

CAPÍTULO 5

EL SISTEMA DE INDICADORES Y DEFINICIÓN DE UMBRALES

Valladolid, marzo de 2007

ÍNDICE

5.	EL SISTEMA DE INDICADORES Y DEFINICIÓN DE UMBRALES	1
5.1.	Introducción	1
5.2.	Fundamentos metodológicos de selección del sistema de indicadores	4
5.3.	Definición del índice de estado	7
5.4.	Selección de indicadores	8
5.4.1.	Esla-Valderaduey	9
5.4.2.	Órbigo	10
5.4.3.	Tera	10
5.4.4.	Carrión	10
5.4.5.	Pisuerga	11
5.4.6.	Arlanza	12
5.4.7.	Alto Duero	12
5.4.8.	Riaza	13
5.4.9.	Adaja - Cega	13
5.4.10.	Bajo Duero	14
5.4.11.	Águeda	14
5.4.12.	Tormes	14
5.4.13.	Resumen de indicadores	15
5.5.	Ponderación de los índices de estado	17
5.6.	Validación de los Índices de Estado	19
5.6.1.	Sistema de explotación de Esla - Valderaduey	19
5.6.2.	Sistema de explotación de Órbigo	23
5.6.3.	Sistema de explotación de Tera	28
5.6.4.	Sistema de explotación de Carrión	30
5.6.5.	Sistemas de explotación de Pisuerga y Bajo Duero	34
5.6.6.	Sistema de explotación de Arlanza	37
5.6.7.	Sistema de explotación de Alto Duero	42
5.6.8.	Sistema de explotación de Riaza	44
5.6.9.	Sistema de explotación de Adaja - Cega	48
5.6.10.	Sistema de explotación de Bajo Duero	51
5.6.11.	Sistema de explotación de Tormes	51
5.6.12.	Sistema de explotación de Águeda	53
5.6.13.	Cuenca del Duero	55
5.6.14.	Tiempo de permanencia de la sequía	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Relación de zonas de demanda con los indicadores seleccionados	15
Tabla 2.	Ponderación de los índices de estado	17
Tabla 3.	Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Esla - Valderaduey)	22
Tabla 4.	Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Órbigo)	26
Tabla 5.	Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Carrión)	33

Tabla 6. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Pisuerga y Bajo Duero).....	36
Tabla 7. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Arlanza)	40
Tabla 8. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Alto Duero).....	43
Tabla 9. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Riaza)	47
Tabla 10. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Águeda)	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Categorías de estado de un indicador de sequía	3
Figura 2. Puntos de control de la red piezométrica (Fte: Comisaría de Aguas de la CHD).....	6
Figura 3. Serie temporal del piezómetro 02.06.091 Za. Castronuevo (U.H. Esla - Valderaduey) (Fte: Comisaría de Aguas de la CHD).....	6
Figura 4. Definición del Índice de Estado	8
Figura 5. Localización de los indicadores de sequía	16
Figura 6. Evolución del índice de estado del embalse de Porma.	20
Figura 7. Evolución del índice de estado del embalse de Riaño.	20
Figura 8. Evolución del Índice de Estado del sistema de explotación de Esla - Valderaduey.....	21
Figura 9. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Esla - Valderaduey).....	23
Figura 10. Evolución del índice de estado del embalse de Barrios de Luna.	24
Figura 11. Evolución del índice de estado del embalse de Villameca.	24
Figura 12. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Órbigo.	25
Figura 13. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Órbigo)	27
Figura 14. Evolución del índice de estado del embalse de Cernadilla.	28
Figura 15. Evolución del índice de estado del aforo 2818 (Rabal).	29
Figura 16. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Tera	30
Figura 17. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Carrión.....	31
Figura 18. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Carrión).....	33
Figura 19. Evolución del índice de estado de los sistemas de explotación de Pisuerga y Bajo Duero	34
Figura 20. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Pisuerga y Bajo Duero)	36
Figura 21. Evolución del índice de estado del aforo 2030	37
Figura 22. Evolución del índice de estado de los embalses de Arlanzón y Úzquiza.....	38
Figura 23. Evolución del índice de estado del Sistema de Explotación de Arlanza.....	39
Figura 24. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Arlanza)	41
Figura 25. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Alto Duero	42
Figura 26. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Alto Duero).....	44
Figura 27. Evolución del índice de estado del embalse de Linares del Arroyo	45

Figura 28. Evolución del índice de estado del embalse de Burgomillodo	45
Figura 29. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Riaza	46
Figura 30. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Riaza)	48
Figura 31. Evolución del índice de estado de la estación de aforos 2046	49
Figura 32. Evolución del índice de estado de las entradas al embalse de Pontón Alto.....	49
Figura 33. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Adaja -Cega	50
Figura 34. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Tormes.....	51
Figura 35. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Águeda	53
Figura 36. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Águeda).....	54
Figura 37. Evolución del índice de estado de la cuenca del Duero	55
Figura 38. Evolución del índice de estado de los tres pluviómetros del Convenio de Albufeira.....	56

CAPÍTULO 5

EL SISTEMA DE INDICADORES Y DEFINICIÓN DE UMBRALES

5. EL SISTEMA DE INDICADORES Y DEFINICIÓN DE UMBRALES

5.1. Introducción

La situación de sequía a la que se refiere este Plan Especial es una anomalía temporal de escasez de agua respecto a las condiciones hidroclimáticas habituales. De acuerdo con la situación, entidad y características de las demandas, la sequía puede o no producir insuficiencia en el suministro.

La sequía resulta, hoy por hoy, impredecible y se manifiesta de un modo lento, inercial; con límites geográficos y temporales poco definidos, tal y como se ha evidenciado en el capítulo anterior.

Por todo ello, y también en atención al imperativo establecido en el Art. 27.1 de la Ley del Plan Hidrológico Nacional, es preciso establecer un sistema de indicadores hidrológicos que permitan, en cierta forma, prever estas situaciones y valorar la gravedad con que se presentan.

Se busca, por tanto, la definición de un sistema de indicadores que sirva de referencia general a la Confederación Hidrográfica del Duero para la declaración formal de situaciones de alerta y eventual sequía y para la valoración coyuntural del estado hidrológico de los diferentes ámbitos geográficos de análisis (sistemas de explotación).

El sistema de indicadores debe ser sencillo, cara a su fácil interpretación y a la comprensión de lo indicado y, a su vez, debe guardar coherencia entre los diferentes conjuntos de métricas que utilice. Por otra parte, el sistema debe ofrecer información objetiva, ajena a la consideración de distintos criterios o interpretaciones, y deberá resultar representativo o expresivo del ámbito geográfico al que haga referencia.

También resulta imprescindible que los indicadores sean rápidamente calculables de forma que se puedan actualizar con suma diligencia. Así pues, se deberá recurrir a elementos de medición hidrológica o meteorológica que ofrezcan el dato con prontitud, de tal forma que pueda emitirse el informe de valoración con presteza.

Se requiere una red de indicadores de primera aproximación, integrable en un sistema global de ámbito estatal. Adicionalmente, pueden establecerse sistemas de indicadores específicos que detallen mejor la información referida a determinados territorios o sistemas de aprovechamiento. Por consiguiente, el sistema de indicadores que aquí se presenta no supone más que una primera aproximación quedando para más adelante, según el propio desarrollo del Plan, el establecimiento de otros sistemas complementarios específicos.

Se pretende también que el sistema de indicadores, para alcanzar una representación oportuna de la realidad física que resulte lo más integradora posible, aúne distintos tipos de variables hidrometeorológicas. Entre las recomendadas por la Guía para la redacción de los

planes especiales de actuación ante situación de alerta y eventual sequía, cabe citar los siguientes:

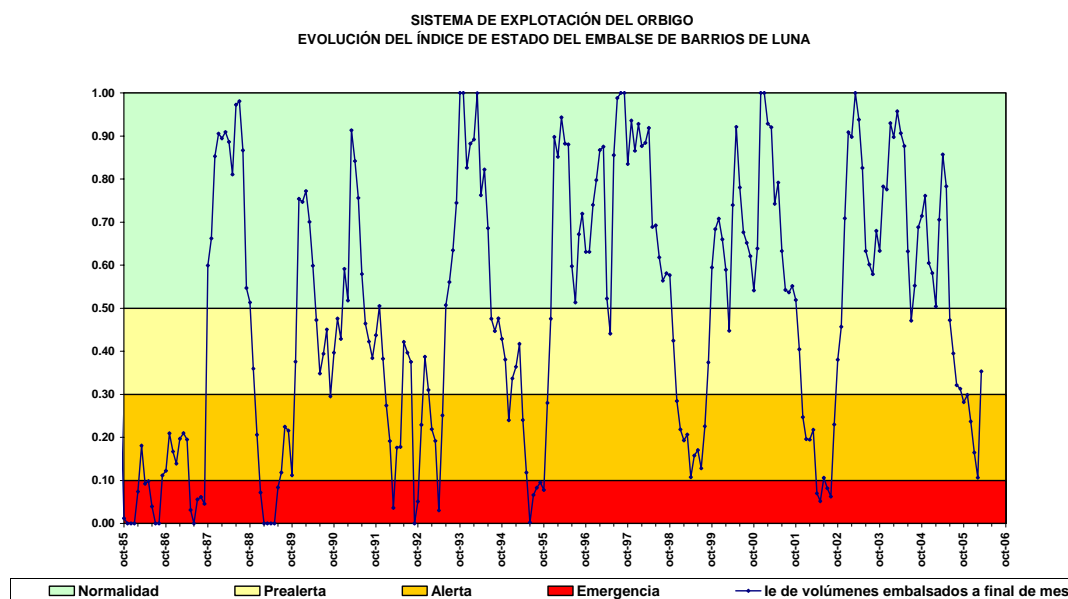
- Volúmenes almacenados en embalses
- Niveles piezométricos en acuíferos
- Aportaciones fluviales en estaciones de aforo
- Volúmenes desembalsados
- Pluviometría en estaciones representativas
- Reservas de agua en forma de nieve

Sobre las citadas variables se pretende realizar un cálculo o establecer un algoritmo que defina las métricas a utilizar y que, para encajar en el sistema nacional, deben parametrizarse y acotarse entre los valores 0 y 1, mínimo y máximo, respectivamente.

Si para una misma zona de análisis se utilizan simultáneamente varios indicadores, es preciso establecer también una combinación entre ellos al objeto de lograr establecer un valor general para la zona comprendido entre 0 y 1.

Por último, es absolutamente imprescindible que el indicador resulte adecuadamente explicativo del fenómeno de la sequía y que, según su valor, permita estimar con qué gravedad se presenta. De este modo, interesa conocer su comportamiento analizando una serie histórica y comparando su evolución con la fenomenología hídrica y la ocurrencia o no de sequías de distinta intensidad. Con este material, sobre la gráfica temporal que muestra la evolución del indicador se ajustan las marcas de clase que permiten establecer las cuatro categorías de estado que pretende identificar el sistema nacional: normalidad, prealerta, alerta y emergencia (Figura 1).

Figura 1. Categorías de estado de un indicador de sequía



Dado que la sequía es un fenómeno lento y progresivo, se considera adecuado utilizar una discretización temporal de paso mensual pudiéndose realizar, de esta manera, informes de evaluación que se actualicen cada mes.

Para evaluar el impacto global de la sequía en la cuenca española del Duero existe ya un sencillo sistema indicador establecido para definir el campo de obligación de España respecto a los flujos de agua que recorren el tramo internacional y portugués del Duero. Este sistema utiliza los registros de tres pluviómetros (León, Soria y Salamanca) ofreciendo un diagnóstico global de la cuenca del Duero que, según cabe esperar, debe ser coherente con la imagen de la cuenca que ofrezca el resto de los indicadores pertenecientes al sistema general que se plantea en este Plan Especial.

Como es evidente, uno de los fines de este Plan Especial es la articulación de medidas que se activen progresivamente para mitigar los efectos de las futuras sequías. Para ello es necesario saber **cuando se debe actuar** ya que no cabe duda de que anticiparse a ellas es el modo más eficiente de amortiguarlas.

Por lo tanto, desde el punto de vista operativo, el establecimiento de indicadores que detecten los distintos niveles de sequía con anticipación suficiente para actuar según las previsiones, es uno de los puntos básicos del Plan Especial y, por ello, se desarrolla en el presente capítulo.

