

CAPÍTULO 4

CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS EN LA CUENCA DE DUERO

Valladolid, marzo de 2007

ÍNDICE

4.	CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL DUERO	1
4.1.	Introducción	1
4.2.	Caracterización meteorológica de las sequías en la cuenca del Duero	1
4.2.1.	Caracterización regional en el ámbito global de la cuenca	2
4.2.2.	Caracterización regional de las precipitaciones en cada sistema de explotación	6
4.3.	Caracterización hidrológica de las sequías en la cuenca del Duero	9
4.3.1.	Caracterización regional de las aportaciones en el ámbito global de la cuenca	10
4.3.2.	Caracterización regional de las aportaciones en cada sistema de explotación	12
4.3.3.	Caracterización de los volúmenes medios anuales embalsados en la cuenca del Duero.	15
4.4.	Comparación entre ciclos de sequía meteorológicos e hidrológicos identificados	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ciclos de precipitación inferior a la media	3
Tabla 2.	Clasificación de valores de SPI	5
Tabla 3.	Clasificación de periodos secos en el ámbito de la cuenca del Duero	6
Tabla 4.	Duración de ciclos secos según el SPI acumulado ($< -1,00$)	8
Tabla 5.	Clasificación de los sistemas de explotación de la cuenca del Duero por número de años con SPI positivo	9
Tabla 6.	Ciclos de mínima aportación en el ámbito de la cuenca del Duero	11
Tabla 7.	Índice estandarizado de aportación en el ámbito de la cuenca del Duero	12
Tabla 8.	Aportaciones en cada sistema de explotación de la cuenca del Duero	12
Tabla 9.	Índice de aportación estandarizado negativo en CHD (1940/41 – 1998/99)	13
Tabla 10.	Embalses utilizados para la caracterización hidrológica.	15
Tabla 11.	Ciclos de volumen embalsado inferior a la media en la cuenca del Duero.	16
Tabla 12.	Embalses utilizados en el análisis de los volúmenes medios almacenados por sistemas de explotación.	17
Tabla 13.	Ciclos de volumen medio anual mínimo embalsado en la cuenca del Duero	17
Tabla 14.	Comparación entre los ciclos de sequía meteorológica, hidrológica y volumen anual embalsado mínimo	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Evolución de la precipitación anual en el ámbito de la cuenca del Duero	2
Figura 2.	Mapa de distribución espacial de la precipitación anual media de 1940/41 a 1985/86 (Fuente: Oficina de Planificación Hidrológica de la CHD)	4
Figura 3.	Evolución del Índice SPI en el ámbito de la cuenca del Duero	5
Figura 4.	SPI acumulado en el ámbito de la cuenca del Duero	6
Figura 5.	Evolución de la aportación anual en el ámbito de la cuenca del Duero	10
Figura 6.	Índice de aportación estandarizado en el ámbito de la cuenca del Duero	11
Figura 7.	Evolución del volumen medio anual embalsado en la cuenca del Duero	16

CAPÍTULO 4 CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL DUERO

4. CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL DUERO

4.1. Introducción

La sequía es un fenómeno hidrológico extremo, generalmente impredecible, que supone una disminución coyuntural significativa de los recursos hídricos durante un periodo temporal suficientemente prolongado, que afecta a un área extensa, puede impedir cubrir las demandas al cien por cien y tiene consecuencias económicas adversas.

Se distinguen diferentes tipos de sequía: meteorológica, hidrológica, agrícola y socioeconómica. De estos tipos de sequía, los dos primeros describen fenómenos físicos, mientras que el resto describen el impacto de los dos primeros en la producción agrícola o en otros indicadores económicos..

Sequía meteorológica: Desde el punto de vista meteorológico, la sequía puede definirse como una condición anormal y recurrente del clima que ocurre en todas las regiones climáticas de la Tierra. Este fenómeno se caracteriza por una marcada reducción de la cantidad de precipitación que se presenta en una zona, y puede producir serios desbalances hidrológicos. Describe una situación en la cual hay una disminución en la caída de lluvias durante un periodo específico por debajo de una cantidad específica. Su definición sólo comprende datos de precipitación.

Sequía hidrológica: En términos hidrológicos, se habla de sequía cuando se presenta una precipitación menor a la media estacional en escala regional, lo que se traduce en un nivel de aprovisionamiento anormal de los cursos de agua y de las reservas de agua superficial o subterránea. Es decir, existe una disminución de los recursos hídricos por debajo de un nivel determinado durante un periodo dado de tiempo. Su definición incorpora datos de disponibilidad y tasas de consumo basadas en el suministro normal del sistema (uso doméstico, industrial y agricultura en regadío).

A continuación se realiza la caracterización, tanto meteorológica como hidrológica, de las sequías de la cuenca del Duero.

4.2. Caracterización meteorológica de las sequías en la cuenca del Duero.

La caracterización meteorológica en el ámbito de la cuenca del Duero se ha realizado a partir de los datos de precipitación media a nivel mensual, suministrados por la propia Oficina de Planificación de la Confederación Hidrográfica del Duero. El registro de datos disponibles abarca desde 1940/41 a 1985/86 y está referido a las subcuencas utilizadas para la evaluación de recursos llevada a cabo para reparar el PHC de 1998.

Cada sistema de explotación está dividido en subcuencas que tienen asociados unos valores de precipitación media. Para obtener el valor de la precipitación en cada sistema, se ha realizado una ponderación de los valores de la precipitación de cada subcuenca que forma parte del sistema de explotación, proporcional a las áreas. Asimismo se han ponderado los valores obtenidos para cada sistema de explotación, proporcionalmente al área, para obtener la precipitación media en la cuenca completa.

