadores de este tipo o lo que dependan de estos parámetros (caudal generador de lecho y caudal de conectividad), no se podrán determinar usando las series mensuales. Los indicadores de duración tampoco se

pueden adaptar a escala mensual (número de días consecutivos al año), por lo que este aspecto quedará fuera del estudio.

Por otra parte, comparando las curvas de caudales clasificados en puntos de la cabecera donde no existen alteraciones en el régimen, se comprueba que ambas curvas coinciden, excepto por encima del Q2 y por debajo del Q98, en los que como es de esperar, los valores diarios son más extremos que los mensuales (Gráfico 32 y Gráfico 33). Por lo tanto, los parámetros obtenidos a partir de la curva de caudales clasificados sí se pueden adaptar de escala diaria a escala mensual, ya que los valores con los que se trabaja están comprendidos dentro del intervalo de coincidencia.

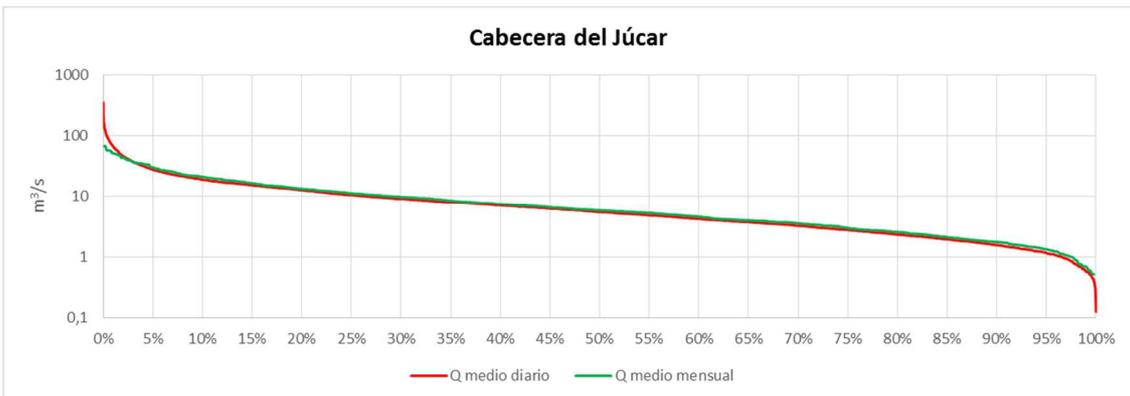


Gráfico 32. Curvas de caudales clasificados diaria y mensual en la EA Cuenca (8032)

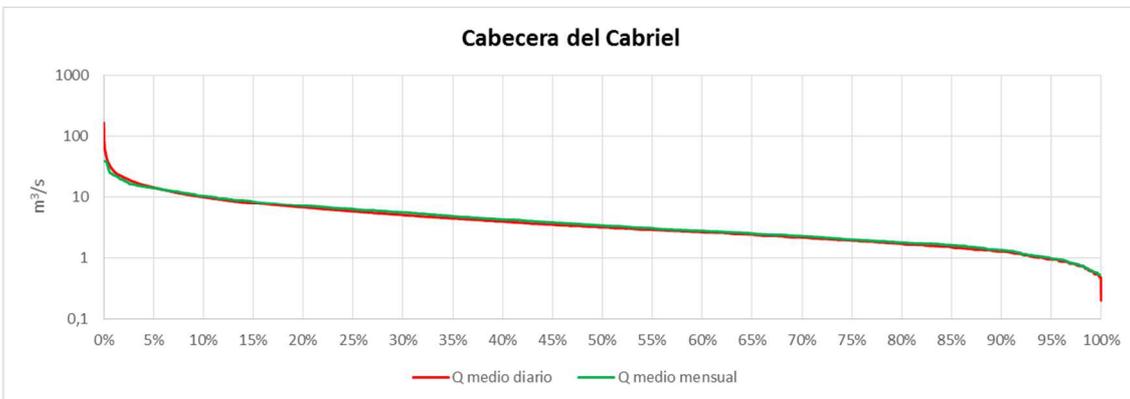


Gráfico 33. Curvas de caudales clasificados diaria y mensual en la EA Pajaroncillo (8090)

4.3.3 Descripción de los parámetros e indicadores

En este apartado se describen los parámetros que se utilizarán para la evaluación de la alteración hidrológica en este estudio, basados en los IAHRIS, y cómo se determinarán los indicadores de alteración hidrológica (que a partir de ahora se denominarán IAH) a partir de dichos parámetros.

Las principales diferencias entre la metodología IAHRIS y la que se va a aplicar, es la adaptación de los parámetros a escala mensual, como ya se ha explicado previamente, y el cálculo de los indicadores a partir de los valores medios de los

parámetros para cada periodo (los periodos de estudio serán definidos más adelante), y no el cálculo de un indicador para cada año, como plantea IAHRIS. Dicho de otra forma, para cada periodo se elaborará un año representativo, del que se determinarán dos parámetros (uno correspondiente al régimen natural y otro al régimen alterado) a partir de los cuales se calculará el IHA.

En la Tabla 6 se enumeran los 12 indicadores IAH que se utilizarán en este estudio para evaluar la alteración hidrológica, junto con el parámetro a partir del que se obtienen.

Clasificación	Aspecto	Código	Nombre	Parámetro
VALORES HABITUALES	Magnitud	IAH 1	Índice de Magnitud de las aportaciones anuales	Media de las aportaciones anuales
		IAH 2	Índice de Magnitud de las aportaciones mensuales	Media de las aportaciones mensuales
	Variabilidad	IAH 3	Índice de Variabilidad habitual	Q10-Q90
		IAH 4	Índice de Variabilidad extrema	Diferencia entre la aportación mensual máxima y mínima
	Estacionalidad	IAH 5	Índice de Estacionalidad de máximos	Mes de máxima aportación del año
		IAH 6	Índice de Estacionalidad de mínimos	Mes de mínima aportación del año
VALORES EXTREMOS MÁXIMOS	Magnitud	IAH 7	Índice de Magnitud de las avenidas habituales	Caudal de avenida habitual (Q5)
	Variabilidad	IAH 8	Índice de Variabilidad de las avenidas habituales	Coefficiente de variación de la serie de avenidas habituales
	Estacionalidad	IAH 9	Índice de Estacionalidad de avenidas	Número de años con Q>Q5 para cada mes
VALORES EXTREMOS MÍNIMOS	Magnitud	IAH 10	Índice de Magnitud de las sequías habituales	Caudal de sequía habitual (Q95)
	Variabilidad	IAH 11	Índice de Variabilidad de las sequías habituales	Coefficiente de variación de la serie de sequías habituales
	Estacionalidad	IAH 12	Índice de Estacionalidad de sequías	Número de años con Q<Q95 para cada mes

Tabla 6. Resumen de los indicadores utilizados en este estudio

Como contempla el método IAHRIS, los indicadores tendrán un valor comprendido entre 0 y 1, siendo 0 la alteración total y 1 el estado inalterado. En el caso en el que el valor del indicador sea superior a 1, se cambiará por su valor inverso. A continuación, en la Tabla 7 se muestran los distintos estados en los que se clasificarán los indicadores según su valor tras la evaluación. El nivel 1 se corresponde con un muy buen estado, el nivel 2 con un buen estado, el nivel 3 con un estado moderado, el nivel 4 con un estado deficiente y el nivel 5 con un estado malo.

Estatus Hidrológico				
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
$1 < IAH < 0.8$	$0.8 < IAH < 0.6$	$0.6 < IAH < 0.4$	$0.4 < IAH < 0.2$	$0.2 < IAH < 0$

Tabla 7. Estados de alteración según el valor del indicador

IAH 1. Índice de Magnitud de las aportaciones anuales

Cociente entre la media de las aportaciones anuales en régimen natural y en régimen alterado. De la misma forma que para el resto de indicadores relativos a los valores habituales, se determinan tres indicadores, uno para los años húmedos, otro para los medios y otro para los secos, a partir de los cuales se determina el indicador total, mediante una media ponderada. Este procedimiento fue descrito en el apartado en el que se describe el método IAHRIS (4.1.2). En los siguientes indicadores se obvia este comentario, pero es válido para todos los indicadores relativos a los valores habituales.

IAH 2. Índice de Magnitud de las aportaciones mensuales

Cociente entre la media de las aportaciones mensuales para cada mes del año en régimen natural y en régimen alterado. Se determina un valor para cada mes, siendo el indicador la media de los 12 meses.

IAH 3. Índice de Variabilidad habitual

A partir de la curva de caudales clasificados construida con las aportaciones mensuales, se determina por la diferencia entre los valores de los percentiles 10 y 90, tanto para régimen natural como alterado, y se calcula su cociente.

IAH 4. Índice de Variabilidad extrema

Cociente de la diferencia entre las aportaciones mensuales máxima y mínima, para régimen natural como alterado.

IAH 5. Índice de Estacionalidad de máximos

Se determina el número de meses de desfase entre los meses de máxima aportación del año para régimen natural y alterado, siendo 6 el máximo desfase posible. El indicador se calcula con la siguiente fórmula:

$$IAH5 = 1 - \frac{n^{\circ} \text{ meses de desfase}}{6}$$

IAH 6. Índice de Estacionalidad de mínimos

Se determina el número de meses de desfase entre los meses de mínima aportación del año para régimen natural y alterado, siendo 6 el máximo desfase posible. El indicador se calcula con la siguiente fórmula:

$$IAH6 = 1 - \frac{n^{\circ} \text{ meses de desfase}}{6}$$

IAH 7. Índice de Magnitud de las avenidas habituales

Cociente de los caudales de avenida habitual (que se establece en Q5, de acuerdo al método IAHRIS) en régimen natural y régimen alterado. La curva de caudales clasificados se construye a partir de los datos de caudales medios mensuales de todo el periodo.

IAH 8. Índice de Variabilidad de las avenidas habituales

Cociente de los coeficientes de variación de los caudales de avenida habitual en régimen natural y régimen alterado.

IAH 9. Índice de Estacionalidad de avenidas

Para cada mes, se determina el número de años que el caudal medio mensual supera al caudal de avenida habitual, tanto para régimen natural como régimen alterado. El indicador mensual se calcula a partir de la diferencia entre ambos valores, estableciendo que si esta supera el valor de 5, el indicador es 0. El indicador total se corresponde con la media de los 12 valores mensuales.

$$IAH9_{mensual} = \frac{5 - ABS(Natural - Alterado)}{5}$$

IAH 10. Índice de Magnitud de las sequías habituales

Cociente de los caudales de sequía habitual (que se establece en Q95, de acuerdo al método IAHRIS) en régimen natural y régimen alterado. La curva de caudales clasificados se construye a partir de los datos de caudales medios mensuales de todo el periodo.

IAH 11. Índice de Variabilidad de las sequías habituales

Cociente de los coeficientes de variación de los caudales de sequía habitual en régimen natural y régimen alterado.

IAH 12. Índice de Estacionalidad de sequías

Para cada mes, se determina el número de años que el caudal medio mensual es inferior al caudal de sequía habitual, tanto para régimen natural como régimen alterado. El indicador mensual se calcula a partir de la diferencia entre ambos valores, estableciendo que si esta supera el valor de 5, el indicador es 0. El indicador total se corresponde con la media de los 12 valores mensuales.

$$IAH12_{mensual} = \frac{5 - ABS(Natural - Alterado)}{5}$$

4.3.4 Delimitación de los periodos de estudio

Para un desarrollo y una comprensión más sencillos, se establecen unos periodos de estudio concretos que se aplicarán en todos los puntos de estudio. La idea a la hora de establecer los periodos es que su comienzo presente la aparición de un

nuevo uso o presión, dando prioridad a las existentes en los principales ríos de la cuenca, el Júcar y el Cabriel. Como se justificó en el apartado relativo a los usos y presiones, las principales que afectan al régimen mensual en estos ríos son el embalses de Alarcón, Contreras y Tous, las extracciones de la Mancha Oriental, y las derivaciones para regadíos en el tramo bajo del Júcar. Teniendo en cuenta que esta última presión se remonta siglos atrás, y que el estudio comenzará en el año hidrológico 1940/41 por ser el primero en el que comienzan las series de PATRICAL, se establecen los siguientes periodos (Tabla 8):

Usos y Presiones	Periodo															
	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Embalse Alarcón																
Extracciones MO																
Embalse Contreras																
Embalse Tous																
Derivaciones Regadíos Tradicionales																
Embalse Bellús																
Extracciones Cuenca Magro																
Embalse Forata																

Tabla 8. Línea del tiempo con las presiones que alteran el régimen hidrológico a escala mensual en las masas de estudio

Periodo 1. 1940-1949

Este primer periodo se corresponde con el régimen natural en todas las masas de estudio, a excepción de la parte baja del Júcar, donde ya existían los regadíos tradicionales. Si bien es cierto que en un principio la primera presión, el embalse de Alarcón, no entra en juego hasta 1955, se decide marcar 1949 como año final al observarse unas irregularidades en la serie de aguas abajo de Alarcón a partir de 1950.

Periodo 2. 1950-1979

El periodo 2 determinará la alteración producida por el embalse de Alarcón aguas abajo del mismo. En este periodo en el río Cabriel sigue existiendo un régimen natural. A pesar de que el embalse de Contreras se termina en 1975, se dejan unos años de margen hasta que se comienza a regular considerablemente a escala intraanual.

Periodo 3. 1980-1999

En este periodo, se pone en servicio el embalse de Contreras y comienzan las extracciones de la Mancha Oriental.

Periodo 4. 2000-2015

En este periodo se pone en servicio el nuevo embalse de Tous.

4.4 Problemas al aplicar la metodología prevista. Corrección de la misma

Antes de realizar una evaluación completa en toda la cuenca, se prueba la metodología desarrollada en los puntos más significativos para observar su comportamiento.

4.4.1 Evaluación de la alteración hidrológica usando un modelo como caracterización del régimen natural

En este tipo de estudios, como ya se explicó anteriormente, lo usual es utilizar un modelo para caracterizar el régimen natural, en este caso PATRICAL. El problema es que utilizar un modelo nunca tendrá la misma validez que utilizar datos reales, registrados por alguna unidad de control. Y no solo es cuestión de la teórica validez, sino el hecho de que en ocasiones pueden existir desajustes entre el modelo y la realidad, y esos desajustes acarrearían unos resultados no válidos.

Al aplicar la metodología descrita, con las series mensuales de PATRICAL para caracterizar al régimen natural, y las series mensuales de la ROEA para caracterizar al régimen alterado, se observan algunos resultados incoherentes. Para probar la metodología solo se calculan los indicadores relativos a los valores habituales, una vez que la metodología se dé por válida, se calcularán los relativos a los valores extremos.

EA Cuenca ROEA 8032			Periodo 1 1940-1949	Nivel	Periodo 2 1950-1979	Nivel	Periodo 3 1980-1999	Nivel	Periodo 4 2000-2015	Nivel
VALORES HABITUALES	Magnitud	IHA 1	0,60	3	0,87	1	0,89	1	0,86	1
		IHA 2	0,61	2	0,75	2	0,74	2	0,71	2
	Variabilidad	IHA 3	0,50	3	0,64	2	0,63	2	0,68	2
		IHA 4	0,41	3	0,55	3	0,60	2	0,60	3
	Estacionalidad	IHA 5	0,71	2	0,92	1	0,88	1	0,58	3
		IHA 6	0,71	2	1,00	1	0,96	1	1,00	1

Tabla 9. Resultados en la EA Cuenca (ROEA 8032) tras aplicar la metodología inicial utilizando PATRICAL como caracterizador del régimen natural

Como se observa en la Tabla 9, es incoherente que tratándose de un punto de estudio en un tramo inalterado, en el que teóricamente existe un régimen natural, se obtengan unos resultados tan desfavorables.

En el Gráfico 34 se comprueba que existen unos desajustes con el modelo que dan lugar a estos resultados, con numerosos indicadores que presentan un estado bueno o moderado, cuando en teoría debería ser muy bueno, al no existir alteración alguna.

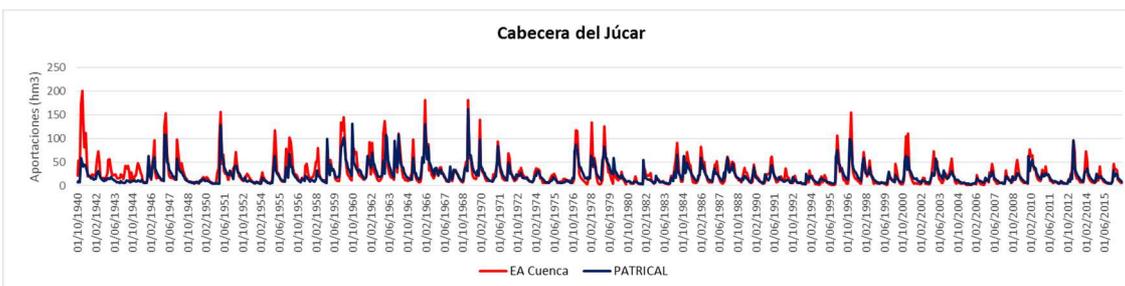


Gráfico 34. Comparativa de las series de aportaciones mensuales EA Cuenca (ROEA 8032 y PATRICAL)

En este punto, y en muchos otros, principalmente en el Júcar, se observa sobre todo un severo desajuste entre los caudales registrados y el modelo en los cinco primeros años de la serie, entre los años hidrológicos 1940/41 y 1944/45. Este desajuste se achaca a la falta de calentamiento del modelo, al no existir datos registrados los diez años previos en la mayoría de estaciones de aforo por el contexto sociopolítico (Guerra Civil), como ya se adelantó en el apartado dedicado a las presiones.

Si el desajuste solo se circunscribiera a este periodo, se podría comenzar el estudio en 1945, o incluso eliminar el Periodo 1, ya que lo que se pretende es analizar la alteración producida por los usos y presiones, y sería totalmente comprensible comenzar en el momento en el que estos aparecen. El problema es que en los demás periodos se siguen obteniendo resultados que no son aceptables. Si bien en la estación de aforo de Cuenca se pudieran asociar los resultados a una alteración producida por el embalse de la Toba, basta con observar la Tabla 10 (los registros en la estación de aforo de Pajaroncillo no comienzan hasta 1967) para comprobar que incluso en un punto aguas arriba de este embalse, en la estación de aforo de Pajaroncillo, en un tramo de cabecera que sin lugar a dudas tiene un régimen natural, vuelven a darse estos resultados incoherentes, numerosos indicadores con un estado bueno y uno con estado moderado, cuando deberían reflejar todos un estado muy bueno.

Venta de Juan Romero ROEA 8126			Periodo 1 1940-1949	Nivel	Periodo 2 1950-1979	Nivel	Periodo 3 1980-1999	Nivel	Periodo 4 2000-2015	Nivel
VALORES HABITUALES	Magnitud	IAH 1	-	-	0,81	1	0,76	2	0,79	2
		IAH 2	-	-	0,76	2	0,69	2	0,73	2
	Variabilidad	IAH 3	-	-	0,86	1	0,78	2	0,66	2
		IAH 4	-	-	0,96	1	0,86	1	0,56	3
	Estacionalidad	IAH 5	-	-	0,83	1	0,96	1	1,00	1
		IAH 6	-	-	0,88	1	0,88	1	1,00	1

Tabla 10. Resultados en la EA Venta de Juan Romero (ROEA 8126) tras aplicar la metodología inicial utilizando PATRICAL como caracterizador del régimen natural

El hecho de que este patrón se repita en toda la cuenca, lleva a desestimar la validez de la metodología hasta ahora planteada. En este punto del estudio se obtiene una de las conclusiones más importantes de este trabajo. Evaluar la alteración hidrológica usando un software al que se le entregan unos inputs, y

que nos devuelve un gran número de tablas con muchos valores y colores, sin conocer cuál ha sido el proceso intermedio por el que se han obtenido esos resultados, puede llevar en muchos casos a obtener resultados que no reflejan la alteración que realmente existe. Ya sea por desajustes del modelo, por errores evidentes en las series registradas que no se detectan, o por cualquier otro factor que se derive de no haber trabajado las series y el proceso de cálculo de los indicadores.

Esta conclusión supone un punto de inflexión en este trabajo, ya que a partir de este momento al objetivo de evaluar la alteración hidrológica en el la cuenca del río Júcar se suma el de elaborar de una alternativa a las metodologías existentes que procure unos resultados acordes a la alteración real.

4.2.2 Evaluación de la alteración hidrológica usando registros aforados como caracterización del régimen natural

La primera alternativa que se plantea es usar datos registrados en las estaciones de aforo para caracterizar el régimen natural. Estos datos tendrían que corresponderse con mediciones previas a la existencia de alteraciones, es decir, a periodos en los que para cada punto el régimen fuera el natural.

La determinación de un periodo en régimen natural y su posterior comparación con otros periodos en los que el régimen esté alterado supone dotar de una mayor validez al estudio, al usar en todo momento datos reales. Además, de esta forma se cuenta con datos a escala diaria tanto para régimen natural como para régimen alterado, lo que posibilita la determinación de todos y cada uno de los indicadores IAHRIS sin necesidad de la adaptación a escala mensual que requería la anterior metodología.

El principal inconveniente que plantea esta metodología es que solo se puede evaluar la alteración hidrológica en aquellos puntos en los que exista un periodo con registros de caudales que no se hayan visto alterados por ningún uso o presión.

