
INFORME DE SEGUIMIENTO DEL PHC 2013

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

Año hidrológico 2012/13



ÍNDICE

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	DATOS DE REFERENCIA CONSIDERADOS EN EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA	3
3.	METODOLOGÍA	9
	3.1. PRECIPITACIÓN.....	10
	3.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP).....	12
	3.3. APORTACIÓN	12
	3.3.1. Calibración	13
	3.3.2. Simulación.....	16
	3.4. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS	17
4.	DATOS ACTUALIZADOS.....	19
5.	COMPARATIVA DE DATOS.....	21
6.	CONCLUSIONES FINALES.....	29

ANEJO 1: SERIES DE PRECIPITACIÓN POR SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN Y DEMARCACIÓN EN EL PERIODO 1980/81 – 2012/13

ANEJO 2: SERIES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN Y DEMARCACIÓN EN EL PERIODO 1980/81 – 2012/13

ANEJO 3: SERIES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL POR SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN Y DEMARCACIÓN EN EL PERIODO 1980/81 – 2012/13

ANEJO 4: SERIES DE ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA POR SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN Y DEMARCACIÓN EN EL PERIODO 1980/81 – 2012/13

ANEJO 5: SERIES DE ESCORRENTÍA TOTAL POR SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN Y DEMARCACIÓN EN EL PERIODO 1980/81 – 2012/13

ANEJO 6: SERIES DE APORTACIÓN TOTAL POR SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN Y DEMARCACIÓN EN EL PERIODO 1980/81 – 2012/13

ÍNDICE

Índice de Tablas

Tabla.1.	Precipitación mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.	5
Tabla.2.	Evapotranspiración potencial mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.....	5
Tabla.3.	Evapotranspiración real mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.....	5
Tabla.4.	Infiltración mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.	6
Tabla.5.	Escorrentía subterránea mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.....	6
Tabla.6.	Escorrentía total mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.....	6
Tabla.7.	Aportación total mensual y anual media (hm ³) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.....	6
Tabla.8.	Recursos naturales y disponible (total, incluido retorno riego) por masa de agua subterránea. Año 2012.....	7
Tabla.9.	Errores obtenidos en la calibración.....	14
Tabla.10.	Parámetros calibrados en cada sistema.....	14
Tabla.11.	Precipitación mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13..	19
Tabla.12.	Evapotranspiración potencial mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.....	19
Tabla.13.	Evapotranspiración real mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.....	19
Tabla.14.	Escorrentía subterránea mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.....	20
Tabla.15.	Escorrentía total mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.....	20
Tabla.16.	Aportación total mensual y anual media (hm ³) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.....	20
Tabla.17.	Comparativa de datos hidrológicos del Plan Hidrológico frente a datos actualizados	23
Tabla.18.	Comparativa de datos de precipitación y aportación del Plan Hidrológico frente a datos actualizados	23

Índice de Figuras

Figura 1.	Diagrama de flujo del modelo distribuido SIMPA.....	3
Figura 2.	Estaciones meteorológicas seleccionadas con su área de influencia	9
Figura 3.	Ejemplos de análisis de dobles acumulaciones.....	11
Figura 4.	Esquema del modelo de Témez	13
Figura 5.	Términos de error en la calibración con CHAC	14
Figura 6.	Gráfico de calibración 1. Sistema Central	15
Figura 7.	Gráfico de calibración 2. Sistema Central	16

ÍNDICE

Figura 8.	Comparativa de la precipitación media anual por sistemas y demarcación.....	25
Figura 9.	Comparativa de la aportación media anual por sistemas y demarcación.....	26
Figura 10.	Serie de precipitaciones anuales (mm) en la Demarcación del Guadiana.....	27
Figura 11.	Serie de aportaciones anuales (hm ³ /año) en la Demarcación del Guadiana.....	27

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los trabajos de seguimiento del Plan Hidrológico de cuenca del Guadiana, el presente informe incluye el seguimiento de los recursos hídricos naturales y disponibles en la cuenca. Entendiéndose por seguimiento el estudio de la variación existente entre los datos de recursos calculados en el nuevo Plan Hidrológico y los datos procedentes de la actualización más reciente gracias a las fuentes de información consultadas.

En anteriores informes de seguimiento la fuente de información principal fueron los resultados del modelo de precipitación-aportación SIMPA, desarrollado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Para el año 2012/13 no hay disponibilidad de datos de dicho modelo, por lo que se han utilizado datos de estaciones meteorológicas (AEMET) para obtener los resultados de las variables hidrológicas y las aportaciones naturales con el método de Témez.

En la evaluación de recursos del nuevo Plan Hidrológico se calcularon las series de las principales variables hidrológicas para los periodos 1940/41 – 2005/06 y 1980/81 – 2005/06. En anteriores informes se completaron estas series hasta el año 2011/12 y para este cuarto informe se han completado dichas series hasta el año hidrológico 2012/13. Por tanto, dado que el periodo limitante elegido para realizar los estudios del Plan Hidrológico (Asignación de recursos, etc.) fue el 1980/81 – 2005/06, para el estudio de las variaciones analizadas en este informe se ha recurrido a la comparación de dicho periodo con el correspondiente a 1980/81 – 2012/13.

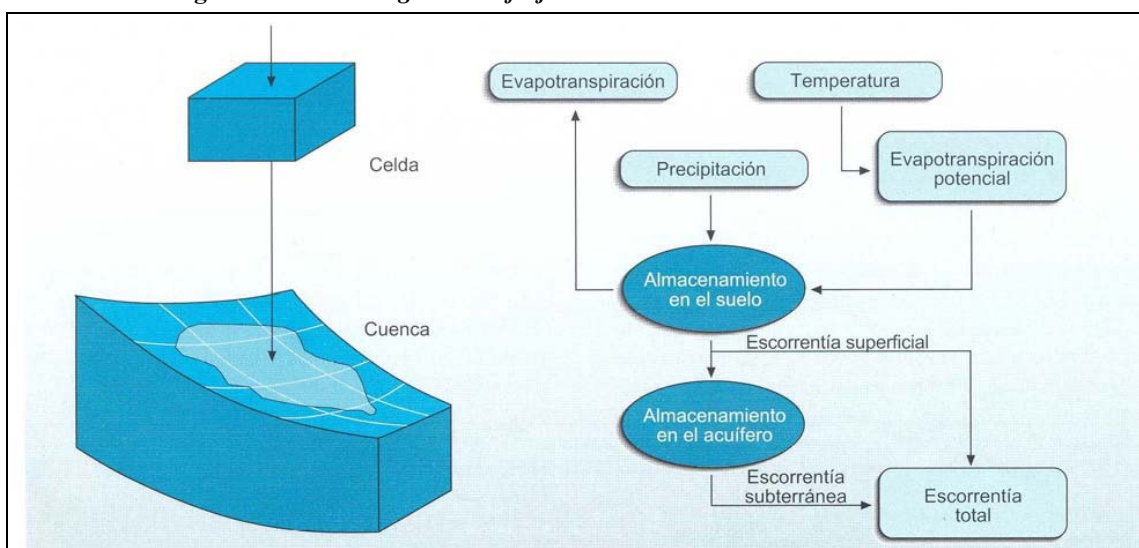
Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

2. DATOS DE REFERENCIA CONSIDERADOS EN EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

Como se ha mencionado, el principal modelo de simulación utilizado para la evaluación de los recursos hídricos naturales en el nuevo Plan Hidrológico del Guadiana, ha sido el modelo de precipitación-aportación SIMPA. Este modelo reproduce los procesos esenciales de transporte de agua que tienen lugar en las diferentes fases del ciclo hidrológico. Es un modelo hidrológico conceptual y distribuido que permite obtener caudales medios mensuales en régimen natural en puntos de la red hidrográfica de una cuenca.

En cada una de las celdas en que se discretiza el territorio plantea el principio de continuidad y leyes de reparto y transferencia entre los distintos almacenamientos. La resolución temporal que utiliza es el mes, por lo que puede obviarse la simulación de un gran número de almacenamientos intermedios y la propagación del flujo en la cuenca. La información de partida del modelo está constituida por los datos de precipitaciones y temperaturas mensuales en las estaciones meteorológicas y los datos de caudales históricos en los puntos de contraste. A partir de las precipitaciones, las evapotranspiraciones potenciales y los parámetros hidrológicos, el modelo obtiene los mapas de los distintos almacenamientos, humedad en el suelo y volumen de acuífero, y de las variables de salida del ciclo hidrológico, evapotranspiración y escorrentía total, obtenida esta última como suma de la escorrentía superficial y la subterránea.