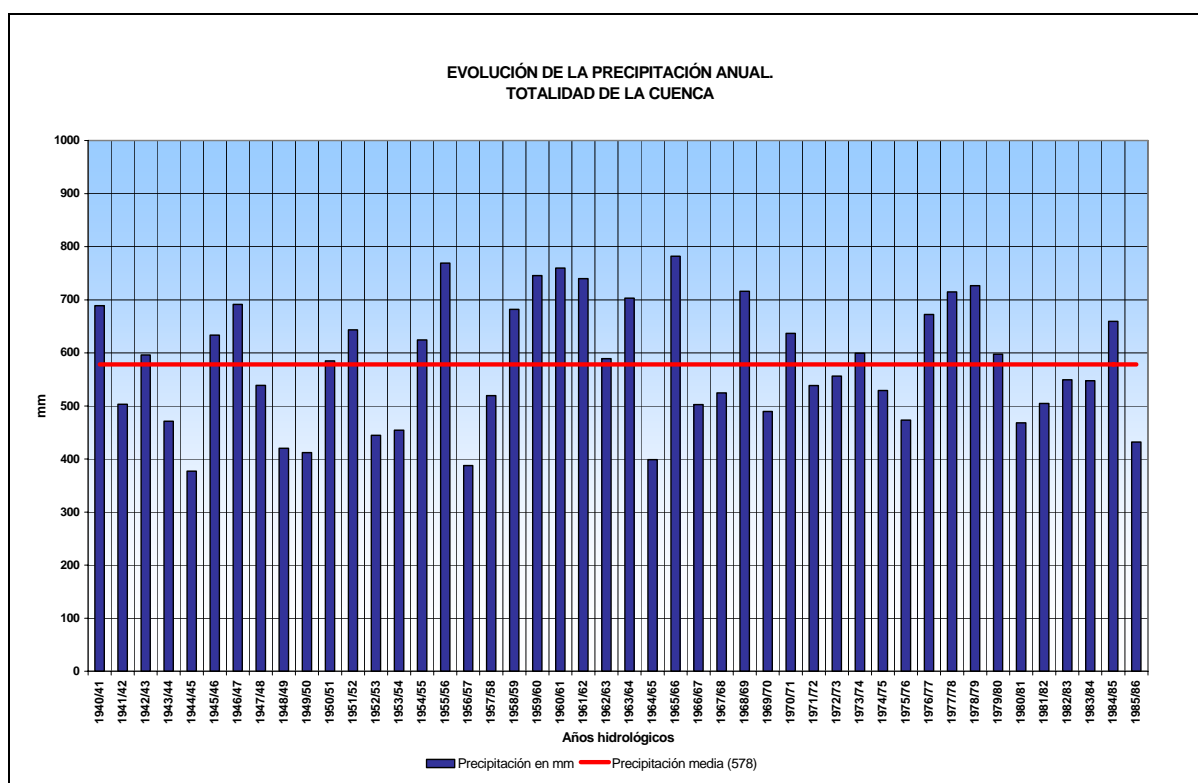
4.2.1. Caracterización regional en el ámbito global de la cuenca

En el Figura 1 se muestra la evolución de la precipitación anual, en mm, en el ámbito de la cuenca del Duero, para el período 1940/41 – 1985/86.

La precipitación media, en el período estudiado, se cifra en 578 mm, con una desviación típica de 115 mm y un coeficiente de variación del 20 %.

En el periodo analizado, la precipitación anual se encuentra tantas veces por encima como por debajo de la media.

Figura 1. Evolución de la precipitación anual en el ámbito de la cuenca del Duero



Entre los años 1940/41 a 1984/85 alternaron doce periodos de precipitación por debajo de la media. El ciclo más largo es de cuatro años y se presentó entre 1980/81 a 1983/84. Sin embargo, el menor valor de precipitación, 377 mm, se registró en el año 1944/45, encuadrado en un ciclo de dos años.

En la Tabla 1 se muestran los ciclos con precipitación inferior a la media y la duración de los mismos.

Tabla 1. Ciclos de precipitación inferior a la media

CICLO	DURACIÓN	PRECIPITACIÓN MEDIA.
	Años	mm
1941/42	1	503
1943/44 - 44/45	2	424
1947/48 - 49/50	3	457
1952/53 - 53/54	2	449
1956/57 - 57/58	2	453
1964/65	1	398
1966/67 - 67/68	2	513
1969/70	1	490
1971/72 - 72/73	2	547
1974/75 - 75/76	2	501
1980/81 - 83/84	4	517
1985/86	1	432

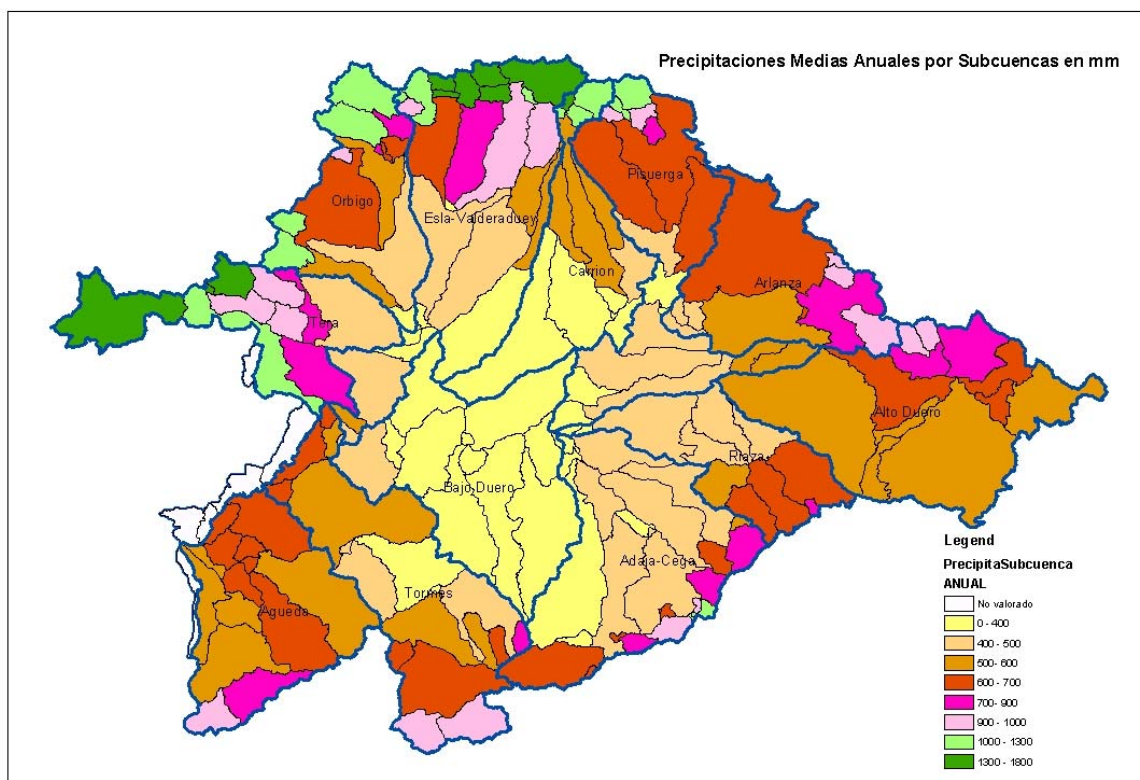
El análisis realizado pone de manifiesto que no es posible identificar fenómenos periódicos o cíclicos.

La irregularidad en la ocurrencia de las lluvias es muy importante, tanto en su distribución a lo largo del año como en su distribución interanual. Suele llover desde el otoño hasta la primavera y prácticamente no llueve en los meses del verano. Noviembre suele ser el mes con mayores lluvias. La precipitación presenta una gran variabilidad interanual (Coeficiente de variación de la serie de precipitación alto 20 %).

A la variabilidad temporal en la distribución de las precipitaciones debe añadirse la variabilidad en la distribución espacial. En la Figura 2 se muestra el mapa de precipitación media anual en la cuenca del Duero para el periodo analizado (1940/41 – 1985/86), en él se puede apreciar la distribución de la precipitación en el territorio.

Las precipitaciones ofrecen una buena correlación con la altitud. Así los valores anuales mayores se registran en la orla montañosa periférica, en particular en la zona de Galicia, nacimiento del río Tera, y en la zona cantábrica, nacimiento del Porma. Estos valores disminuyen rápidamente hacia el centro de la cuenca, encontrando los valores más bajos en una zona que comprende el NE de Salamanca, E de Zamora y SO de Valladolid, destacando el sistema de explotación de Bajo Duero como aquel en el que se presenta el valor más bajo de precipitación media anual.