Esto reduce en cierta medida los puntos en los que se puede realizar esta evaluación, pero aún siguen existiendo suficientes para poder cuantificar el efecto que han producido las afecciones sobre el régimen hidrológico en las principales masas de agua de la cuenca, a excepción del río Albaida, en el que no existen registros previos a la construcción del embalse de Bellús. Además, tampoco se podría evaluar la alteración hidrológica en el Júcar aguas abajo de Tous, ya que los regadíos tradicionales se remontan siglos atrás y por tanto no existen registros correspondientes a un régimen natural en este tramo. Una opción que se plantea para ampliar el número de puntos, y sobre todo para poder evaluar la alteración hidrológica en el Albaida y en el tramo bajo del Júcar es la

utilización de las series restituidas a régimen natural como caracterización del régimen natural, pero se descarta porque de la misma forma que un dato de modelo no tiene la misma validez que un dato real, un dato restituído tampoco.

Por lo tanto, el alcance espacial del estudio a partir de ahora se circunscribe a los ríos Júcar (hasta Tous), Cabriel y Magro. De esta forma se analiza el impacto de las principales presiones de la cuenca (embalses de Alarcón, Contreras y Tous, y extracciones del acuífero de la Mancha Oriental), y los problemas en el Magro debido a las extracciones del acuífero Requena-Utiel.

EA Cuenca ROEA 8032			Periodo 2 1950-1979	Nivel	Periodo 3 1980-1999	Nivel	Periodo 4 2000-2015	Nivel
VALORES HABITUALES	Magnitud	IAH 1	0,89	1	0,60	2	0,55	3
		IAH 2	0,80	1	0,56	3	0,52	3
	Variabilidad	IAH 3	0,90	1	0,55	3	0,51	3
		IAH 4	0,92	1	0,64	2	0,62	2
	Estacionalidad	IAH 5	0,88	1	0,58	3	1,00	1
		IAH 6	0,92	1	0,92	1	0,92	1
VALORES EXTREMOS MÁXIMOS (AVENIDAS)	Magnitud y Frecuencia	IAH 7	0,76	2	0,64	2	0,65	2
		IAH 8	0,85	1	0,83	1	0,85	1
		IAH 9	0,90	1	0,90	1	0,89	1
		IAH 10	0,80	2	0,75	2	0,71	2
	Variabilidad	IAH 11	0,85	1	0,82	1	0,76	2
		IAH 12	0,84	1	0,93	1	0,91	1
	Duración	IAH 13	0,96	1	0,84	1	0,96	1
	Estacionalidad	IAH 14	0,88	1	0,81	1	0,84	1
VALORES EXTREMOS MÍNIMOS (SEQUÍAS)	Magnitud y Frecuencia	IAH 15	0,72	2	0,27	4	0,34	4
		IAH 16	0,91	1	0,45	3	0,44	3
	Variabilidad	IAH 17	0,82	1	0,67	2	0,81	1
		IAH 18	0,97	1	0,80	2	0,98	1
	Duración	IAH 19	0,28	4	0,23	4	0,13	5
		IAH 20	0,73	2	0,84	1	0,81	1
	Estacionalidad	IAH 21	0,95	1	0,92	1	0,96	1

Tabla 11. Resultados en la EA Cuenca (ROEA 8032) utilizando indicadores IAHRIS y registros aforados diarios como caracterización de los regímenes natural y alterado

Tras aplicar la metodología descrita, utilizando la totalidad de los indicadores IAHRIS y el periodo 1940-1949 como periodo en régimen natural en toda la cuenca, se procede a interpretar los resultados para determinar si esta metodología es válida. Como se observa en la Tabla 11, de nuevo en la EA de Cuenca, en un tramo en régimen natural, destaca que para los valores habituales, en el Periodo 1 (1950-1979) sí se consiguen un muy buen estado para todos los indicadores, como es de esperar en un punto de estas características. Sin embargo, es un tanto extraño que con los muy buenos resultados para el Periodo 1, el Periodo 2 y el Periodo 3 presenten numerosos indicadores con un valor de estado bueno o sobre todo moderado. En un principio parece incoherente que si para un periodo los resultados son los esperados, en periodos posteriores en los que no se ha introducido ningún uso o presión aguas arriba, los resultados

empeoren tan severamente. Sin duda esto refleja que existe un error en esta metodología. De la misma forma que los indicadores relativos a los valores habituales no presentan resultados coherentes, se descarta que los resultados obtenidos para los relativos a los valores extremos sean válidos.

Ante esta situación la cuestión a determinar es el motivo por el que se produce esta incoherencia. Si esta alteración sobre el régimen hidrológico no tiene un origen antrópico, como se ha comprobado, es muy probable que su origen sea climático.

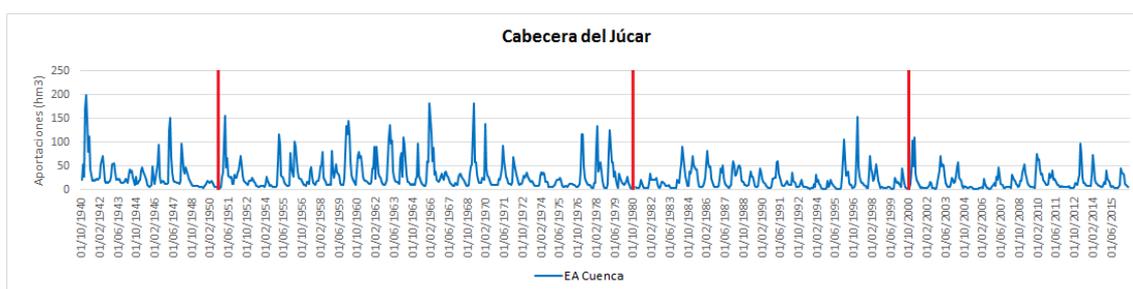


Gráfico 35. Serie de aportaciones mensuales EA Cuenca (ROEA 8032) con periodos de estudio

Observando el gráfico 35, se comprueba que la serie presenta una mayor cantidad de aportaciones en los dos primeros periodos, mientras que en los dos últimos, estas se ven reducidas. Este fenómeno ha sido detalladamente estudiado, y se conoce como Efecto 80 (Pérez-Martín y otros, 2013).

El Efecto 80 hace referencia a una reducción en la precipitación anual entorno a un 15% y 20% en la parte interior de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, donde se encuentran las cabeceras de sus principales ríos (Júcar Cabriel y Turia). Esto ha supuesto una reducción de un 40% en sus aportaciones. Principalmente se trata una reducción del régimen hidrológico en los meses de febrero y marzo, reduciendo la amplitud del mismo y adelantando el máximo del régimen hidrológico del mes de marzo al mes de enero. El punto de inflexión de este cambio se produce en el año hidrológico 1979/80, por lo cual recibe este nombre. Este cambio en el clima solo se produce en las zonas alejadas de la costa, por lo que estas reducciones no se dan en los tramos finales de los ríos afectados (Júcar y Turia).

De esta forma se comprueba que la nueva metodología propuesta no sirve para realizar una correcta evaluación de la alteración hidrológica que han producido los distintos usos y presiones en la cuenca del río Júcar.

4.4.3 Metodología combinada real respecto a real y modelo respecto a modelo

Finalmente, teniendo en cuenta todas las conclusiones obtenidas, se plantea una tercera metodología. Pese a los problemas por la superposición de las

alteraciones de origen climático y de origen antrópico, la última metodología es muy interesante a nivel teórico debido a la utilización en todo momento de datos registrados, por lo que se busca una corrección a esta metodología de forma que se pueda discriminar la alteración de origen climático de la alteración de origen antrópico.

Partiendo de la base de que aunque el modelo no sea una herramienta adecuada para compararla directamente con los valores reales, internamente sí que tiene un comportamiento homogéneo y sería muy útil para determinar cuál es la alteración de origen climático. Las series del modelo no están alteradas por acción antrópica, por lo que aplicando la misma metodología que en el apartado anterior, con los mismos periodos, pero en lugar de comparar registros reales con registros reales, comparar los datos del modelo con los datos del propio modelo. De esta forma se obtendría, para cada uno de los periodos, los valores de la alteración hidrológica de origen climático.

Combinando los resultados de la anterior metodología, que incluyen la alteración climática y antrópica, con estos resultados, que solo contemplan la climática, se puede determinar cuál es la alteración hidrológica causada por los usos y presiones existentes en la cuenca, calculando la diferencia entre ambos valores.

Esta metodología plantea una serie de limitaciones. Al usar PATRICAL, como en la metodología inicial, los indicadores no se pueden determinar a partir de datos diarios, por lo que no se pueden usar los IAHRIS en su totalidad, sino la adaptación a escala mensual elaborada anteriormente. Por ello son esos indicadores los que se han descrito con más precisión. De la misma forma, por usar PATRICAL, no se puede trabajar con un periodo de régimen natural 1940-1949, porque ya vimos que en muchos puntos los 5 primeros años no eran fiables por la falta de calentamiento del modelo. Por lo tanto se requiere una reordenación de los periodos de estudio. El periodo de comparación, en régimen natural, pasará de 1940-1949 a 1945-1954, y el Periodo 1 de 1950-1979 a 1955-1979, quedando el Periodo 2 y el Periodo 3 sin ningún cambio.

Al calcular el indicador en forma de diferencia (modelo/modelo-real/real), como se ha explicado, se invierte la correlación entre el valor y el nivel de estado hidrológico, pero el Nivel 1 seguirá correspondiendo con un muy buen estado, y de la misma forma los demás niveles. Como se verá a continuación en los resultados, existe la posibilidad de que el indicador tenga un valor negativo. En un principio se tiende a pensar que al comparar los datos registrados con registros, la alteración será mayor que al comparar el modelo con el modelo, al englobar el primer valor la alteración de origen antrópico y climático, y el segundo solo reflejar la de origen climático, por lo que la resta siempre sería positiva. Sin embargo, pueden darse casos en los que las alteraciones tengan un sentido opuesto. Un ejemplo es la mejor forma de comprenderlo:

- Supongamos que en un punto, para el periodo en régimen natural (el periodo de comparación), la media de las aportaciones anuales tiene el valor de 10 hm³.
- El cambio en la climatología hace que para el Periodo 3, las aportaciones se reduzcan un 40%, por lo que con este dato ya podemos determinar que el valor del indicador modelo/modelo, que sería 0.6 (es indiferente los valores que presente el modelo, lo importante es la relación).
- Una alteración antrópica situada aguas arriba del punto, como puede ser un embalse, hace que la aportación media anual para el Periodo 2 sea de 8 hm³ (por ejemplo el embalse ha ido acumulando una gran reserva de recursos en el Periodo 1, y en el Periodo 2 con una climatología más seca se demandan más caudales para regadío aguas en una zona aguas abajo y se producen grandes sueltas de caudales para abastecer esta demanda). Por tanto el valor del indicador real/real sería 0.8.
- Al determinar el valor definitivo del IAH (modelo/modelo-real/real), se obtendría un valor de -0.2, que sería equivalente a 0.2, ya que debiendo haber 6 hm³ por las variaciones climáticas, hay 8 hm³ por la acción antrópica.

Este es un ejemplo muy simplista y fácil de comprender, ya que el indicador es el más sencillo. En caso de otros indicadores más complejos es más difícil comprender el sentido físico del valor negativo del indicador, pero se puede justificar de la misma forma que en este ejemplo.

Estatus Hidrológico				
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
$0 < IAH < \pm 0.2$	$\pm 0.2 < IAH < \pm 0.4$	$\pm 0.4 < IAH < \pm 0.6$	$\pm 0.6 < IAH < \pm 0.8$	$\pm 0.8 < IAH < \pm 1$

Tabla 12. Estados de alteración según el valor del indicador (calculado por diferencia)

Se procede como en anteriores ocasiones, testando la metodología en los indicadores relativos a los valores habituales, para comprobar si los resultados son coherentes con lo esperado.

EA Cuenca ROEA 8032								
Real/Real		Periodo 1 1955-1979	Nivel	Periodo 2 1980-1999	Nivel	Periodo 3 2000-2015	Nivel	
VALORES HABITUALES	Magnitud	IAH 1	0,78	2	0,74	2	0,66	2
		IAH 2	0,73	2	0,66	2	0,62	2
	Variabilidad	IAH 3	0,76	2	0,74	2	0,64	2
		IAH 4	0,66	2	0,77	2	0,73	2
	Estacionalidad	IAH 5	0,88	1	0,63	2	0,96	1
		IAH 6	0,83	1	0,83	1	0,83	1

Modelo/Modelo		Periodo 1 1955-1979	Nivel	Periodo 2 1980-1999	Nivel	Periodo 3 2000-2015	Nivel	
VALORES HABITUALES	Magnitud	IAH 1	0,73	2	0,87	1	0,83	1
		IAH 2	0,72	2	0,71	2	0,74	2
	Variabilidad	IAH 3	0,82	1	0,65	2	0,60	3
		IAH 4	0,64	2	0,70	2	0,76	2
	Estacionalidad	IAH 5	0,83	1	0,75	2	0,71	2
		IAH 6	0,67	2	0,63	2	0,67	2

Modelo/Modelo - Real/Real		Periodo 1 1955-1979	Nivel	Periodo 2 1980-1999	Nivel	Periodo 3 2000-2015	Nivel	
VALORES HABITUALES	Magnitud	IAH 1	-0,05	1	0,14	1	0,17	1
		IAH 2	-0,02	1	0,05	1	0,12	1
	Variabilidad	IAH 3	0,07	1	-0,09	1	-0,04	1
		IAH 4	-0,03	1	-0,07	1	0,03	1
	Estacionalidad	IAH 5	-0,04	1	0,13	1	-0,25	2
		IAH 6	-0,17	1	-0,21	2	-0,17	1

Tabla 13. Resultados en la EA Cuenca (ROEA 8032) utilizando la metodología real/real-modelo/modelo

Observando los resultados en la cabecera del Júcar, se comprueba que tal como se esperaba, este método sí refleja la no existencia de alteración en un tramo que presenta un régimen natural. Es cierto que dos indicadores no tienen un estado muy bueno, pero sus valores son cercanos a la frontera entre muy bueno y bueno, y como se verá en otros muchos casos, los indicadores de estacionalidad para los valores habituales (IAH 5 y IAH 6) funcionan peor que el resto, ya que el valor del parámetro siempre está comprendido entre 0 y 6 (meses de desfase). Además en puntos con una baja variabilidad intraanual (sobre todo en los años secos), dos meses muy alejados pueden presentar valores muy similares optando ambos a ser el mes de máxima o mínima aportación. Un ejemplo de esto es el que se muestra en el Gráfico 36. Ambas distribuciones guardan una marcada relación, pero mientras que la de los datos registrados por la estación de aforo presenta

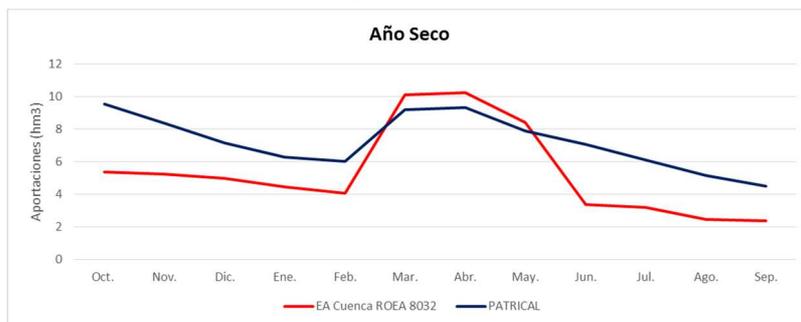


Gráfico 36. Distribución media intraanual de aportaciones mensuales EA Cuenca (ROEA 8032) en el Periodo 3 para los años secos

su máximo en el mes de abril, la de PATRICAL presenta su máximo en octubre (y no en abril, por una diferencia de tan solo 0.22 hm³). Este caso concreto es el origen de que para el Periodo 3 el IAH 5 arroje una evaluación de buen estado, en lugar de muy buen estado.

Ahora bien, si los resultados en la cabecera del Júcar son muy satisfactorios, cuando se continúa con la evaluación aguas abajo del embalse de Alarcón, se detectan algunos valores incoherentes. Como se observa en la Tabla 14 (EA Alarcón Salida Embase ROEA 8091 completada desde la puesta en servicio del ATS con la EA El Picazo ROEA 8129) los indicadores de estacionalidad (IAH 5 y IAH 6) reflejan buen y muy buen estado, y ya se vio que la alteración que provoca el embalse de Alarcón básicamente se corresponde con una inversión del régimen hidrológico a escala intraanual, por lo que estos indicadores deberían presentar un resultado más desfavorable.

Para encontrar la causa por la que estos resultados que no se ajustan a lo esperado, se observa la serie de aportaciones mensuales (Gráfico 37), y se detecta una anomalía a la que ya se hizo referencia previamente. Si bien los datos oficiales establecen el final de la construcción del embalse de Alarcón en 1955, se comprueba que en el periodo 1950-1954 la serie presenta indicios de regulación.

Júcar Aguas Abajo Alarcón								
Real/Real		Periodo 1 1955-1979	Nivel	Periodo 2 1980-1999	Nivel	Periodo 3 2000-2015	Nivel	
VALORES HABITUALES	Magnitud	IAH 1	0,87	1	0,62	2	0,50	3
		IAH 2	0,74	2	0,54	3	0,47	3
	Variabilidad	IAH 3	0,80	2	0,80	1	0,87	1
		IAH 4	0,69	2	0,65	2	0,70	2
	Estacionalidad	IAH 5	0,50	3	0,42	3	0,46	3
		IAH 6	0,67	2	0,75	2	0,79	2

Modelo/Modelo		Periodo 1 1955-1979	Nivel	Periodo 2 1980-1999	Nivel	Periodo 3 2000-2015	Nivel	
VALORES HABITUALES	Magnitud	IAH 1	0,71	2	0,84	1	0,84	1
		IAH 2	0,69	2	0,70	2	0,76	2
	Variabilidad	IAH 3	0,80	1	0,59	3	0,63	2
		IAH 4	0,60	3	0,63	2	0,75	2
	Estacionalidad	IAH 5	0,83	1	0,75	2	0,71	2
		IAH 6	0,71	2	0,67	2	0,71	2

Modelo/Modelo - Real/Real		Periodo 1 1955-1979	Nivel	Periodo 2 1980-1999	Nivel	Periodo 3 2000-2015	Nivel	
VALORES HABITUALES	Magnitud	IAH 1	-0,16	1	0,22	2	0,34	2
		IAH 2	-0,05	1	0,16	1	0,28	2
	Variabilidad	IAH 3	0,01	1	-0,21	2	-0,24	2
		IAH 4	-0,10	1	-0,02	1	0,05	1
	Estacionalidad	IAH 5	0,33	2	0,33	2	0,25	2
		IAH 6	0,04	1	-0,08	1	-0,08	1

Tabla 14. Resultados aguas abajo del embalse de Alarcón (ROEA 8091+ROEA 8129) utilizando la metodología real/real-modelo/modelo

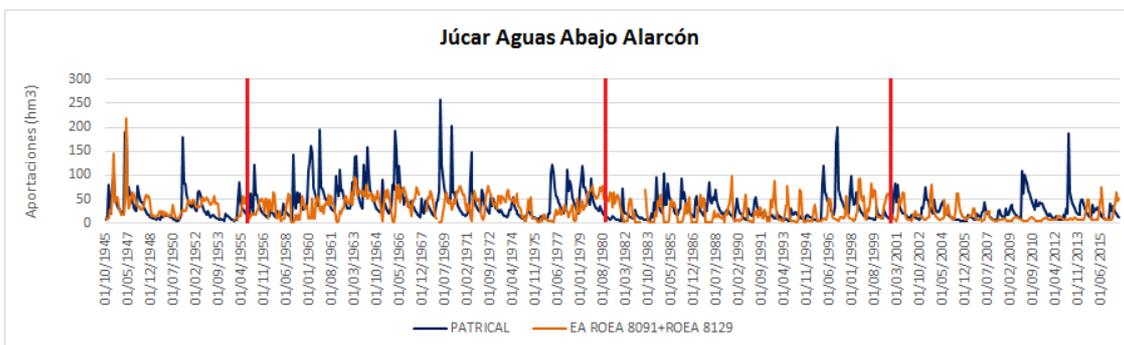


Gráfico 37. Comparativa de las series de aportaciones mensuales aguas abajo del embalse de Alarcón (ROEA 8091+ROEA 8129) con periodos de estudio

Lo lógico es pensar que durante la construcción del embalse se produjeron ciertas alteraciones sobre el régimen de caudales, y que a pesar de que la fecha oficial de puesta en servicio sea 1955, es probable que el embalse comenzara a acumular reservas antes de ese año.

Investigando el hecho en cuestión, se encuentra información sobre la ataguía. Una ataguía es una infraestructura provisional que tiene por objetivo secar el cauce en el punto en el que se va a construir la presa del embalse, y desviar los caudales del río.