Figura 1. Diagrama de flujo del modelo distribuido SIMPA



Fuente: Ingeniería del Agua. Vol.6 Num.2 (junio 1999)

En el Anejo 3 de la Memoria del nuevo Plan Hidrológico se ha reflejado la distribución anual e intraanual en régimen natural de las principales variables hidrológicas, en cada sistema de explotación y en el conjunto de la demarcación, tal y como establece la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH). Estas variables, calculadas con el modelo SIMPA, son la precipitación, la evapotranspiración potencial, la evapotranspiración real, la infiltración a los acuíferos, la escorrentía subterránea, la escorrentía total y la aportación total, y son las variables principales que debe incluir el inventario de recursos naturales (de acuerdo con IPH).

De igual forma, en el mencionado Anejo 3 se muestran los recursos subterráneos naturales y disponibles por masa de agua. Las fuentes principales de información empleadas en el cálculo de estos recursos disponibles fueron los informes desarrollados a tal fin por la OPH, entre los que destaca el de *Revisión de los recursos disponibles y propuestas de gestión para la consecución de los objetivos ambientales del Plan Hidrológico: Masas de aguas subterráneas del Alto Guadiana horizonte 2012-2027* (Agosto, 2012).

El objetivo general de este informe fue revisar la evaluación de los recursos subterráneos disponibles en las masas de agua subterráneas del Alto Guadiana calculados con las series 1980/2005, así como adaptar el régimen futuro de gestión a la situación actual. Dichos recursos disponibles se han calculado teniendo en cuenta los objetivos ambientales de las Tablas de Daimiel y otras zonas protegidas, por lo que su aplicación permitirá alcanzar y mantener los objetivos ambientales de las masas de agua subterránea. Esta revisión tuvo en cuenta todos los antecedentes, así como el aumento de las aportaciones que ha permitido la gran recuperación de los niveles freáticos en el conjunto del Alto Guadiana. Es decir, se consideró la mejora de la serie de datos de aportaciones hídricas y la mejora del estado cuantitativo de las masas de agua por la subida de niveles piezométricos en la herramienta de simulación del flujo subterráneo, permitiendo asignar las recargas reales al periodo 2009-2012, así como las previstas según el uso de la serie 1980-2005 siguiendo las instrucciones de la planificación hidrológica (IPH). Además, se tuvieron en cuenta los criterios de IGME sobre la posibilidad de incrementar los recursos disponibles en algunas masas de agua periféricas del Alto Guadiana. Para más detalle sobre los valores anuales de los balances de las masas de agua subterránea del Alto Guadiana, resultantes de las simulaciones 2005-2027, se puede consultar el Apéndice 13 del Anejo 11 del Plan Hidrológico.

Todo lo anterior permitió considerar un aumento del recurso subterráneo disponible en el Alto Guadiana, actualizando así los recursos subterráneos al año 2012 en la última versión del PH aprobado.

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

En las siguientes tablas se resumen todos estos datos de referencia del Plan Hidrológico, para el periodo 1980/81 – 2005/06 que es el periodo establecido en la IPH para definir las series de aportaciones naturales en los estudios de Asignación y Reserva de Recursos. También se pueden apreciar los recursos subterráneos incluidos en el Plan Hidrológico que, como ya se indicado, fueron actualizados hasta el año 2012.

Tabla.1. Precipitación mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	49,7	47,1	48,7	35,0	33,3	32,4	48,7	47,7	27,7	7,8	11,4	24,8	414,3
Tirteafuera	55,5	50,6	59,8	46,5	40,1	37,4	52,6	45,9	21,8	6,0	7,5	22,3	446,0
Bullaque	61,9	61,4	76,5	54,5	47,5	42,8	59,0	50,6	27,0	6,9	8,6	25,9	522,4
Central	63,3	69,5	74,2	57,8	46,2	40,1	53,4	43,9	21,3	5,6	6,9	27,9	510,1
Ardila	73,3	82,6	91,6	72,1	57,1	43,8	61,2	45,8	22,2	5,1	5,9	33,3	594,1
Sur	74,0	77,0	97,1	70,4	54,4	47,1	53,8	34,0	13,4	2,6	5,2	28,7	557,5
Demarcación	59,6	62,4	67,6	51,2	42,8	38,1	52,7	45,3	23,5	6,3	8,4	27,0	484,9

Fuente: Proyecto del PHC

Tabla.2. Evapotranspiración potencial mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	51,7	25,5	16,3	19,1	33,2	57,0	77,7	106,0	140,3	157,7	139,9	94,8	919,0
Tirteafuera	48,6	23,6	15,4	17,7	30,6	54,8	75,1	102,1	132,4	148,1	132,0	90,0	870,4
Bullaque	49,7	24,4	15,4	18,2	31,5	55,5	76,7	102,9	137,4	153,2	137,5	92,6	895,1
Central	61,0	30,7	19,2	21,8	36,9	63,9	87,8	116,1	155,5	174,0	156,4	109,1	1.032,4
Ardila	62,3	32,7	21,8	24,6	39,4	64,8	85,8	117,3	155,5	176,1	156,0	108,2	1.044,5
Sur	73,2	40,4	27,8	30,5	44,5	71,4	93,8	125,9	166,6	189,4	170,8	125,5	1.159,9
Demarcación	57,6	29,0	18,5	21,2	35,7	61,3	83,6	112,2	149,5	167,7	150,0	103,7	990,0

Fuente: Proyecto del PHC

Tabla.3. Evapotranspiración real mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	34,2	22,6	15,9	18,3	31,1	48,6	61,7	64,3	47,7	11,8	11,5	24,5	392,2
Tirteafuera	34,0	21,8	15,3	17,3	30,1	50,5	65,7	71,7	51,6	13,5	7,6	22,1	401,3
Bullaque	34,0	22,4	15,4	18,0	31,0	51,9	67,8	75,2	55,0	15,1	9,3	25,1	420,2
Central	41,0	27,3	19,0	20,9	34,8	56,4	72,2	70,1	35,9	7,8	7,0	27,3	419,5
Ardila	45,6	29,1	21,4	23,7	37,0	57,9	73,8	75,2	38,5	7,6	5,9	32,3	447,7
Sur	47,6	32,1	25,9	27,1	39,8	61,4	73,3	63,8	29,4	5,0	5,2	28,0	438,5
Demarcación	38,8	25,7	18,1	20,3	33,7	53,7	68,4	68,5	41,1	9,5	8,5	26,5	412,7

Fuente: Proyecto del PHC

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

Tabla.4. Infiltración mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	0,6	0,6	2,2	2,4	1,4	1,5	1,9	2,0	0,2	0,0	0,0	0,1	12,9
Tirteafuera	0,1	0,1	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9
Bullaque	0,6	0,5	2,4	2,1	1,5	1,3	1,0	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	10,3
Central	0,5	0,8	1,5	1,6	1,1	0,7	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1
Ardila	0,7	1,2	1,8	1,9	1,5	0,9	0,9	0,5	0,1	0,0	0,0	0,1	9,6
Sur	0,8	1,2	2,2	1,9	1,3	0,9	0,8	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	9,8
Demarcación	0,6	0,7	1,8	1,9	1,3	1,0	1,1	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	9,4

Fuente: Proyecto del PHC

Tabla.5. Escorrentía subterránea mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	1,1	1,2	1,7	2,1	2,0	1,9	2,0	2,2	1,9	1,5	1,3	1,1	20,1
Tirteafuera	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	1,8
Bullaque	0,4	0,6	1,2	1,7	1,7	1,6	1,3	1,1	0,8	0,5	0,4	0,3	11,6
Central	0,4	0,6	1,0	1,3	1,3	1,1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	8,6
Ardila	0,4	0,7	1,2	1,5	1,5	1,2	0,9	0,7	0,4	0,2	0,1	0,1	8,8
Sur	0,5	0,9	1,4	1,7	1,7	1,4	1,2	1,0	0,6	0,4	0,3	0,3	11,4
Demarcación	0,6	0,8	1,2	1,6	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0	0,8	0,6	0,6	12,7

Fuente: Proyecto del PHC

Tabla.6. Escorrentía total mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	1,6	1,8	3,6	4,0	2,9	2,8	3,1	3,3	2,1	1,5	1,4	1,2	29,3
Tirteafuera	2,0	1,4	9,0	9,9	6,0	6,3	4,8	4,2	0,5	0,2	0,1	0,2	44,6
Bullaque	6,9	7,7	22,5	19,0	14,2	11,7	10,0	7,3	2,3	0,6	0,4	0,9	103,6
Central	6,0	9,7	21,3	21,2	13,2	8,8	6,4	3,2	1,0	0,4	0,3	0,7	92,2
Ardila	8,9	17,6	34,8	33,1	23,8	11,8	10,2	4,0	1,0	0,2	0,1	0,8	146,3
Sur	7,4	13,3	32,5	27,6	16,0	10,0	8,3	3,1	1,0	0,4	0,3	0,8	120,6
Demarcación	4,7	7,5	16,5	16,1	10,5	7,1	5,8	3,5	1,4	0,8	0,7	0,9	75,5