Las sequías se clasifican en distintos niveles de intensidad y con los indicadores se podrá ir analizando en que situación se encuentra cada uno de los ámbitos de análisis (sistemas de explotación) en cada momento. Los diferentes niveles de sequía se clasifican de la siguiente manera:

- **Estado de normalidad:** implica que los indicadores de sequía están por encima de los valores medios registrados en las series históricas de los indicadores.
- **Estado de prealerta:** se activa cuando los indicadores descienden por debajo de los valores medios históricos, por lo que es conveniente extremar el control.
- **Estado de alerta:** se activa cuando es necesario poner en marcha medidas de conservación del recurso y de gestión de la demanda que permitan su mantenimiento con aplicación de las medidas de ahorro pertinentes.
- **Estado de emergencia:** se activa cuando es ineludible la aplicación de medidas excepcionales.

5.2. Fundamentos metodológicos de selección del sistema de indicadores

El sistema de indicadores seleccionado debe ser de carácter hidrológico, es decir, tiene por finalidad caracterizar la sequía hidrológica, pues su interés práctico radica en su funcionalidad como instrumento de ayuda a la toma de decisiones relativas a la gestión de los recursos hídricos de la cuenca.

El esquema metodológico empleado para la selección y análisis de los indicadores de la cuenca del Duero es el siguiente:

- Identificación de las zonas de origen del recurso asociadas a determinadas unidades de demanda.
- Selección del indicador más representativo de la evolución de la oferta de recursos existente en cada una de las unidades de demanda.
- Recopilación de las series hidrológicas temporales asociadas a cada uno de los indicadores.
- Estudio de ponderación de los distintos indicadores para conseguir resultados numéricos representativos de la situación de la sequía en cada una de los sistemas de explotación de la cuenca.
- Estudio de validación de los indicadores utilizados.

Habida cuenta de que los indicadores deben reflejar la disponibilidad de recursos de un modo homogéneo, se han considerado las siguientes tipologías:

- Volumen almacenado a final de mes en embalses
- Aportaciones fluviales en río o en embalses
- Pluviometría en estaciones representativas

Para la selección de indicadores se ha tenido en cuenta la disponibilidad y agilidad de actualización de los datos, que condiciona la periodicidad de los informes de estado. Por ello, se han considerado como posibles indicadores los siguientes:

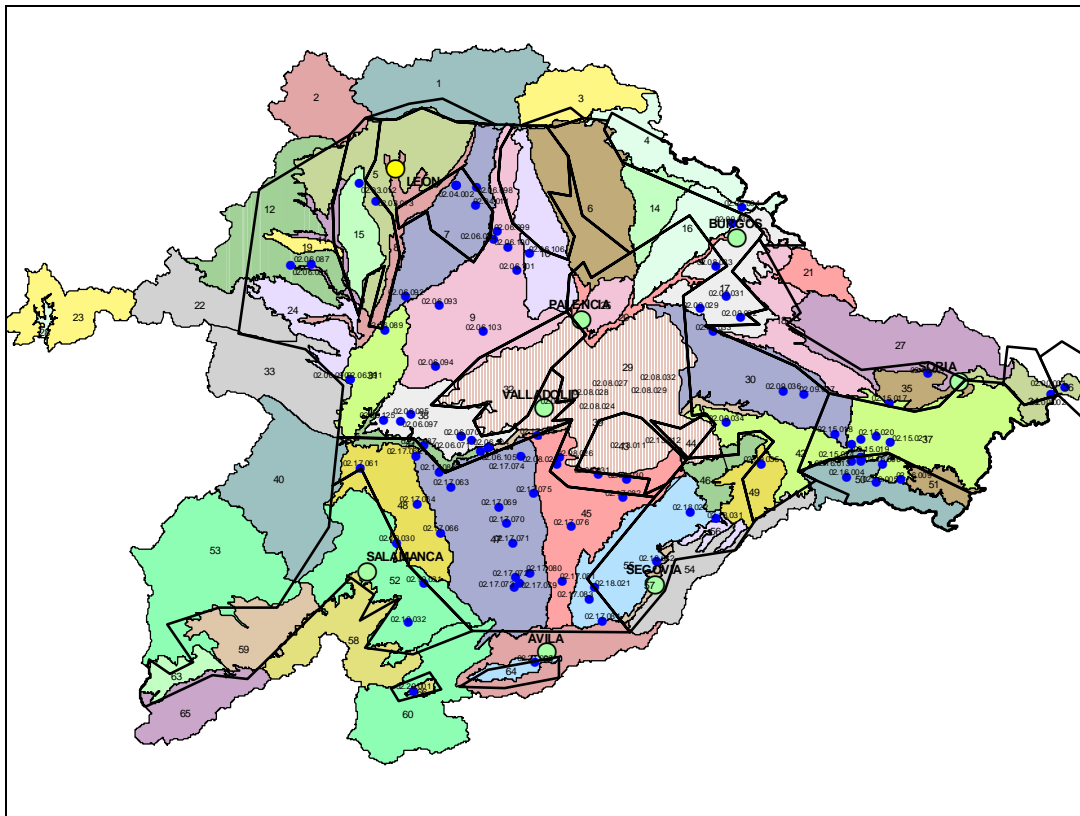
- Volumen de embalses del Estado (gestionados por la CHD). Frecuencia de actualización de los datos: días.
- Entradas a embalses del Estado (gestionados por la CHD): Frecuencia de actualización de los datos: días.
- Entradas a embalses hidroeléctricos: Frecuencia de actualización de los datos: 1 mes.
- Aforos de lectura automática registrados por la CHD: Frecuencia de actualización de los datos: días.
- Pluviómetros correspondientes al Convenio de Albufeira: Frecuencia de actualización de los datos: días.

Por otra parte, los valores de los elementos de control correspondientes a cada uno de los indicadores no son directamente comparables, pues representan distintas fases del ciclo hidrológico con efecto memoria diferente; por ello, se ha homogeneizado el efecto memoria mediante la acumulación de valores anteriores en precipitaciones y aportaciones. Así, se comparan los volúmenes embalsados (hm^3) en un instante dado, particularmente el último día de cada mes, ya que tienen un efecto memoria significativo (meses), con la precipitación (mm) acumulada en los últimos doce meses y con las aportaciones (hm^3/mes) medidas en los últimos seis meses.

Desafortunadamente no ha sido posible considerar otras métricas que sin duda hubieran resultado explicativas del estado hidrológico de determinadas zonas. Una de las carencias más significativas ha sido el registro piezométrico.

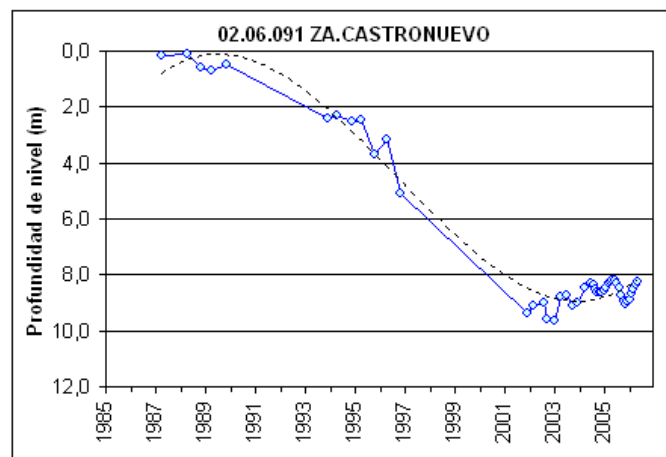
En los últimos meses la Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Duero ha realizado el documento “Medidas de niveles piezométricos en puntos de la Red Oficial de Control de Aguas Subterráneas en la Cuenca del Duero. 2004-2006” que aporta una valiosa reunión de la información actual e histórica, y constituye un primer paso para continuar los trabajos de incorporación de estas métricas al sistema de indicadores. La red de puntos de control considerada en dicho trabajo se presenta a continuación:

Figura 2. Puntos de control de la red piezométrica (Fte: Comisaría de Aguas de la CHD)



En el mencionado trabajo sobre las medidas de niveles piezométricos se observa la escasa longitud de las series temporales de la mayor parte de los piezómetros, así como su poca estabilidad y lo poco explicativas que resultan respecto a la sequía coyuntural ya que, en general, responden con gran inercia agregando en la evolución del nivel varios factores: tendencia natural, explotación, efectos climáticos y meteorológicos (Figura 3). Se evidencia, de esta manera, la necesidad de seguir profundizando en la materia.

Figura 3. Serie temporal del piezómetro 02.06.091 Za. Castronuevo (U.H. Esla – Valderaduey) (Fte: Comisaría de Aguas de la CHD)



Por otra parte, tampoco se han podido utilizar indicadores de estado ecológico por las carencias de información relativas a los mecanismos de la dependencia hídrica de los ecosistemas acuáticos del Duero y de hábitat y especies asociadas al medio hídrico. Una vez resueltas estas carencias, podrán plantearse indicadores de estado ecológico que, en su caso, alertarían sobre la proximidad y presencia de situaciones de sequía.

5.3. Definición del índice de estado

Para cada uno de los indicadores se han propuesto las marcas de clase que individualizan los cuatro niveles de intensidad de la sequía (normalidad, prealerta, alerta y emergencia), estableciéndose éstos en función del denominado “Índice de Estado”, I_e , para cuya definición se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- La media aritmética es uno de los estadísticos más robustos, a la vez que más sencillo; por lo que una comparación del dato del indicador con la media de la serie histórica, se ajustará más convenientemente, en principio, a la situación real de la zona de sequía seleccionada, si bien, debe tenerse en cuenta también los valores máximos y mínimos históricos, tal y como queda reflejado en las fórmulas que se proponen.
- La necesidad de homogeneizar los indicadores en un valor numérico adimensional capaz de cuantificar la situación actual respecto de la histórica, y posibilitar una comparación cuantitativa entre los distintos indicadores seleccionados. Por ello se ha adoptado una fórmula en la que se define el índice de estado (I_e) cuyos valores fluctúan en un rango comprendido entre 0 (correspondiente al mínimo valor histórico) y 1 (correspondiente al máximo valor histórico).

Adicionalmente, y con el propósito de reducir el peso del sesgo que suelen ofrecer las series naturales, se asigna el valor de 0,5 al promedio de la serie, interpolando el resto de los valores. De esta forma las expresiones que facilitan el cálculo del Índice de Estado “ I_e ” son las siguientes (Lozano, 2000; Fidalgo y otros, 2002):

$$\text{- Si } Vi \geq V_{med} \Rightarrow I_e = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{Vi - V_{med}}{V_{m\acute{a}x} - V_{med}} \right]$$

$$\text{- Si } Vi < V_{med} \Rightarrow I_e = \frac{Vi - V_{m\acute{i}n}}{2(V_{med} - V_{m\acute{i}n})}$$

siendo:

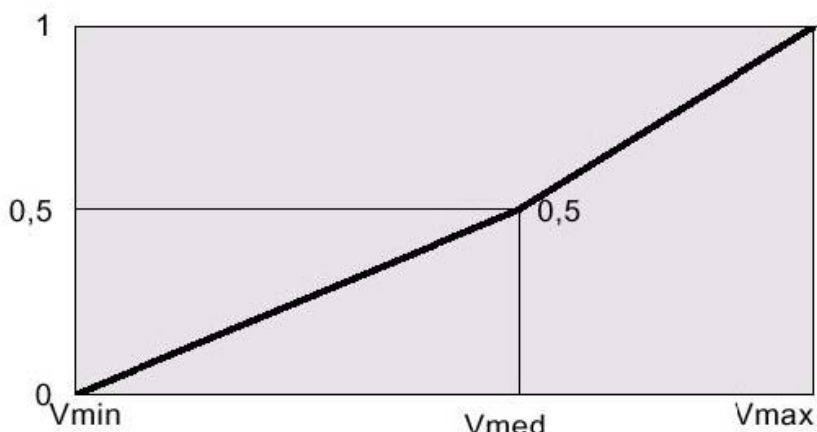
V_i : Valor de la medida obtenida en el mes de seguimiento

V_{med} : Valor medio del mes en el período histórico

$V_{m\acute{a}x}$: Valor máximo del mes en el período histórico

$V_{m\acute{i}n}$: Valor mínimo del mes en el período histórico

Figura 4. Definición del Índice de Estado



Tal y como se desprende de la Figura 4, cuando el valor de la medida está comprendido entre la media de la serie y su valor máximo, el índice de estado dará una cifra que oscilará entre 0,5 y 1, mientras que en el caso de que la medida sea inferior al valor medio, lo hará entre 0 y 0,5.