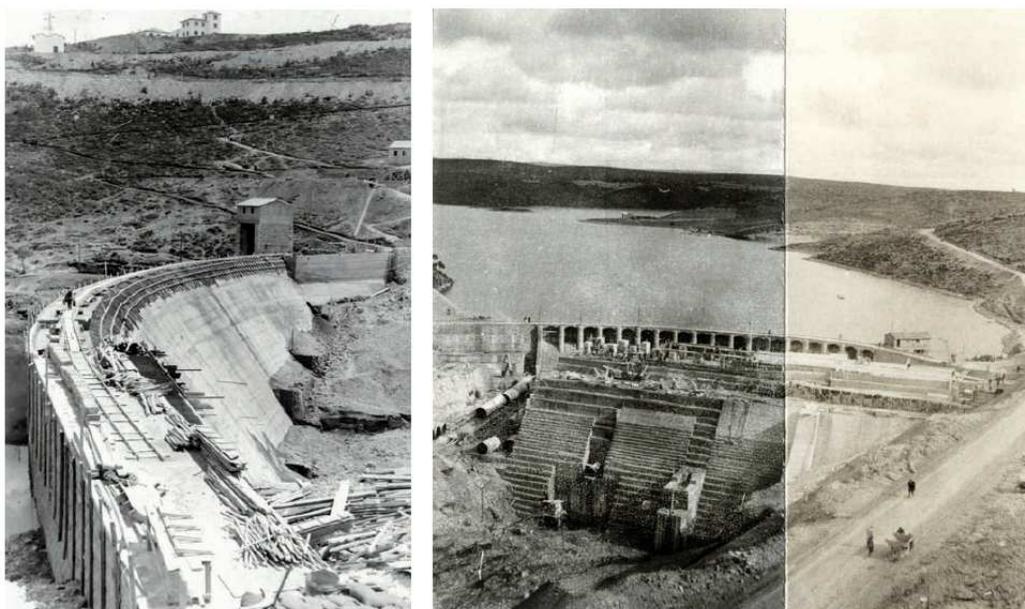


Figura 14. Ataguía en el embalse de Alarcón (1943-1947) (Fuente: CHJ)

En 1945 se recreció la ataguía posibilitando la acumulación de 80 hm³, y en 1950 ya estaba finalizada la construcción de la presa del embalse de Alarcón. Los registros de entradas, salidas y reservas del embalse de Alarcón (GESHIDRO 8001) no comienzan hasta 1957, pero en el Anuario de aforos de 2013-2014 (CEDEX, 2016) sí que existen datos a partir de marzo de 1944. El Gráfico 38 muestra los volúmenes almacenados en el embalse de Alarcón, en primera instancia por la ataguía, y posteriormente por la propia presa. Este es el factor que provoca el

desajuste en los resultados, ya que al haber tomado como régimen natural un periodo en el que ya existe una regulación que invierte el ciclo, posteriormente esta alteración no se considera como tal, y por ello los resultados reflejan un estado mejor del que realmente existe.

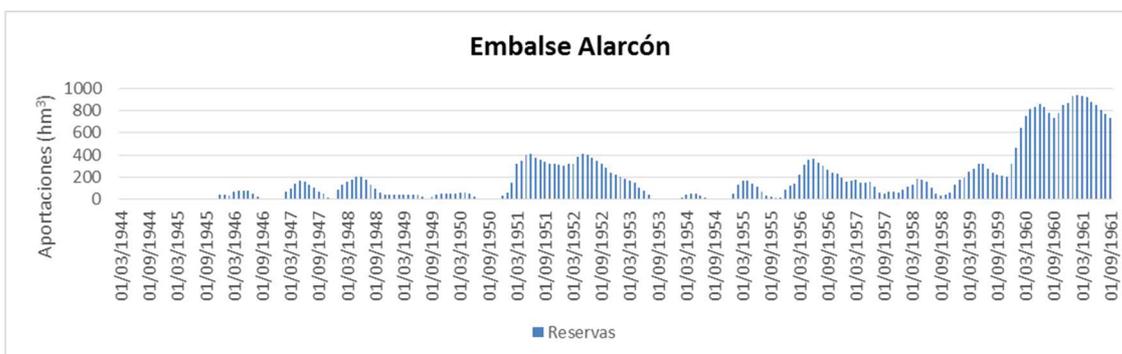


Gráfico 38. Reservas del embalse de Alarcón desde el comienzo de su construcción

Por tanto se puede concluir que en el río Júcar aguas abajo del embalse de Alarcón no existe ningún periodo previo a 1945 en el que se cuente con registros en régimen natural. Esto supone un gran problema ya que imposibilita la aplicación de la metodología desarrollada, que hasta ahora se mostraba como la mejor para este caso de estudio. Se plantean una serie de soluciones:

- La primera propuesta es cambiar el periodo que caracteriza el régimen natural de 1945-1954 a 1945-1949, ya que en los cinco primeros años la regulación por parte de la ataguía es mucho menor a la producida por el embalse. Esta solución presenta la duda de si cinco años bastarán para caracterizar el régimen natural. Tras aplicarla, descarta porque como se suponía, los resultados no son muy aceptables, pero sobre todo porque no se puede aplicar el método en la estación de aforo de Los Frailes (ROEA 8036) por la falta de datos, y este punto es el que evalúa la alteración producida por las extracciones del acuífero de la Mancha Oriental.
- La segunda propuesta es tomar como régimen natural el periodo 1940-1949, pero se confirma lo que ya se vaticinó previamente, que el desajuste de PATRICAL por la falta de calibración en los primeros años, provocaría unos resultados erróneos. En el Júcar en concreto, como la series de PATRICAL presentan unos valores de aportaciones mensuales inferiores a las registradas, esto hace que los parámetros de magnitud en régimen natural queden infravalorados, de forma que los valores de los indicadores de magnitud presentan unos resultados más favorables de lo que deberían ser (se infravalora la alteración producida por las extracciones del acuífero de la Mancha Oriental).
- La propuesta definitiva consiste en hacer una restitución de las series del Júcar aguas abajo del embalse de Alarcón para el periodo 1945-1954, eliminando

de esta forma el efecto producido por la regulación de aportaciones. Esta decisión supone que los resultados en estos puntos no serán tan válidos como si se obtuvieran a partir de valores registrados, pero se considera que a escala mensual la restitución representará de forma suficientemente aceptable los caudales circulantes que hubiera habido en este tramo si no hubiera existido esta presión. Esta última propuesta es la que se aplica para evaluar la alteración hidrológica a escala mensual.

4.5 Metodología para la evaluación de la alteración hidrológica a escala intradiaria

Para evaluar la alteración hidrológica producida por los aprovechamientos hidroeléctricos, se utiliza el parámetro descrito en el manual de referencia metodológica del IAHRIS para la fluctuación diaria a partir de datos de caudales a intervalos horarios o menores.

IAH 13. Índice de Fluctuación absoluta

El manual de referencia metodológica IAHRIS recomienda el uso del índice R-B index, (Richards–Bakers Flashiness Index) (Baker et al., 2004). El este índice genera un parámetro diario a partir de 24 datos horarios y se determina mediante la siguiente expresión:

$$R - BIndex = \frac{\sum_{i=1}^{24} |q_i - q_{i-1}|}{\sum_{i=1}^{24} q_i}$$

Donde q_i es el caudal medio en la hora i y q_{i-1} es el caudal medio en la hora $i-1$. La característica más destacable de este parámetro es su estandarización, lo que permite comparar los resultados en distintos puntos de un mismo río (si solo se evaluara la diferencia de caudales horarios, es de esperar que en los puntos donde el caudal es mayor, la variabilidad intradiaria sea mayor).

Para una mayor comprensión de la alteración el indicador IAH 13 se subdivide en tres comparaciones:

- Valor máximo (sin tener en cuenta avenidas). Se corresponde con el valor del día en el que la alteración ha sido la máxima de toda la serie de resultados. Se excluyen los valores asociados a crecidas, que se distinguen de forma muy evidente al observar la serie de tasas de cambio.
- Media y mediana. Estos dos valores permiten determinar la simetría de la serie de resultados. Si el valor de ambos es similar, la serie es simétrica, lo que indica que la alteración es constante a lo largo del periodo de estudio. Si el valor de la media es mayor al de la mediana, esto indica que existen

determinados días en los que la alteración es superior a la habitual. En caso contrario, esto se debe a que en determinados días la alteración es inferior a la habitual (posiblemente porque el aprovechamiento no funcione de forma constante).

En los tres casos, el valor del indicador se determina como el cociente entre el valor del parámetro en un punto de la cabecera en el que no existe alteración y el valor del parámetro en el punto de estudio.

5. Evaluación de la alteración hidrológica

En este apartado se describe el proceso por el que se evalúa la alteración hidrológica, tanto a escala mensual como a escala horaria, los puntos de estudio y la ficha resumen en la que se presentan los valores de los parámetros a partir de los cuales se los que se calculan los indicadores.

5.1 Evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual

La evaluación se realiza a partir de los 12 indicadores previamente descritos (IAH), con los periodos de estudio también previamente descritos (Periodo 1945-1954 como caracterizador del régimen natural, Periodo 1 1955-1979, Periodo 2 1980-1999 y Periodo 3 2000-2015) y con tres tipos de puntos de estudio en función de las características de la serie:

- Serie régimen natural. Puntos en los que la serie que se utiliza para caracterizar el régimen natural (1945-1955) y compararla con los tres periodos de alteración, se corresponde con datos reales.
- Serie régimen natural quasi-natural. Puntos en los que la serie que se utiliza para caracterizar el régimen natural (1945-1955) y compararla con los tres periodos de alteración, se corresponde con datos obtenidos a partir de una restitución a régimen natural suprimiendo la alteración producida por el embalse de Alarcón. También se restituye la serie en la EA Cofrentes (ROEA 8112) a partir de la EA Enguídanos (ROEA 8021) situada aguas arriba de la misma, tras detectar una sucesión de datos anómalos entre 1951 y 1954. Después de estos dudosos registros la serie se encuentra incompleta durante casi dos años, momento a partir del cual los datos vuelven a ser razonables, por lo que se supone que hubo un error en las mediciones que llevó a unos registros erróneos hasta que se solventó el problema.
- Serie reconstruida. Puntos en los que por su especial importancia para el estudio, ya sea por falta de datos, o por la existencia de registros claramente erróneos, se reconstruye la serie en ese punto a partir de estaciones de aforo próximas.

5.1.1 Puntos de estudio

Los puntos de estudio se describen en la Tabla 15, mostrándose su situación geográfica en la Figura 15.

Punto de Estudio	Río	Estación de Aforo	Tipología de la serie	Descripción/ Importancia del punto	Comentarios
Río Júcar en EA Cuenca	Júcar	ROEA 8032	Natural	Cabecera del Júcar	Única serie en la cabecera del Júcar con registros para el periodo 1945-1954.
Río Júcar aguas abajo embalse Alarcón	Júcar	ROEA 8107 + ROEA 8129	Quasi-Natural	Caracteriza la alteración producida por el embalse de Alarcón	Serie registrada por la EA Alarcón Salida Embalse hasta el año 1979, a partir del cual por la interferencia del ATS, se toman los registros de la EA El Picazo. Para el periodo 1945-1954 se realiza una restitución descontando los volúmenes almacenados en el embalse de Alarcón.
Río Júcar en EA Los Frailes	Júcar	ROEA 8036	Quasi-Natural	Caracteriza la alteración producida por las extracciones del acuífero de la MO	Única serie en el Júcar a su paso por la MO con registros para el periodo 1945-1954. En el periodo de régimen natural (1945-1954), se realiza una restitución descontando los volúmenes almacenados en el embalse de Alarcón.
Río Cabriel en EA Pajaroncillo	Cabriel	ROEA 8090	Natural	Cabecera del Cabriel	Única serie en la cabecera del Cabriel con registros para el periodo 1945-1954 (comienza en el año hidrológico 1949/50).
Río Cabriel aguas abajo embalse Contreras	Cabriel	ROEA 8021 + ROEA 8092 + ROEA 8130 + GESHIDRO 8009	Reconstruida	Caracteriza la alteración producida por el embalse de Contreras	Serie reconstruida a partir de las EA de Enguídanos y Camporrobles hasta 1970, que comienzan los registros de la EA Contreras Salida Embalse. A partir de 1973 se toman los datos de Salidas de Contreras (GESHIDRO).
Río Cabriel en EA Cofrentes	Cabriel	ROEA 8112 + ROEA 8021	Quasi-Natural	Cabriel aguas arriba confluencia con el Júcar	Serie corregida en entre los años 1951 y 1954 por la existencia de datos anómalos. Se realiza una restitución en este periodo a partir de la EA Enguídanos (ROEA 8021).
Río Júcar Aguas Abajo embalse Tous	Júcar	ROEA 8042	Quasi-Natural	Caracteriza la alteración producida por el embalse de Tous	En el periodo de régimen natural (1945-1954), se realiza una restitución descontando los volúmenes almacenados en el embalse de Alarcón.
Río Magro en EA Requena	Magro	ROEA 8060	Natural	Caracteriza la alteración producida por las extracciones del acuífero	
Río Magro en EA Macastre	Magro	ROEA 8093	Natural	Caracteriza la alteraciones producidas por las extracciones del acuífero y por el embalse de Forata	

Tabla 15. Puntos de estudio de la alteración hidrológica a escala mensual



Figura 15. Localización geográfica de los puntos de estudio (en verde) y de las EA auxiliares que se utilizan para completar o corregir las series (en naranja)

A continuación se describen de forma más detallada algunos de los comentarios (Tabla 15) sobre las series utilizadas.

Restitución aguas abajo de Alarcón

Para el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1945/46-1954/55, se realiza una restitución a régimen natural en todos los puntos situados en el río Júcar aguas abajo del embalse de Alarcón para detraer el efecto producido por esta infraestructura. Se trata de una restitución simple, en el punto situado aguas abajo del embalse se sustituyen los datos de las salidas por los de las entradas (Gráfico 39), y en los siguientes puntos se añade la diferencia entre estas dos series (volumen embalsado que dejó de circular por el río al ser regulado).

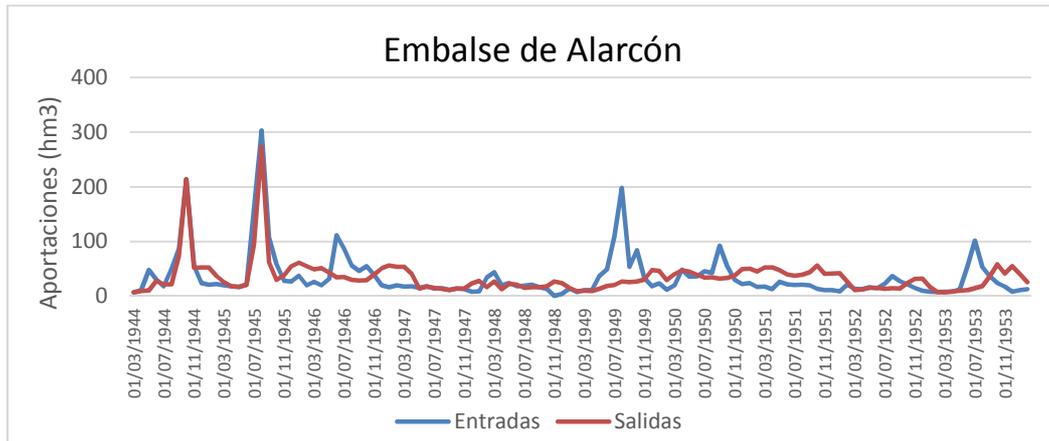


Gráfico 39. Series de entradas y salidas a Alarcón (Anuario de aforos) en el periodo 1945/46-1954/55, a partir de las cuales se realiza la restitución a régimen natural

Restitución en EA Cofrentes

Como se ha comentado previamente, tras analizar los registros de la EA Cofrentes (ROEA 8112) se detectó un posible error en las mediciones, unos valores de una magnitud superior a lo habitual en este punto, y un periodo sin registros tras estos valores. Se compara con la EA Enguñadanos (ROEA 8021), situada aguas arriba, para determinar si esos valores pueden ser reales (Gráfico 40).

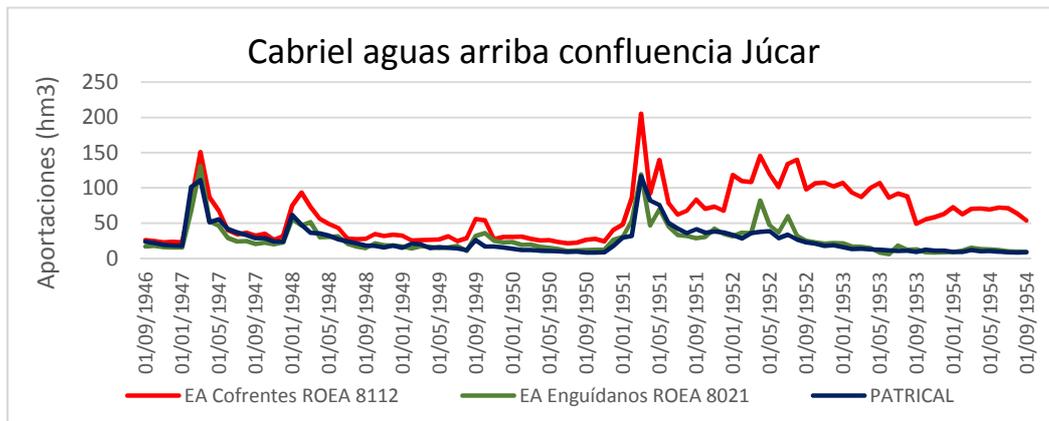


Gráfico 40. Comparativa de las series EA Cofrentes (ROEA 8112), EA Enguñadanos (8021) y PATRICAL para el periodo 1946/47-1954/55

Como se observa en el Gráfico 40, si bien en momentos extremos las aportaciones mensuales en la EA Cofrentes son mayores, la diferencia a partir de 1951 parece excesiva, sumado a que el modelo no refleja unos valores tan altos. Por tanto se decide realizar una restitución en ese periodo, a partir de la EA Enguñadanos, mediante un ajuste lineal con la forma $y=Ax+B$, determinándose los parámetros A y B a partir de la relación entre ambas estaciones en el periodo previo ($A=1.216$ y $B=7.099$).

5.1.2 Ficha de parámetros para la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual

A continuación se muestra un ejemplo de la ficha en la que se recoge el valor de los 632 parámetros (158 para cada periodo) a partir de los cuales se determinan los IAHS.

FICHA PARÁMETROS (1) - Río Júcar en la EA Cuenca													
Clasificación	Aspecto	Parámetro	Tipo año	Mes	Periodo RN		Periodo 1		Periodo 2		Periodo 3		
					Aforado	PATRICAL	Aforado	PATRICAL	Aforado	PATRICAL	Aforado	PATRICAL	
VALORES HABITUALES	Magnitud	Media de las aportaciones anuales (hm3)	Húmedo		43,50	35,68	49,10	48,06	31,44	31,46	31,07	28,32	
			Medio		26,05	20,21	30,14	26,37	19,36	16,56	17,54	15,81	
			Seco		9,09	7,55	17,63	11,78	6,68	7,78	5,37	7,23	
		Media de las aportaciones mensuales (hm3)	Húmedo	Oct.		10,81	10,23	12,43	17,85	5,55	13,29	4,41	6,82
				Nov.		8,63	9,57	36,65	47,60	19,48	30,91	11,69	13,68
				Dic.		20,34	7,93	61,35	46,05	50,02	56,58	32,94	37,16
				Ene.		25,49	6,83	96,27	66,46	82,63	56,83	69,22	33,83
				Feb.		110,65	55,80	97,94	67,70	53,88	39,78	48,01	29,63
				Mar.		154,40	117,84	106,96	93,97	31,61	34,15	81,00	66,42
				Abr.		57,07	54,74	67,39	66,25	29,95	31,65	49,60	37,44
				May.		51,46	50,58	36,39	50,15	39,66	32,72	27,46	34,01
				Jun.		25,99	37,63	26,67	40,33	27,35	28,54	18,79	27,12
				Jul.		20,98	30,68	19,11	32,95	18,84	21,76	13,66	21,87
				Ago.		22,04	25,20	14,75	26,24	11,74	17,57	8,94	17,57
				Sep.		14,11	21,21	13,33	21,15	6,63	13,73	7,08	14,22
			Medio	Oct.		10,40	12,11	15,29	22,96	8,80	14,79	7,75	14,54
				Nov.		14,66	14,34	19,99	19,95	10,75	12,96	11,44	12,88
				Dic.		23,31	22,56	30,28	25,22	17,92	20,48	15,30	12,60
				Ene.		39,92	25,69	41,43	26,33	22,57	16,92	17,98	15,05
				Feb.		45,75	24,77	47,03	27,32	25,58	20,41	36,12	20,82
				Mar.		42,95	25,82	60,95	45,82	29,21	20,09	29,84	21,43
				Abr.		37,07	27,78	40,85	35,24	38,17	21,97	30,50	23,41
				May.		40,76	28,21	38,48	35,08	32,13	22,73	25,29	21,22
				Jun.		20,30	19,82	25,28	25,10	22,11	15,94	13,75	15,83
				Jul.		14,46	16,96	16,64	20,90	12,76	13,24	10,29	13,03
				Ago.		12,06	13,67	13,98	16,83	7,27	10,59	7,09	10,49
				Sep.		10,96	10,76	11,53	15,74	5,11	8,59	5,14	8,36
			Seco	Oct.		8,52	9,33	12,81	12,72	4,01	11,27	5,39	9,57
				Nov.		7,95	7,11	13,85	11,22	9,97	12,64	5,25	8,36
				Dic.		7,48	6,52	14,59	11,28	10,63	10,48	5,00	7,15
				Ene.		6,93	5,55	17,83	10,43	8,50	8,94	4,48	6,31
				Feb.		10,26	4,46	23,64	10,40	8,61	7,20	4,06	6,04
				Mar.		17,28	10,79	25,89	16,24	8,34	7,13	10,11	9,21
				Abr.		13,10	7,86	28,30	13,15	6,93	7,31	10,24	9,35
				May.		10,66	9,01	22,02	15,61	9,34	6,76	8,43	7,88
				Jun.		7,19	8,53	20,41	13,48	4,99	5,99	3,40	7,06
	Jul.				7,33	7,20	15,13	10,92	3,36	5,12	3,22	6,10	
	Ago.				5,27	5,88	9,55	8,78	2,77	4,60	2,47	5,17	
	Sep.				7,18	8,32	7,55	7,15	2,65	5,96	2,40	4,53	
	Variabilidad	Q10-Q90 (hm3)	Húmedo		141,04	103,11	104,73	81,89	59,70	45,60	104,73	81,89	
			Medio		51,98	35,27	61,25	34,97	40,28	22,87	61,25	34,97	
			Seco		14,15	7,28	24,33	14,30	13,95	8,59	24,33	14,30	
Diferencia entre la aportación mensual máxima y mínima (hm3)		Húmedo		145,77	111,01	94,54	76,12	77,07	43,54	76,59	59,61		
		Medio		35,35	17,44	49,42	30,08	33,06	14,14	30,98	15,06		
		Seco		12,01	6,33	20,76	9,09	7,98	8,04	7,84	5,04		
Estacionalidad	Mes de máxima aportación del año (oct = 1)	Húmedo		6	6	6	6	4	4	6	6		
		Medio		5	8	6	6	7	8	5	7		
		Seco		6	6	7	6	3	2	7	1		
	Mes de mínima aportación del año (oct = 1)	Húmedo		2	4	1	1	1	1	1	1		
		Medio		1	12	12	12	12	12	12	12		
		Seco		11	5	12	12	12	11	12	12		