Fuente: Proyecto del PHC

Tabla.7. Aportación total mensual y anual media (hm³) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2005/06.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	29,3	34,2	67,2	73,5	53,2	52,7	57,6	60,9	38,7	28,5	25,1	22,0	542,9
Tirteafuera	1,9	1,4	8,5	9,3	5,6	5,9	4,5	3,9	0,4	0,2	0,1	0,2	41,9
Bullaque	21,0	23,1	67,3	57,2	42,6	35,5	30,2	22,4	7,4	2,4	1,8	3,0	314,0
Central	163,5	265,4	579,0	576,1	358,3	236,6	172,9	86,0	28,0	10,9	9,1	17,9	2.503,9
Ardila	32,3	62,4	124,5	118,8	85,8	42,9	37,0	14,9	3,6	0,7	0,5	3,1	526,5
Sur	15,7	28,2	69,7	59,3	34,3	21,5	17,6	6,6	2,2	0,8	0,6	1,6	258,2
Demarcación	263,7	414,7	916,2	894,3	579,8	395,2	319,8	194,7	80,4	43,6	37,3	47,8	4.187,4

Fuente: Proyecto del PHC

Contratación de servicios para los trabajos de seguimiento del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana y de la implantación de su Programa de Medidas.

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

Tabla.8. *Recursos naturales y disponible (total, incluido retorno riego) por masa de agua subterránea. Año 2012*

Nombre MASb	Recurso natural (hm ³ /año)	Recurso total disponible (hm ³ /año)
SIERRA DE ALTOMIRA	28,8	26,0
LA OBISPALÍA	2,5	1,0-2,3
LILLO - QUINTANAR	18,8	17,0
CONSUEGRA - VILLACAÑAS	31,3	28,0
RUS-VALDELOBOS	27,3	24,6
MANCHA OCCIDENTAL I	100,9	91,2
MANCHA OCCIDENTAL II	117,5	106,2
CAMPO DE MONTIEL	10,0	9,0
BULLAQUE	24,0	19,6
CAMPO DE CALATRAVA	18,6	19,9
ALUVIAL DEL JABALÓN	1,4	1,5
ALUVIAL DEL AZUER	0,8	0,8
LOS PEDROCHES	4,9	4,2
CABECERA DEL GÉVORA	2,9	2,3
VEGAS BAJAS	54,6	68,9
VEGAS ALTAS	32,3	64,8
TIERRA DE BARROS	28,6	25,6
ZAFRA - OLIVENZA	46,1	38,0
AROCHE-JABUGO	5,8	4,6
AYAMONTE	12,0	9,6
TOTAL	569,0	562,8

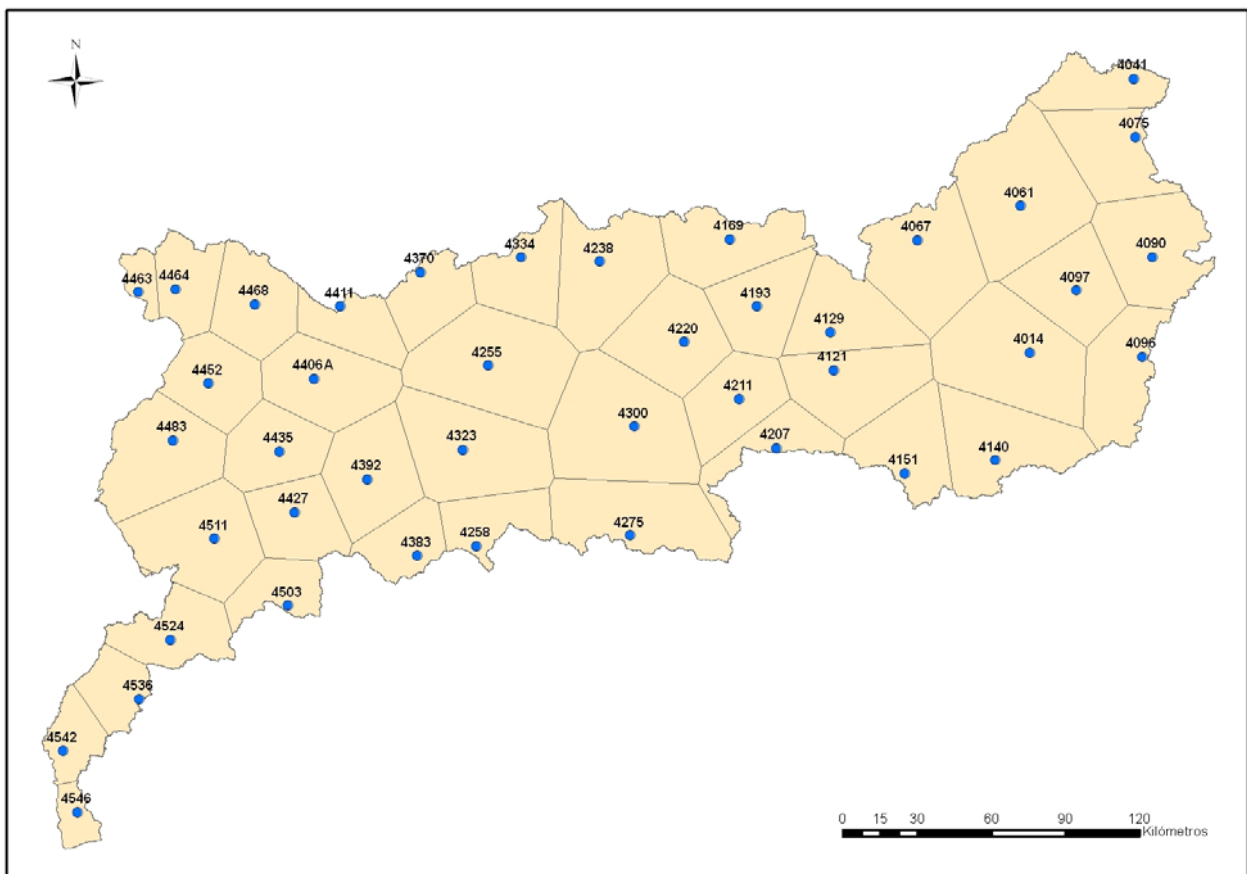
Fuente: Proyecto del PHC

3. METODOLOGÍA

Como ya se ha mencionado, para el año 2012/13 no hay disponibilidad de datos del modelo SIMPA. Por tanto, se han utilizado datos de 42 estaciones meteorológicas (AEMET) para obtener los resultados de las variables hidrológicas y las aportaciones naturales con el método de Témez. En la determinación de todas estas variables se ha utilizado la aplicación informática CHAC (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas), desarrollada en el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) del CEDEX.

Las estaciones meteorológicas seleccionadas pueden apreciarse en la siguiente figura.

Figura 2. Estaciones meteorológicas seleccionadas con su área de influencia



Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la aportación en una cuenca, la aplicación CHAC necesita la precipitación areal y la evapotranspiración potencial (ETP) areal en la cuenca.