El rango de valores del Índice de Estado, que como se ha señalado va de 0 a 1, ha sido clasificado, a efectos de diagnóstico de la situación de sequía, en los cuatro niveles siguientes:

- $I_e > 0,50$ Nivel verde (situación de normalidad)
- $0,50 \geq I_e > 0,30$ Nivel amarillo (situación de prealerta)
- $0,30 \geq I_e > 0,10$ Nivel naranja (situación de alerta)
- $0,10 \geq I_e$ Nivel rojo (situación de emergencia)

Esta clasificación se ha realizado enfrentando la evolución de los indicadores a la experiencia en anteriores periodos de sequía. A la vista de ello, se han modificado levemente sobre la propuesta inicial presentada en la Guía para la redacción de planes especiales de actuación en situación de alerta y eventual sequía, variando el umbral de emergencia desde 0,15 a 0,10, dado que se ha entendido que en el caso de la cuenca del Duero no se precisa la adopción de medidas excepciones hasta alcanzar niveles tan inferiores del indicador.

Por otra parte, del análisis realizado para poner cada Sistema de Explotación, no se ha encontrado justificado diferenciar los valores umbral para los distintos casos. No obstante la experiencia que se vaya adquiriendo con su utilización podrá aconsejar estos ajustes en el futuro.

5.4. Selección de indicadores

El objetivo del sistema de indicadores es el de representar con objetividad el nivel de intensidad de sequía en el que se encuentra cada una de los Sistemas de Explotación de la

cuenca del Duero de una forma sencilla y fácil de determinar. Por lo tanto, se ha seleccionado el mínimo número de indicadores por Sistema, de tal forma que queden caracterizadas las unidades de demanda con la fuente de recurso asociada. Se entiende que esta primera propuesta ofrece una visión sinóptica de la situación en que se encuentra la cuenca y que deberá ser completada con otros indicadores específicos que ofrezcan información más detallada.

Como quiera que los indicadores toman valores entre 0 y 1 dependiendo de los máximos y mínimos históricos, se requiere que las series que se utilicen sean suficientemente largas como para identificar estos extremos (máximo y mínimo) de forma estable. Cuando la serie no es estable porque los extremos se superan, hacia arriba o hacia abajo, toda la evolución queda recalculada. Es de esperar que con su uso, conforme las series recojan situaciones extremas, los indicadores se vayan estabilizando.

De acuerdo con lo anterior, se llevó a cabo una selección inicial de indicadores por sistema de explotación y se calculó el Índice de Estado de cada uno de ellos para seleccionar los más representativos de cada sistema. En las secciones siguientes se resume el proceso seguido en cada una de ellas.

5.4.1. Esla-Valderaduey

El sistema de explotación de Esla – Valderaduey está regulado en cabecera por los embalses de Porma (río Porma) y Riaño (río Esla). Dado que el abastecimiento de la mayor parte de las demandas depende de la situación de ambos embalses, se eligieron éstos como posibles indicadores.

Los embalses pueden estar caracterizados por su volumen almacenado o por las aportaciones recibidas. Se calculó el índice de estado para cada uno de los embalses, comprobándose que la situación del sistema con respecto a las sequías históricas estaba mejor representada por la evolución de los volúmenes de embalse a final de mes.

Para el cálculo del índice de estado de los volúmenes almacenados a final de mes en el embalse de Porma, se ha utilizado la serie de datos desde el año 1984/85. Se dispone de datos de embalse desde el año 1969/70 pero se detectaron inconsistencias de medición hasta el año 1983/84, por lo que se optó por considerar una serie de datos más corta pero con mayor fiabilidad.

En el embalse de Riaño se dispone de datos de embalse desde el año 1988/89, pero para el cálculo del índice de estado se han considerado los datos desde el año 1990/91, ya que los primeros años de llenado del embalse condicionaron la explotación y desvirtúan los resultados.

Por otra parte, en este sistema de explotación se encuentra el pluviómetro de León, incluido en el Convenio de Albufeira. Se analizó la posibilidad de calcular el índice de estado de los datos pluviométricos, probando con la lluvia mensual, acumulada a seis meses y acumulada a doce meses. Ninguno de estos análisis se ajustó a las sequías acaecidas históricamente en el sistema, por lo que se descartó la posibilidad de utilizar el pluviómetro de León como

indicador del sistema de explotación de Esla – Valderaduey. Se utiliza no obstante para su uso en el marco del Convenio de Albufeira.

Como consecuencia, se ha seleccionado como indicador del sistema de explotación de Esla – Valderaduey una ponderación entre los volúmenes de embalse a final de mes (hm^3) de los embalses de Porma y Riaño.

5.4.2. Órbigo

El sistema de Explotación de Órbigo está regulada por los embalses de Barrios de Luna (río Órbigo) y Villameca (río Tuerto). El abastecimiento de la demanda depende de ambos embalses, por lo que se eligieron como indicadores del sistema.

El volumen de embalse de Barrios de Luna a fin de mes caracteriza de manera adecuada las sequías ocurridas en el sistema. Se han utilizado los datos de embalse desde el año 1968/69, a pesar de tener registro de los volúmenes de embalse desde el año 1958/59, debido a inconsistencias en las medidas detectadas en los registros anteriores al 1968/69.

Sin embargo, el volumen de embalse de Villameca no es significativo para la definición del estado del sistema, ya que debido a su poca capacidad, 20 hm^3 , el comportamiento del índice no sigue ninguna tendencia puesto que se llena y se vacía con demasiada frecuencia. Por lo tanto, se estudió el índice de las aportaciones de entrada. Para tener la posibilidad de comparar los valores de este índice con los del embalse de Barrios de Luna es necesario tener en cuenta el efecto memoria, por lo que se consideraron las aportaciones acumuladas en seis meses. La serie de datos utilizada comienza en el año 1958/59.

5.4.3. Tera

Los embalses situados en el sistema de Explotación de Tera son preferentemente para usos hidroeléctricos (Cernadilla atiende también regadíos), por lo que no se ha considerado adecuado tomar el volumen embalsado como indicador, ya que el agua embalsada no tiene como finalidad la satisfacción de las demandas consuntivas. Por lo tanto, el indicador elegido para evaluar la situación en la que se encuentra el sistema de explotación es la aportación de entrada, acumulada en seis meses, al embalse de Cernadilla, embalse hidroeléctrico situado aguas arriba de Valparaíso y Agavanzal. Se ha utilizado la serie de datos desde el año 1971/72.

Complementariamente, se utilizan las aportaciones acumuladas en el río Támeaga, del que depende el abastecimiento urbano en la comarca de Verín. Se trata de la estación de aforo del río Támeaga en Verín (2818), considerando aportaciones mensuales acumuladas en periodos de seis meses desde el año 1996/97.

5.4.4. Carrión

El sistema de explotación de Carrión está regulado por los embalses de Camporredondo y Compuerto. Para la selección de indicadores se comenzó planteando la posibilidad de considerar el conjunto Camporredondo-Compuerto como un único embalse regulador y de esta forma tomar como indicador la suma de los volúmenes de los dos embalses. Al llevar a

cabo el cálculo del índice de estado de la forma antes descrita no se obtuvo una buena evolución del índice.

Los embalses de Camporredondo y Compuerto están situados en serie, siendo por tanto las aportaciones de entrada a Camporredondo, situado aguas arriba, prácticamente las totales del sistema. Calculando el índice de las aportaciones de entrada mensuales se obtenía un índice con muchas oscilaciones, situación que se suaviza al tener en cuenta las aportaciones acumuladas en seis meses, con las que se registra mejor la tendencia del periodo.

Por lo tanto se ha elegido como indicador del sistema de explotación de Carrión las aportaciones de entrada al embalse de Camporredondo, acumuladas a 6 meses. La serie de datos tomada para el cálculo del índice se inicia en el año hidrológico 1958/59.

5.4.5. Pisuerga

El sistema de explotación de Pisuerga está regulado en cabecera por los embalses de Cervera, Requejada y Aguilar. Estos embalses son los responsables del abastecimiento de las demandas tanto del sistema de explotación de Pisuerga como de las del Bajo Duero.

Se plantearon dos tipos de indicadores: aportaciones de entrada acumuladas a seis meses o volumen de embalse almacenado a final de mes.

Los embalses de Cervera y Requejada están situados aguas arriba del embalse de Aguilar, por lo que en un principio se planteó la suma de las aportaciones de entrada a ambos embalses, despreciando las aportaciones intermedias hasta el embalse de Aguilar. Teniendo en cuenta estas consideraciones no se obtuvo un buen resultado ya que no quedaba reflejada la mala situación que atravesaba el sistema de explotación en el momento del estudio (2005/06).

Dado que el embalse de Cervera está situado en un afluente y es el menor de los tres embalses del sistema, se probó considerando exclusivamente las aportaciones de entrada al embalse de Requejada, pero se obtuvo un resultado similar al del tanteo expuesto anteriormente, por lo que también se desechó la idea.

La última prueba, para tener en cuenta las aportaciones de entrada a embalse, consistió en considerar dichas aportaciones de entrada registradas en Aguilar. El resultado no se consideró válido dado que los volúmenes de entrada están muy afectados por la modulación impuesta por los embalses de aguas arriba.

En cuanto a la consideración de volumen de embalse a fin de mes, se planteó la posibilidad de usar exclusivamente el embalse de Aguilar, pero, dado que los tres embalses se regulan conjuntamente para atender las demandas de los sistemas de explotación de Pisuerga y Bajo Duero, se calculó el índice de estado con la suma de los volúmenes. Este cálculo dio como resultado una buena evolución según las sequías históricas registradas en la cuenca y plasmaba la situación de excepcionalidad en la que se encontraba el sistema en el momento del cálculo (año 2005/2006). Por lo tanto, el indicador considerado para el sistema de explotación de Pisuerga y Bajo Duero es la suma de los volúmenes de embalse de Cervera, Requejada y Aguilar, almacenados a fin de mes.

De los tres embalses considerados el más reciente es el de Aguilar. Se tienen datos desde 1962/63. Para calcular el índice de estado se descartaron los primeros años de llenado del embalse de Aguilar por lo que el año origen de datos del índice es 1966/67.

5.4.6. Arlanza

En el sistema de explotación de Arlanza se atienden demandas desde los ríos Arlanzón y Arlanza. El río Arlanzón está regulado por los embalses de Arlanzón y Úzquiza, por lo que se buscó un indicador relacionado con los mismos. Sin embargo el río Arlanza no tiene regulación, por lo que se buscó una estación de aforo de medición automática situada antes de la confluencia del río Arlanza con el Arlanzón. El aforo seleccionado fue el 2030. Covarrubias.

Para estudiar las aportaciones registradas en el aforo del río Arlanza se acumularon los datos a tres, seis y doce meses. La mejor adecuación a los ciclos de sequías históricas lo presentó el índice de aportaciones acumuladas a seis meses, ya que al acumular a tres meses los valores del índice aparecía una fuerte oscilación, y acumulando a doce meses se enmascaraban los periodos de sequía.

Se ha utilizado la serie de datos de aportaciones en el aforo desde 1945/46.

Para considerar como indicador los embalses de Arlanzón y Úzquiza se planteó considerar las aportaciones de entrada al embalse de Arlanzón, situado aguas arriba, pero al tener el conjunto de los embalses capacidad suficiente de regulación el mejor indicador resultó ser la consideración de la suma de los volúmenes almacenados en ambos embalses a fin de mes.

El embalse de Úzquiza es de construcción posterior al de Arlanzón, por lo tanto la longitud de la serie de datos utilizados para el cálculo del Índice de Estado viene marcada por el primero. El embalse de Úzquiza fue puesto en servicio en 1988/89 pero los datos se han tomado desde 1991/92 para evitar la distorsión inducida por los primeros años de llenado.

5.4.7. Alto Duero

El sistema de explotación de Alto Duero está regulado en cabecera por el embalse de La Cuerda del Pozo, desde donde se atienden las demandas del sistema. El indicador seleccionado es el volumen de dicho embalse.

Se estudió la posibilidad de elegir como indicador las aportaciones de entrada acumuladas a seis meses, pero debido a la capacidad reguladora del embalse, el índice de estado de los volúmenes de embalse a fin de mes se ajustaba mejor al comportamiento histórico de las sequías en la zona.