Figura 2. Mapa de distribución espacial de la precipitación anual media de 1940/41 a 1985/86 (Fuente: Oficina de Planificación Hidrológica de la CHD)



Para estudiar la duración e intensidad de los ciclos “secos”, en el sentido de secuencias de años con precipitación inferior a la media, se ha calculado el Índice de Precipitación Estandarizado SPI (McKee et al., 1993), diseñado para mejorar la detección del comienzo de la sequía y para la monitorización de la misma.

El índice SPI viene definido por la siguiente expresión:

$$SPI_i = (X_i - MX) / S$$

Donde:

- SPI_i: Índice de precipitación anual estandarizado del año i.
- X_i: Precipitación anual del año i.
- MX: Media de la precipitación anual en el período 1940/41 a 1985/86
- S: Desviación típica o estándar de la serie de precipitación anual del período 1940/41 – 1985/86.

En la Tabla 2 se presentan los límites fijados por la Guía para la Redacción de Planes Especiales de Actuación en Situación de Alerta y Eventual Sequía.

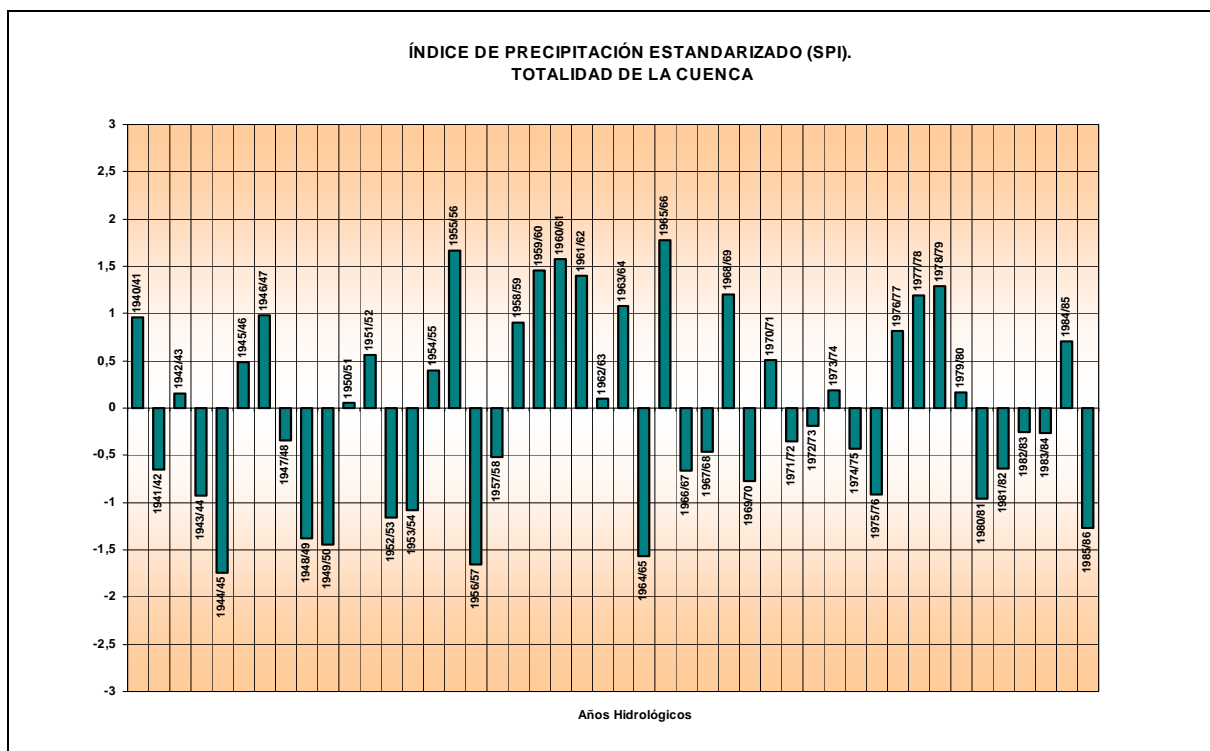
Tabla 2. Clasificación de valores de SPI

INTENSIDAD DE LA SEQUÍA	VALOR DEL SPI
Extrema	< -2,00
Severa	< -1,50
Periodo seco	< -1,00
Periodo normal	-1,00 < SPI < 0,00

Una sequía se produce cuando el SPI sea permanentemente negativo y alcance una intensidad de -1,0 o inferior, el fenómeno finaliza cuando el SPI se hace positivo. La intensidad o gravedad de un período seco o húmedo corresponde a la suma de los valores del SPI de cada uno de los años que lo integran.

En el Figura 3 se muestra el SPI de la precipitación anual del período 1940/41 a 1985/86, ya que este es el grupo de años con datos de precipitación disponible tomados de la información utilizada para la redacción del PHD identificándose los siguientes períodos secos de dos o más años seguidos: 1943/44-1944/45, 1948/49-1949/50, 1952/53-1953/54, 1956/57-1957/58, 1966/67-1967/68, 1974/75-1975/76 y 1980/81-1983/84.

Figura 3. Evolución del Índice SPI en el ámbito de la cuenca del Duero



Para clasificar los periodos secos detectados, de acuerdo con los criterios expuestos, se ha calculado el valor del SPI acumulado, resumiendo los valores en la Tabla 3.