FICHA PARÁMETROS (2) - Río Júcar en la EA Cuenca													
Clasificación	Aspecto	Parámetro	Tipo año	Mes	Periodo RN		Periodo 1		Periodo 2		Periodo 3		
					Aforado	PATRICAL	Aforado	PATRICAL	Aforado	PATRICAL	Aforado	PATRICAL	
VALORES EXTREMOS MÁXIMOS	Magnitud	Caudal de avenida habitual (Q5) (m3/s)			37,17	23,09	39,15	31,99	22,56	18,44	23,62	16,62	
	Variabilidad	Coefficiente de variación de la serie de avenidas habituales			0,72	0,78	0,55	0,62	0,67	0,60	0,60	0,66	
	Estacionalidad	Número de años con Q>Q5 para cada mes	Oct.			0	0	0	1	0	0	0	0
			Nov.			0	0	0	1	0	1	0	0
			Dic.			0	1	1	1	2	4	0	2
			Ene.			1	0	4	3	3	3	3	1
			Feb.			2	2	5	3	3	2	1	1
			Mar.			2	2	3	4	0	0	3	4
			Abr.			0	0	1	1	0	0	1	0
			May.			0	0	0	0	1	1	0	0
			Jun.			0	0	0	0	1	0	0	0
			Jul.			0	0	0	0	0	0	0	0
Ago.			0	0	0	0	0	0	0	0			
Sep.			0	0	0	0	0	0	0	0			
VALORES EXTREMOS MÍNIMOS	Magnitud	Caudal de sequía habitual (Q95) (m3/s)			1,98	1,65	2,70	2,25	0,98	1,83	1,04	1,59	
	Variabilidad	Coefficiente de variación de la serie de sequías habituales			0,50	0,57	0,31	0,52	0,59	0,54	0,34	0,40	
	Estacionalidad	Número de años con Q<Q95 para cada mes	Oct.			1	2	3	2	2	3	2	1
			Nov.			0	0	3	3	1	1	0	1
			Dic.			0	0	1	3	0	0	0	2
			Ene.			0	1	1	3	0	0	0	1
			Feb.			0	2	0	2	0	0	0	0
			Mar.			0	0	0	0	0	0	0	0
			Abr.			0	0	0	0	0	0	0	0
			May.			0	0	0	0	0	0	0	0
			Jun.			1	0	0	0	0	0	1	0
			Jul.			1	0	0	0	2	5	1	4
Ago.			1	0	3	0	4	3	2	1			
Sep.			2	1	4	2	3	4	3	2			

Tabla 16. Ficha de parámetros para la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual en el punto de estudio Júcar en EA Cuenca

Estas fichas se pueden consultar en el Anejo I. Fichas de parámetros para la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual.

5.2 Evaluación de la alteración hidrológica a escala horaria

La evaluación se realiza mediante el indicador IAH 13, para el periodo en el que se cuenta con datos, 01/01/2015-31/03/2017 (a excepción de en la EA Alcalá del Júcar, donde solo se cuenta con datos hasta el 14/02/2017).

5.2.1 Puntos de estudio

Como ya se explicó en el apartado de Presiones, en un principio la intención era evaluar la alteración hidrológica en aquellos tramos en los que existían aprovechamientos hidroeléctricos. Por la existencia de puntos de control o de series horarias, estos puntos quedaron reducidos a seis. Tras estudiar las tasas de cambio, se comprobó que en uno de ellos existía un azud entre el aprovechamiento y la estación de aforo (El Picazo), de forma que la serie disponible no servía para determinar la alteración producida por el aprovechamiento. De la misma forma, para el aprovechamiento de Lucas Urquijo, se contaban con datos en un punto intermedio entre un embalse y su

contraembalse, no en un punto aguas abajo del aprovechamiento como se requería, por lo que este punto también quedó descartado. Finalmente los puntos de estudio se redujeron a cuatro (Tabla 17 y Figura 16).

Punto	MW acumulados	nº Centrales	Comentarios
EA Venta de Juan Romero ROEA 8126	0	0	Caracteriza la variación intradiaria del régimen natural
EA Cuenca ROEA 8032	11,99	4	Caracteriza los aprovechamientos existentes entre el embalse de la Toba hasta la EA Cuenca
EA El Castellar ROEA 8091	0,5/12,44	1/5	Caracteriza los aprovechamientos existentes desde la EA Cuenca hasta la EA El Castellar (posible influencia de los situados aguas arriba)
EA Los Frailes ROEA 8036	2,09	3	Caracteriza los aprovechamientos existentes desde la EA El Picazo hasta la EA Los Frailes
EA Alcalá del Júcar ROEA 8144	9,18	4	Caracteriza los aprovechamientos existentes desde la EA Los Frailes hasta la EA Alcalá del Júcar

Tabla 17. Puntos en los que se estudia la alteración hidrológica a escala horaria

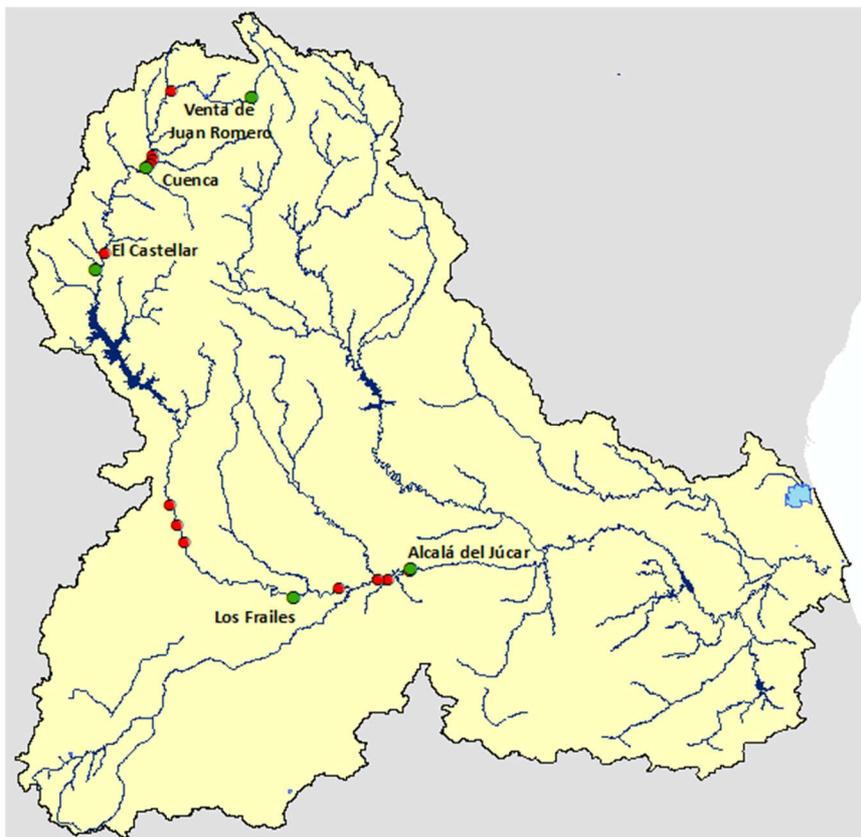


Figura 16. Localización geográfica de los puntos de estudio (en verde) y de los aprovechamientos hidroeléctricos que analizan (en rojo)

5.2.2 Ficha de parámetros para la evaluación de la alteración hidrológica a escala horaria

FICHA PARÁMETROS Evaluación Alteración Hidrológica a escala horaria				
Punto	R-B index			
	Máximo	Máximo (sin avenidas)	Media	Mediana
EA Venta de Juan Romero ROEA 8126	0,163	0,035	0,013	0,009
EA Cuenca ROEA 8032	0,287	0,287	0,111	0,103
EA El Castellar ROEA 8091	0,135	0,135	0,046	0,047
EA Los Frailes ROEA 8036	0,063	0,063	0,007	0,004
EA Alcalá del Júcar ROEA 8144	0,337	0,337	0,030	0,018

Tabla 18. Ficha de parámetros para la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual

Observando el valor de los parámetros, llega a las siguientes conclusiones:

- En la EA Cuenca y la EA El Castellar la serie de índices R-B index es simétrica (valores similares de la media y la mediana) con unos constantes a lo largo del periodo de estudio. Es lógico que sea así en la EA Cuenca por la superposición de cuatro distintos aprovechamientos, pero no en la EA El Castellar, donde solo existe un aprovechamiento, por lo que se esto es indicador de que la alteración producida aguas arriba de la ciudad de Cuenca se extiende hasta el embalse de Alarcón.
- En las otras dos estaciones, existe una menor variabilidad, y en general, una menor alteración por una menor potencia instalada (solo centrales fluyentes). La asimetría de la serie de índices R-B index es achacable al aprovechamiento de los grandes caudales en los momentos que se producen las sueltas del embalse de Alarcón.

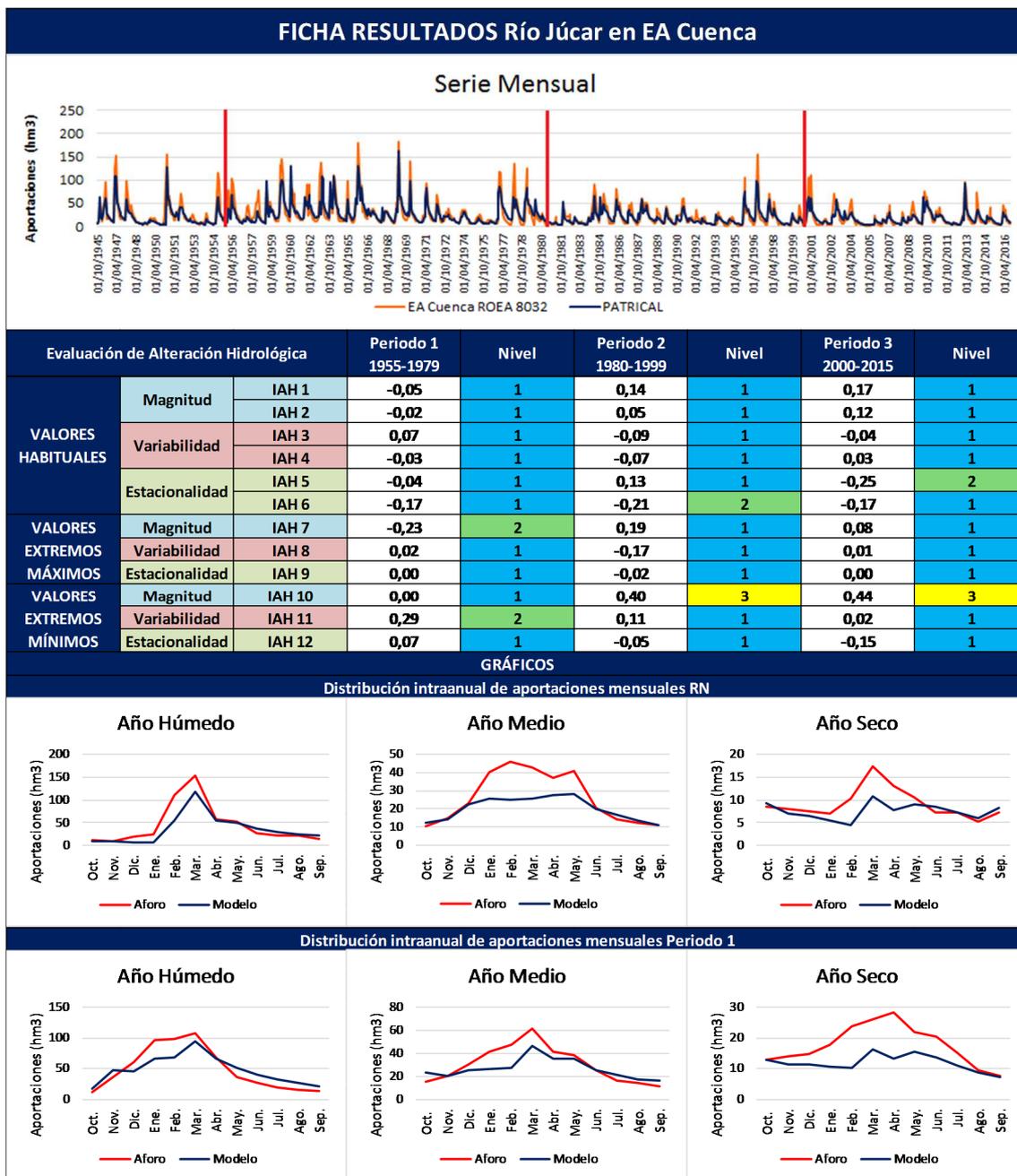
6. Resultados

En este apartado se analizan los resultados obtenidos tras aplicar la metodología diseñada para el caso de estudio. Se muestran las fichas de resultados, las cuales se analizan realizando un diagnóstico.

6.1 Resultados de la evaluación de la alteración hidrológica a escala mensual

A continuación se analizan los resultados obtenidos punto a punto.

Río Júcar en EA Cuenca



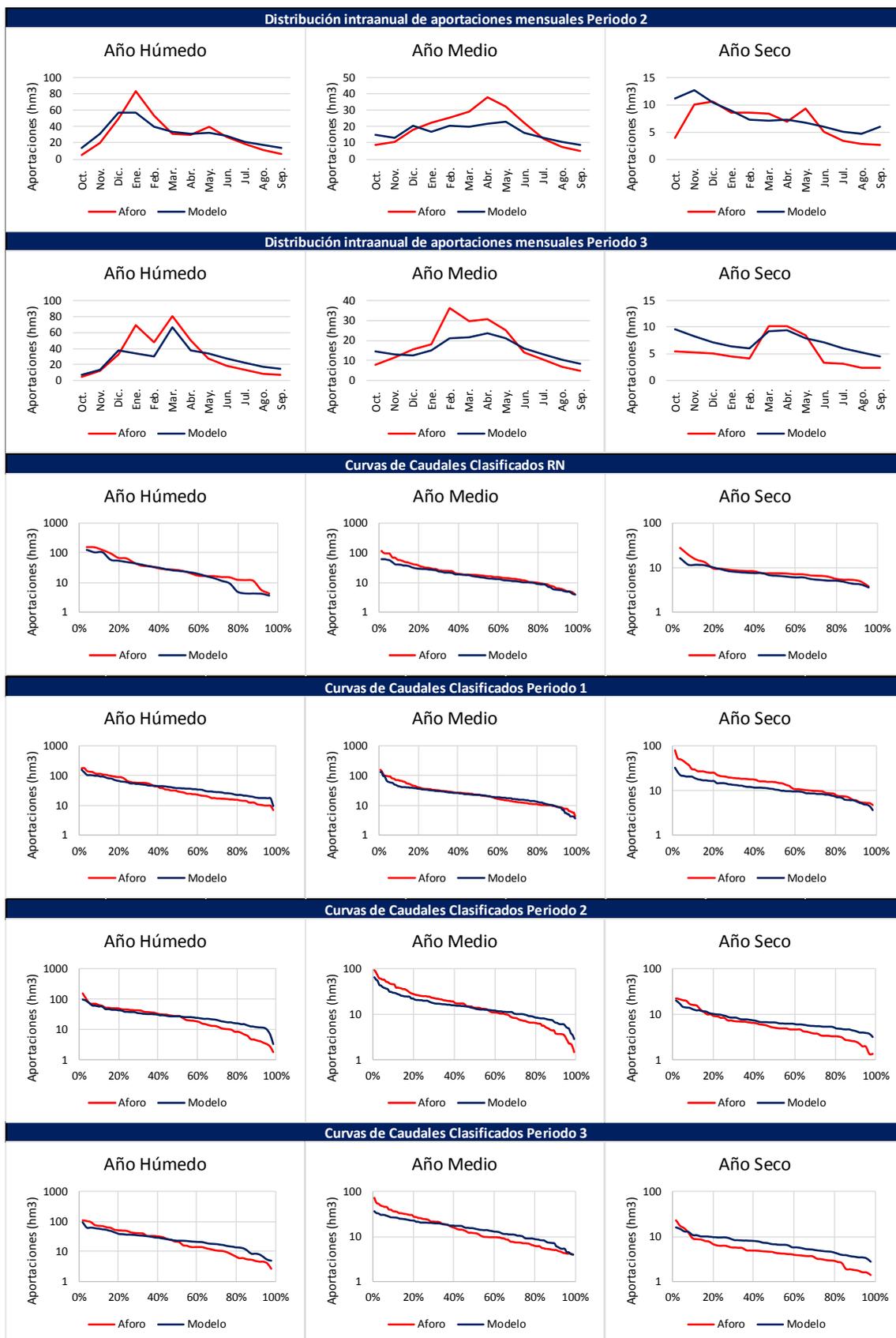


Tabla 19. Ficha de resultados Río Júcar en EA Cuenca

Al tratarse de un tramo de cabecera, en el que existe un régimen natural, los resultados muestran un estado muy bueno para la totalidad de indicadores y periodos, exceptuando alguna desviación puntual.

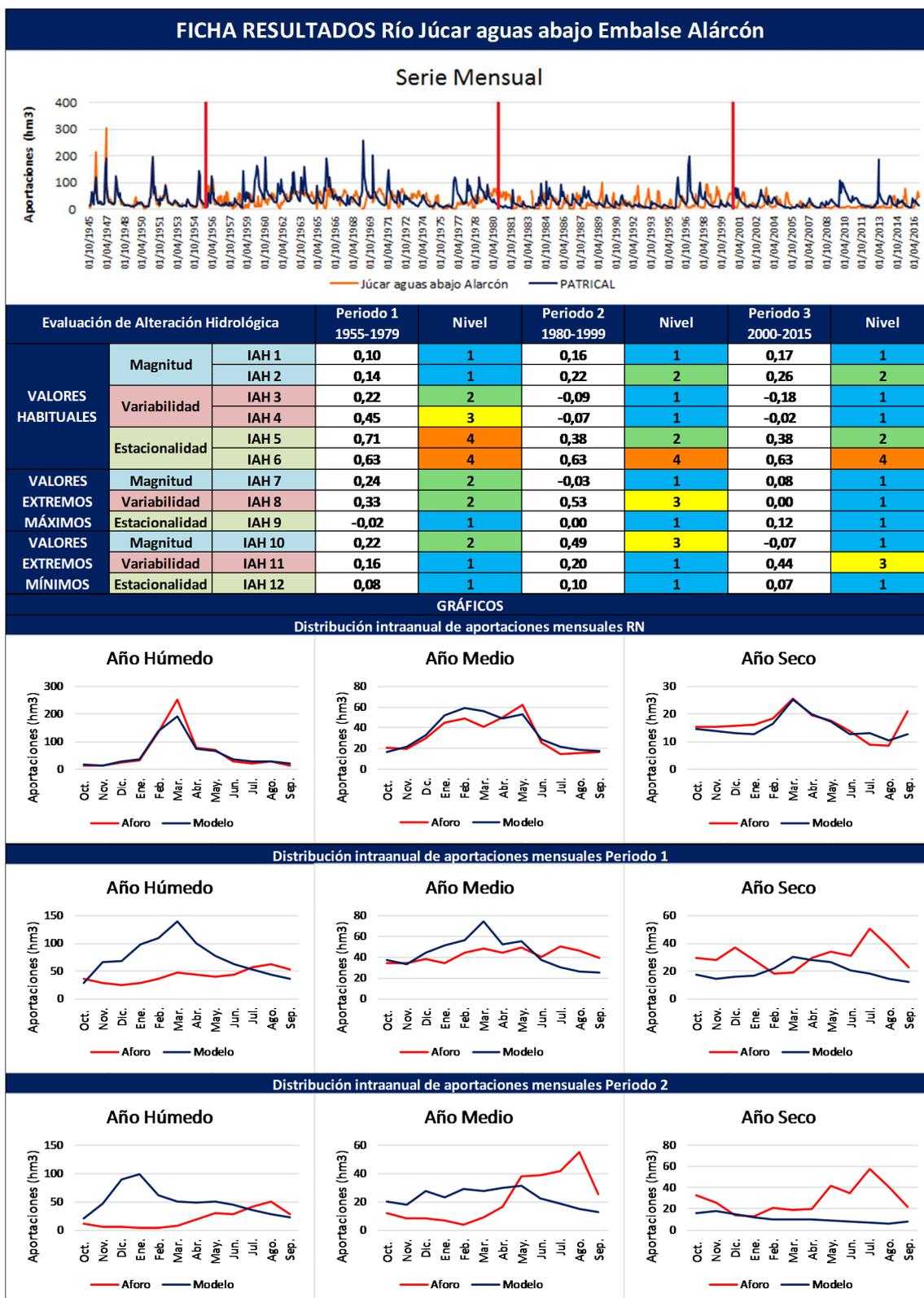
En lo referente a los valores habituales, muestran un estado bueno el indicador IAH 5 para el Periodo 3 y el IAH 6 para el Periodo 2. Como ya se explicó previamente, los indicadores de estacionalidad de los valores habituales muestran en muchas ocasiones unos resultados más negativos que el resto de indicadores, debido a que a pesar de que en los años secos las distribuciones intraanuales sean similares, pueda haber diferencias en el mes en el que se presentan los valores máximos y mínimos, como se observa en los gráficos de los periodos 2 y 3.