3.1. PRECIPITACIÓN

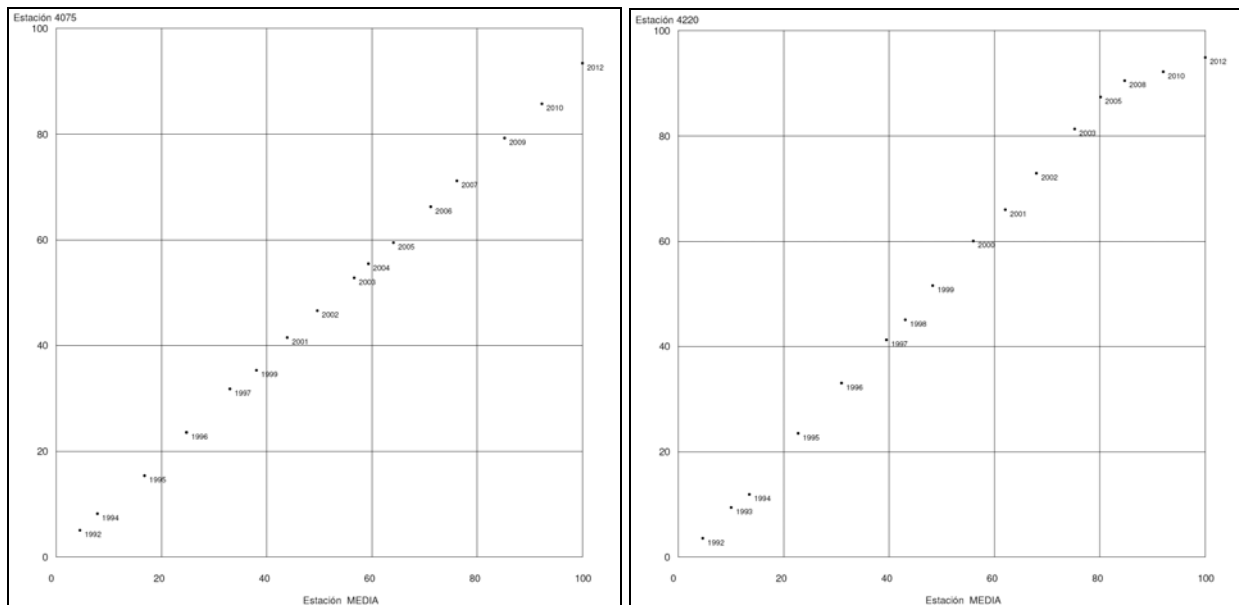
Con el fin de obtener la precipitación areal en el año 2012/13 en la cuenca del Guadiana y los distintos sistemas de explotación, son necesarias las series de precipitación de cada estación meteorológica. Estas series tendrán un mínimo de 20 años con el fin de tener una muestra de datos suficiente para poder completar los vacíos en las series y, más concretamente, en el año 2012/13 analizado. En este caso, se ha utilizado la serie 1992/93 – 2012/13.

El primer trabajo realizado con las series de precipitación fue la comprobación de la homogeneidad de las mismas, utilizando el método de las dobles acumulaciones.

El método de las dobles acumulaciones es una técnica para valorar la consistencia de una serie temporal en función de otra serie de referencia. Para su aplicación se toman las dos series de datos durante el periodo común de registro, comparándose en un diagrama x-y sus series acumuladas. Si la relación entre las dos series se ha mantenido estable, es decir, a los incrementos de una corresponden los proporcionales en la de referencia, la representación mostrará una tendencia lineal. En caso contrario, la presencia de quiebros y saltos indica cambios en la relación entre las series de datos y por tanto posibles errores.

En este estudio la estación de referencia utilizada ha sido la media de todo el grupo de estaciones, no encontrándose grandes inconsistencias en las series. En la figura siguiente se aprecian dos ejemplos del análisis realizado, uno corresponde a una estación sin errores y el segundo corresponde a una estación con errores a partir de los dos últimos años. En este último caso, se detectó el error correspondiente a valores inverosímiles que fueron eliminados para, posteriormente, ser completados.

Figura 3. *Ejemplos de análisis de dobles acumulaciones*



Fuente: Elaboración propia

Después del análisis de homogeneidad de las series se realizó el completado de las mismas. Para ello se empleó el método de la correlación múltiple desarrollado por el CEH e incluido en CHAC. Este método consiste en el establecimiento de una ecuación de regresión, a través de la cual se puede expresar la dependencia de los datos de la serie incompleta como una función lineal de los datos de las dos series completas que sirven de referencia. A través de un ajuste lineal por mínimos cuadrados y con los valores de las series normalizados, se encuentran los parámetros de la recta de regresión. Las estaciones utilizadas para el ajuste de la recta de regresión se escogen teniendo en cuenta su correlación y disponibilidad de datos, eligiendo siempre aquel par de estaciones que proporcione el completado más satisfactorio para el mes en cuestión. El criterio de la elección se basa en la formación de la matriz de priorización para cada estación a completar, función de los coeficientes de correlación múltiple entre las series normalizadas y del número de datos comunes entre las tres estaciones. Esta matriz depende de un parámetro, conocido como exponente de priorización. En principio se escogerá, para cada estación que se quiera completar, la pareja de referencia con un mayor valor de priorización. En el caso de que las propias series de referencia presenten huecos en el mes a completar, se elegirán sucesivas parejas de estaciones de acuerdo a valores decrecientes de priorización hasta un valor mínimo llamado umbral de priorización. Para el caso de la precipitación, en el que las correlaciones individuales entre series suelen ser bajas, el valor más idóneo

para tal umbral está entre 0,5 y 0,8. En este informe se ha utilizado un valor de 0,6, completándose todos los huecos en las series.

Con las series de precipitación completas para cada estación meteorológica, utilizando métodos de interpolación con un sistema de información geográfica, se pudo obtener una serie única de precipitación areal para el toda la cuenca y para cada sistema de explotación.

3.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

Para el cálculo de la ETP se ha utilizado la fórmula de Hargreaves:

$$ET_0 = 0,0023 * (t_{med} + 17,78) * R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0,5}$$

donde:

ET_0 : Evapotranspiración potencial diaria, en mm/día

t_{med} : Temperatura media diaria, en °C

R_0 : Radiación solar extraterrestre, en mm/día, tabulada en función de la latitud y del mes.

t_{max} : Temperatura diaria máxima, en °C

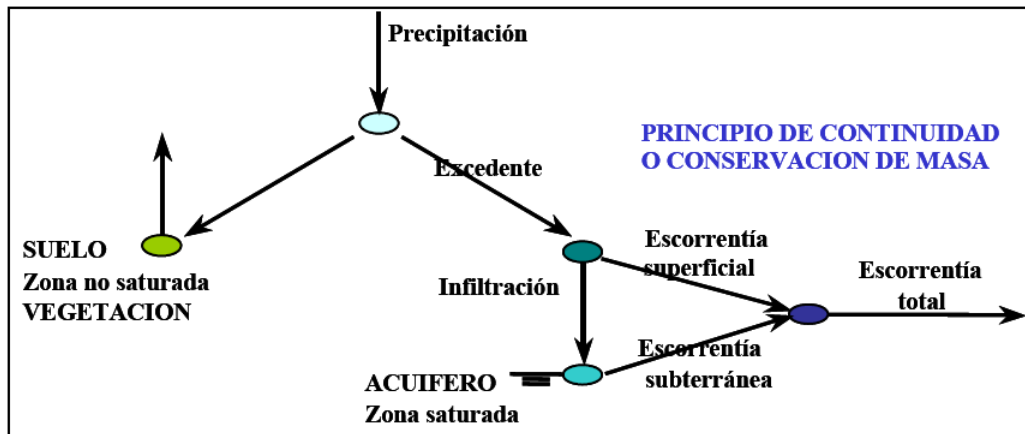
t_{min} : Temperatura diaria mínima, en °C

En este proceso, todos los valores de temperaturas se han tratado de igual forma que en el caso de las precipitaciones, comprobando la homogeneidad y realizando el completado de datos en cada estación meteorológica. La radiación solar en cada estación se ha obtenido fácilmente al conocer sus coordenadas y utilizando la tabulación disponible en la bibliografía internacional. Con todo, se han obtenido las series de ETP para cada estación meteorológica que, con métodos de interpolación geográfica, han dado como resultado las series de ETP areal para toda la cuenca y cada sistema de explotación.

3.3. APORTACIÓN

Como ya se indicó anteriormente, el programa CHAC aplica el modelo de Témez para la transformación de precipitaciones en escorrentías. Se trata de un modelo agregado de simulación continua de pocos parámetros y de paso mensual. Simula los principales procesos de transferencia de agua en el ciclo hidrológico considerando dos almacenamientos, suelo y acuífero.

Figura 4. Esquema del modelo de Témez



Fuente: Manual de CHAC. CEDEX. Madrid, Enero 2013.

3.3.1. Calibración

En este punto se realizó el ajuste del modelo mediante la calibración de sus parámetros o variables (humedad máxima, infiltración máxima, parámetro C de excedencia, coeficiente de cultivo y coeficiente alfa de descarga), apoyándose en la evaluación de errores y en la comparación visual de hidrogramas registrados y simulados.

Para realizar esta calibración CHAC solicita una serie de precipitación areal, una serie de ETP areal y una serie de caudales o aportaciones registradas. Como el objetivo de este seguimiento es ampliar un año más las series de recursos obtenidas en informes anteriores con el modelo SIMPA, para realizar la calibración se utilizaron las series de precipitación, ETP y aportación, entre los años 1980/81 y 2011/12, obtenidas con el modelo SIMPA en cada sistema de explotación.

El objetivo principal en la calibración es minimizar todo lo posible los términos de error del proceso. De esta forma, utilizando la aportación de SIMPA como aportación o caudal registrado, se trató de ajustar el modelo con los mínimos errores posibles mediante la propia precipitación y ETP utilizada en el modelo SIMPA. Los errores calculados en CHAC corresponden a la siguiente formulación, donde se comparan el caudal registrado y el simulado en la calibración.