Por otra parte, en este sistema de explotación se encuentra el pluviómetro de Soria (Observatorio), uno de los pluviómetros que se controlan para el seguimiento del Convenio de Albufeira. Se analizó la posibilidad de calcular el índice de estado de los datos pluviométricos, probando con la lluvia mensual, acumulada a seis meses y acumulada a doce meses. Ninguno de estos análisis se ajustó a las sequías acaecidas históricamente en el

sistema, por lo que se descartó la posibilidad de utilizar el pluviómetro como indicador de la misma. No obstante, el pluviómetro de Soria se utiliza para el seguimiento del estado de la cuenca de acuerdo con el Convenio de Albufeira.

La serie de volúmenes de embalse utilizada para el cálculo del índice abarca desde 1958/59 hasta la actualidad.

5.4.8. Riaza

En el ámbito del sistema de explotación de Riaza se distinguen dos unidades de demanda, la abastecida por el río Riaza, regulada por el embalse de Linares del Arroyo, y la asociada al río Duratón, sobre el que se encuentran los aprovechamientos hidroeléctricos de Las Vencías y Burgomillado. Se probaron indicadores en cada uno de estos ríos.

Se realizó un cálculo teniendo en cuenta las aportaciones de entrada al embalse de Linares del Arroyo y otro considerando los volúmenes de embalse almacenados a fin de mes. El embalse de Linares del Arroyo tiene poca capacidad, por lo que el índice calculado con las aportaciones de entrada acumuladas a lo largo de 6 meses resultó más acorde con la evolución histórica de la situación del sistema. La serie de datos utilizada comienza en el año 1979/80. Se disponía de una serie de mayor longitud pero se prefirió coger una serie más corta que ofrece mayor fiabilidad.

Los embalses de Las Vencías y Burgomillado son para uso hidroeléctrico, por lo tanto, el volumen almacenado no es significativo para tener en cuenta el abastecimiento de las demandas. Se eligió como indicador las aportaciones de entrada al embalse de Burgomillado, situado aguas arriba. Al considerar aportaciones no es significativo considerarlas a escala mensual, como se ha comprobado en los estudios de los anteriores sistemas, por lo tanto se calculó el índice con las aportaciones acumuladas a seis meses. La serie de datos de aportaciones utilizadas se inicia en el año hidrológico 1979/80.

5.4.9. Adaja – Cega

Las principales demandas del sistema de explotación de Adaja – Cega son abastecimientos urbanos para Ávila y la Mancomunidad de Tierras de Adaja, desde el río Adaja, y para Segovia y la Mancomunidad del Río Eresma, abastecidas desde el río Eresma. Estas demandas son atendidas desde pequeños embalses con poca capacidad de regulación. Por esta razón se seleccionaron, en principio, dos estaciones de aforo de registro automático situado en los dos principales ríos del sistema: el aforo 2046, situado en el río Adaja y el 2052, en el río Eresma.

Se estudiaron las aportaciones en el aforo 2046 mensualmente y acumuladas a seis y doce meses. La mejor evolución del Índice se consiguió para la aportación acumulada a seis meses. La serie de datos utilizada abarca desde el año 1945/46.

Se realizó el mismo estudio para el aforo 2052, obteniéndose un resultado que no se ajustaba al comportamiento histórico del sistema. En la cabecera del río Eresma se encuentra el embalse de Pontón Alto, de poca capacidad, 7,4 hm³, por lo que se calculó el índice de estado de las aportaciones de entrada al embalse acumuladas a seis meses,

obteniéndose un mejor resultado. Estas aportaciones al embalse de Pontón Alto se han considerado desde el año 1945/46.

En esta zona, en la que la escorrentía subterránea es claramente significativa, sería de mucho interés contar con indicadores que reflejen el estado de los acuíferos. No obstante, las series disponibles son demasiado cortas para ello y su inclusión queda pendiente para futuras revisiones del Plan Especial.

5.4.10. Bajo Duero

Como se ha explicado anteriormente, las demandas existentes en el sistema de explotación de Bajo Duero están reguladas por los embalses de Cervera, Requejada y Aguilar, pertenecientes al sistema de explotación del Pisuerga, por lo que el posible déficit de demanda en Bajo Duero, debido a periodos de sequías, es debido a la insuficiencia de aportaciones en los mencionados embalses, siendo estos, por tanto, el mejor indicador para este sistema.

Consecuentemente, se emplea el mismo indicador para ambos sistemas de explotación (Bajo Duero y Pisuerga) que consiste en la suma de los volúmenes de embalse de Cervera, Requejada y Aguilar almacenados a final de mes.

5.4.11. Águeda

El sistema de explotación de Águeda está regulado en cabecera por el embalse del mismo nombre. Aguas arriba del mismo se encuentra el embalse de Iruña pero en el momento de redacción del presente Plan no se ha puesto en funcionamiento.

Se calculó el Índice de estado de los volúmenes almacenados a fin de mes del embalse de Águeda, pero debido a su poca capacidad, 20 hm³, se obtenía un índice con una gran fluctuación puesto que se llena y vacía varias veces al año. Por esta razón se tomó como indicador las aportaciones de entrada al embalse acumuladas en seis meses, obteniéndose de esta forma un mejor resultado. La serie de datos utilizada para este último cálculo se inicia en el año hidrológico 1958/59.

5.4.12. Tormes

El sistema de explotación de Tormes está regulado en cabecera por el embalse de Santa Teresa. Dado que la demanda abastecida depende de este embalse, se ha elegido como indicador. Se calculó el índice de estado utilizando el volumen de embalse almacenado a final de mes, obteniéndose una evolución acorde con las sequías históricas registradas. Se han tomado los datos a partir del año 1963/64, a pesar de disponer de datos desde el año 1958/59, para descartar posibles valores de poca fiabilidad.

En este sistema de explotación se encuentra el pluviómetro de Salamanca (Matacán), uno de los considerados en el Convenio de Albufeira. Se hizo el cálculo del índice de estado de las lluvias mensuales y acumuladas a seis y doce meses, siendo este último el que se ajustaba mejor a la evolución de la situación de la cuenca.

Comparando los dos indicadores se resolvió elegir únicamente el del volumen de embalse a fin de mes en Santa Teresa, ya que se ajusta mejor a la respuesta ante la sequía del sistema de explotación. El pluviómetro de Salamanca se considera para el seguimiento del estado de la cuenca según lo establecido en el Convenio de Albufeira.

5.4.13. Resumen de indicadores

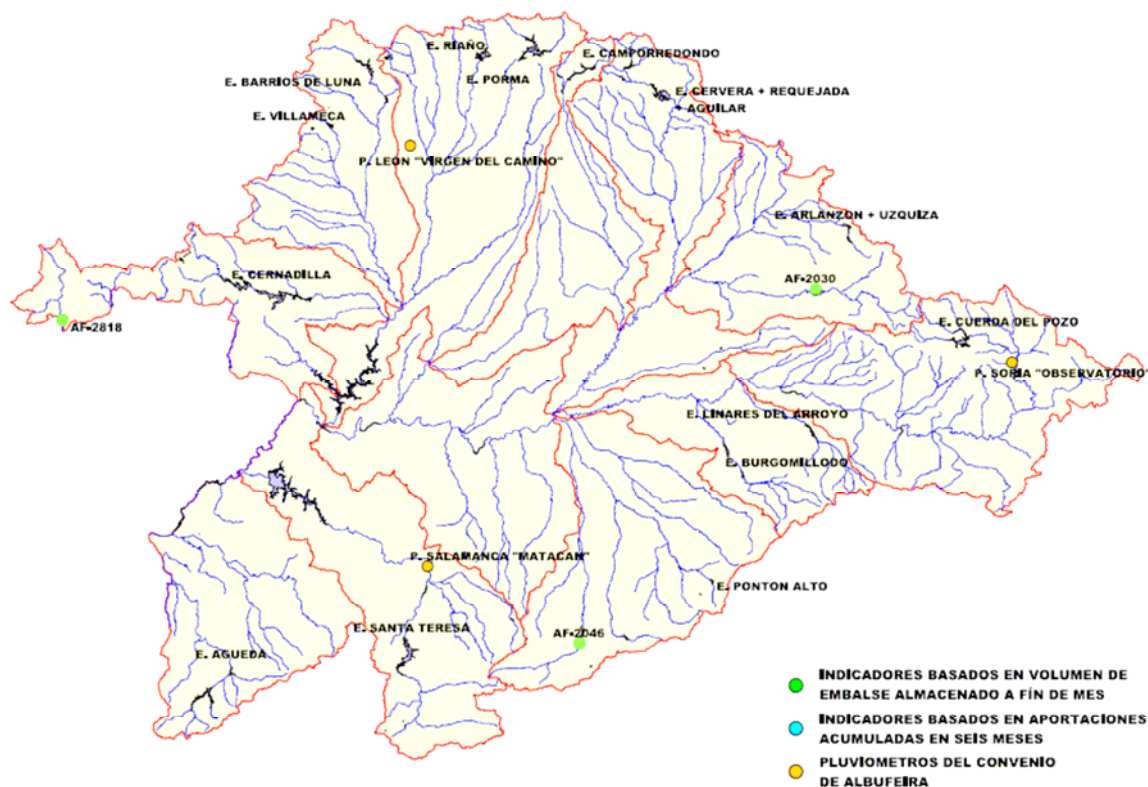
En la Tabla 1 que se presenta a continuación se resumen los indicadores seleccionados junto con las unidades de demanda abastecidas.

Tabla 1. Relación de zonas de demanda con los indicadores seleccionados

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	INDICADOR	DEMANDA ASOCIADA
ESLA - VALDERADUEY	Volumen a final de mes del embalse de Porma	Riegos regulados por Porma Abastecimiento a León
	Volumen a final de mes del embalse de Riaño	Riegos regulados por Riaño
ÓRBIGO	Aportación de entrada al embalse de Villameca acumulada en 6 meses	Riegos de Tuerto Abastecimiento a Astorga
	Volumen a final de mes del embalse de Barrios de Luna	Riegos del Órbigo Abastecimiento a León y Benavente
TERA	Aportación de entrada al embalse de Cernadilla acumulada en 6 meses.	Riegos del Tera.
	Aportaciones acumuladas en 6 meses en el aforo 2818 (río Támega en Verín)	Abastecimiento a la comarca de Verín
CARRIÓN	Aportación de entrada al embalse de Camporredondo acumulada en 6 meses	Riegos de Carrión Abastecimiento a Guardo – Saldaña, Palencia y Valladolid Abastecimientos industriales
PISUERGA Y BAJO DUERO	Volumen a final de mes de los embalses de Cervera, Requejada y Aguilar	Riegos del Pisuegra Abastecimiento a Zamora Abastecimientos industriales
ARLANZA	Volumen a final de mes de los embalses de Arlanzón + Úrquiza	Riegos del Arlanza Abastecimiento a Burgos
	Aportaciones acumuladas en 6 meses en el aforo 2030 (Covarrubias)	Riegos del Arlanza
ALTO DUERO	Volumen a final de mes del embalse de Cuerda del Pozo	Riegos del Alto Duero Abastecimiento a Soria, Aranda de Duero, Laguna de Duero y Valladolid. Abastecimientos industriales
RIAZA	Aportación de entrada al embalse de Linares del Arroyo acumulada en 6 meses	Riegos del Rianza Abastecimientos industriales
	Aportación de entrada al embalse de Burgomillodo acumulada en 6 meses	Riegos del Duratón
ADAJA – CEGA	Aportaciones acumuladas en 6 meses en el aforo 2046 (Ávila)	Abastecimiento a Ávila y Mancomunidad Tierra de Adaja
	Aportación de entrada al embalse de Pontón Alto acumulada en 6 meses	Abastecimiento a Segovia y Mancomunidad del Río Eresma
ÁGUEDA	Aportación de entrada al embalse de Águeda acumulada en 6 meses	Riegos del Águeda Abastecimiento a Ciudad Rodrigo
TORMES	Volumen a final de mes del embalse de Santa Teresa	Riegos del Tormes Abastecimiento a Salamanca

En la figura siguiente se muestra la localización de los indicadores seleccionados para los sistemas de explotación:

Figura 5. Localización de los indicadores de sequía



5.5. Ponderación de los índices de estado

A efectos de dar una visión global, resulta preciso sintetizar los resultados de los indicadores en un único índice de estado representativo de cada uno de los sistemas de explotación en las que se ha seleccionado más de un indicador. De esta manera se puede ofrecer un único valor para cada ámbito territorial de gestión.