Figura 4. SPI acumulado en el ámbito de la cuenca del Duero

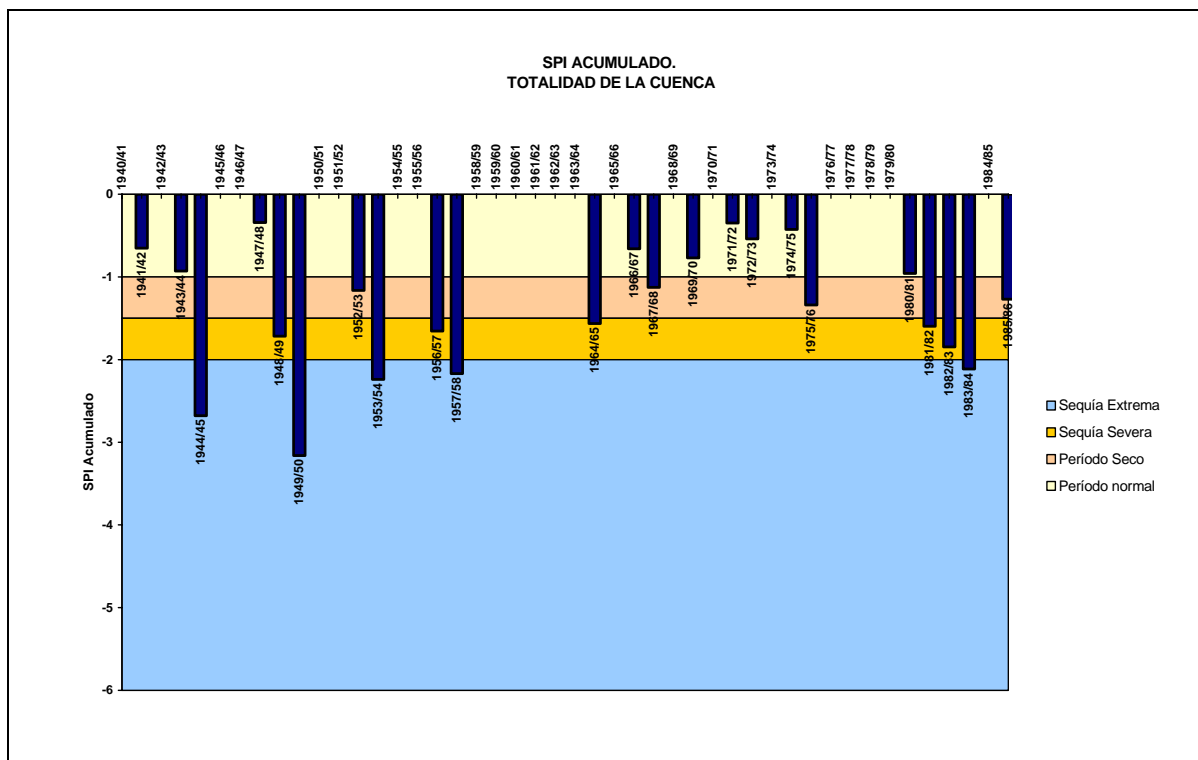


Tabla 3. Clasificación de periodos secos en el ámbito de la cuenca del Duero

PERIODO	SPI ACUMULADO.	CLASIFICACIÓN.	PRECIPITACIÓN
			mm
1943/44 - 44/45 (2 años)	-2,68	Extrema	377 (1944/45)
1947/48 - 49/50 (3 años)	-3,16	Extrema	412 (1949/50)
1952/53 - 53/54 (2 años)	-2,24	Extrema	445 (1952/53)
1956/57 - 57/58 (2 años)	-2,17	Extrema	388 (1956/57)
1966/67 - 67/68 (2 años)	-1,13	Periodo seco	502 (1966/67)
1974/75 - 75/76 (2 años)	-1,34	Periodo seco	473 (1975/76)
1980/81 - 83/84 (4 años)	-2,11	Extrema	468 (1980/81)

En el periodo estudiado no se presentan ciclos de larga duración de sequía meteorológica, siendo el periodo de cuatro años 1980/81 – 1983/84 el más largo.

4.2.2. Caracterización regional de las precipitaciones en cada sistema de explotación

Se ha realizado un estudio de la sequía meteorológica por sistema de explotación basado en los datos de precipitación anual y en los valores del SPI y del SPI acumulado igual que el realizado para la cuenca completa. Este estudio se recopila en el Anejo VI del presente documento.

En la Tabla 4 se identifican los ciclos secos según el cálculo de SPI realizado, considerando los ciclos en los que el SPI acumulado alcanza un valor inferior a -1,00, indicativo de Periodo Seco a sequía Extrema.

La Tabla 4 muestra la persistencia de estos episodios en cada uno de los sistemas de explotación. En la cuenca hidrográfica del Duero la distribución y duración de ciclos secos y húmedos varía de un sistema de explotación a otro, no obstante se distinguen algunos ciclos meteorológicos secos comunes que se distribuyen con las siguientes particularidades.

Periodo 1941/42 – 1944/45

Si se analiza la situación de este periodo para toda la cuenca, únicamente se consideran de sequía extrema los años 1943/44 y 1944/45, ya que en estos dos años se registró una sequía extrema en todos los sistemas de explotación.

En el sistema de explotación de Arlanza es la sequía de mayor duración registrada y el ciclo se extiende hasta el año 1945/46.

Los sistemas de explotación de Carrión, Pisuerga, Alto Duero, Bajo Duero, Tormes y Águeda sufrieron este ciclo completo de sequía extrema, siendo este periodo el de la sequía más intensa sufrida por los sistemas de explotación de Órbigo, Tera, Carrión y Tormes, en el periodo de años estudiado.

Periodo 1947/48 – 1950/51

Analizando la cuenca completa el periodo de años, dentro de este ciclo seco, que puede considerarse de sequía extrema es de 1947/48 a 1949/50 y es la sequía de mayor intensidad registrada en el grupo de años considerado para el estudio, ya que para la mayoría de los sistemas de explotación fueron los años con sequía de mayor intensidad: Esla-Valderaduey, Pisuerga, Arlanza, Alto Duero, Rianza, Adaja – Cega y Bajo Duero.

Los sistemas de explotación en los que se registró sequía en todo este periodo son Esla – Valderaduey y Órbigo, retrasándose el comienzo de este periodo al año 1948/49 en los sistemas de explotación de Tera, Tormes y Águeda.

Periodo 1952/53 – 1957/58

Dentro de este periodo se encuentra el año 1955/56 que fue uno de los años más húmedos en el grupo de años estudiado para cuenca del Duero.

Los sistemas de explotación en los que se registró este ciclo de sequía completo, exceptuando el año 1955/56, fueron Esla – Valderaduey y Águeda, terminándose el ciclo seco en el sistema de explotación de Pisuerga en el año 1956/57.

Periodo 1964/65 – 1967/68

Este periodo de sequía se distribuye de forma distinta según el sistema de explotación. El año 1964/65 fue un año seco en todos los sistemas, excepto en Arlanza, después de un ciclo húmedo de seis años. El año 1965/66 presentó precipitaciones superiores a la media en toda la cuenca pero le siguieron los años secos de 1966/67 a 1967/68, excepto en los sistemas de explotación de Tera, Carrión, Pisuerga, Alto Duero y Águeda.

Periodo 1971/72 – 1975/76

Estudiando la cuenca completa solo se registran los años secos de 1974/75 a 1975/76, ya que la duración de este ciclo seco es distinto según el sistemas de explotación del que se trate.

- En los sistemas de explotación de Esla-Valderaduey, Pisuerga, Riaza, Adaja – Cega, Bajo Duero y Tormes se registró sequía en todo el periodo.
- En el sistema de explotación de Órbigo los años secos comienzan en 1973/74 y se extienden hasta 1976/77, un año más tarde del final de este periodo considerado.
- En los sistemas de explotación de Tera, Carrión y Águeda solo se registraron los años de 1975/75 a 1975/76 como secos.
- En los sistemas de explotación de Alto Duero solo se registró como periodo seco el año 1975/76

Periodo 1979/80 – 1985/86

Este periodo de sequía tiene una distribución distinta según el sistema de explotación que se estudie, presentando el año 1984/85 precipitaciones superiores a la media en toda la cuenca excepto en el sistema de explotación de Adaja-Cega. El periodo de cuatro años de 1979/80 a 1982/83 fue el de mayor intensidad de sequía en Águeda.