Figura 5. *Términos de error en la calibración con CHAC*

Error medio relativo: Para cuadrar volúmenes medios	$emr = \frac{1}{n} \sum_{i \in \text{meses}} \frac{Q_{sim_i} - Q_{reg_i}}{Q_{reg}}$
Error cuadrático-estandarizado medio, relativo al caudal medio registrado: Índice del ajuste en caudales altos	$esmr = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i \in \text{meses}} \left(\frac{Q_{sim_i} - Q_{reg_i}}{Q_{reg}} \right)^2}$
Error cuadrático-estandarizado medio, relativo a cada caudal registrado: Índice del ajuste en caudales bajos	$esmr_l = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i \in \text{meses}} \left(\frac{Q_{sim_i} - Q_{reg_i}}{Q_{reg_i}} \right)^2}$

Fuente: Manual de CHAC. CEDEX. Madrid, Enero 2013.

El proceso de calibración se ha realizado independientemente para cada sistema de explotación. De esta forma, los errores obtenidos en el proceso de calibración de los distintos sistemas, así como los valores de los parámetros ajustados, se aprecian en las siguientes tablas.

Tabla.9. *Errores obtenidos en la calibración*

Sistema	emr	esmr	esmr _l
Alto Guadiana	-0,0183	0,3396	0,4663
Tirteafuera	-0,0225	0,4015	0,8837
Bullaque	-0,0580	0,4059	0,5573
Central	-0,0311	0,3097	0,5730
Ardila	0,0270	0,3068	0,5850
Sur	0,0088	0,3945	0,5570

Fuente: Elaboración propia

Tabla.10. *Parámetros calibrados en cada sistema*

Sistema	H _{max} (mm/mes)	I _{max} (mm/mes)	C	Coef. Cultivo	α (días ⁻¹)
Alto Guadiana	190	400	0,30	1	0,001 y 0,025 *
Tirteafuera	220	1	0,35	1	0,010
Bullaque	185	10	0,35	1	0,010
Central	190	7	0,28	1	0,017
Ardila	190	7	0,30	1	0,035
Sur	210	7	0,25	1	0,015

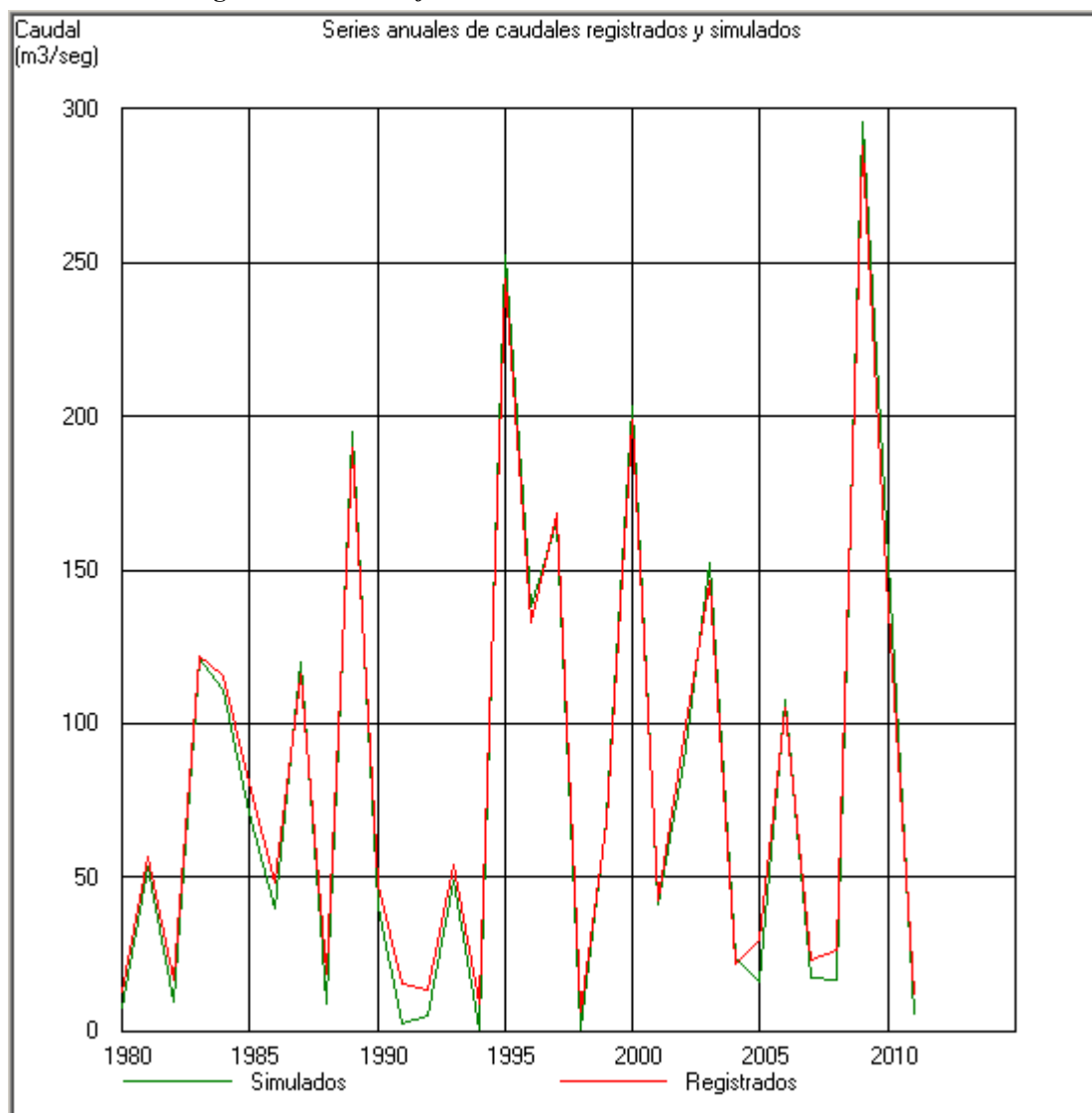
Fuente: Elaboración propia

(*) Para el Alto Guadiana se han utilizado dos ramas de descarga

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

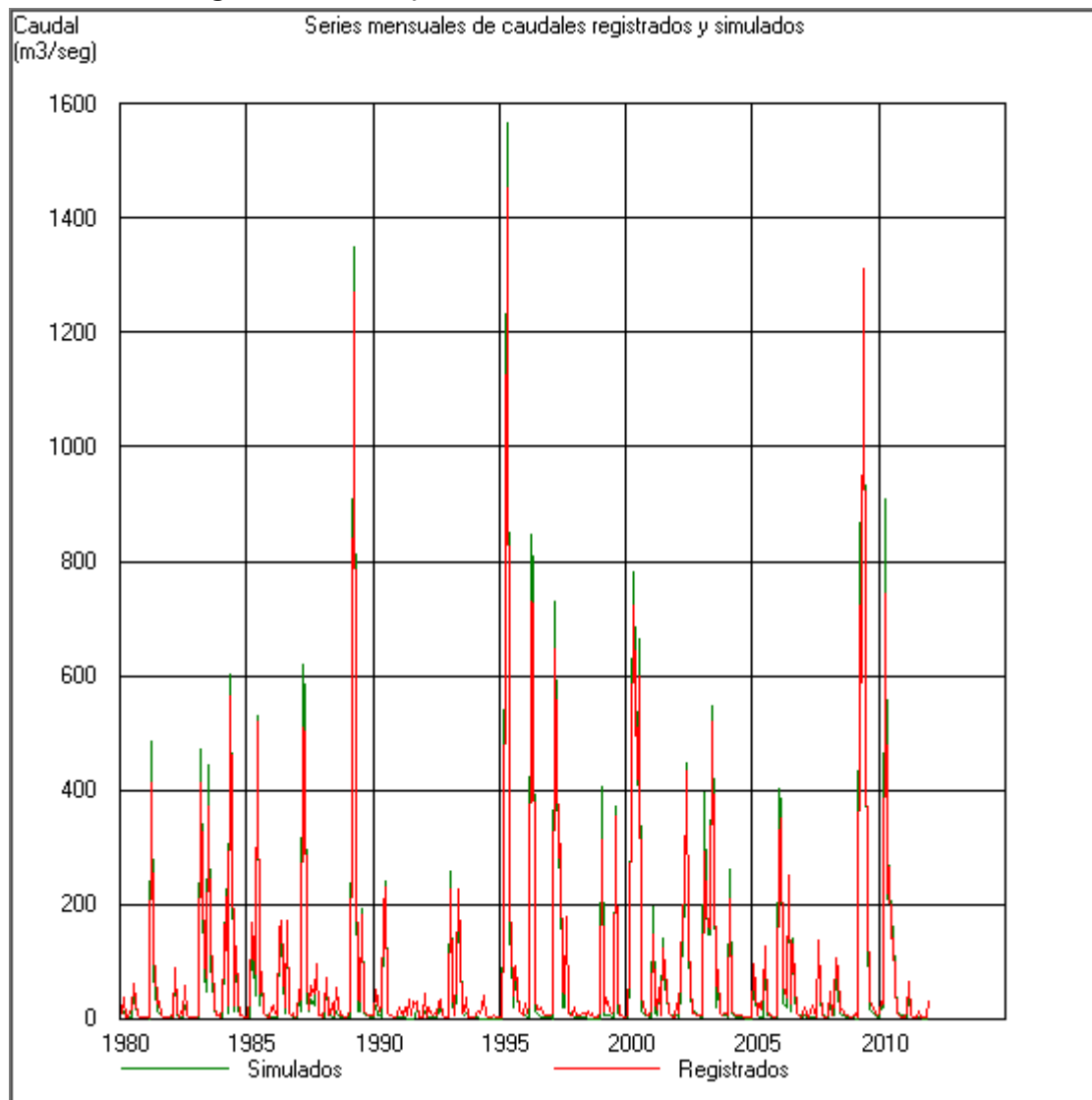
En las siguientes figuras se aprecian, a modo de ejemplo, gráficos de calibración para el sistema de explotación Central, habiéndose obtenido gráficos similares en las calibraciones de los restantes sistemas. En ellos se comparan los caudales (aportación) obtenidos con SIMPA (caudales registrados) en el periodo 1980/81-2011/12, con los obtenidos en la calibración (caudales simulados) utilizando las mismas series de precipitación y ETP de SIMPA.