La estimación del valor numérico del índice de estado de cada sistema de explotación se ha realizado mediante una combinación lineal ponderada de los índices de estado de los indicadores situados en dicho sistema de explotación. Los coeficientes de ponderación han sido asignados en función del volumen de demanda que debe abastecer el recurso hídrico caracterizado por el correspondiente indicador. Las demandas que se han tenido en cuenta son las expuestas en el Capítulo 2 del presente Plan Especial.

De la misma forma se ha calculado un coeficiente de ponderación para calcular un índice de estado global de la cuenca. Las ponderaciones se han fijado por tanteo hasta obtener una gráfica que se estima adecuadamente representativa.

En la Tabla 2 se resume dicha ponderación.

Tabla 2. Ponderación de los índices de estado

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	INDICADOR	V demanda	V demanda sistema	COEF. PONDERACIÓN SISTEMA	COEF. PONDERACIÓN CUENCA
		Hm ³ /año	hm ³ /año		
ESLA - VALDERADUEY	Porma	324,54	841,11	0,40	0,23
	Riaño	516,57		0,60	
ÓRBIGO	Villameca	41,43	457,83	0,10	0,12
	Barrios de Luna	416,40		0,90	
TERA ¹	Cernadilla	75,14	78,61	0,70	0,02
	Aforo (2818) Verín	3,47		0,30	
CARRIÓN	Camporredondo	494,87	494,87	1,00	0,14

¹ El sistema de explotación de Tera tiene como principales demandas consuntivas unos regadíos abastecidos desde el río Tera aguas abajo del embalse de Nuestra Señora de Agavanzal y la Mancomunidad de Verín abastecida desde el río Tamega. Si se realizase una ponderación en función del volumen de demanda la mayor parte del peso correspondería a los regadíos del río Tera, por lo que se ha considerado oportuno darle un peso de un 30% a la Mancomunidad de Verín al referirse a un abastecimiento urbano.

Aún así, este sistema de explotación se considera un sistema doble, dentro del cual hay que estudiar de manera independiente los dos indicadores analizados. En la siguiente versión del Plan Especial se analizará la conveniencia de considerar estos dos subsistemas de manera independiente, teniendo en cuenta cada uno de ellos como un sistema de explotación.

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	INDICADOR	V demanda	V demanda sistema	COEF. PONDERACIÓN SISTEMA	COEF. PONDERACIÓN CUENCA
		Hm ³ /año	hm ³ /año		
PISUERGA Y BAJO DUERO	Cervera, Requejada y Aguilar	532,37	532,37	1,00	0,15
ARLANZA	Arlanzón y Úzquiza	73,72	106,52	0,75	0,03
	Aforo 2030 (Covarrubias)	32,80		0,25	
ALTO DUERO	Cuerda del Pozo	358,26	358,26	1,00	0,10
RIAZA	Linares del Arroyo	61,53	73,83	0,90	0,02
	Burgomillodo	12,30		0,10	
ADAJA-CEGA ²	Aforo 2046 (Ávila)	7,12	48,72	0,50	0,01
	Pontón Alto	41,60		0,50	
ÁGUEDA	Águeda	61,05	61,05	1,00	0,02
TORMES	Santa Teresa	597,70	597,70	1,00	0,16

² El sistema de explotación de Adaja-Cega tiene como principales demandas los abastecimientos de Ávila y la Mancomunidad de Tierras de Adaja, desde el río Adaja, y Segovia y la Mancomunidad del río Eresma, desde el río Eresma. A pesar de tener más peso en cuanto a volumen las demandas del Eresma, se ha dado el mismo peso a los indicadores puesto que se considera que los dos abastecimientos tienen la misma importancia.

5.6. Validación de los Índices de Estado

Como se ha indicado con anterioridad el rango de valores del Índice de Estado, ha sido clasificado, a efectos de diagnóstico de la situación de sequía, en los cuatro niveles siguientes:

- $I_e > 0,50$ Nivel verde (situación de normalidad)
- $0,50 \geq I_e > 0,30$ Nivel amarillo (situación de prealerta)
- $0,30 \geq I_e > 0,10$ Nivel naranja (situación de alerta)
- $0,10 \geq I_e$ Nivel rojo (situación de emergencia)

Estos límites se han fijado de acuerdo con una análisis de la evolución histórica de los indicadores. Es, por tanto, objeto de este epígrafe la validación de los mismos. A priori puede sorprender que se hayan establecido las mismas marcas de clase en todas las zonas; no obstante como se verá seguidamente, esta coincidencia facilita la interpretación de los rangos que se establecen.

Con el fin de valorar la adecuación de los intervalos establecidos para los estados de sequía en los indicadores de los sistemas de explotación se ha realizado un estudio comparativo de la evolución del índice de estado con los acontecimientos registrados en el Anejo V “Análisis de sequías históricas” del presente Plan. Asimismo se ha realizado una comparación del índice medio anual de estado con el volumen de déficit anual de suministro en los sistemas de explotación, obtenido éste de una sencilla simulación hidrológica, realizada en hoja de cálculo, del comportamiento de los embalses en base a las aportaciones históricas y a la demanda actual.

El origen de los datos utilizados varía según el indicador elegido, por esta razón, en los sistemas de explotación en los que es necesario ponderar los resultados, debido a la existencia de más de un indicador, la longitud cronológica de la serie de datos utilizada viene limitada por el indicador del que se disponga un registro de datos más corto. La última fecha de datos introducida es septiembre de 2006, cerrando así el año hidrológico 2005/06.

A continuación se expone la validación realizada para cada sistema de explotación.

5.6.1. Sistema de explotación de Esla – Valderaduey

En el sistema de explotación de Esla – Valderaduey se ha tomado como indicador la ponderación proporcional a las demandas, de los Índices de Estado de los volúmenes embalsados a fin de mes de los embalses de Porma y Riaño.

La evolución de los Índices de Estado se muestra en las figuras que se presentan a continuación.

Figura 6. Evolución del índice de estado del embalse de Porma.

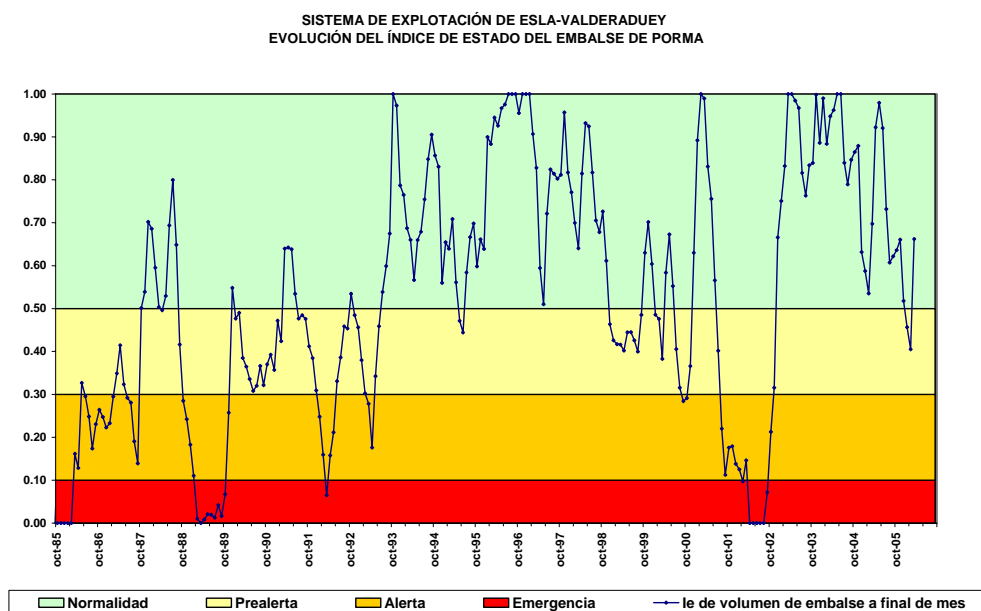
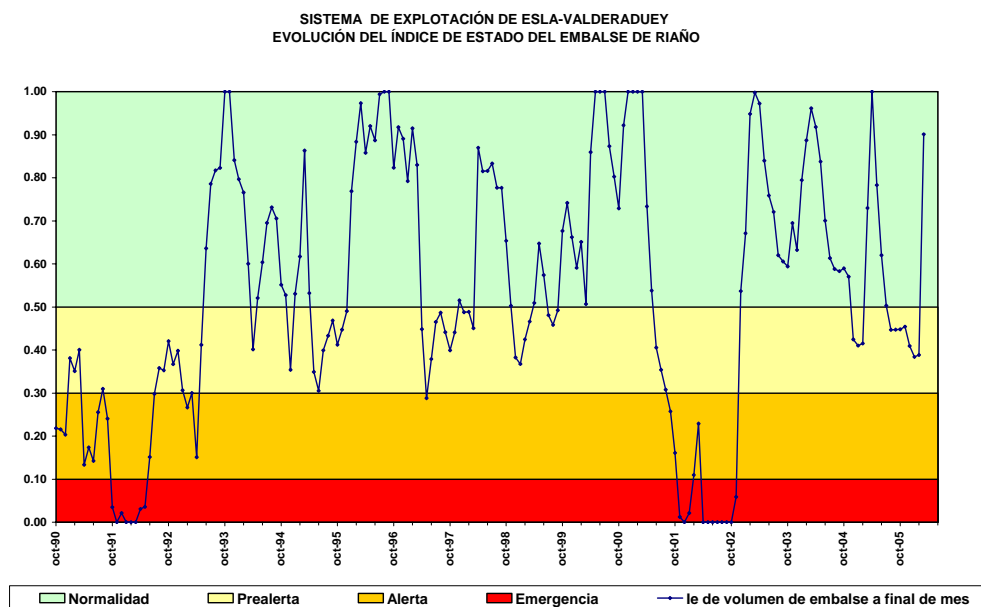


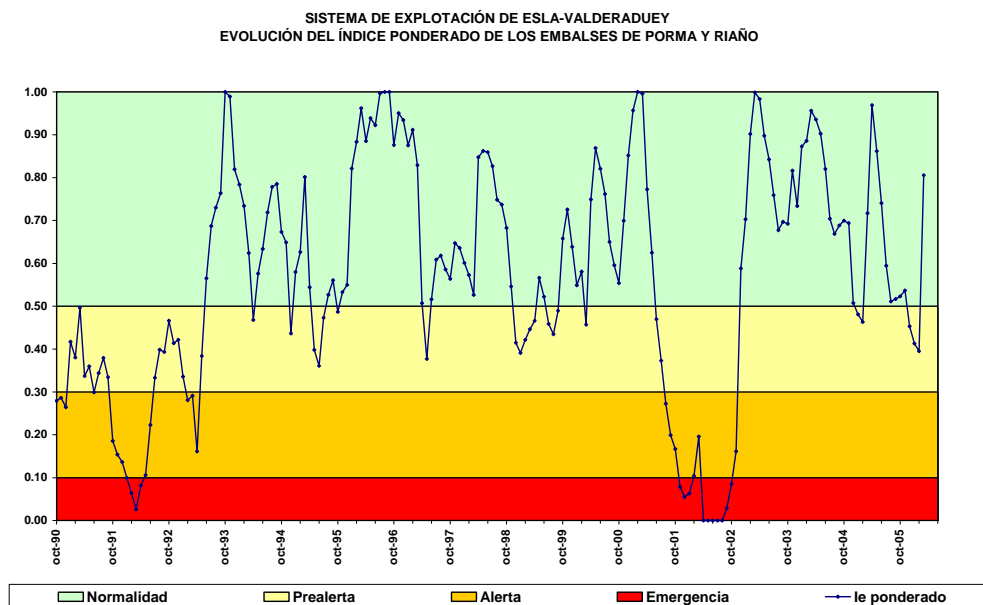
Figura 7. Evolución del índice de estado del embalse de Riaño.