Tabla 4. Duración de ciclos secos según el SPI acumulado (< -1,00)

	40/41	41/42	42/43	43/44	44/45	45/46	46/47	47/48	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	58/59	59/60	60/61	61/62	62/63	63/64
Esla - Valderaduey																								
Órbigo																								
Tera																								
Carrión																								
Pisuerga																								
Arlanza																								
Alto Duero																								
Riaza																								
Adaja - Cega																								
Bajo Duero																								
Tormes																								
Águeda																								
CUENCA																								

	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	
Esla - Valderaduey																							
Órbigo																							
Tera																							
Carrión																							
Pisuerga																							
Arlanza																							
Alto Duero																							
Riaza																							
Adaja - Cega																							
Bajo Duero																							
Tormes																							
Águeda																							
CUENCA																							

En la Tabla 5 se muestra el número de años con SPI positivo contabilizados en cada sistema de explotación, lo cual puede dar una idea de la ocurrencia de sequías meteorológicas en cada sistema. El sistema de explotación de Bajo Duero es el que presenta menor número de años húmedos pero con una diferencia de solo cuatro años con los sistemas que presentan más años lluviosos, lo que denota que las sequías se manifiestan con similar frecuencia en todos los sistemas, aunque con intensidad y duración diferente.

Tabla 5. Clasificación de los sistemas de explotación de la cuenca del Duero por número de años con SPI positivo

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	Número de años de SPI positivo (1940/41 – 1985/86)
Esla – Valderaduey	20
Órbigo	20
Tera	23
Carrión	23
Pisuerga	22
Arlanza	20
Alto Duero	22
Riaza	22
Adaja – Cega	23
Bajo Duero	19
Tormes	23
Águeda	22

4.3. Caracterización hidrológica de las sequías en la cuenca del Duero

Para la caracterización hidrológica de sequías se han utilizado los siguientes datos:

- Aportaciones restituidas a régimen natural en el período 1940/41 a 1998/99, obtenidas de los datos de aforos facilitados por la Confederación Hidrográfica del Duero. Para caracterizar algunos sistemas ha sido necesario establecer correlaciones entre cuencas, comprobándose los datos resultantes con las aportaciones introducidas en el modelo de gestión de cuenca SIM-V, actualizado hasta el año 1985/86.
- Volúmenes medios anuales embalsados en las principales infraestructuras de regulación.

Para la determinación de ciclos secos de aportación se ha utilizado un índice estandarizado con procedimiento de obtención idéntico al SPI y definido por la siguiente expresión:

$$I.E.i = (X_i - MX) / S$$

bajo la hipótesis estadística de que ambas series de datos se ajustan a una distribución normal de media cero y desviación típica 1.

En donde:

I.E.i: Índice de aportación estandarizado del año i.

Xi : Es la aportación total anual del año i.

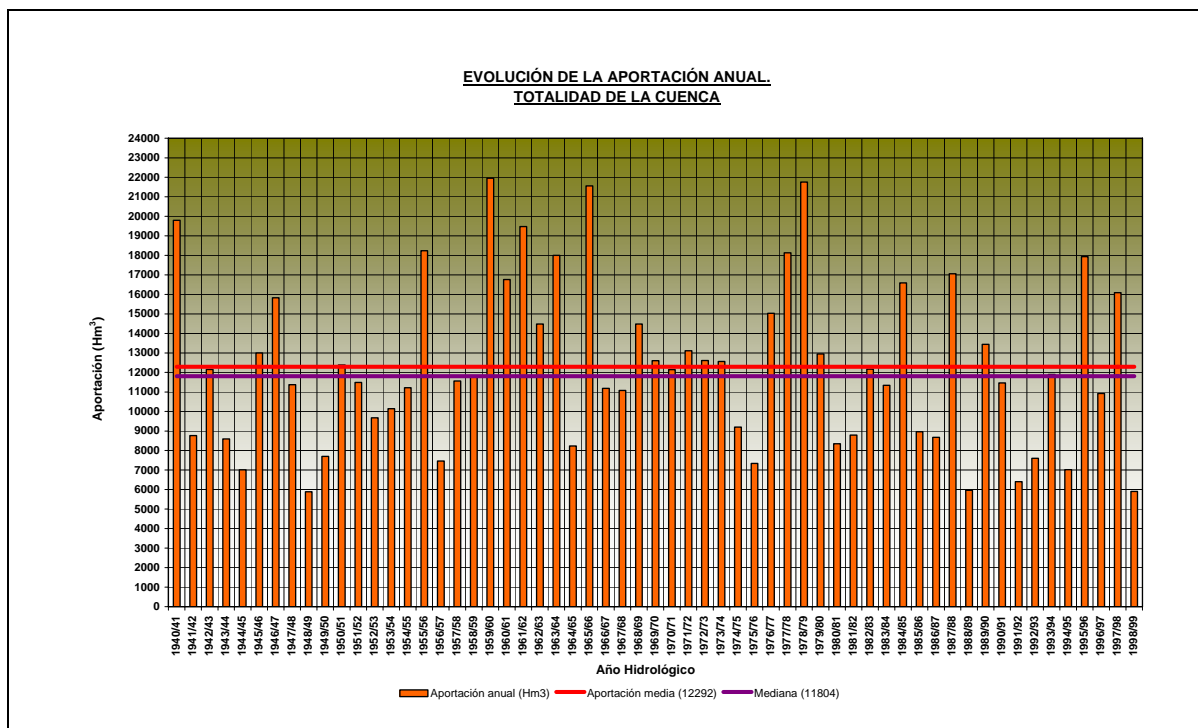
MX : Es la media de la aportación total anual del período 1940/41 a 1998/99.

S : Es la desviación típica o estándar de la serie de aportación total anual del período 1940/41 – 1998/99 .

4.3.1. Caracterización regional de las aportaciones en el ámbito global de la cuenca

En la Figura 5 se muestra la aportación total anual, obtenida a partir de las aportaciones restituidas a régimen natural, para el período 1940/41 – 1998/99, en el ámbito de la cuenca del Duero.

Figura 5. Evolución de la aportación anual en el ámbito de la cuenca del Duero



La aportación media anual del período se cifra en 12.292 hm³/año, siendo el valor de la mediana 11.804 hm³/año. El máximo valor, 21.954 hm³/año, se presenta en el año 1959/60, primero de un ciclo de cinco años de aportaciones superiores a la media, registrándose el valor mínimo, 5.883 hm³/año, en 1948/49, encuadrado en un ciclo de tres años de aportaciones inferiores a la media. El año 1988/89 tuvo una aportación de 5.955 hm³/año, del orden de la aportación media anual mínima registrada en 1948/49, pero se trata de un año aislado entre dos años de aportaciones superiores a la media. La desviación típica se cifra en 4.250 hm³ y el coeficiente de variación es del 34 %, lo cual da idea de la irregularidad de las aportaciones.

Del periodo de 59 años estudiados, los valores de aportación media anual se sitúan en veinticinco ocasiones por encima de la media, es decir, el 42 % de los años. Por lo tanto, en el periodo de tiempo estudiado, las aportaciones presentan unos valores inferiores a la media en mayor número de años.