Respecto a los valores extremos, en el Periodo 1 los indicadores IAH 7 y IAH 11 presentan un estado bueno, el primer caso por una reducción en el caudal de avenida habitual esperado (por la comparación modelo-modelo), y el segundo por un aumento de la variabilidad esperada, pero en ambos casos no son alteraciones muy significativas, que quizá puedan derivarse de la gestión de las sueltas del embalse de la Toba o a un pequeño desajuste entre la relación de las series observadas y las series de PATRICAL, al tratarse de fenómenos puntuales, no constantes a lo largo del tiempo.

El indicador que sí presenta dos resultados consecutivos con un estado moderado, es el IAH 10, para los periodos 2 y 3, por una reducción del 50% de los caudales de estiaje (sequía habitual), principalmente en los años secos, como se observa en las curvas de caudales clasificados de los dos periodos. Tras comprobar los resultados que se obtendrían a partir de las entradas al embalse de la Toba, se observa que para este indicador los resultados obtenidos son los mismos, por lo que esta posible alteración no se podría achacar a la gestión de este embalse.

En resumen, a pesar de la existencia de algunas excepciones, los resultados en la EA Cuenca muestran un régimen hidrológico con un estado muy bueno, en el que no existen alteraciones a escala mensual.

Río Júcar aguas abajo embalse Alarcón



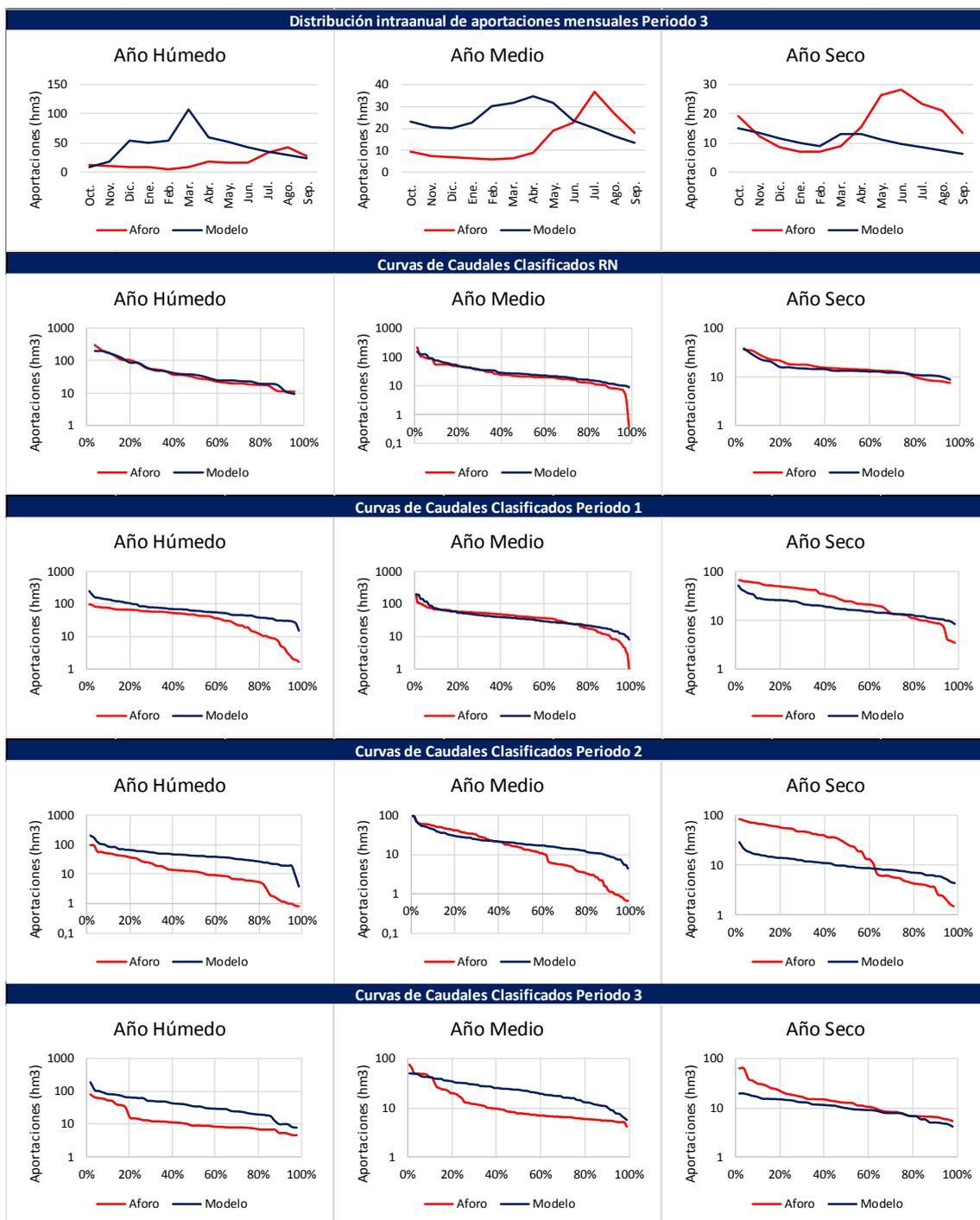


Tabla 20. Ficha de resultados Río Júcar aguas abajo embalse Alarcón

El embalse de Alarcón es la primera alteración sobre el régimen hidrológico a escala mensual en el río Júcar.

Respecto a los valores habituales, se observa que para los tres periodos de estudio el aspecto que más se ve alterado por la gestión del embalse es la estacionalidad (IAH 5 y IAH 6), sobre todo de los mínimos. Esto se debe a la inversión intraanual del régimen hidrológico que produce la explotación del embalse. Como se explicó en su descripción, y como se observa en los gráficos de

distribución intraanual de aportaciones mensuales para los tres periodos de estudio, la función del embalse de Alarcón es almacenar recursos durante los meses en los que recibe una mayor cantidad de aportaciones, para luego desembalsarlos en los meses de menor aportación, principalmente para atender a las demandas agrícolas de los regadíos tradicionales. Esta inversión del régimen hidrológico se presenta a escala intraanual (de ahí también los resultados del IAH 2), aunque observando los gráficos para cada tipo de año, se observa que mientras que en los años medios las entradas (que se pueden asociar a la distribución de PATRICAL) son similares a las salidas, en los años húmedos las entradas son superiores (se almacenan recursos), y en los años secos las salidas son superiores (se desembalsan esos recursos).

El hecho de que en el Periodo 1 los indicadores de variabilidad (IAH 3 y IAH 4) presenten un estado bueno y moderado, se asocia a la falta de variabilidad intraanual, más acentuada en los años secos y medios (como se observa en los gráficos de distribución intraanual de las aportaciones mensuales para el Periodo 1). Mientras que para los periodos 2 y 3 este aspecto no se ve alterado porque a pesar de que se desplace a nivel mensual, la variabilidad es muy similar tanto en los datos registrados como en PATRICAL, en el Periodo 1, sobre todo en los años húmedos y medios, se aprecia una escasa variabilidad, ya que al tratarse de un periodo más húmedo (previo al Efecto 80), no es necesaria una gran regulación intraanual para garantizar la satisfacción de las demandas aguas abajo, por lo que las sueltas se muestran poco variables a lo largo del año.

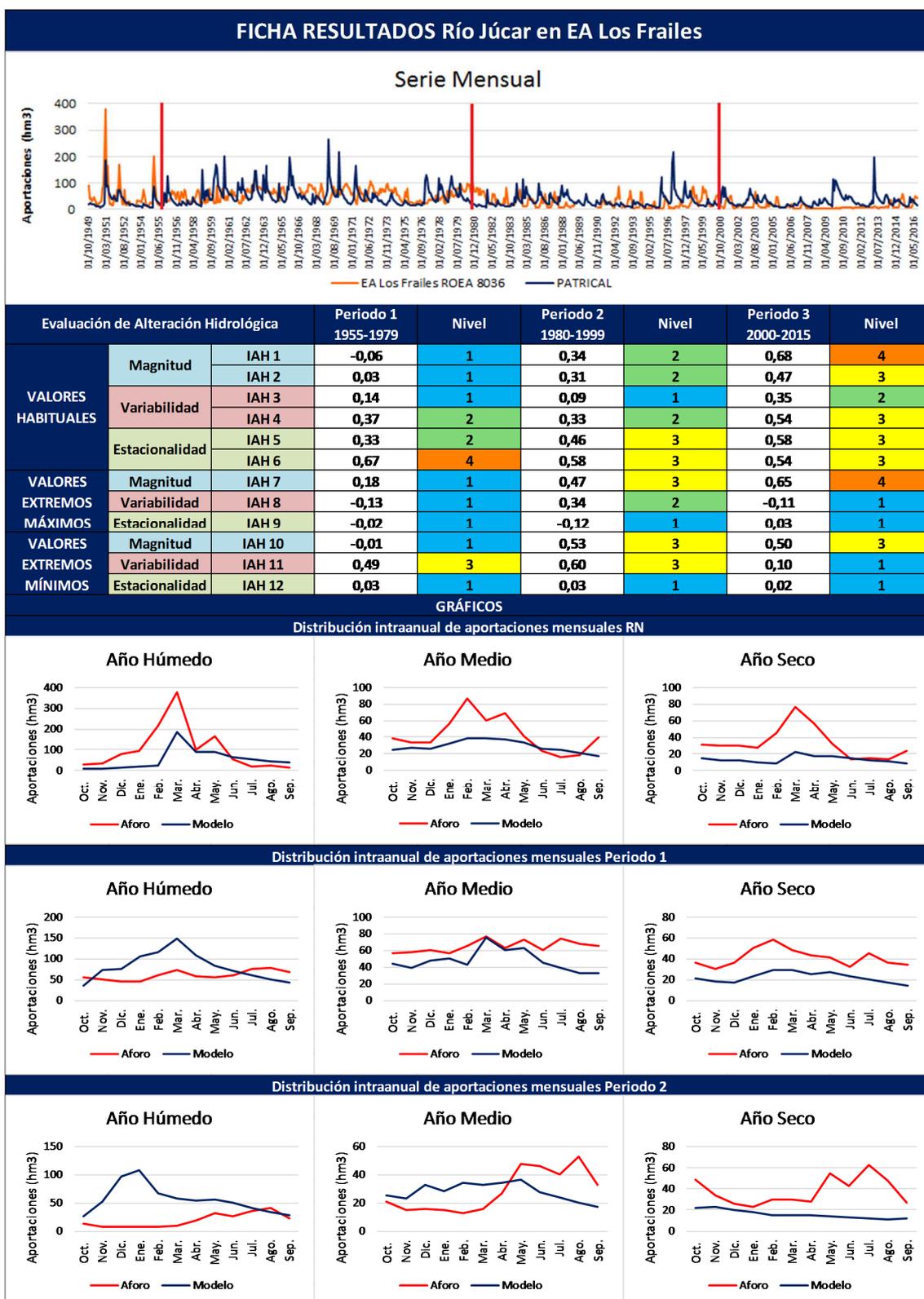
En lo referente a los valores extremos máximos, para el Periodo 1 muestran un buen estado los indicadores IAH 7, IAH 8, como consecuencia de una disminución del valor del caudal de avenida habitual y de su variabilidad, debido a la regulación que el embalse produce, sobre todo en los años húmedos. En el resto de periodos de estudio, el IAH 7 muestra un muy buen estado, porque realmente siguen existiendo avenidas, pero estas no se producen de forma natural, sino por los grandes desembalses de caudales para satisfacer las demandas aguas abajo. Para el periodo 2 la disminución de la variabilidad (IAH 8) es aún más intensa que para el periodo anterior.

En cuanto a las sequías, los resultados muestran una disminución de los caudales de estiaje, fruto de que los meses del año que se suelen producir coinciden con aquellos en los que se desembalsan la mayor parte de recursos (IAH 10). Cabe destacar la drástica reducción de la variabilidad en la serie de sequías habituales (IAH 11) para el Periodo 3, como se puede observar en las curvas de caudales clasificados correspondientes a este periodo (no existe una gran pendiente negativa como en los demás periodos).

En resumen, el embalse de Alarcón altera principalmente la estacionalidad del régimen hidrológico aguas abajo, produciendo una inversión intraanual. No

supone una afección en cuanto a magnitud para los valores habituales, pero sí para los valores extremos, sobre todo de los caudales de estiaje, que se ven aumentados respecto a la situación previa su construcción.

Río Júcar en EA Los Frailes



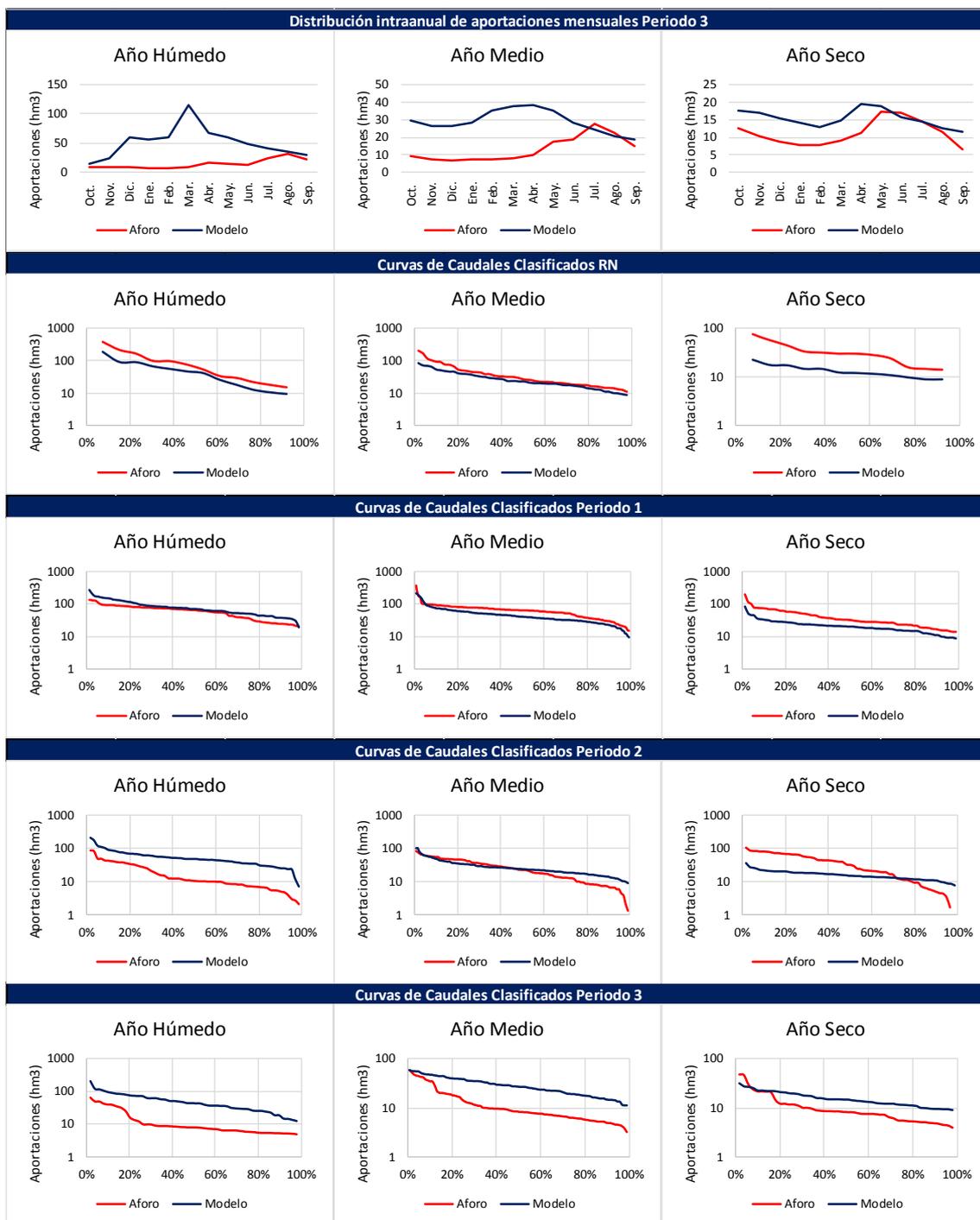


Tabla 21. Ficha de resultados Río Júcar en EA Los Frailes

En el Periodo 1, la única afección existente aguas arriba de la estación de aforo de los Frailes es el embalse de Alarcón, por lo que es interesante comparar cómo evolucionan los indicadores por los aportes de recursos procedentes del acuífero de la Mancha Oriental, ya que durante ese periodo este era un tramo claramente ganador. Se observa una recuperación en la mayoría de indicadores, la variabilidad se ve recuperada, pasando el IAH 3 de buen estado a muy buen estado y el IAH 4 de estado moderado a buen estado. En cuanto a la estacionalidad, la de máximos pasa de deficiente a buen estado, pero la de

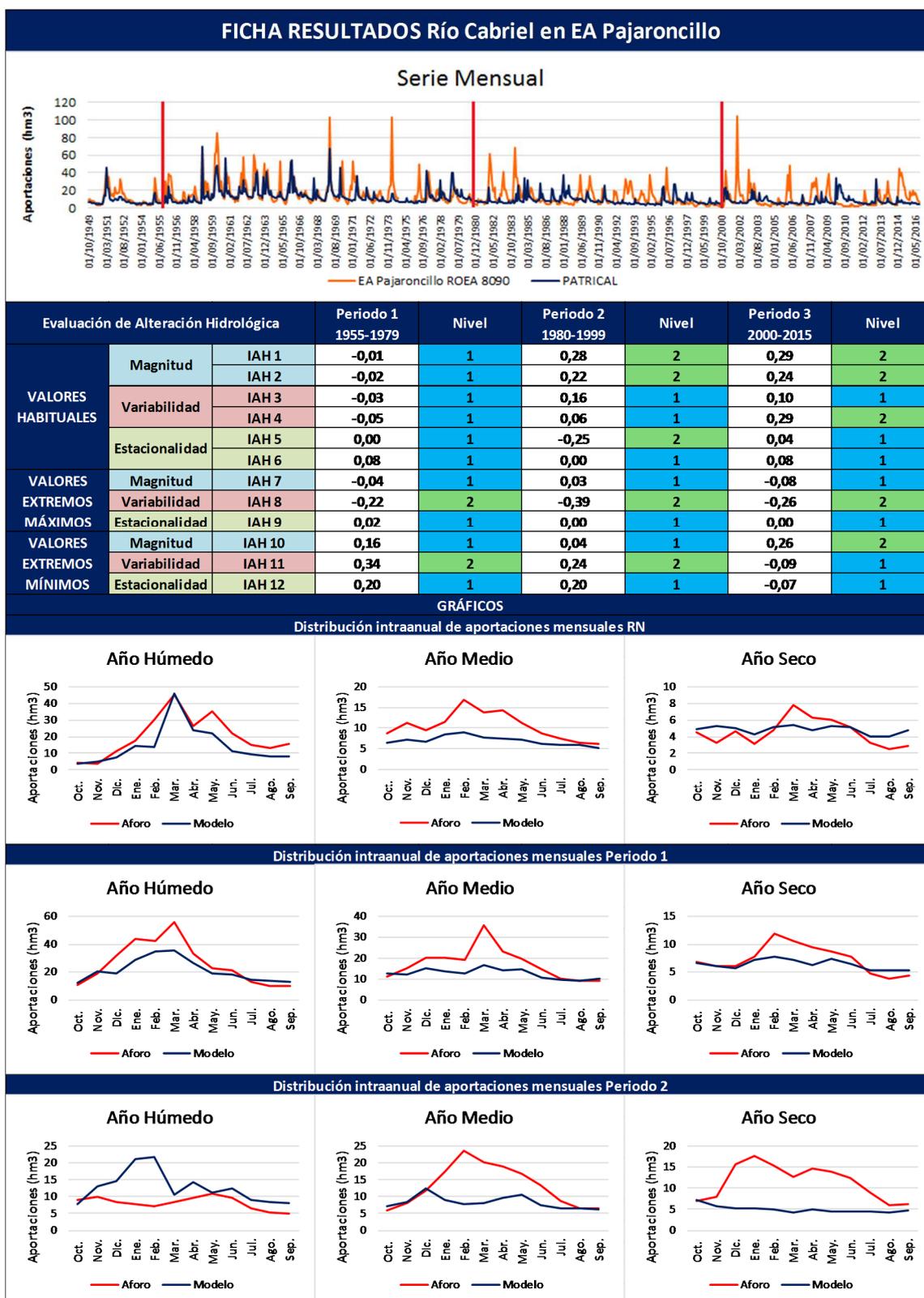
mínimos se mantiene en deficiente. Esto se debe a que en Alarcón el problema en cuanto a los máximos era la falta de recursos, y en cuanto a los mínimos el exceso de los mismos, de forma que los aportes del acuífero mejoran el primer indicador, mientras que empeoran el segundo. El IAH 11 presenta un estado moderado por el aumento de la variabilidad en la serie de caudales de sequía habitual, posiblemente debido a la variación de los aportes del acuífero a lo largo del año.