Para sintetizar los resultados de los indicadores del sistema de explotación en un único valor representativo, se han ponderado los valores de índice de estado obtenidos para cada embalse, proporcionalmente a las demandas de cada uno (40 % de Porma y 60 % de Riaño). Dado que la serie considerada para la obtención del Índice de Estado de Riaño es más corta que la considerada para Porma, es la primera la que marca la longitud de la serie

de datos combinada tenida en cuenta en la ponderación. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 8 que se presenta a continuación.

Figura 8. Evolución del Índice de Estado del sistema de explotación de Esla - Valderaduey.



La función del Índice de Estado en el sistema de explotación de Esla - Valderaduey presenta un recorrido dominante, en el periodo estudiado, dentro del estado de normalidad, con incursiones en situaciones de emergencia y alerta en 1991/92, el año más problemático de la sequía de los años 1990/95, y en 2001/02.

El sistema tiene una gran capacidad de regulación por lo que se recupera bien de los episodios de sequía y sostiene un tiempo prolongado las reservas.

Estudiando los acontecimientos históricos reflejados en las actas de la Comisión de Desembalse y en la prensa, se detectaron situaciones excepcionales en los años 1992 y 2002, coincidiendo con los periodos en los que el Índice de Estado se sitúa en la zona de emergencia:

- En febrero de 1992 los embalses de la provincia de León se encontraban prácticamente al límite y la Junta de Castilla y León tuvo que subvencionar préstamos a los agricultores. En marzo algunas localidades sufrieron restricciones y se notó una merma en la calidad de las aguas debido al bajo caudal circulante en los ríos.
- En junio de 2002 el Canal de Arriola, abastecido por Porma, sufrió alguna restricción, ya que es de los últimos que toman, con una dotación inferior en un 20% de sus demandas reales. De los regadíos abastecidos por Riaño, el Páramo Bajo y el Canal del Esla también sufrieron restricciones.

Se puede concluir que al responder la evolución del índice de manera coherente con las sequías históricas ocurridas en el sistema de explotación, se considera al Índice de Estado de los volúmenes de embalse ponderados de Porma y Riaño como un buen indicador de sequías en esta zona.

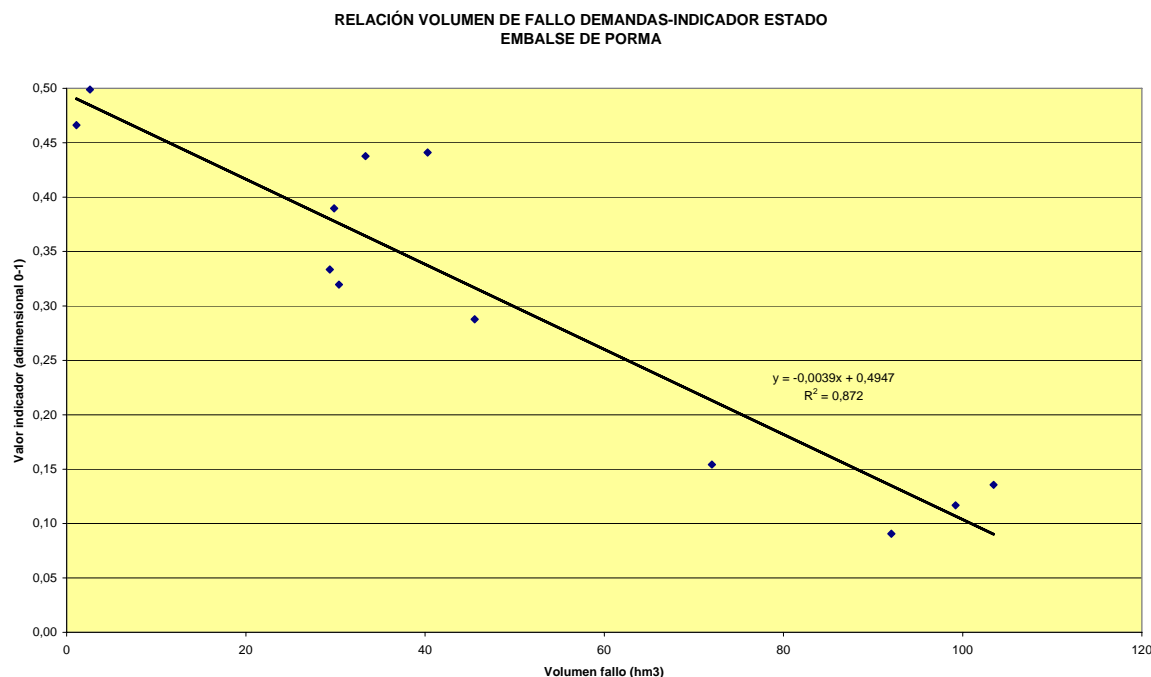
Para valorar la adecuación de los intervalos establecidos para los diferentes estados de sequía (normalidad, prealerta, alerta y emergencia) se ha realizado una simulación de la regulación del embalse de Porma en la que se consideran las aportaciones históricas al embalse, así como sus correspondientes demandas. Con los resultados se realiza un estudio comparativo entre la evolución del índice medio anual y el volumen de déficit anual de suministro y se comprueba la correlación entre ambos valores.

Para la realización de la simulación se obvia el embalse de Riaño debido a que en la actualidad no tiene todas sus zonas regables desarrolladas, obteniéndose como resultado de la simulación la inexistencia de déficit.

A continuación se presenta una tabla resumen (Tabla 3) con los resultados de la simulación donde se relaciona el volumen de fallo, en hm³, con el índice correspondiente. En la Figura 9 se observa una correlación lineal entre ambas variables.

Tabla 3. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Esla - Valderaduey)

AÑO	Volumen	Índice	AÑO	Volumen	Índice
1984-85	0	0,98	1995-96	3	0,50
1985-86	0	0,94	1996-97	33	0,44
1986-87	0	0,91	1997-98	30	0,32
1987-88	0	0,95	1998-99	99	0,12
1988-89	0	0,63	1999-00	46	0,29
1989-90	30	0,39	2000-01	0	0,67
1990-91	0	0,37	2001-02	40	0,44
1991-92	92	0,09	2002-03	0	0,59
1992-93	72	0,15	2003-04	0	0,57
1993-94	1	0,47	2004-05	29	0,33
1994-95	103	0,14			

Figura 9. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Esla – Valderaduey)

5.6.2. Sistema de explotación de Órbigo

En el sistema de explotación de Órbigo se han tomado como indicadores el volumen de embalse almacenado a fin de mes en Barrios de Luna (río Órbigo) y las aportaciones de entrada al embalse de Villameca, acumuladas en 6 meses, como indicador en el sistema del río Tuerto.

A continuación se presenta la evolución de los índices de estado de los dos índices elegidos para el sistema de explotación de Órbigo.

Figura 10. Evolución del índice de estado del embalse de Barrios de Luna.

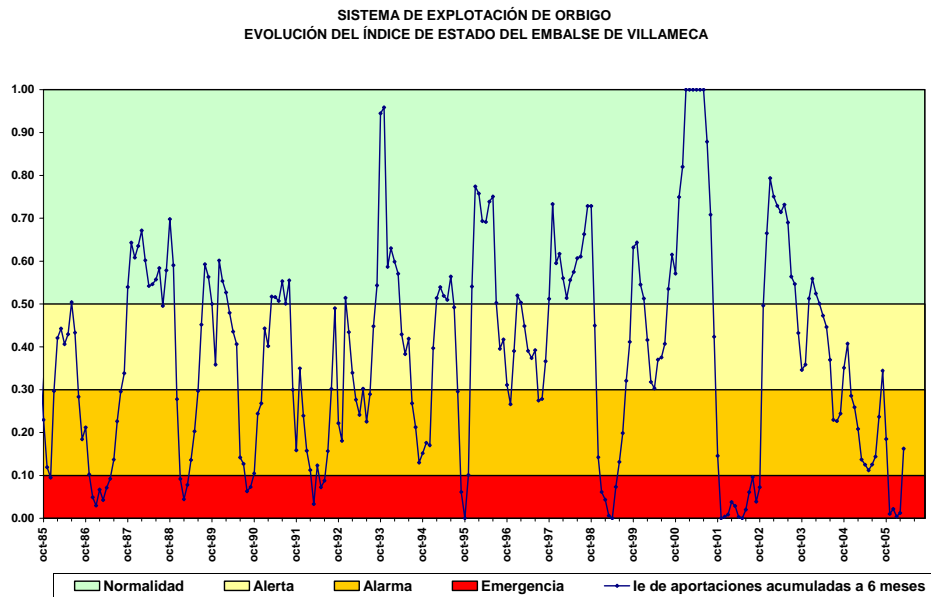
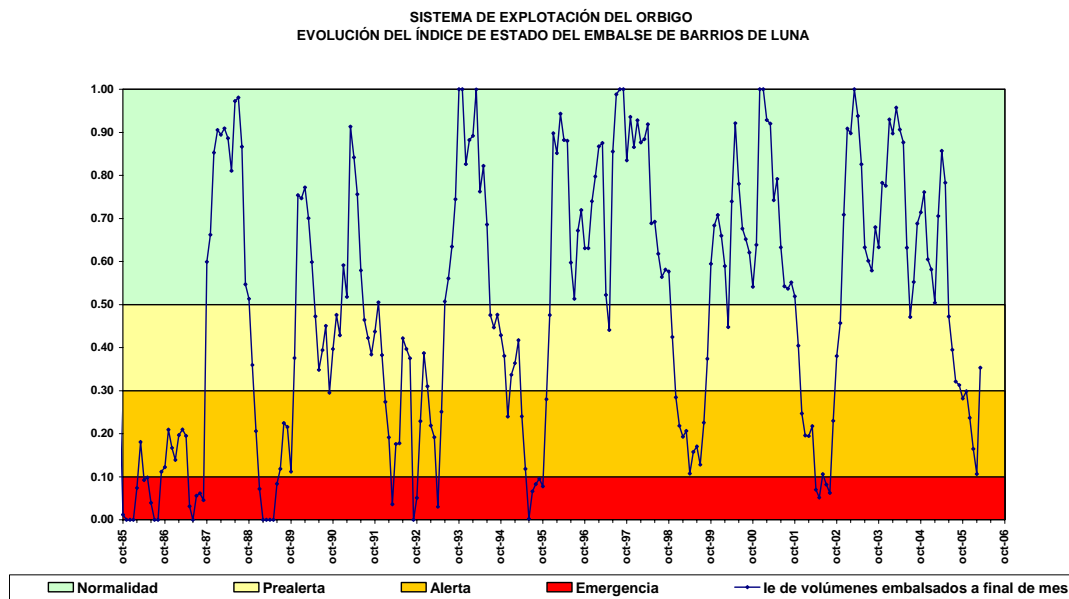
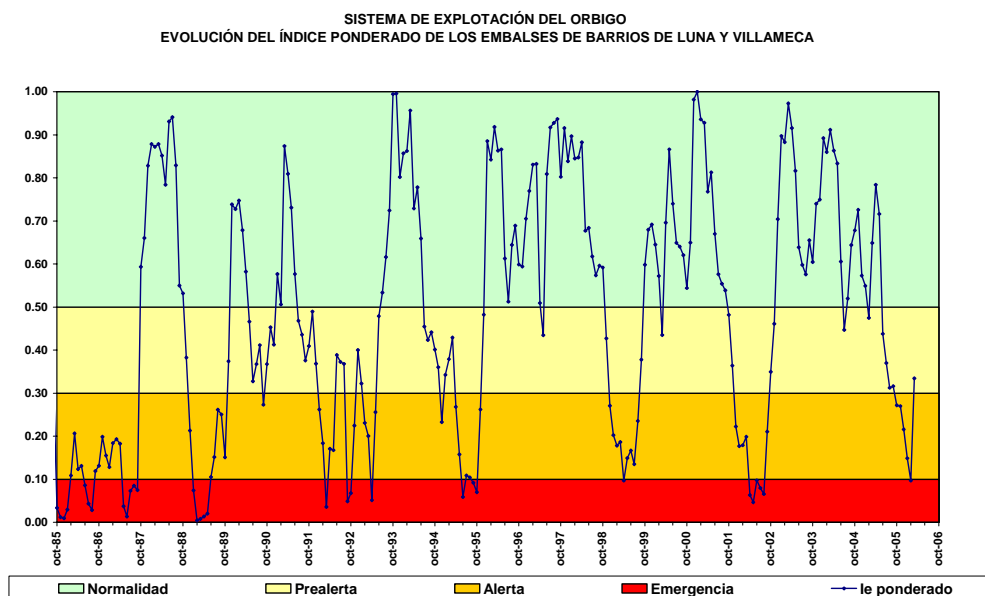


Figura 11. Evolución del índice de estado del embalse de Villameca.