En la Tabla 6 se agrupan los años de aportación inferior a la media en ciclos de dos o más años consecutivos. Teniendo en cuenta la aportación media de cada ciclo se obtiene una

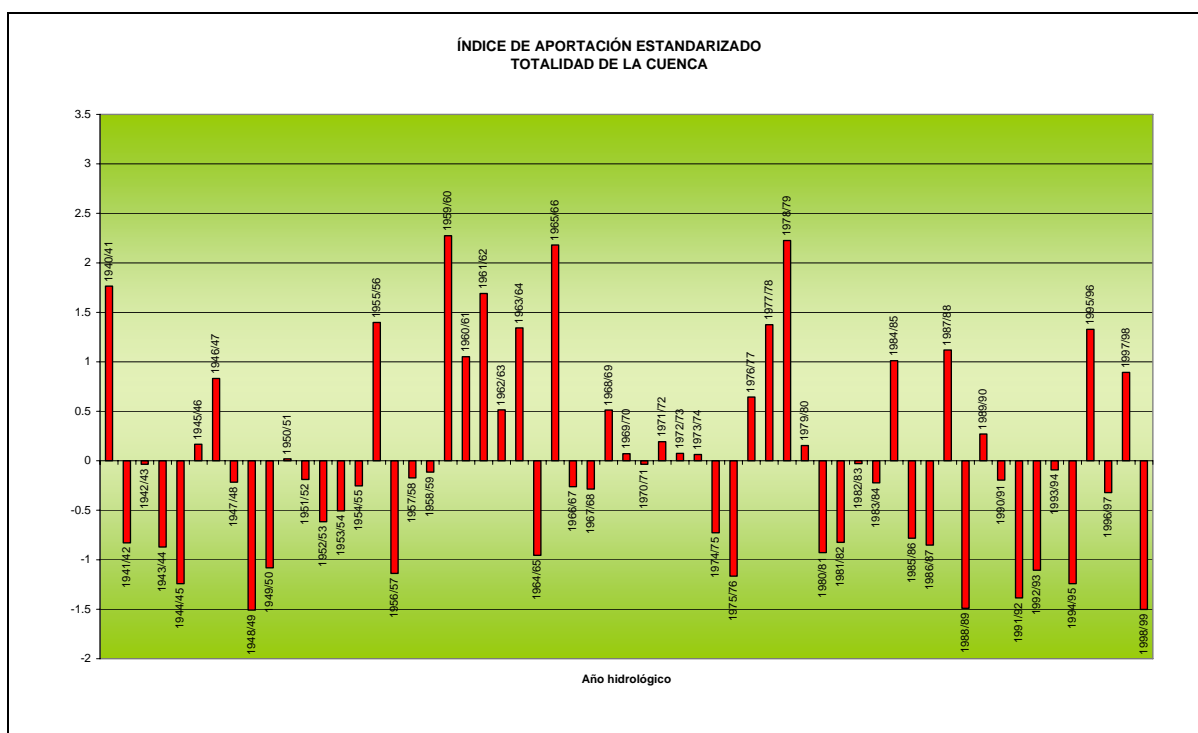
clasificación relativa según su severidad, dicha clasificación se refleja en la columna de la derecha.

Tabla 6. Ciclos de mínima aportación en el ámbito de la cuenca del Duero

CICLO	DURACIÓN	APORTACIÓN	Gradación de ciclos pésimos
	años	hm ³	
1941/42 – 44/45	4	9.130	1º 1974/75 – 75/76
1947/48 – 49/50	3	8.316	2º 1947/48 – 49/50
1951/52 – 54/55	4	10.631	3º 1985/86 – 86/87
1956/57 – 58/59	3	10.272	4º 1990/91 – 94/95
1966/67 – 67/68	2	11.130	5º 1941/42 – 44/45
1974/75 – 75/76	2	8.270	6º 1980/81 – 83/84
1980/81 – 83/84	4	10.161	7º 1956/57 – 58/59
1985/86 – 86/87	2	8.819	8º 1951/52 – 54/55
1990/91 – 94/95	5	8.876	9º 1966/67 – 67/68

Para la determinación de la intensidad y duración de los ciclos de aportación mínima se ha utilizado un índice de aportación estandarizado (Figura 6) mediante el procedimiento de cálculo explicado anteriormente.

Figura 6. Índice de aportación estandarizado en el ámbito de la cuenca del Duero



Con los resultado reflejados en la Figura 6 se identifican en la Tabla 7 los siguientes ciclos de aportación con índice estandarizado negativo, de más de dos años de duración.

Tabla 7. Índice estandarizado de aportación en el ámbito de la cuenca del Duero

PERIODO	DURACIÓN	APORT. MEDIA	Índice estandarizado medio anual
	Años	Hm ³ /año	
1941/42 – 44/45	4	9.130	-0,74
1947/48 – 49/50	3	8.316	-0,93
1951/52 – 54/55	4	10.631	-0,39
1956/57 – 58/59	3	10.272	-0,47
1966/67 – 67/68	2	11.130	-0,27
1974/75 – 75/76	2	8.270	-0,95
1980/81 – 83/84	4	10.161	-0,50
1985/86 – 86/87	2	8.819	-0,82
1990/91 – 94/95	5	8.876	-0,80

El ciclo de mayor intensidad de sequía se presenta en el período 1974/75 – 1975/74, siendo el periodo de mayor duración, cinco años, de 1990/91 a 1994/95.

4.3.2. Caracterización regional de las aportaciones en cada sistema de explotación

En el Anejo VI se presenta el estudio de aportaciones realizado para cada sistema de explotación, a partir de los datos de aportaciones restituidas a régimen natural, facilitados por la Confederación Hidrográfica del Duero, en el periodo de 1940/41 a 1998/99.

En la Tabla 8 se muestran los valores de la aportación media, los máximos y mínimos registrados en el periodo estudiado y el número de años por encima y por debajo de la media. En general se han registrado más años con aportación por debajo de la media.

Tabla 8. Aportaciones en cada sistema de explotación de la cuenca del Duero

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	MEDIA	Nº años por encima de la media	Nº años por debajo de la media	MÁXIMO		MÍNIMO	
	hm ³ /año			hm ³ /año	año	hm ³ /año	año
Ámbito de la CHD	12.292	25	34	21.954	1959/60	5.883	1948/49
Esla – Valderaduey	3.012	26	33	5.100	1959/60	1.350	1988/89
Órbigo	1.148	28	31	2.185	1978/79	548	1998/99
Tera	813	27	32	1.652	1965/66	254	1944/45
Carrión	583	25	34	1.170	1978/79	217	1948/49
Pisuerga	1.119	26	33	2.381	1965/66	336	1948/49
Arlanza	880	25	34	2.050	1961/62	268	1975/76
Alto Duero	875	24	35	2.080	1940/41 1965/66	279	1975/76
Riaza	408	24	35	1.125	1959/60	169	1956/57
Adaja – Cega	947	23	36	2.094	1940/41	265	1991/92
Bajo Duero	496	24	35	1.414	1959/60	95	1958/59
Tormes	1.214	31	29	2.361	1945/46	322	1944/45
Águeda	822	31	29	2.115	1978/79	98	1991/92

Para cada sistema de explotación también se ha evaluado el índice de aportación estandarizado en el periodo 1940/40 – 1998/99 (gráficas de cada sistema y valores calculados en el anejo VI). En la Tabla 9 se muestra la distribución de ciclos de aportación

por debajo de la media en cada sistema de explotación comparándolos con los identificados para toda la cuenca.