Figura 6. Gráfico de calibración 1. Sistema Central



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Gráfico de calibración 2. Sistema Central



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Simulación

Una vez calibrado y validado el modelo de evaluación de recursos, se pasó a la simulación con los parámetros ajustados previamente. En este punto CHAC solicita una serie de precipitación areal y una serie de ETP, que fueron las mismas utilizadas en el punto anterior, procedentes de SIMPA, pero completadas en un año más (2012/13) con los valores obtenidos anteriormente en el cálculo de la precipitación y de la ETP. De esta forma, mediante la simulación con los parámetros ya calibrados, en

este proceso se obtiene la aportación en cada sistema para el año 2012/13. Además, el programa da como resultado la evapotranspiración real y la componente subterránea de la escorrentía.

3.4. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Las series de precipitación, evapotranspiración potencial y real, escorrentía subterránea y total, así como las series de aportación total correspondientes al periodo 1980/81 – 2011/12, que ya se tenían de informes anteriores procedentes del modelo SIMPA, se han completado hasta el año hidrológico 2012/13. Las nuevas series completas pueden consultarse en los anejos de este informe.

Con las series completas mensuales correspondientes al periodo 1980/81 – 2012/13, se han vuelto a calcular los valores medios mensuales y anuales para cada sistema de explotación y el conjunto de la demarcación. Estos nuevos datos actualizados se han comparado con los correspondientes al periodo 1980/81 – 2005/06 del Plan Hidrológico, obteniéndose las variaciones o desviaciones entre ambos periodos.

En cuanto a los recursos subterráneos naturales y disponibles por masa de agua, como ya se explicó en el punto 2 de este informe, fueron actualizados al año 2012 en la última versión del PH aprobado. Debido a ello, no ha habido una nueva actualización de datos y no se ha hecho ninguna comparativa para los recursos subterráneos.

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

4. DATOS ACTUALIZADOS

Como se ha dicho en el apartado anterior, se han recalculado los valores medios mensuales y anuales, para cada sistema y el conjunto de la cuenca, de las principales variables hidrológicas en el periodo 1980/81 – 2012/13. Los resultados se aprecian en las siguientes tablas.

Tabla.11. Precipitación mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	50,6	49,0	49,8	36,4	35,7	35,8	53,3	49,1	26,1	7,0	11,3	27,4	431,6
Tirteafuera	57,7	51,8	63,5	48,0	42,8	40,6	57,1	46,4	20,9	5,0	7,3	29,6	470,6
Bullaque	64,4	61,9	78,3	55,6	51,2	45,1	63,6	50,6	26,0	6,2	8,4	31,2	542,4
Central	66,5	69,3	75,6	57,6	50,4	43,6	55,2	44,5	20,5	4,8	6,9	29,1	524,0
Ardila	78,4	82,8	92,2	71,9	63,5	50,3	64,3	47,0	20,6	4,4	6,6	33,0	615,0
Sur	77,3	77,3	95,6	69,6	59,9	55,1	57,5	35,6	12,2	2,3	6,0	28,2	576,6
Demarcación	62,1	63,0	68,7	51,6	46,6	41,9	55,8	46,3	22,4	5,5	8,4	28,9	501,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla.12. Evapotranspiración potencial mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	52,7	25,8	16,5	19,2	33,1	56,7	78,1	107,0	140,9	160,2	142,9	96,0	929,2
Tirteafuera	49,4	23,9	15,6	17,7	30,7	54,6	75,8	103,1	133,1	150,7	135,5	91,2	881,4
Bullaque	51,1	25,0	15,8	18,5	31,9	55,7	77,4	104,1	138,1	155,9	141,4	94,4	909,2
Central	62,0	30,9	19,4	21,9	37,1	63,7	88,2	117,4	155,8	176,5	160,0	110,6	1.043,4
Ardila	63,5	33,0	22,2	24,7	39,3	64,5	86,3	118,9	156,7	180,3	159,7	109,9	1.059,1
Sur	74,0	40,3	28,1	30,4	44,3	70,5	93,6	127,7	167,3	193,5	174,7	126,1	1.170,5
Demarcación	58,6	29,3	18,7	21,3	35,8	61,1	84,1	113,4	150,0	170,4	153,4	105,0	1.001,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla.13. Evapotranspiración real mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	35,6	22,7	16,2	18,6	31,4	48,8	65,0	70,5	48,2	11,2	11,5	27,0	406,6
Tirteafuera	36,6	22,0	15,6	17,4	30,2	50,5	68,1	76,3	54,6	12,6	7,4	27,8	419,1
Bullaque	37,3	23,0	15,8	18,4	31,5	52,2	70,1	78,9	55,6	14,6	9,0	28,9	435,3
Central	43,6	27,6	19,1	21,2	35,1	55,5	74,1	73,1	35,6	7,0	7,0	28,4	427,2
Ardila	48,3	29,8	21,6	24,0	37,3	57,3	76,1	78,4	37,9	6,8	6,6	32,1	456,3
Sur	50,3	32,8	26,3	27,5	39,5	61,5	75,8	68,6	29,9	4,7	6,1	27,6	450,6
Demarcación	41,0	26,0	18,3	20,6	33,9	53,3	70,9	72,8	41,2	8,8	8,5	28,2	423,5

Fuente: Elaboración propia

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

Tabla.14. Escorrentía subterránea mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	1,2	1,3	1,8	2,2	2,3	2,4	2,6	2,6	2,1	1,7	1,4	1,2	22,8
Tirteafuera	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	2,0
Bullaque	0,4	0,6	1,2	1,8	1,9	1,8	1,5	1,3	0,9	0,6	0,4	0,3	12,7
Central	0,4	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	8,9
Ardila	0,4	0,7	1,2	1,5	1,5	1,3	1,0	0,7	0,4	0,2	0,1	0,1	9,1
Sur	0,6	0,9	1,3	1,7	1,7	1,5	1,3	1,1	0,7	0,4	0,3	0,3	11,7
Demarcación	0,7	0,9	1,3	1,6	1,7	1,6	1,6	1,4	1,1	0,8	0,7	0,6	13,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla.15. Escorrentía total mensual y anual media (mm) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	1,7	2,0	4,0	4,0	3,8	3,8	3,9	3,6	2,2	1,7	1,4	1,3	33,3
Tirteafuera	2,1	2,3	10,6	10,0	8,3	9,0	6,0	4,1	0,4	0,2	0,1	0,5	53,8
Bullaque	7,1	8,0	22,7	18,7	16,6	13,8	11,6	7,2	2,2	0,7	0,5	1,4	110,3
Central	6,1	9,8	21,6	20,1	16,1	12,7	6,9	3,2	1,0	0,4	0,3	0,7	98,9
Ardila	9,7	17,6	35,0	31,8	28,3	18,5	11,8	4,2	0,9	0,2	0,1	0,7	159,0
Sur	8,0	12,8	31,0	25,3	20,4	15,8	9,5	3,2	1,0	0,4	0,3	0,7	128,3
Demarcación	4,9	7,6	16,8	15,4	12,8	10,2	6,6	3,6	1,5	0,8	0,7	0,9	81,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla.16. Aportación total mensual y anual media (hm³) por sistemas de explotación. Periodo 1980/81-2012/13.