Ponderando los valores de índice de estado obtenidos para cada embalse, proporcionalmente a las demandas abastecidas por cada uno (90 % de peso para el indicador de Barrios de Luna y 10 % para el de Villameca), se ha obtenido un indicador único para el sistema de explotación de Órbigo. La longitud de la serie de datos considerada viene marcada por el embalse de Barrios de Luna, ya que se utilizó una serie más corta para obtener el índice de estado. El resultado obtenido se presenta en la Figura 12.

Figura 12. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Órbigo.

El sistema de explotación de Órbigo se encuentra la mayor parte del tiempo en situación de normalidad o prealerta, con incursiones en los niveles de alerta y emergencia en los períodos de sequía de 1988/89, 1991/95 y 2001/02. Se puede observar en general que es un sistema con una capacidad de recuperación rápida tras un período de escasez. A continuación se presenta la comparativa entre la gráfica y las sequías históricas de las que se tiene información:

- El año 1988/89 fue, en general, un año malo para la cuenca del Duero y en el sistema de explotación de Órbigo, en particular, se limitaron los caudales desembalsados. En marzo se tomó la decisión de dejar los regadíos en segundo plano para permitir el abastecimiento de agua y conseguir que los ríos llevaran agua suficiente para evitar catástrofes ecológicas. Entre las ciudades que presentaban una situación muy deficitaria se encontraba León. Esta situación viene a corresponder a un periodo situado en el nivel de emergencia.
- El año hidrológico 1998/99 fue un año extremadamente seco, pero como consecuencia de la buena distribución del agua se consiguió sacar adelante la campaña de riego. El indicador se mantiene durante todo el año en la franja de alerta. En marzo se tomaron medidas para afrontar la campaña de riego: se recomendó aplicar los volúmenes disponibles a riegos de primavera, se fijaron los volúmenes mínimos para abastecimiento y caudales de mantenimiento y se dejó libertad a los sistemas para administrar el volumen restante.
- En el año 2001/02 la campaña de riego en Tuerto se efectuó de una forma precaria, dándose por concluida en el mes de agosto. El índice de estado se sitúa en el nivel de emergencia.

Se da por válida la ponderación realizada, ya que la evolución del índice de estado responde adecuadamente a la evolución de las sequías en el sistema de explotación.

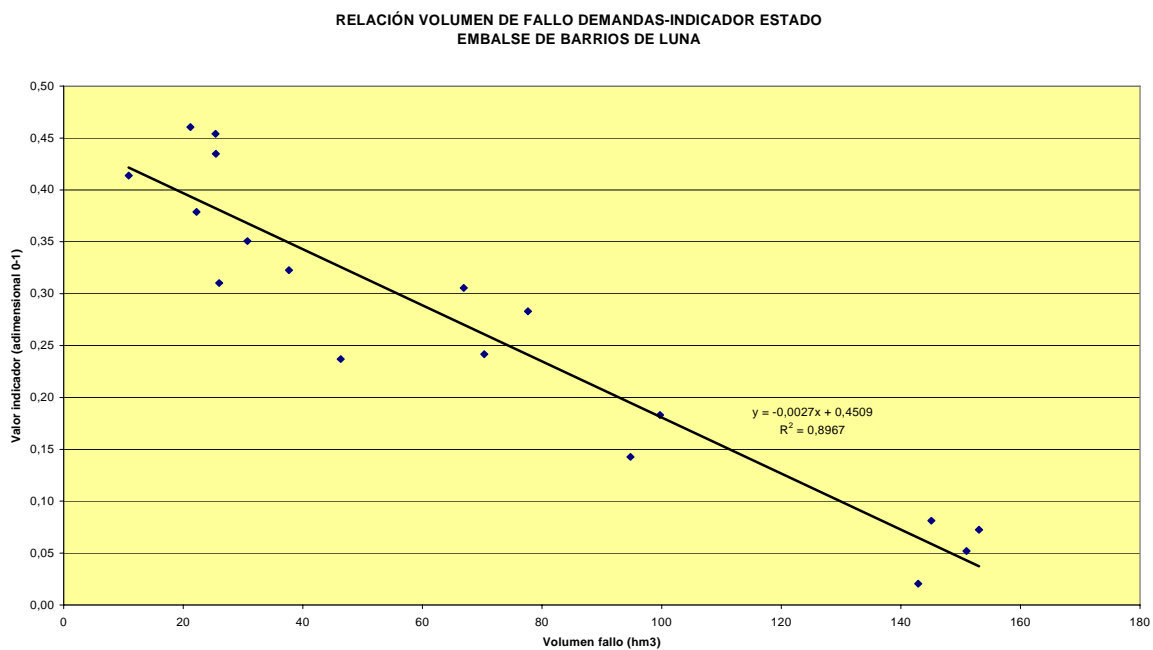
Teniendo en cuenta el mayor peso que tiene el embalse de Barrios de Luna como indicador (90%), para valorar la adecuación de los intervalos establecidos para los estados de sequía se ha realizado una simulación de la regulación del embalse de Barrios de Luna en la que se consideran las aportaciones históricas al embalse, así como las necesidades hídricas para atender sus correspondientes demandas. Con los resultados se realiza un estudio comparativo entre la evolución del índice medio anual y el volumen de déficit anual de suministro y se comprueba la correlación entre ambos valores.

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados de la simulación donde se relaciona el volumen de fallo, en hm³, con el índice correspondiente. En la Figura 13 se observa una correlación lineal entre ambas variables, con un aceptable ajuste.

Tabla 4. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Órbigo)

AÑO	Volumen	Indicador	AÑO	Volumen	Indicador
1968-69	1	0,57	1987-88	0	0,86
1969-70	0	0,71	1988-89	78	0,28
1970-71	0	0,62	1989-90	67	0,31
1971-72	0	0,79	1990-91	0	0,57
1972-73	0	0,67	1991-92	26	0,31
1973-74	0	0,86	1992-93	46	0,24
1974-75	0	0,50	1993-94	25	0,45
1975-76	95	0,14	1994-95	153	0,07
1976-77	11	0,41	1995-96	3	0,68
1977-78	0	0,63	1996-97	21	0,46
1978-79	0	0,94	1997-98	0	0,39
1979-80	0	0,91	1998-99	151	0,05
1980-81	22	0,38	1999-00	31	0,35
1981-82	100	0,18	2000-01	3	0,69
1982-83	0	0,69	2001-02	145	0,08
1983-84	0	0,64	2002-03	0	0,64
1984-85	0	0,87	2003-04	25	0,43
1985-86	38	0,32	2004-05	70	0,24
1986-87	143	0,02			

Figura 13. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Órbigo)



5.6.3. Sistema de explotación de Tera

En el sistema de explotación de Tera se han tomado como indicadores la aportación de entrada, acumulada en 6 meses, al embalse de Cernadilla (embalse hidroeléctrico situado aguas arriba de Valparaíso y Agavanzal) y el aforo 2818 (Rabal) en el río Tamega.

A continuación se presenta la evolución de los índices de estado de los dos indicadores elegidos.

Figura 14. Evolución del índice de estado del embalse de Cernadilla.

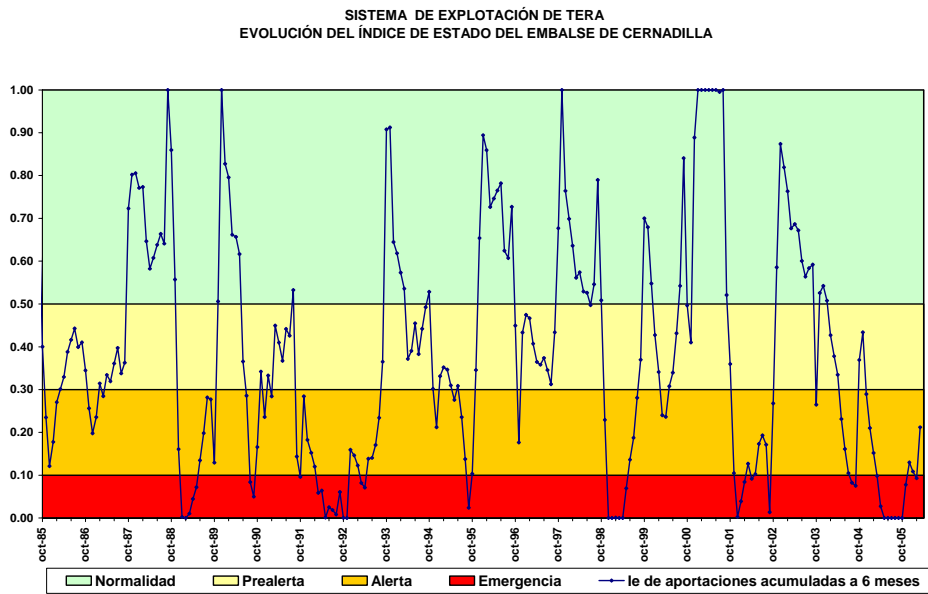
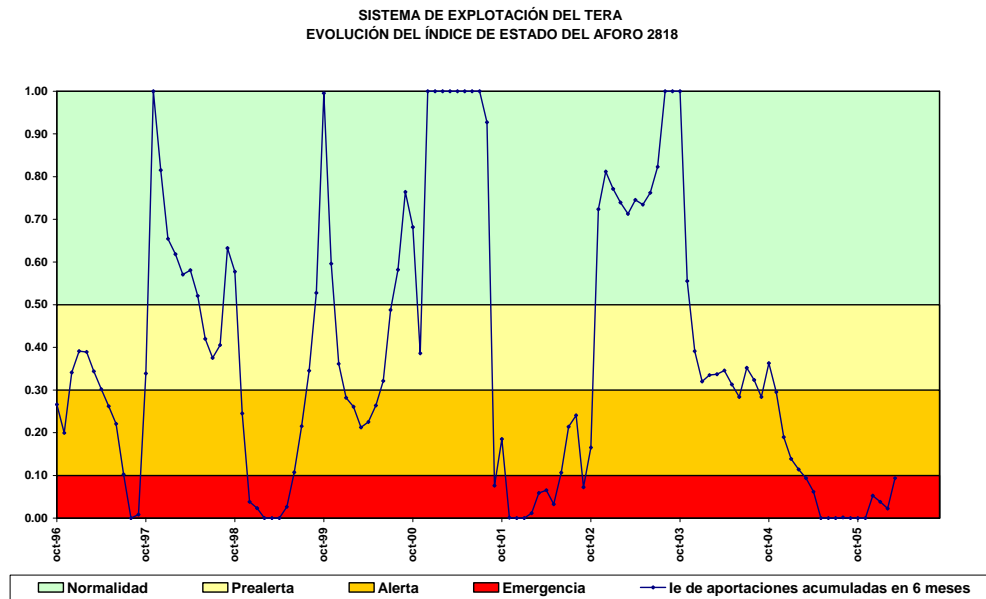


Figura 15. Evolución del índice de estado del aforo 2818 (Rabal).

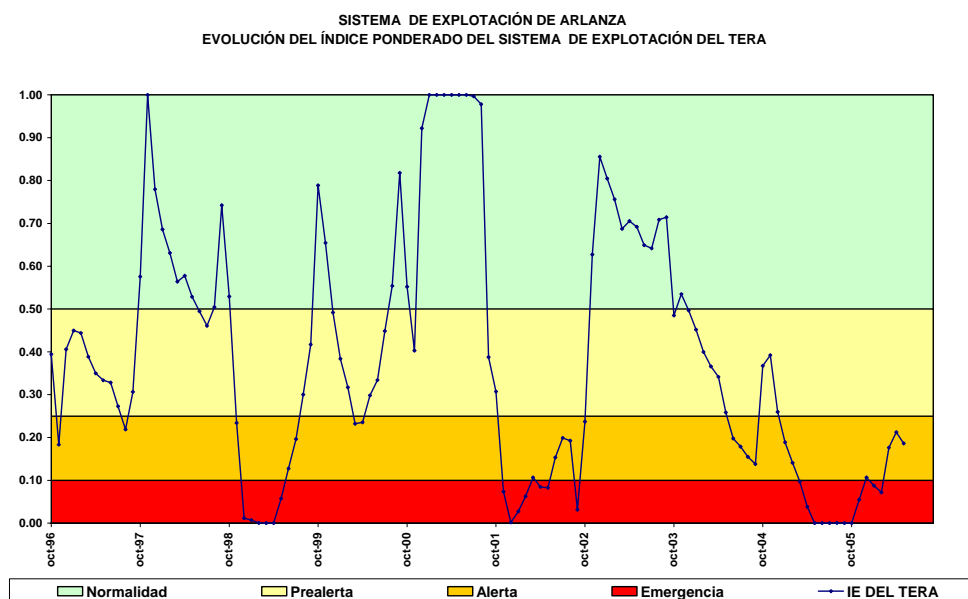


Este sistema de explotación de Tera se considera un sistema doble, dentro del cual hay que estudiar de manera independiente los dos indicadores analizados, es decir, el indicador de aportaciones a Cernadilla y, consecuentemente, las medidas a aplicar para el subsistema del Tera y el indicador del aforo 2818 – Rabal y, de manera razonable, las medidas a aplicar para los ríos que discurren hacia Portugal desde el norte (subsistema Támeiga).