En resumen, para el Periodo 1 se puede concluir que los aportes del acuífero de la Mancha Oriental mitigan en gran medida las alteraciones producidas por el embalse de Alarcón.

En cambio, para el Periodo 2 y 3, el comienzo de las extracciones del acuífero de la Mancha Oriental invierte este efecto, aumentando la alteración ya existente. Este es el primer caso en el que se cuenta con dos alteraciones superpuestas, por lo que es más difícil discernir cuál es el factor que determina los resultados obtenidos. Pero en resumen, si la gestión del embalse de Alarcón constituye una afección en lo relativo a la estacionalidad, las extracciones del acuífero de la Mancha Oriental suponen un empeoramiento de los indicadores de magnitud (por los recursos que dejan de aportarse al río, llegando este a ceder parte de sus caudales al acuífero mediante infiltración). Esto se observa en los indicadores IAH 1 y IAH 2, que empeoran respecto a los resultados obtenidos en Alarcón, y del Periodo 3 al Periodo 4, ya que aunque las extracciones alcanzaron su máximo en el año 2000, el mal estado cuantitativo del acuífero, claramente sobreexplotado, ha fomentado que cada vez la afección al río sea mayor. Lo último a destacar en cuanto a los valores habituales es una reducción de la variabilidad (IAH 3 y IAH 4), sobre todo en el Periodo 3, por el descenso de caudales circulantes.

Para los valores extremos, se ve afectada la magnitud tanto de avenidas (IAH 7) como de sequías (IAH 10), en ambos casos en forma de una reducción de los caudales habituales (Q5 y Q95), consecuencia de la reducción de aportes del acuífero.

Río Cabriel en EA Pajaroncillo



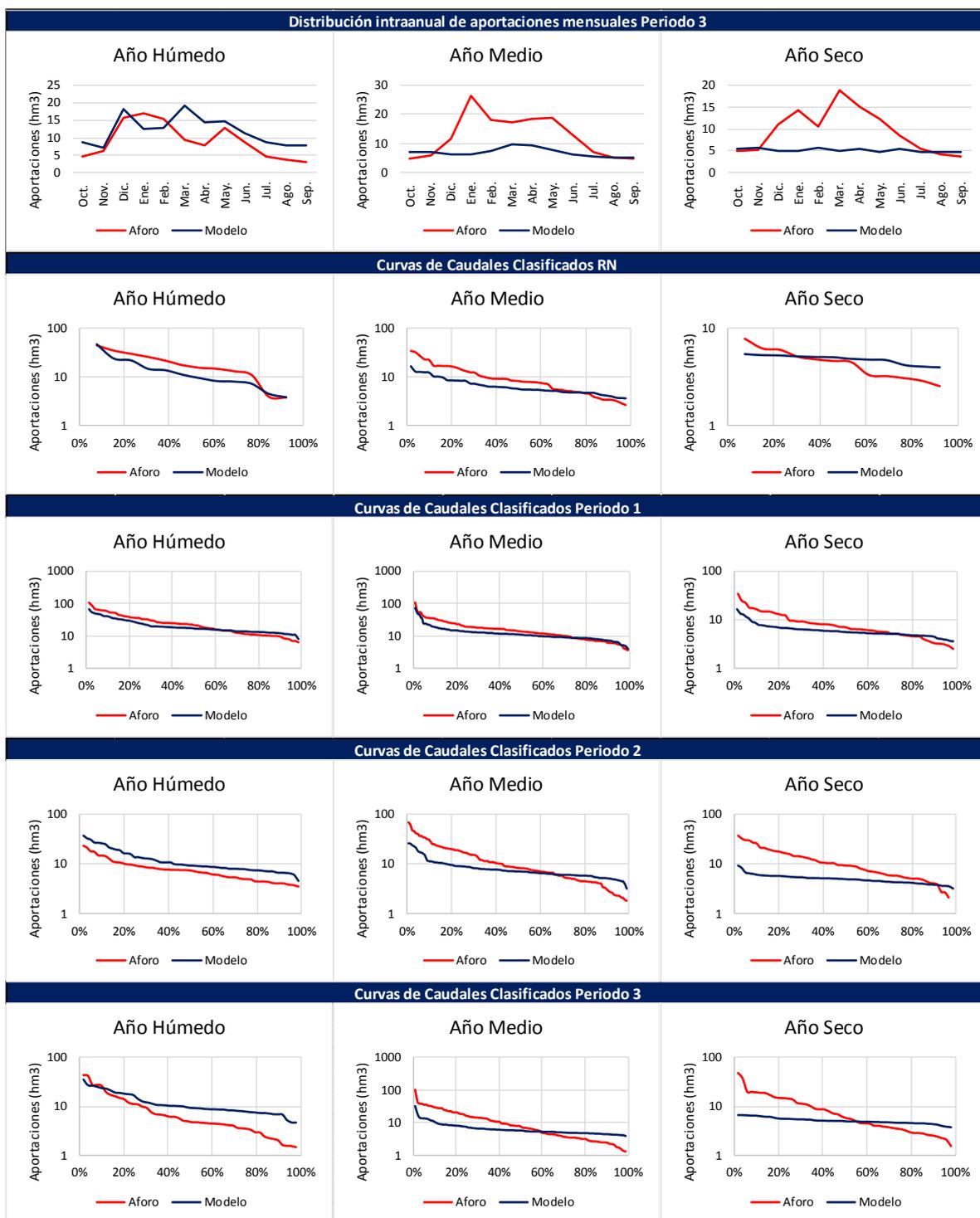


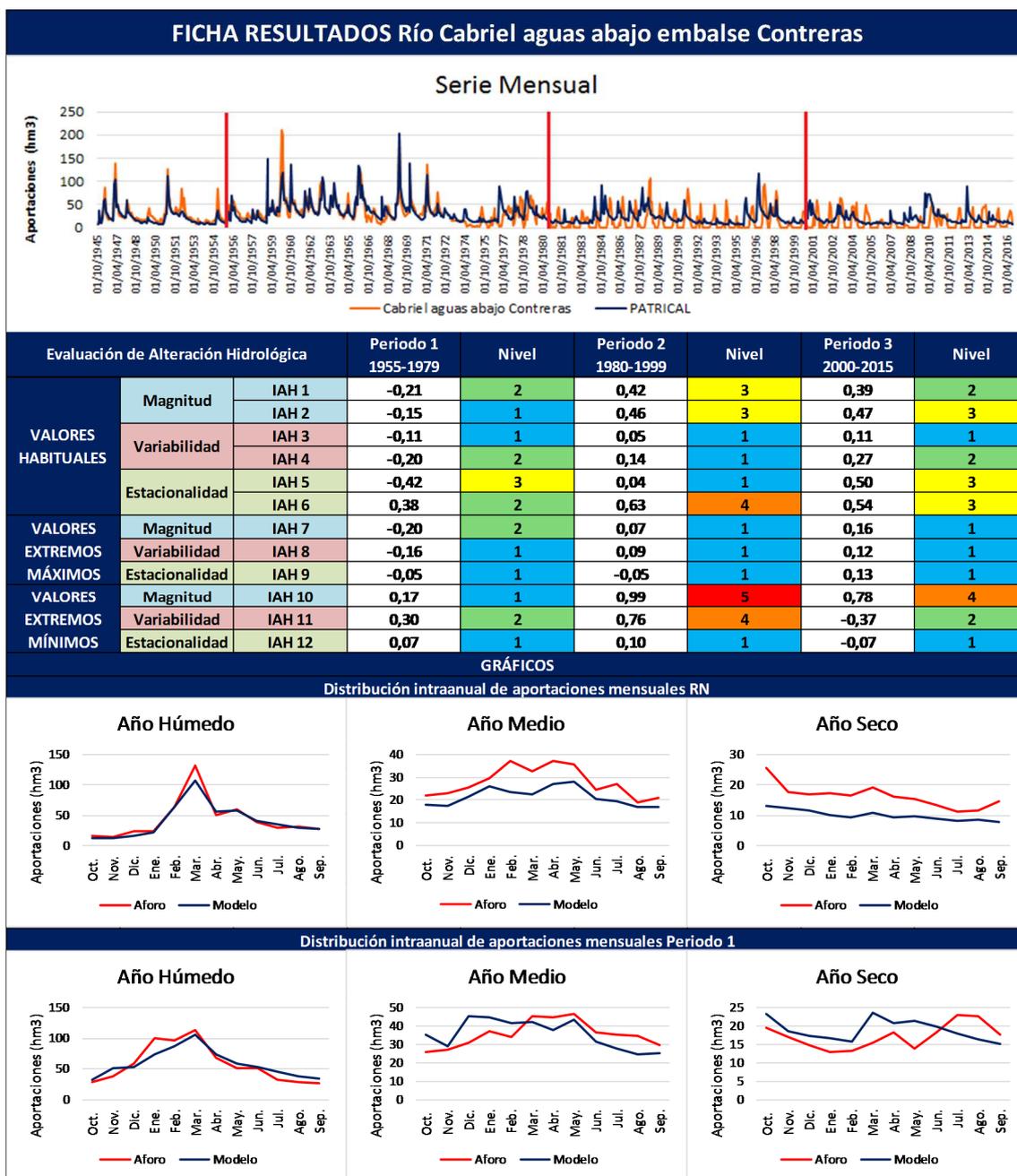
Tabla 22. Ficha de resultados Río Cabriel en EA Pajaroncillo

En este caso, al igual que en la EA Cuenca, los resultados evidencian que se trata de un tramo en régimen natural, a pesar de que algunos indicadores muestren un estado bueno en lugar de muy bueno. Observando la serie se comprueba que en muchos casos los datos registrados por la estación de aforo son superiores a los de PATRICAL, sobre todo los máximos. Esta diferencia explica los resultados de los indicadores IAH1, IAH 2, relativos a la magnitud. Para los tres periodos

existe un aumento en la variabilidad de la serie de avenidas habituales (IAH 8), y para los dos primeros periodos una reducción de en la variabilidad en el caso de las sequías (IAH 11).

Aun así, no se aprecia ningún resultado que evidencie la existencia de ninguna alteración, y la obtención de un buen estado en alguno de los indicadores puede deberse a un desajuste respecto al modelo, o al hecho de solo contar con seis años para caracterizar el régimen natural.

Río Cabriel aguas abajo embalse Contreras



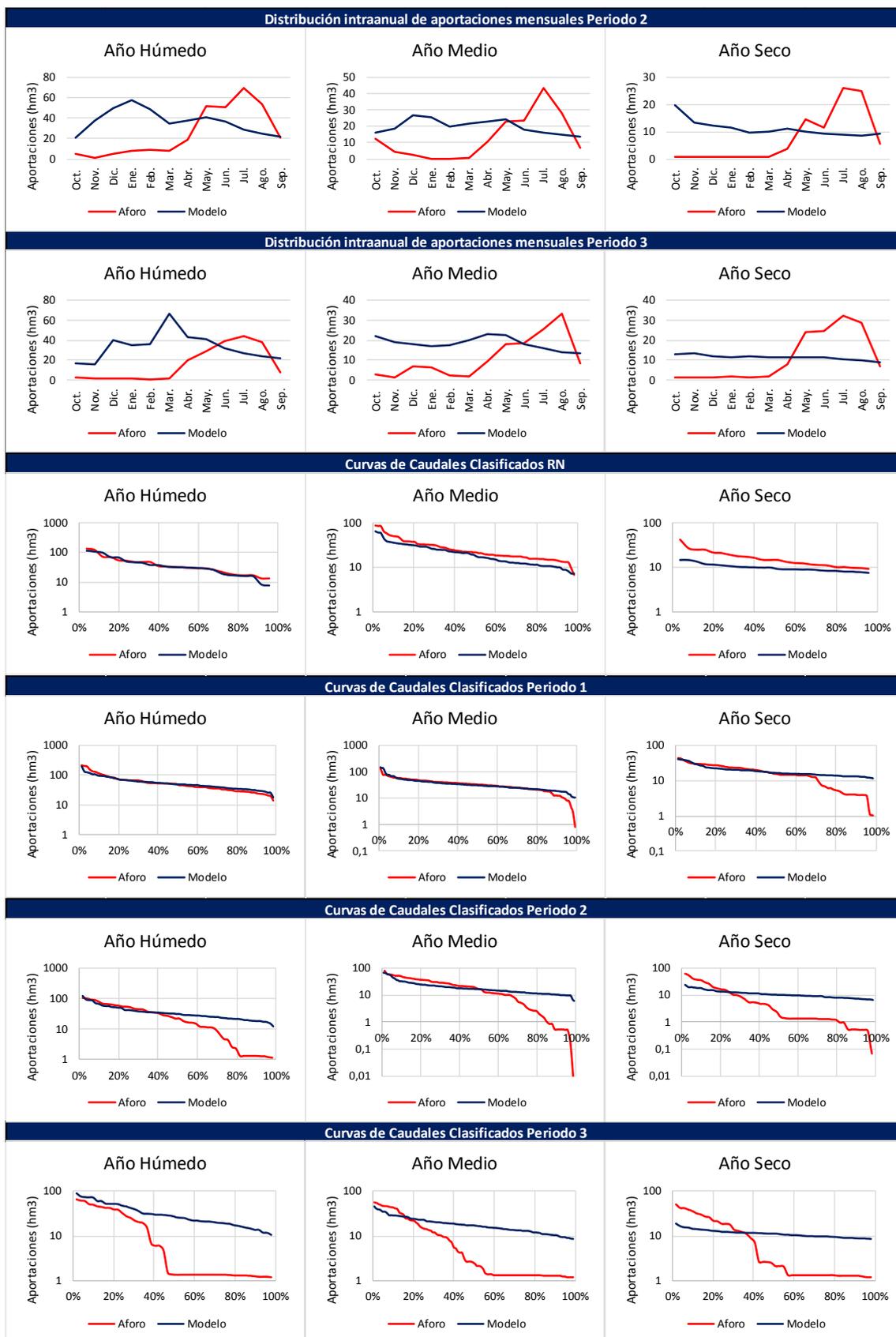


Tabla 23. Ficha de resultados Río Cabriel aguas abajo embalse Contreras

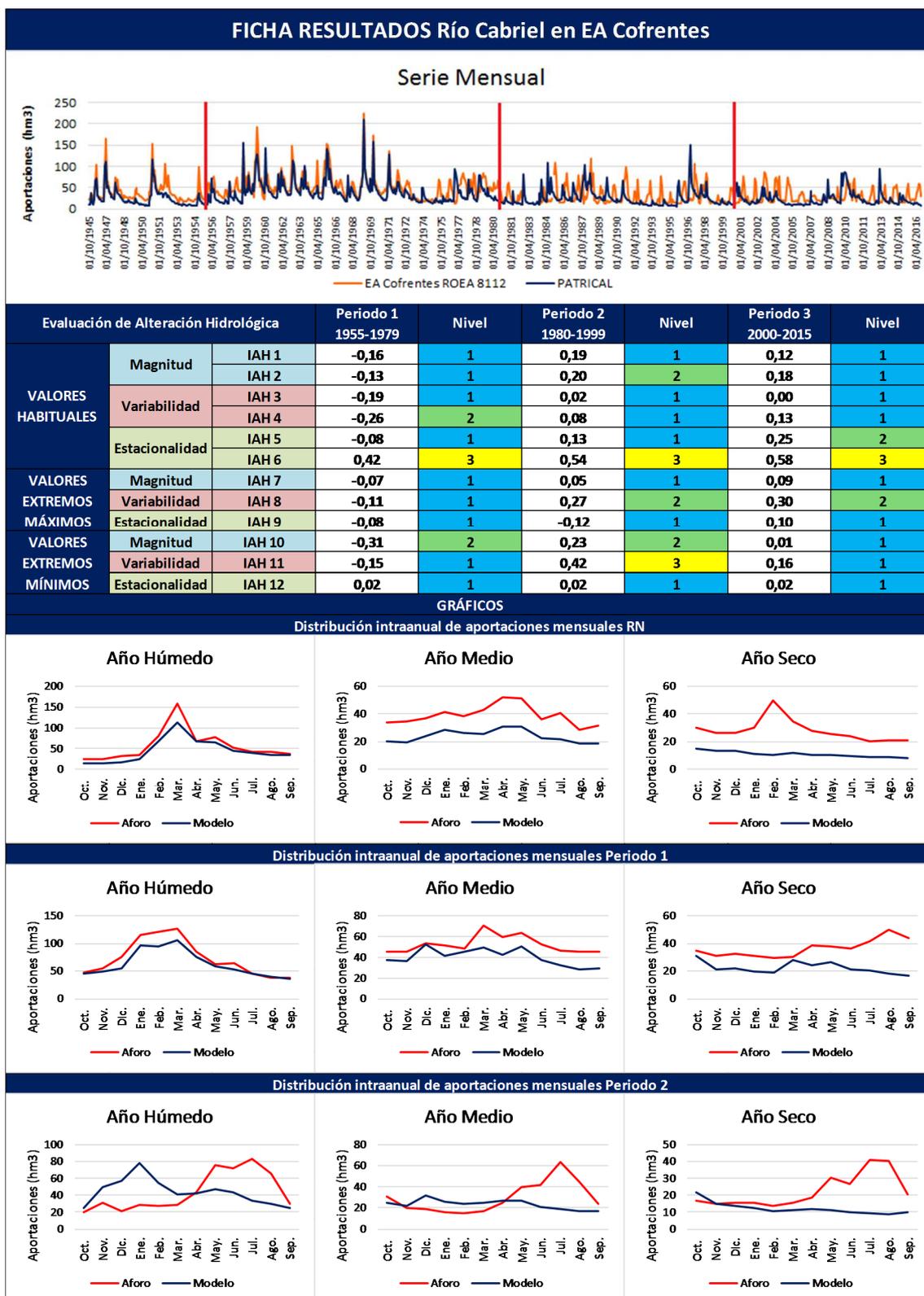
En este punto el Periodo 1 en teoría debería corresponderse con un régimen natural, pero el inicio de la construcción del embalse de Contreras se remonta a

1970 así que ya existe una cierta alteración durante la última década del periodo, sobre todo en los últimos cinco años, como se puede observar en la serie de aportaciones. Esto se ve reflejado sobre todo en la estacionalidad (IAH 5 y IAH 6), que comienza a verse alterada, con mayor intensidad en los años secos, como se puede ver en el gráfico de distribución intraanual de aportaciones mensuales para este periodo.

Para los periodos 2 y 3, la alteración es muy similar a la existente aguas abajo del embalse de Alarcón, ya que ambos embalses se gestionan con un mismo objetivo, regular caudales en los meses de mayores aportaciones para aprovecharlos en los meses más secos, principalmente para regadío, aunque también para abastecimiento urbano. Por tanto la máxima alteración existente es la relativa a la estacionalidad de los valores habituales, sobre todo la de los mínimos. La gran diferencia de este embalse respecto al de Alarcón es que también produce una alteración de la magnitud (IAH 1 y IAH 2) debido al problema de filtraciones existente en el vaso del embalse. Estos recursos retornan al cauce en el tramo de aguas abajo, pero a la salida del embalse las aportaciones se ven sumamente reducidas.

Otro factor que se ve seriamente alterado son las sequías, como se puede observar en las curvas de caudales clasificados y en el gráfico de aportaciones mensuales. Es muy cuestionable la gestión del embalse, de forma que en los meses en los que no hay demandas que atender aguas abajo, las sueltas son muy bajas, o en algunos casos nulas. Está claro que las filtraciones proporcionan un caudal base continuo a lo largo del año en el tramo aguas abajo, pero la cuestión es cuánta distancia se ve afectada hasta que se recuperan unos valores más aceptables del caudal. A la salida del embalse, el caudal de sequía habitual (IAH 10) para el Periodo 2 es 0 m³/s, y para el Periodo 3 0.47 m³/s, cuando previo a la existencia del embalse y el modelado por PATRICAL para estos periodos es de unos 3 m³/s. Esto se traduce también en un aumento de la variabilidad (IAH 11).