Tabla 9. Índice de aportación estandarizado negativo en CHD (1940/41 – 1998/99)

	40/41	41/42	42/43	43/44	44/45	45/46	46/47	47/48	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	58/59	59/60	60/61	61/62	62/63	63/64	64/65	65/66
Esla - Valderaduey																										
Orbigo																										
Tera																										
Carrión																										
Pisuerga																										
Arlanza																										
Alto Duero																										
Riaza																										
Adaja - Cega																										
Bajo Duero																										
Tormes																										
Agueda																										
CUENCA																										

	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
Esla - Valderaduey																																	
Orbigo																																	
Tera																																	
Carrión																																	
Pisuerga																																	
Arlanza																																	
Alto Duero																																	
Riaza																																	
Adaja - Cega																																	
Bajo Duero																																	
Tormes																																	
Agueda																																	
CUENCA																																	

Se han destacado cuatro ciclos principales de aportaciones inferiores a la media, pero la distribución dentro de los mismos varía según el sistema de explotación. La afeción espacial y temporal en cada sistema de explotación ha sido la siguiente:

Periodo 1941/42 – 1954/55

En este ciclo alternan periodos de años con aportaciones superiores e inferiores a la media. Considerando la cuenca española en conjunto se distinguen tres periodos de años consecutivos con aportaciones inferiores a la media: 1941/42 – 44/45, 1947/48 – 49/50 y 1951/52 – 54/55.

En los siguientes sistemas de explotación se registraron los peores años, si tenemos en cuenta la menor aportación media registrada en dos o más años consecutivos: Tera (1943/44-44/45), Carrión (1947/48 – 49/50), Pisuerga (1947/48 – 50/51), Arlanza (1948/49 – 49/50) y Alto Duero (1948/49 – 49/50).

Teniendo en cuenta el número de años consecutivos en los que se registraron aportaciones inferiores a la media destacan los ciclos más largos, dentro del periodo estudiado, de los siguientes sistemas de explotación: Esla-Valderaduey (5 años), Tera (7 años), Riaza (7 años), Adaja-Cega (8 años), Bajo Duero (7 años) y Tormes (4 años).

Antes de comenzar el siguiente periodo analizado, se presentaron unos años aislados entre 1956/57 y 1964/65 con valores bajos de aportaciones. Cabe destacar el periodo 1956/57 – 1958/59, donde se obtuvieron aportaciones inferiores a la media en toda la cuenca española en general, presentándose en el sistema de explotación de Riaza los dos años consecutivos con menor aportación media (1956/57 – 57/58).

Periodo 1966/67 – 1975/76

En estos años algunos sistemas de explotación se ven más afectados que otros. En el sistema de explotación de Pisuegra no tuvo gran incidencia y en Arlanza y Alto Duero solo destacan los años de 1972/73 a 1975/76.

Estudiando la cuenca completa destacan los dos años consecutivos 1974/75 y 75/76, en los que se midieron las menores aportaciones medias.

En los sistemas de explotación de Carrión y Águeda se registraron los periodos más largos de años consecutivos con aportaciones inferiores a la media, de 7 y 6 años respectivamente. En el sistema de explotación de Adaja-Cega el periodo se alargó hasta el año 1976/77.

Periodo 1980/81 – 1986/87

Este periodo comienza en el año 1979/80 para los sistemas de explotación de Esla – Valderaduey, Tormes y Águeda.

En algunos sistemas de explotación se registraron los ciclos con menores aportaciones medias: Esla-Valderaduey (1979/80 – 81/82), Órbigo y Bajo Duero (1985/86 – 86/87).

En el sistema de explotación de Tormes el mayor número de años consecutivos con aportaciones inferiores a la media fue 4 entre 1979/80 y 1982/83.

Periodo 1988/89 – 1994/95

Este periodo comprende la sequía de 1990/91- 1994/95 sufrida por toda España.

Teniendo en cuenta el valor de la aportación media medida, destacan los menores valores registrados en los siguientes sistemas de explotación: Adaja-Cega (1991/92 – 94/95), Tormes (1990/91 – 92/93) y Águeda (1991/92 – 92/93).

Destacan los periodos de mayor duración de precipitaciones inferiores a la media en los sistemas de explotación de Órbigo (5 años), Pisuegra (7 años), Arlanza (7 años), Alto Duero (7 años), Riaza (7 años) y Bajo Duero (7 años)

De la descripción realizada se deduce que los ciclos secos de aportaciones identificados para todo el ámbito territorial del Duero en España, no se manifiestan con la misma intensidad, duración y cronología en los sistemas de explotación.

4.3.3. Caracterización de los volúmenes medios anuales embalsados en la cuenca del Duero.

Como factor caracterizador de la sequía hidrológica también se han utilizado los datos de los volúmenes medios en los siguientes embalses, en el período desde el año 1.958/59 a 2004/2005:

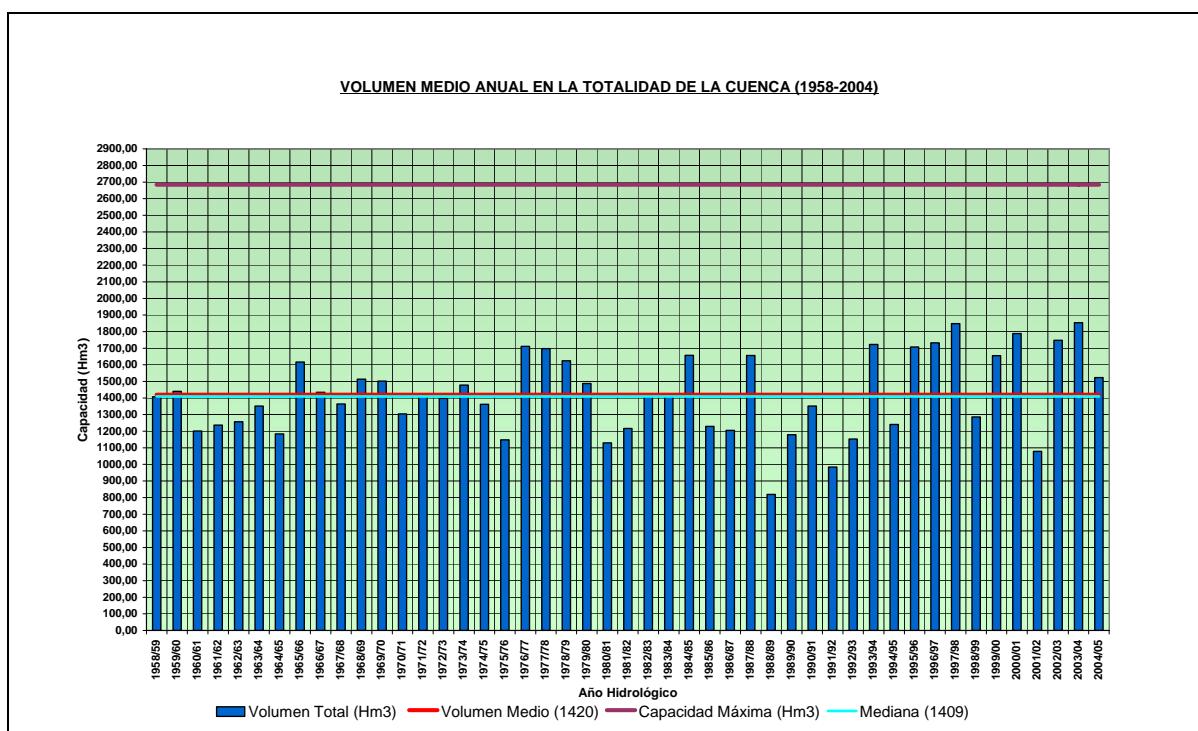
Tabla 10. Embalses utilizados para la caracterización hidrológica.