Sistema	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Alto Guadiana	31,1	36,8	75,4	74,5	70,7	70,2	72,7	66,9	41,8	31,0	26,7	24,1	622,0
Tirteafuera	2,0	2,1	10,0	9,4	7,7	8,4	5,6	3,9	0,4	0,2	0,1	0,5	50,2
Bullaque	21,2	23,7	67,4	55,9	49,4	41,1	34,4	21,8	6,9	2,4	1,7	4,5	330,6
Central	164,6	265,9	584,8	543,4	433,5	340,3	187,7	87,1	26,4	11,0	9,0	19,1	2.672,9
Ardila	36,0	63,9	127,8	116,1	105,2	69,9	44,0	15,8	3,2	0,7	0,5	2,7	586,1
Sur	17,2	27,4	67,0	54,5	44,2	34,5	20,4	6,9	2,1	0,9	0,7	1,5	277,3
Demarcación	272,1	419,9	932,4	853,8	710,8	564,5	364,8	202,4	80,8	46,2	38,8	52,4	4.539,1

Fuente: Elaboración propia

5. COMPARATIVA DE DATOS

Una vez obtenidos los datos actualizados se procede a compararlos con los datos de referencia del Plan Hidrológico.

En las tablas siguientes se aprecia, para cada variable hidrológica, la comparativa entre los valores medios anuales de cada periodo para los diferentes sistemas y el conjunto de la demarcación. Dichos valores se consideran representativos para apreciar de forma clara el porcentaje de variación o desviación entre las dos series de datos.

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

Tabla.17. Comparativa de datos hidrológicos del Plan Hidrológico frente a datos actualizados

Sistema	ETP anual media (mm)			ETR anual media (mm)			Escorrentía subterránea anual media (mm)			Escorrentía total anual media (mm)		
	1980/81-2005/06	1980/81-2012/13	% variación	1980/81-2005/06	1980/81-2012/13	% variación	1980/81-2005/06	1980/81-2012/13	% variación	1980/81-2005/06	1980/81-2012/13	% variación
Alto Guadiana	919,0	929,2	1,1%	392,2	406,6	3,7%	20,1	22,8	13,4%	29,3	33,3	13,9%
Tirteafuera	870,4	881,4	1,3%	401,3	419,1	4,5%	1,8	2,0	12,3%	44,6	53,8	20,5%
Bullaque	895,1	909,2	1,6%	420,2	435,3	3,6%	11,6	12,7	9,5%	103,6	110,3	6,5%
Central	1.032,4	1.043,4	1,1%	419,5	427,2	1,8%	8,6	8,9	3,5%	92,2	98,9	7,3%
Ardila	1.044,5	1.059,1	1,4%	447,7	456,3	1,9%	8,8	9,1	3,1%	146,3	159,0	8,6%
Sur	1.159,9	1.170,5	0,9%	438,5	450,6	2,8%	11,4	11,7	2,7%	120,6	128,3	6,4%
Demarcación	990,0	1.001,1	1,1%	412,7	423,5	2,6%	12,7	13,8	9,1%	75,5	81,8	8,4%

Fuente: Elaboración propia

Tabla.18. Comparativa de datos de precipitación y aportación del Plan Hidrológico frente a datos actualizados

Sistema	Precipitación anual media (mm)			Aportación total anual media (hm ³ /año)		
	1980/81-2005/06	1980/81-2012/13	% variación	1980/81-2005/06	1980/81-2012/13	% variación
Alto Guadiana	414,3	431,6	4,2%	542,9	622,0	14,6%
Tirteafuera	446,0	470,6	5,5%	41,9	50,2	19,9%
Bullaque	522,4	542,4	3,8%	314,0	330,6	5,3%
Central	510,1	524,0	2,7%	2.503,9	2.672,9	6,7%
Ardila	594,1	615,0	3,5%	526,5	586,1	11,3%
Sur	557,5	576,6	3,4%	258,2	277,3	7,4%
Demarcación	484,9	501,1	3,4%	4.187,4	4.539,1	8,4%

Fuente: Elaboración propia

Contratación de servicios para los trabajos de seguimiento del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana y de la implantación de su Programa de Medidas.

Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

Contratación de servicios para los trabajos de seguimiento del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana y de la implantación de su Programa de Medidas.

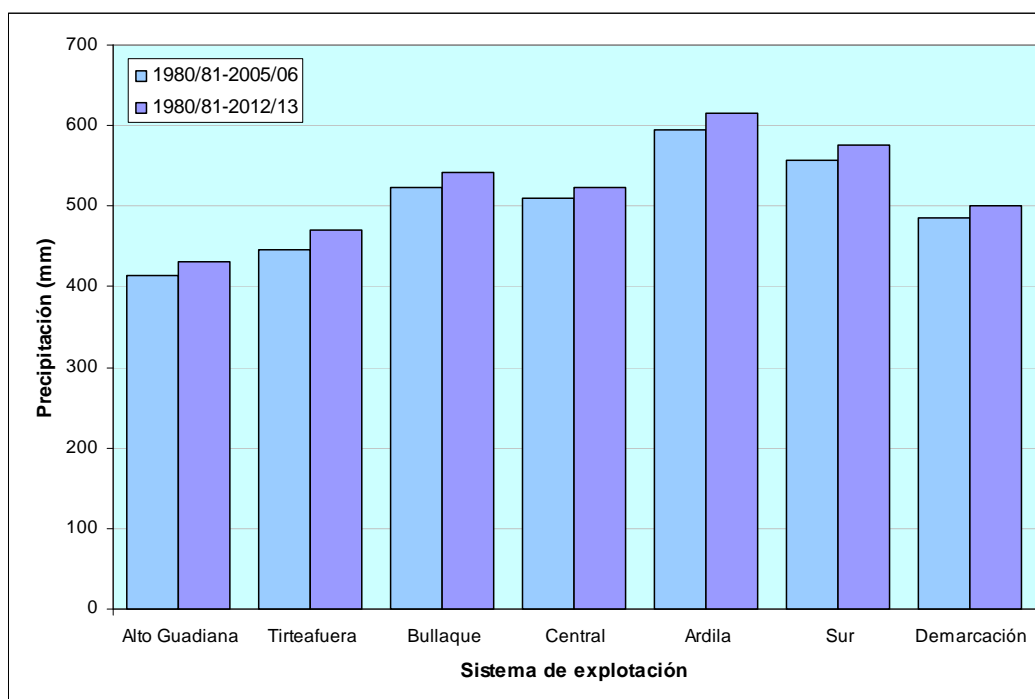
Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

Como puede verse, todas variables experimentan una variación positiva al alza, en mayor o menor medida, para la nueva serie de datos actualizada. La única variable en que las diferencias son más bajas (en torno al 1%) es la evapotranspiración potencial, ya que, como su nombre indica, se trata de datos potenciales que se darían en condiciones óptimas sin limitaciones de humedad.

El resto de variables corresponden a datos reales que dependen de la precipitación; todas ellas han aumentado debido a las cuantiosas precipitaciones de los años hidrológicos 2009/10, 2010/11 y 2012/13 (ver Anejo 1), destacando el año 2009/2010 considerado un año extraordinario muy húmedo. La aportación total (recurso superficial en régimen natural) ha aumentado por encima del 8% en toda la cuenca.