Río Cabriel en EA Cofrentes



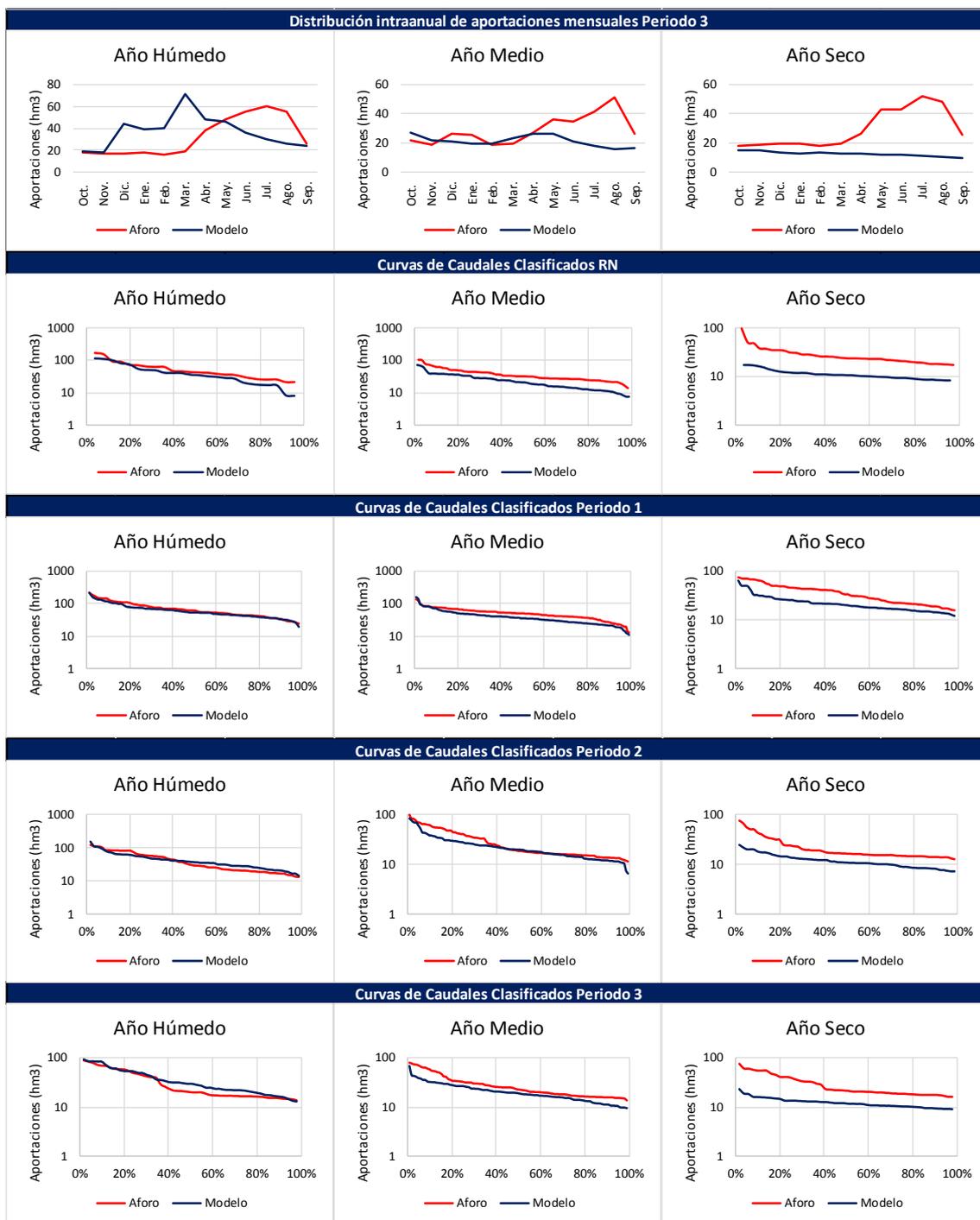


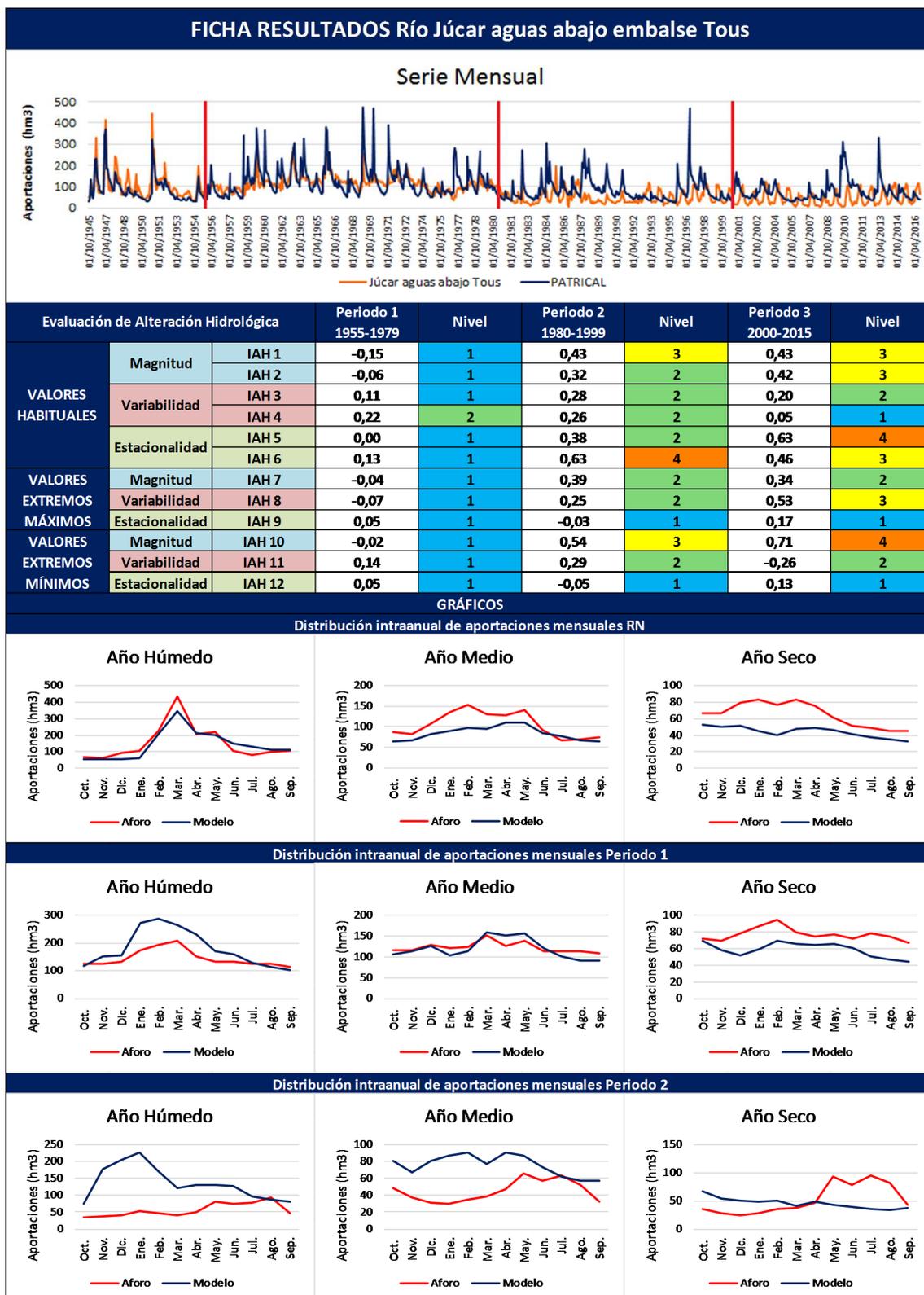
Tabla 24. Ficha de resultados Río Cabriel en EA Cofrentes

En este punto se evidencia lo anteriormente descrito, cómo tras más de un centenar de kilómetros, por los aportes del acuífero procedentes de las filtraciones de Contreras y de los recursos del propio acuífero, las alteraciones se reducen considerablemente. La alteración que aún es notable se corresponde con la mayor afección que provoca el embalse de Alarcón sobre el régimen hidrológico, la relativa a la estacionalidad, sobre todo la de los mínimos.

Los aportes constantes del acuífero suponen una reducción en la variabilidad de las avenidas (IAH 8). El caudal de sequía habitual se recupera, aunque en los

periodos 1 y 2 no lo suficiente para alcanzar el muy buen estado. La variabilidad de las sequías (IAH 11) en este caso experimenta una severa reducción, por el mismo motivo.

Río Júcar aguas abajo embalse Tous



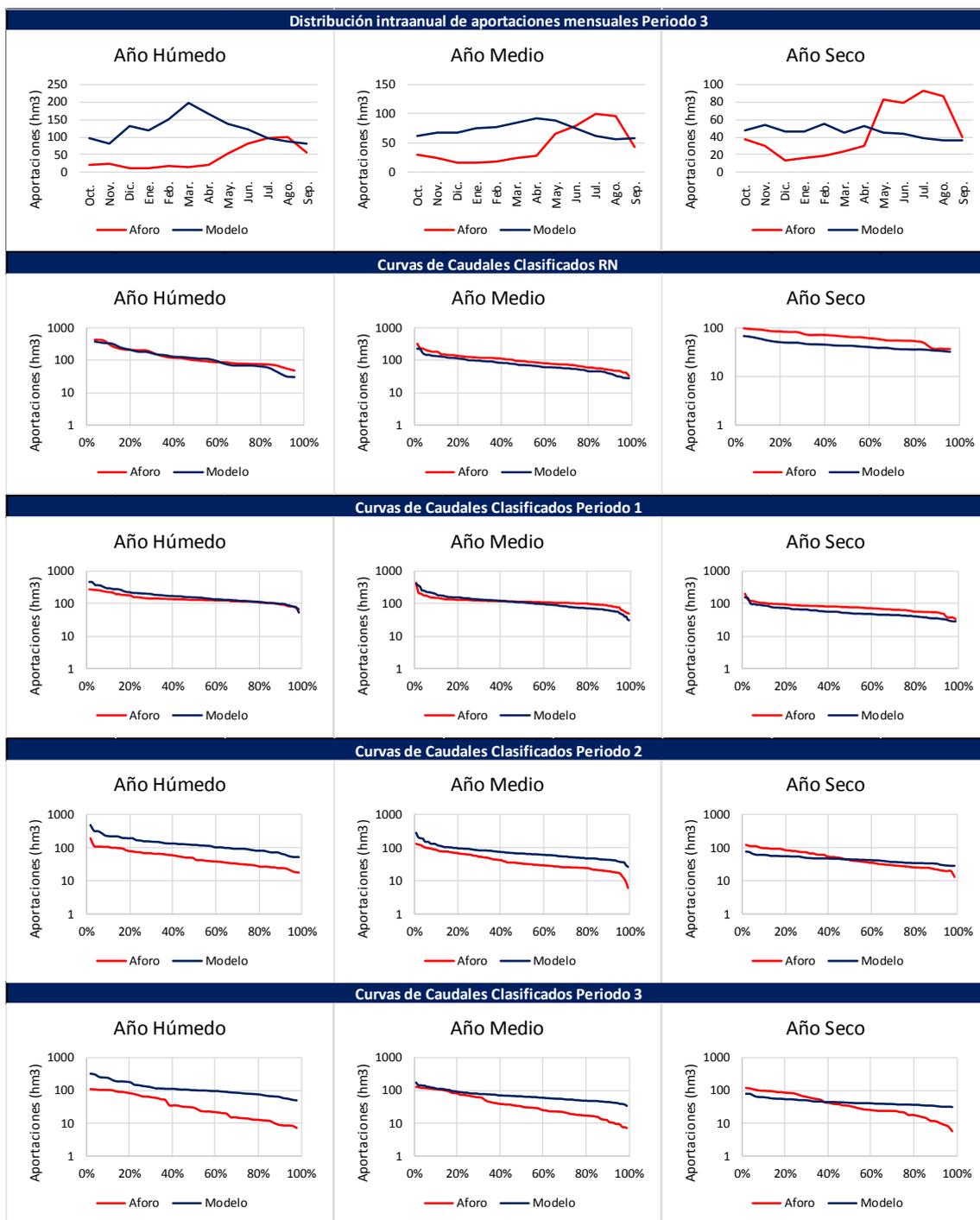


Tabla 25. Ficha de resultados Río Júcar aguas abajo embalse Tous

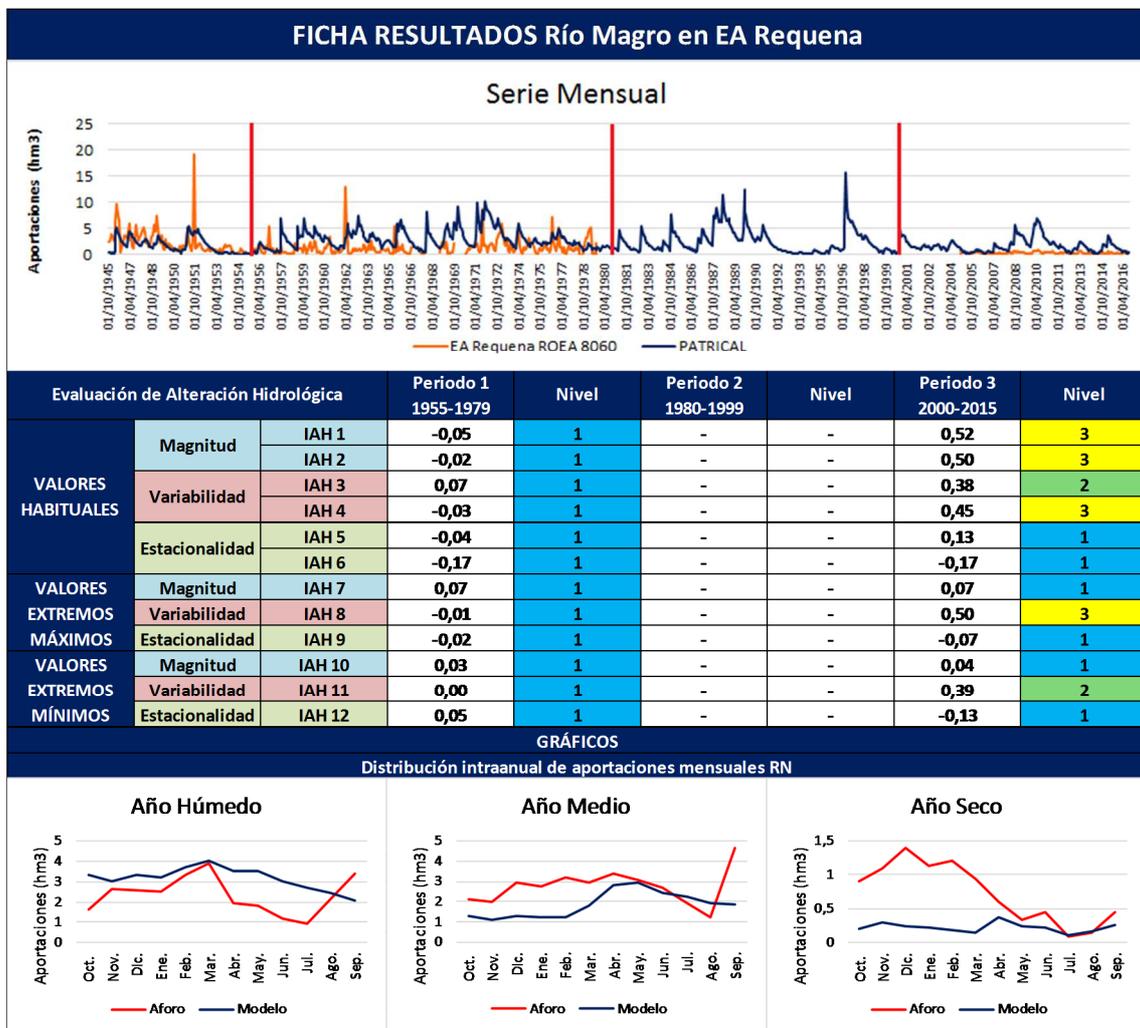
En este punto se superponen todas las presiones que afectan a los puntos analizados aguas arriba. Estas alteraciones pueden haberse visto modificadas por los aportes recibidos y por la gestión del embalse de Tous.

En el Periodo 1 los resultados muestran como las alteraciones producidas por el embalse de Alarcón se han disipado, tanto por los aportes del acuífero de la Mancha Orienta como los del Cabriel.

En el Periodo 2, al embalse de Alarcón se suma el de Contreras y el comienzo de las extracciones del acuífero de la Mancha Oriental, por lo que las alteraciones ya si son considerables. Es difícil discernir el origen de cada una de ellas, pero en general podemos achacar las de magnitud las extracciones de la Mancha Oriental y las de estacionalidad a los embalses de Alarcón y Contreras. Para el resto ya es más complicado diferenciar este aspecto.

El principal cambio en el Periodo 3 respecto al Periodo 2 es el aumento de los problemas de magnitud, como ya se vio en la EA Los Frailes. La entrada en servicio del embalse de Tous no supone una gran alteración, ya que esta viene impuesta de aguas arriba. Comparando los datos de entradas y salidas al embalse solo destaca una reducción en el caudal de sequía habitual (IAH10).

Río Magro en EA Requena



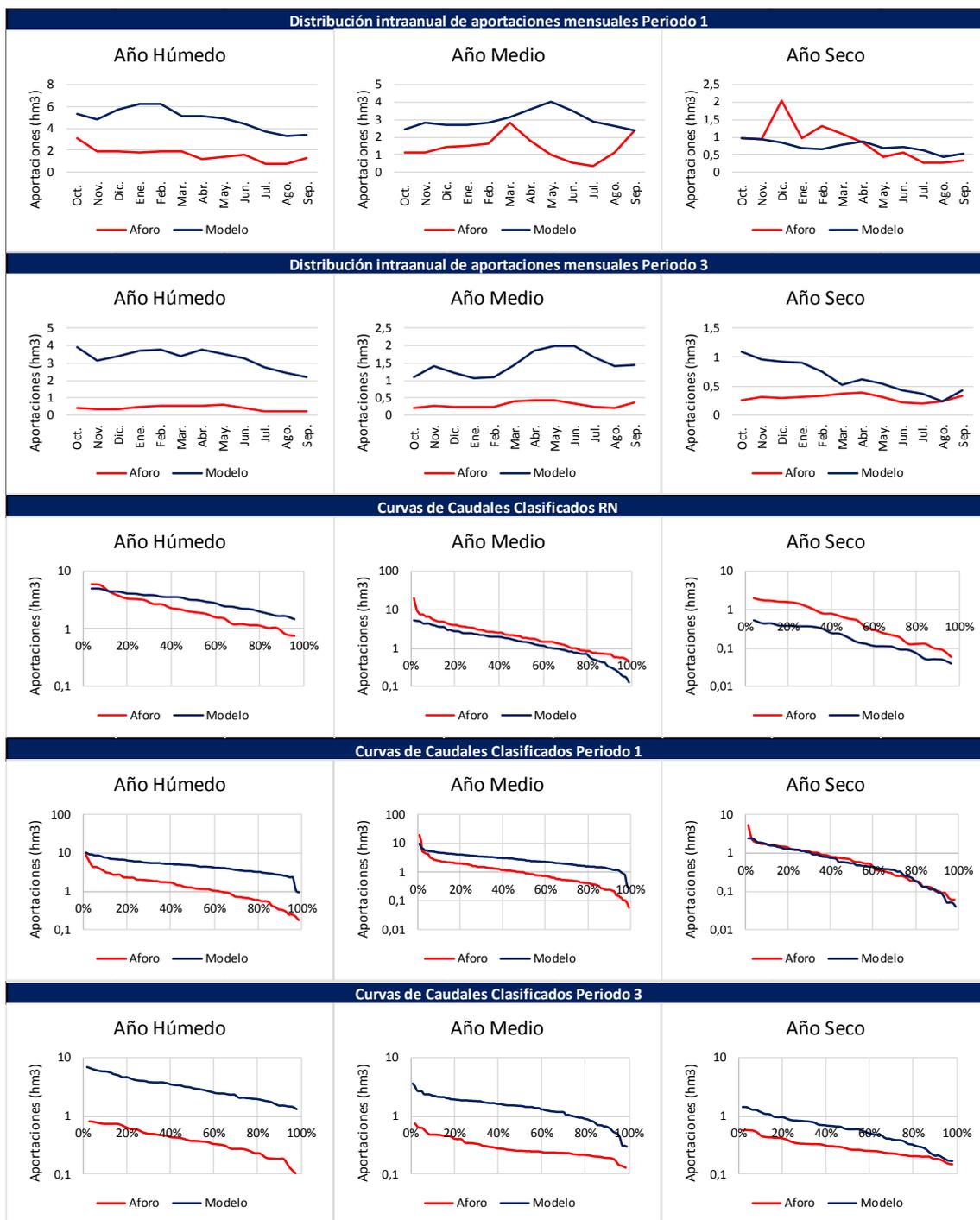


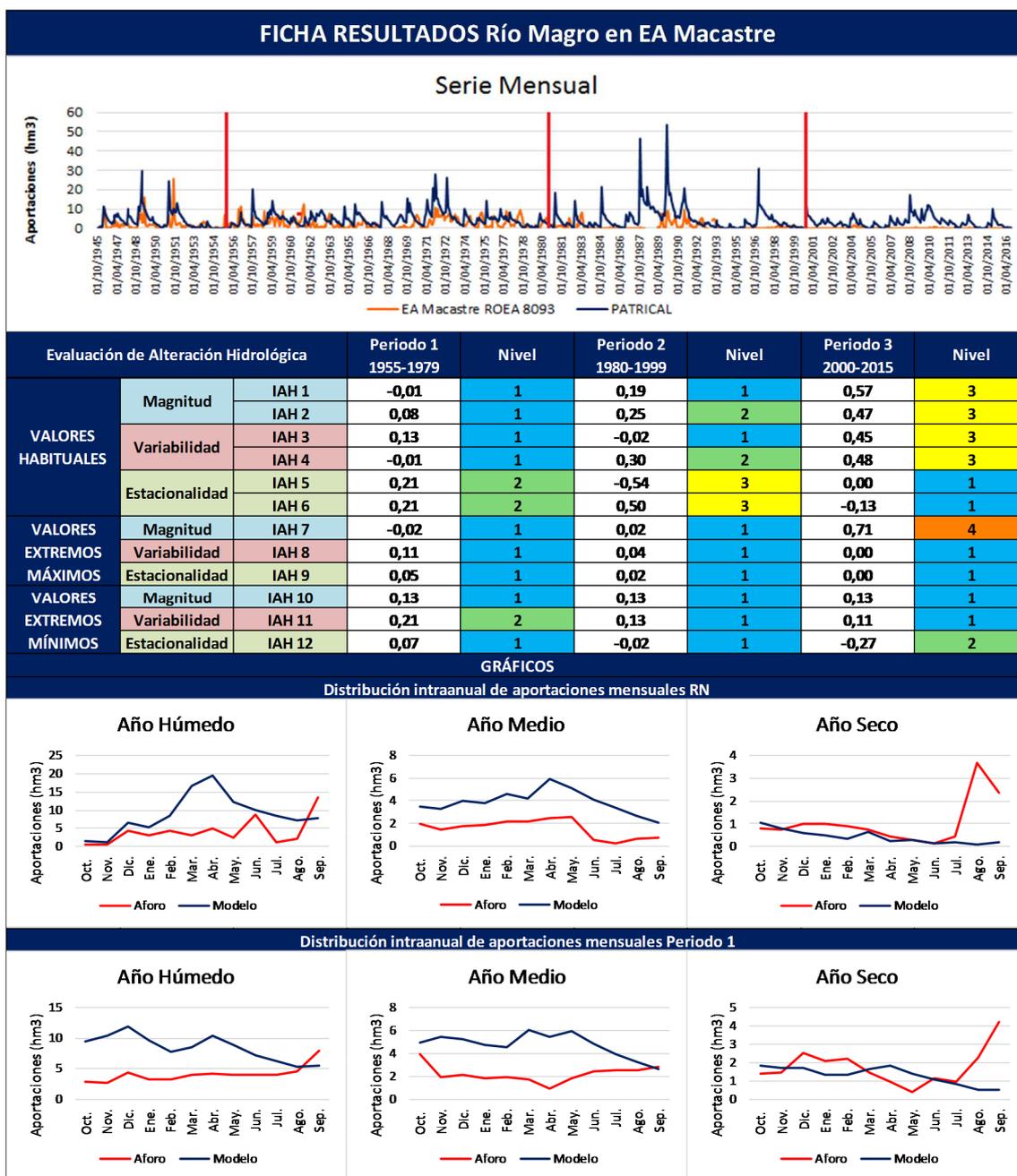
Tabla 26. Ficha de resultados Río Magro en EA Requena

Como se describió en el apartado de presiones, en el Magro comenzaron las primeras extracciones del acuífero para abastecimiento a finales de la década de los cincuenta. Pero no fue hasta el año 2000 cuando comenzaron las grandes extracciones para regadío. Por ello para el Periodo 1 el régimen del río se corresponde con un régimen natural, y en el Periodo 3 es cuando aparecen las alteraciones, sobre todo relacionadas con la magnitud (IAH 1 y IAH 2).