EMBALSE	AÑO INICIAL.	VOLUMEN
		Hm ³
Porma	1969	317
Riaño	1988	651
Barrios de Luna	1958	308
Villameca	1973	20
Camporredondo	1958	70
Compuerto	1960	95
Cervera	1958	10
Requejada	1958	65
Aguilar	1962	247
Arlanzón	1958	22
Úzquiza	1991	75
Cuerda del Pozo	1958	229
Linares del Arroyo	1958	58
Águeda	1958	22
Santa Teresa	1958	496

En el Anejo VI se presentan los gráficos con la evolución de los volúmenes medios embalsados en cada uno de los embalses seleccionados.

No todos los embalses fueron puestos en servicio en el mismo año, por lo tanto, para realizar un análisis global de la cuenca desde el año 1958/59, se han completado los datos de los embalses que se construyeron con posterioridad a esa fecha, sumándoles un valor constante, igual al valor medio del volumen de embalse calculado desde su puesta en servicio.

Figura 7. Evolución del volumen medio anual embalsado en la cuenca del Duero



La capacidad total de los embalses estudiados es de 2.685 hm³ mientras que en el periodo analizado el volumen medio anual embalsado fue 1.420 hm³, que corresponde a un 53 % de la capacidad total de regulación.

En el periodo de 47 años analizados los volúmenes de embalse se encuentran por debajo de la media en 25 años.

Tabla 11. Ciclos de volumen embalsado inferior a la media en la cuenca del Duero.

CICLO	DURACIÓN	VOL. MEDIO ALMACENADO.
	años	hm ³ /año
1960/61 – 64/65	5	1.246
1970/71 – 71/72	2	2.062
1974/75 – 75/76	2	2.111
1980/81 – 83/84	4	1.291
1985/86 – 86/87	2	2.045
1988/89 – 92/93	5	1.097

De los volúmenes de embalses se deduce que el peor periodo por intensidad y duración fue el que abarca los años 1988/89 a 1992/93.

Se ha estudiado la evolución del volumen total almacenado en cada sistema de explotación, calculando el porcentaje del volumen total almacenado en un año en función de la capacidad total de reservas del sistema en ese año. De esta forma se pueden detectar los años en los que los embalses se encuentran por debajo de su capacidad de llenado normal.

Los embalses que se han tenido en cuenta por cada sistema de explotación han sido los siguientes:

4.4. Comparación entre ciclos de sequía meteorológicos e hidrológicos identificados

En la Tabla 14 se comparan los ciclos identificados en la cuenca española del Duero y en cada uno de los sistemas de explotación a partir del SPI, el SPI acumulado (sequía meteorológica), el índice de aportación estandarizado (sequía hidrológica) y los porcentajes de volúmenes de embalse situados por debajo del porcentaje medio de llenado.

Hay que señalar que la longitud de las series temporales utilizadas para el análisis de las distintas variables es distinta dependiendo de los datos disponibles:

- Datos pluviométricos: 1940/41 – 1985/86
- Datos de aportaciones: 1940/41 – 1998/99
- La longitud de la serie de datos de volúmenes de embalse varía según el sistema de explotación considerada

Para el SPI se marcan (azul claro) los años en que es negativo junto con aquellos cuyo valor acumulado es inferior a $-1,50$, que se considera el comienzo de la sequía meteorológica de severa a extrema.

El análisis de los volúmenes embalsados no es significativo ya que dependen de las reglas de gestión, aparte de no poder llevar a cabo un análisis completo en todos los años, ya que la secuencia de años analizada depende de los datos disponibles de volumen de embalse en cada sistema de explotación.

Las sequías meteorológicas e hidrológicas (aportaciones) se pueden comparar únicamente entre los años comprendidos entre 1940/41 y 1985/86, ya que la serie viene limitada por los datos de lluvia disponibles.

Se identifican como ciclos de sequía aquellos que se inician con un SPI acumulado inferior a $-1,50$, e índice estandarizado de aportaciones negativo; se considera que el ciclo termina cuando se recuperan las aportaciones. Con estas condiciones establecidas se identifican los siguientes ciclos secos:

Sequía 1943/44 – 1944/45

Es la sequía más extrema en los sistemas de explotación de Órbigo, Tera, Carrión y Tormes. En Carrión y Tormes la sequía meteorológica fue más larga, comenzando en 1941/42, durando la escasez de aportaciones en Carrión hasta el año 1945/46.

Sequía 1947/48 – 1949/50

En este periodo se registró la sequía más intensa, coincidiendo con el segundo periodo de menores aportaciones medias. En la mayoría de los sistemas de explotación fueron los años con sequía de mayor intensidad, alargándose el periodo hasta el año 1950/51 en los sistemas de explotación de Esla-Valderaduey y Órbigo.

Sequía 1952/53 – 1954/55

La sequía meteorológica duró los dos primeros años hidrológicos pero las aportaciones tardaron un año más en recuperarse.

Sequía 1956/57 – 1958/59

Como en el periodo anterior la sequía meteorológica duró los dos primeros años alargándose la deficiencia hidrológica un año más.

Racha seca 1966/67 – 1967/68

Este ciclo de dos años fue un periodo seco de la cuenca que no se llegó a manifestar en todos los sistemas de explotación.

Racha seca 1974/75 – 1975/76

Igual que el ciclo anterior fue un periodo seco de dos años de duración, en él se presentaron las menores aportaciones medias.

Sequía 1980/81 – 1983/84

Este periodo es el de mayor duración de sequía extrema en toda la cuenca tanto meteorológica como hidrológica.

Aparte de los periodos antes destacados cabe señalar la sequía de 1990/91- 1994/95 que afectó a toda España y en particular en la cuenca del Duero se detectó el ciclo más largo con aportaciones inferiores a la media. El comienzo de este periodo se adelanta al año 1988/89 en los sistemas de explotación de Pisuerga, Arlanza, Alto Duero, Rianza y Bajo Duero.