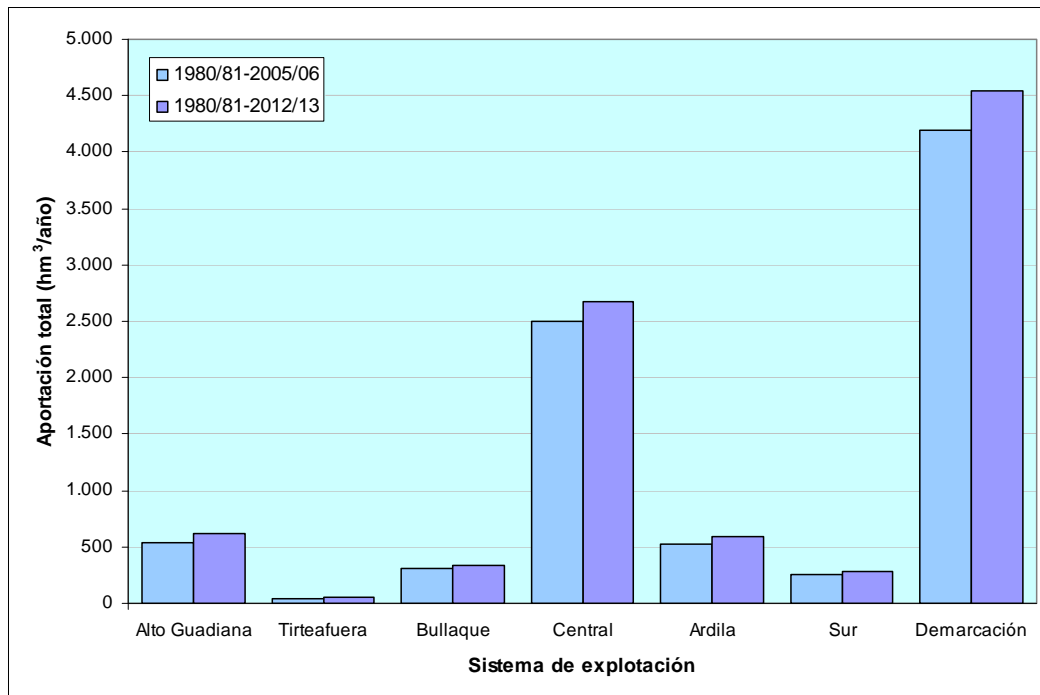
En las siguientes figuras puede verse de forma gráfica la comparación por sistemas de las dos variables principales que definen los recursos hídricos, precipitación y aportación, para los dos periodos analizados.

Figura 8. *Comparativa de la precipitación media anual por sistemas y demarcación*



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Comparativa de la aportación media anual por sistemas y demarcación



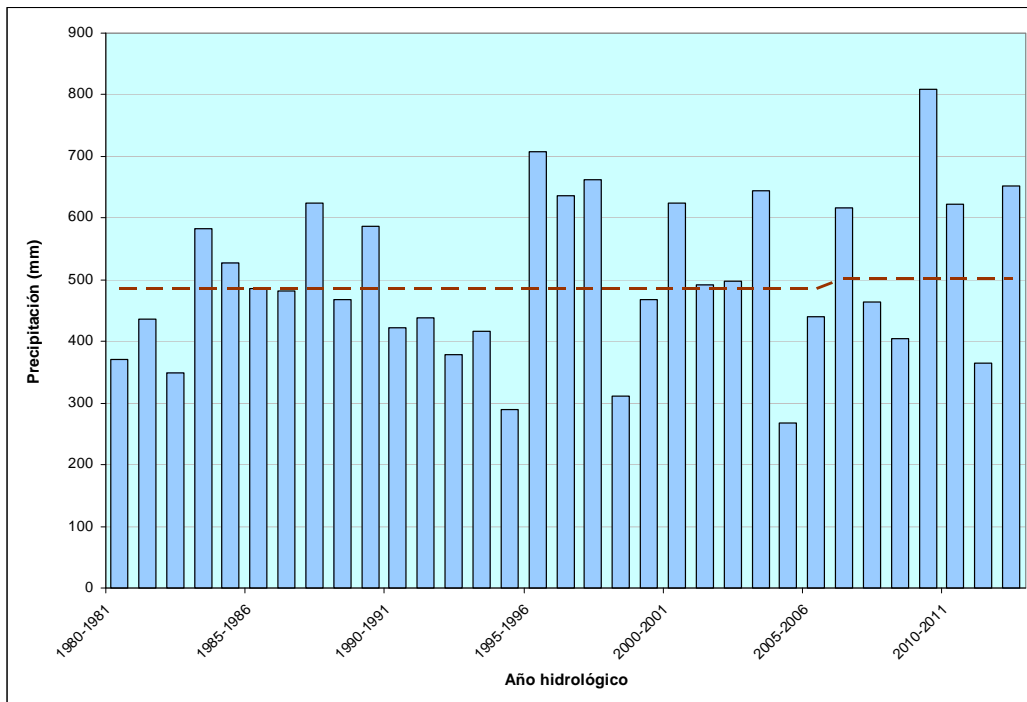
Fuente: Elaboración propia

En las siguientes gráficas se aprecia la representación de las series anuales completas de precipitación y aportación. El trazo rojo discontinuo representa el valor medio de la serie; en él puede verse el “escalón” o aumento al alza de la media de la serie 1980/81 – 2012/13 respecto a la serie 1980/81 – 2005/06.

Se observa además, que de los siete últimos años añadidos a la serie del Plan Hidrológico, cuatro de ellos están por encima de la media, destacando el año extraordinario 2009/10 con mucha diferencia respecto a toda la serie.

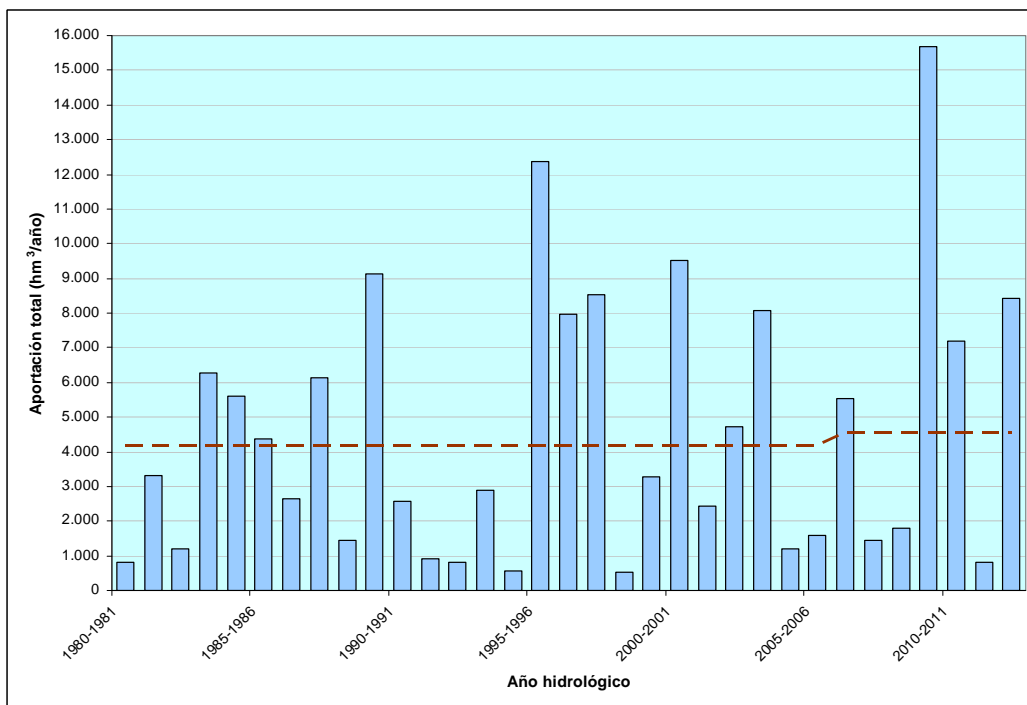
Evolución de los recursos hídricos naturales y disponibles

Figura 10. *Serie de precipitaciones anuales (mm) en la Demarcación del Guadiana*



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. *Serie de aportaciones anuales (hm³/año) en la Demarcación del Guadiana*



Fuente: Elaboración propia

6. CONCLUSIONES FINALES

Considerando cifras a nivel anual, la aportación total media para el periodo considerado en el Plan Hidrológico (1980/81 – 2005/06) es de 4.187 hm³/año; para el periodo ampliado hasta el año hidrológico 2012/13 la aportación total media aumenta hasta 4.539 hm³/año. Lo que quiere decir que el recurso en régimen natural ha aumentado más del 8% con la nueva serie considerada.

Aunque el año 2011/12 haya sido muy escaso en precipitación y aportación, las cuantiosas lluvias de los años 2009/10, 2010/11 y 2012/13 justifican el mencionado aumento del recurso.

El recurso disponible superficial de la cuenca asciende a 2.023 hm³/año aproximadamente, y coincide con la capacidad de regulación de la cuenca. Este valor viene marcado por la gran sequía de los años 90 cuyas escasas aportaciones llevan al agotamiento de los embalses en las simulaciones de recursos realizadas. Mientras el periodo 1990 – 1994 esté incluido en las series de recursos y siga siendo el limitante en el futuro, la cifra aproximada de 2.023 hm³/año puede considerarse constante en el tiempo como valor de recurso disponible superficial.

Los recursos subterráneos naturales y disponibles fueron actualizados al año 2012 en la última versión del PH aprobado, por lo que no ha habido una nueva actualización en este informe de seguimiento. De esta forma, tomando los datos del año 2012 del PH aprobado, el recurso natural subterráneo en la cuenca asciende a 569 hm³/año y el total disponible está cercano a los 563 hm³/año.