El otro factor que también se ve afectado es la variabilidad, que se reduce tanto para los valores habituales como para los valores extremos.

Un hecho característico en el río Magro, presente en este punto y en la EA Macastre, es que las alteraciones se han visto sumamente incrementadas por la acción climática, mostrando para la comparación real/real (que incluye las alteraciones de origen climático y antrópico) valores de estado deficiente o malo para la mayoría de los indicadores.

Río Magro en EA Macastre



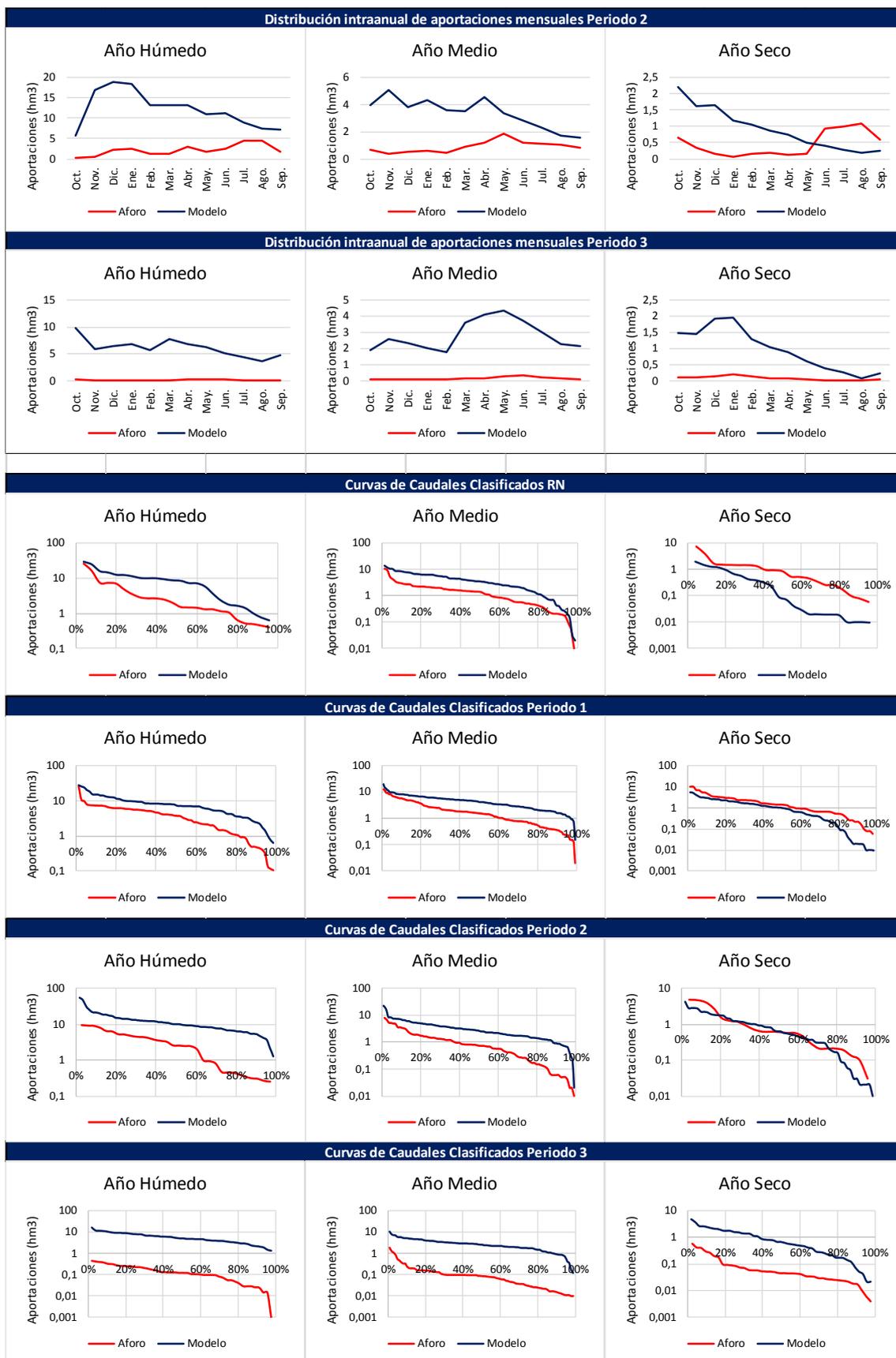


Tabla 27. Ficha de resultados Río Magro en EA Macastre

En este punto se observa lo descrito en el análisis de los resultados en la EA Requena. Para el Periodo 1 un régimen natural en todo el río (tres indicadores muestran un buen estado pero su valor se encuentra en el límite con muy buen estado), por lo que no se deben a alteraciones. Las alteraciones existentes en el Periodo 2, al ser de carácter estacional (IAH 5 y IAH 6), se pueden achacar a la regulación del embalse de Forata, en servicio a partir de la segunda mitad de este periodo. Esta regulación también justifica el resultado del IAH 2, al existir una alteración de las aportaciones a escala intraanual.

En el Periodo 3, con el aumento de las extracciones en el acuífero Requena-Utiel, el río queda prácticamente seco, por lo que el embalse ya no tiene caudales que regular (por ello no existe alteración respecto a la estacionalidad). En este caso la alteración, al igual que en la EA Requena, se circunscribe a la magnitud y a la variabilidad, que se ven severamente reducidas. El hecho de que el Q5 sea de 0.16 m³/s, cuando se esperaba un valor superior a 2 m³/s, se refleja en el mal estado que presenta el IAH 7.

6.2 Resultados de la evaluación de la alteración hidrológica a escala horaria

FICHA RESULTADOS Evaluación Alteración Hidrológica a escala horaria						
Punto	IAH 13					
	Máximo		Media		Mediana	
	Valor	Nivel	Valor	Nivel	Valor	Nivel
EA Cuenca ROEA 8032	0,12	5	0,12	5	0,09	5
EA El Castellar ROEA 8091	0,26	4	0,28	4	0,19	5
EA Los Frailes ROEA 8036	0,57	3	0,51	3	0,50	3
EA Alcalá del Júcar ROEA 8144	0,11	5	0,42	3	0,49	3

Tabla 28. Ficha de resultados de la evaluación de la alteración hidrológica a escala horaria

De los resultados obtenidos se extrae que a pesar de que en casi todos los puntos y para todo el periodo de estudio se cumplieran las limitaciones en cuanto a tasas de cambio, la alteración es hidrológica es más que evidente. Sobre todo en los dos primeros puntos y muy posiblemente causada por el aprovechamiento del Salto de Villalba, el único de derivación que se puede estudiar.

Aun así, esta evaluación se ha visto bastante limitada por la falta de series horarias en muchos puntos en lo que no se han podido obtener o en los que no existen unidades de control. Además no se ha podido cuantificar la gestión de las derivaciones, para comprobar los momentos en los que se haya podido dejar seco el cauce.

7. Programa de medidas

En este apartado se pretende esbozar una serie de medidas, o al menos enfocar la dirección en la que hay que actuar, para alcanzar un buen estado de las masas superficiales en la cuenca del río Júcar en relación a su régimen hidrológico. Se distinguen dos tipos de medidas.

- Medidas de explotación. Son las medidas fundamentales en la forma de gestionar los recursos hídricos en el sistema de explotación Júcar, tratando de compaginar los usos y demandas existentes con la mejora del estado de la masa de agua.
- Medidas de mejora de la red. Tienen por objetivo conseguir un control más preciso de los caudales circulantes.

7.1 Medidas de explotación

Las medidas de explotación se definen con la intención de corregir los resultados obtenidos en los distintos puntos de estudio. Gran parte de estas medidas ya están contempladas en el PHJ15-21.

- La principal medida para garantizar el buen estado de una masa de agua en lo relativo a su régimen hidrológico es establecer un régimen de caudales ecológicos en el que se precisen los caudales máximos, caudales mínimos y tasas de cambio. A la hora del diseño de este régimen, se debe buscar una coexistencia entre la satisfacción de las demandas y la consecución de un buen estado.

El resto de las medidas se clasifican en función de la alteración que pretenden corregir.

Embalses de Alarcón y Contreras

- Diseño de un programa de explotación que garantizando la atención de las demandas aguas abajo, corrija la inversión del régimen hidrológico existente (Gráfico 41). Esta medida trasladaría las alteraciones producidas por la regulación de caudales desde las cabeceras hasta el tramo final del cauce (embalse de Tous).

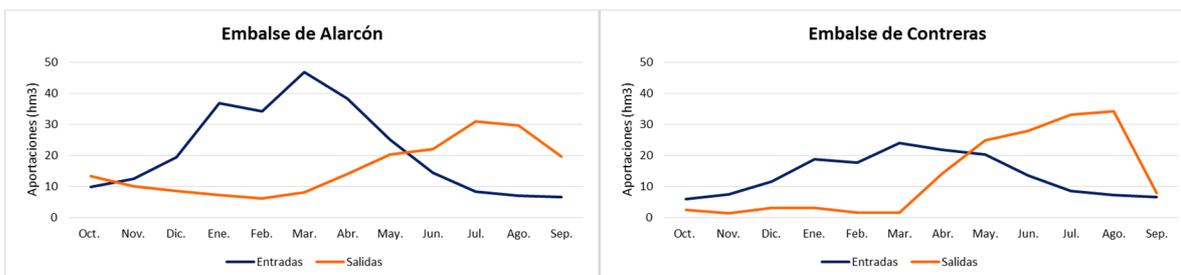


Gráfico 41. Distribución mensual de las series de entradas y salidas a los embalses de Alarcón y Contreras para el Periodo 3

- Modernización de los regadíos. El sector agrícola es el mayor consumidor de recursos en el ámbito de la cuenca del río Júcar. La modernización de los regadíos permite reducir las demandas, existiendo una mayor cantidad de los mismos para mejorar el estado de las masas de agua. El ahorro producido por esta medida debe tener siempre este objetivo, nunca suponer una excusa para aumentar la superficie de regadío.
- Mejora de las redes de abastecimiento en aquellas poblaciones que consumen recursos procedentes del sistema Júcar. Si bien las demandas de abastecimiento son menores a las agrícolas, cualquier ahorro siempre es beneficioso. Esta medida va dirigida a reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia de la red, y debe ir acompañada de campañas de concienciación ciudadana sobre el uso del agua.

Extracciones del acuífero de la Mancha Oriental

- Sustitución de los bombeos por recursos superficiales. Si bien es una medida encaminada a mejorar el estado cuantitativo del acuífero, y un mejor estado del acuífero reducirá la alteración existente, implica detraer caudales que no acabarán circulando por el río.
- Reducción de la demanda asociada a los regadíos de la Mancha Oriental. Esta presión supone un gran impacto sobre el régimen hidrológico en el aspecto de la magnitud. El balance final es de 300 hm³ que salen del sistema en forma de evotranspiración, por lo que no existe ningún tipo de retorno. En los últimos años se han adquirido derechos de riego por parte de la CHJ para reducir la demanda, pero esta presión necesita una solución a gran escala, suprimiendo gran parte de la superficie de regadío, priorizando aquellos cultivos que presenten un menor rendimiento económico.

Extracciones del acuífero en el Río Magro

- Creación de un modelo que simule las interacciones río-acuífero. Para corregir esta alteración el primer paso es conocer con más precisión las relaciones río-

acuífero, de forma que se puedan plantear las medidas más certeras mejorar el estado de la masa.

- Reducción de las demandas. Modernización de regadíos y optimización de los sistemas de abastecimiento. A pesar de la necesidad de conocer el funcionamiento del sistema, sin duda una medida básica será la reducción de las demandas para disponer de más recursos que atiendan las necesidades para alcanzar un buen estado.

Aprovechamientos hidroeléctricos

- A pesar de que se cumplen las tasas de cambio establecidas en el PHJ15-21, es necesario determinar si en la práctica la gestión actual de los aprovechamientos supone un impacto en las especies existentes aguas abajo.

7.2 Medidas de mejora de la red

Uno de los principales problemas con los que se ha contado al realizar este estudio es la falta de datos y de puntos de control, sobre todo a la hora de analizar la alteración producida por los aprovechamientos hidroeléctricos. Se plantean las siguientes medidas.

- Exigir a las empresas operadoras de embalses y aprovechamientos que faciliten los datos de operación, detallando cuáles son los caudales circulantes por el cauce y cuáles derivan para su aprovechamiento. Esto permitiría cuantificar la alteración producida por todos y cada uno de los aprovechamientos hidroeléctricos, de forma independiente.
- Instalar estaciones de aforo SAIH en todos aquellos puntos que sean susceptibles a provocar una alteración de gran magnitud, como puede suponer que el río quede seco por una derivación. Son de especial importancia el Júcar aguas abajo del embalse de la Toba (Salto de Villalba), el Júcar aguas abajo del embalse del Molinar (derivación hacia el Cabriel), el Cabriel y el Guadazaón en el complejo de la central de Lucas de Urquijo (Saltos de Vállora y el Batanejo), y el Júcar aguas abajo del embalse del Naranjero (Salto de Millares).
- Para el estudio de la alteración hidrológica a escala mensual, no existe ningún elemento de control que caracterice el Júcar aguas abajo de la confluencia con el Cabriel. Solo existen datos de entradas al embalse de Cortes II y al ser determinados por balance, no son tan fiables como el registro de una estación de aforo. Si bien la confluencia pueda encontrarse anegada, sería interesante disponer de dos estaciones de aforo, una en cada río, que conjuntamente caractericen este aspecto.

8. Conclusiones y líneas futuras de investigación

En este apartado se pretenden sintetizar las conclusiones más importantes obtenidas en este estudio, identificando diferentes aspectos que podrían servir como punto de partida a futuros trabajos que profundicen en esta materia.

Conclusiones

- Si bien existen metodologías que permiten evaluar la alteración hidrológica mediante un software, se necesitan unas condiciones previas que en caso de no cumplirse imposibilitan realizar el análisis de esta forma. En el caso concreto de estudio el condicionante ha sido la no existencia de series de caudales diarios en régimen natural.
- Tras el intento de aplicar una de las metodologías existentes mediante una adaptación de los indicadores a escala mensual, se ha concluido que en muchos casos utilizar un modelo como régimen natural no proporciona resultados reales.
- Al utilizar una serie registrada inalterada como caracterizador del régimen natural se deben tener en cuenta y corregir las posibles variaciones en la climatología para que estas no interfieran en los resultados. De no tenerse en cuenta este factor en la mayoría de los casos se obtienen niveles de alteración superiores a los que realmente han sido causados por la acción antrópica.
- En la cuenca del río Júcar existen numerosos usos y presiones de distinta tipología que generan una alteración en el régimen hidrológico, de forma que se presenta muy difícil compaginar estos usos y presiones con la consecución de un buen estado ecológico en lo relativo a este aspecto.
- Las principales presiones que alteran el régimen hidrológico a escala mensual-anual en la cuenca del río Júcar los embalses de Alarcón y Contreras (inversión del régimen intraanual), las extracciones del acuífero de la Mancha Oriental (reducción de las aportaciones en cerca de 300 hm³ anuales), las derivaciones para regadío en el bajo Júcar y las extracciones del acuífero en el Magro (llegando a quedar seco en algunos tramos).
- Los aprovechamientos hidroeléctricos provocan una considerable alteración en el régimen hidrológico a escala horaria, sobre todo los que desvían caudales que no retornan al río hasta varios kilómetros aguas abajo.

Líneas futuras

- Elaboración de un modelo en régimen natural a escala diaria. Sin duda una de las mayores limitaciones a la hora de realizar este estudio ha sido el alcance del modelo PATRICAL, que solo cuenta con series a escala mesual.
- Comparación de los resultados de la evaluación de la alteración hidrológica con el estado biológico de las masas de agua. Si bien en su definición los parámetros muestran una significancia ambiental, sería interesante comprobar esa correlación en el caso concreto de estudio.
- Diseño de un nuevo modelo de explotación del sistema Alarcón-Contreras-Tous. Sin duda la medida más significativa en cuanto a la relación mejora de estado/dificultad de aplicación, ya que de poder garantizarse la atención a las demandas en la parte baja del Júcar y los resguardos frente a avenidas en el embalse de Tous, esta medida no sería difícil de aplicar (a diferencia de otras como la reducción de la superficie de regadíos en la Mancha Oriental).
- Adaptación de la metodología real/real-modelo/modelo a otros casos de estudio. Esta metodología solo se ha probado en el caso de estudio de este trabajo, y aún puede perfeccionarse y adaptarse para poder ser aplicada en otras cuencas en las que existan condiciones de partida similares. A nivel general, se deben seguir estudiando y probando distintas metodologías para la evaluación de la alteración hidrológica porque como se ha visto en este estudio, estas no siempre pueden aplicarse.

9. Referencias

- Baker D.B, Richards R.P., Loftus T.T. Y Kramer J.W., 2004. A new flashiness index: characteristics and applications to midwestern rivers and streams. *Journal Of The American Water Resources Association* pp: 503-523.
- CHJ, 2010. La La primera Confederación Hidrográfica del Júcar (1934-1942).
- CHJ, 2011. Evaluación del régimen de caudales medioambientales en el río Júcar entre el embalse de la Toba y Cuenca. Parque Natural de la Serranía de Cuenca.
- CHJ, 2013. Esquema de temas importantes para la planificación hidrológica en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.
- CHJ, 2015. Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria. Ciclo de planificación 2015-2021.
- CHJ, 2015. Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria – Anejo 3 Usos y demandas de agua. Ciclo de planificación 2015-2021.
- CHJ, 2015. Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria – Anejo 5 Régimen de caudales ecológicos. Ciclo de planificación 2015-2021.
- CHJ, 2015. Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria – Anejo 6 Sistemas de explotación y balances. Ciclo de planificación 2015-2021.
- CHJ, 2017. Seguimiento del Plan Hidrológico del Júcar. Ciclo de planificación 2015-2021. Año hidrológico 2015-2016.
- MAPAMA, 2016. Anuario de aforos 2013-2014.
- MARM, 2008. ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.
- Martínez Santa-María, C. & Fernández Yuste, J.A. 2010. IAHRIS 2.2 Índices de alteración hidrológica en ríos. Manual de referencia metodológica.
- MIMAM, 2003. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social (TRLA).
- MIMAM, 2007. Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- Pérez, M.A, 2005. Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico y de la calidad del agua, integrado en sistemas de información geográfica, para las grandes cuencas. Aportación al análisis de presiones e impactos de la Directiva Marco del Agua. Tesis Doctoral. Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. UPV.
- Pérez-Martín, M.A., T. Estrela, J. Andreu and J. Ferrer, 2013. Water Resource Assessment in a River Basin in Spain, using a Distributed Water Balance Model. To be published in *Water Resources Research*.

Pérez-Martín MA, Thurston W, Estrela T, del-Amo P (2013) Cambios en las series hidrológicas de los últimos 30 años y sus causas. El Efecto 80. In: Valles-Moran et al. (Ed) III Jornadas de Ingeniería del Agua. Barcelona, 1:527–534.

Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., Sparks R.E. Y Stromberg C., 1997. The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration. BioScience Vol. 47 No.11.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., and Braun, D.P., (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. Conservation Biology, 10(4), 1163-1174. Posted to nature.org with permission from Blackwell Science, publisher of Conservation Biology.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Wigington, R., and Braun, D.P. (1997). How much water does a river need? Freshwater Biology, 37, 231-249. Posted to nature.org with permission from Blackwell Science, publisher of Freshwater Biology.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Braun, D.P., and Powell, J. (1998). A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. Regulated Rivers: Research & Management, 14, 329-340.

Temez, J.R., 1977. Modelo matemático de transformación Precipitación Aportación, ASINEL 1977.

The Nature Conservancy, 2011. Manual del usuario de Indicadores de Alteración Hidrológica, Versión 7.1.

Unión Europea. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.