En la siguiente versión del Plan Especial se analizará la conveniencia de considerar estos dos subsistemas de manera independiente, teniendo en cuenta cada uno de ellos como un sistema de explotación.

En la actual versión del Plan, para dar un valor global del sistema de explotación del Tera se han ponderando los valores de índice de estado obtenidos, dando un 70% de peso para el indicador de Cernadilla y un 30 % para el del aforo del río Támeiga, se ha obtenido un indicador único para el sistema de explotación de Tera. La longitud de la serie de datos considerada viene marcada por el aforo 2818 (Rabal), ya que se utilizó una serie más corta para obtener el índice de estado. El resultado obtenido se presenta en la Figura 16.

Figura 16. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Tera



El índice de estado se sitúa la mayor parte del tiempo en los estados de normalidad y prealerta, observándose unas caídas y subidas bruscas debido a la menor inercia del indicador que depende de la variabilidad de aportaciones recibidas.

Se observa que el indicador se sitúa en la zona de emergencia en aquellos periodos que se han registrado históricamente como secos en la mayor parte de la cuenca, es decir, 1998/99, 2001/02 y 2004/05, considerándose como aceptable el índice de estado resultante.

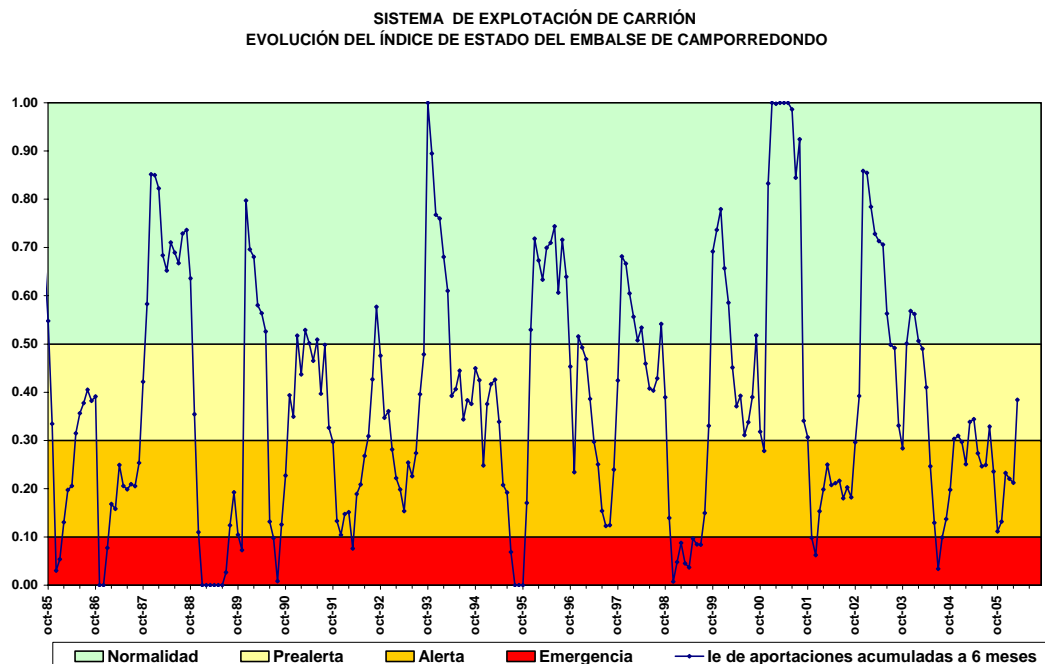
Debido a la escasa longitud de la serie así obtenida, las marcas de clase se adoptan provisionalmente entendiendo que, posiblemente, deberán ser ajustadas en el futuro, cuando se disponga de una serie más larga.

5.6.4. Sistema de explotación de Carrión

El indicador seleccionado para el sistema de explotación de Carrión es la aportación de entrada al embalse de Camporredondo, acumulada a 6 meses.

En el siguiente gráfico se representa la evolución del índice de estado seleccionado.

Figura 17. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Carrión



De la evolución del índice se desprende que, la mayor parte del tiempo, se ha situado en el rango de la prealerta, produciéndose caídas muy bruscas en épocas de sequía, lo que denota una sensibilidad a periodos secos.

Para calibrar el comportamiento del indicador con los acontecimientos históricos acaecidos en el sistema de explotación del Carrión se ha consultado la prensa y los informes de la Comisión de Desembalse, localizándose la siguiente información respecto a épocas secas:

- En el año 1988/89 el índice se encuentra principalmente en la zona de emergencia. En este año se tuvieron que limitar los caudales desembalsados. En febrero de 1989 las comunidades de regantes más afectadas eran las de Tierra de Campos, abastecidas por el sistema de Carrión. El embalse de Camporredondo se encontraba por debajo de las previsiones realizadas por la Confederación para años secos. La demanda de Valladolid superaba en un 20 % la disponible. En general en toda la cuenca, se tuvieron problemas con la calidad de las aguas, y en particular en Valladolid, atendiendo desde el Canal de Castilla, se tuvieron que tomar restricciones por la incapacidad de las instalaciones existentes de depurar convenientemente el agua de los ríos.
- En junio de 1990 el índice se encuentra en situación de alerta y el canal de Carrión presentaba escasez de agua para la agricultura, centrándose principalmente en el abastecimiento de núcleos de población. Posteriormente se entró en la zona de emergencia, lo cual viene a coincidir con alguna restricción de agua que tuvo lugar en ese momento.

- En el año 1991/92 el índice se emplaza principalmente en la situación de alerta; pasando puntualmente, en el mes de marzo, a emergencia. En febrero de 1992, la situación de sequía, impidió sembrar en las fincas de Tierra de Campos y obligó a los agricultores a estudiar la posibilidad de sembrar otros productos alternativos. Esto concuerda con la tendencia descendente del índice que al mes siguiente entró en la zona de emergencia.
- En el año 1996/97 el índice se sitúa principalmente en la zona de alerta. En mayo de 1997, se decidió disminuir los volúmenes fijados al final de los meses de mayo y junio, también se recomendó evitar los cultivos con fuertes necesidades de agua y se puso de manifiesto la disciplina que deben seguir los riegos, recordando el uso prioritario de los abastecimientos. Hasta agosto el índice tiene una tendencia descendente y a partir de este mes se recupera la situación.
- El índice en el año 1998/99 alcanza la zona de emergencia. En marzo del 1999 se recomendó suspender la campaña de riego. Se fijaron unos embalses mínimos que correspondían a las necesidades de abastecimiento y caudales de mantenimiento, y se propuso dar libertad a los sistemas de explotación para que gastasen el poco volumen que quedara disponible según decidieran. En mayo del 99 algunos sistemas se estaban recuperando, pero Carrión seguía en situación de precariedad, como lo refleja la situación del indicador que permanece en el rango de la emergencia.
- En el año 2001/02, se observa una fuerte caída en los valores del índice, situando éste en la zona de alerta. La campaña se desarrolló de forma satisfactoria pero fue necesaria la ayuda de agua trasvasada desde el Esla y la observancia de turnos de riego rigurosos.

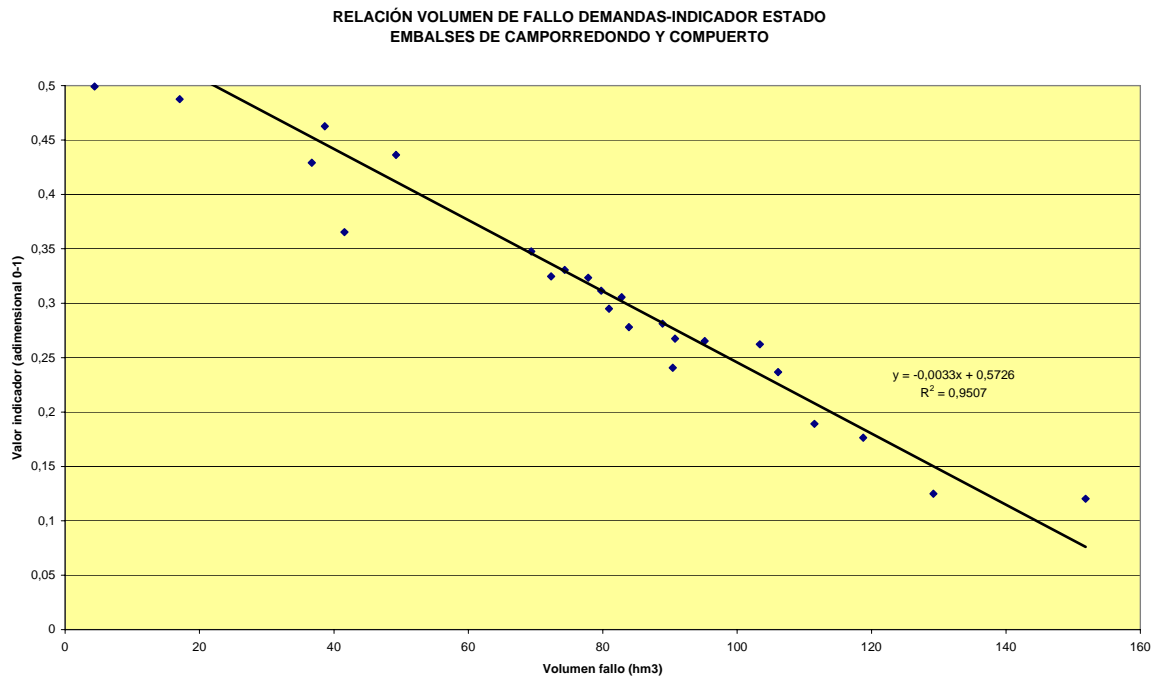
De lo expuesto hasta el momento se desprende que la evolución del indicador es sensiblemente acorde con las épocas de sequía.

Para comparar el índice medio anual con los déficit anuales se ha realizado un modelo sencillo teniendo en cuenta las entradas a Camporredondo y considerando el sistema Camporredondo-Compuerto como un solo embalse. Con esta simulación se han obtenido los años en los que se habría registrado déficit, teniendo en cuenta las aportaciones utilizadas para el cálculo del índice. En la Tabla 5 se resume la comparación de los valores del índice de estado medio anual de las aportaciones acumuladas a 6 meses en el embalse de Camporredondo, con los déficit calculados en la simulación. En la Figura 18 se presenta la correlación lineal entre ambas variables.

Tabla 5. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Carrión)

Año	Volumen	Indicador	Año	Volumen	Indicador
1958-59	17	0,49	1982-83	0	0,58
1959-60	14	0,84	1983-84	69	0,35
1960-61	6	0,66	1984-85	0	0,60
1961-62	11	0,72	1985-86	84	0,28
1962-63	0	0,48	1986-87	119	0,18
1963-64	0	0,65	1987-88	0	0,70
1964-65	91	0,27	1988-89	152	0,12
1965-66	0	0,67	1989-90	42	0,37
1966-67	49	0,44	1990-91	37	0,43
1967-68	1	0,55	1991-92	90	0,24
1968-69	2	0,51	1992-93	83	0,31
1969-70	21	0,53	1993-94	7	0,59
1970-71	4	0,50	1994-95	103	0,26
1971-72	26	0,53	1995-96	8	0,57
1972-73	39	0,46	1996-97	80	0,31
1973-74	32	0,50	1997-98	17	0,52
1974-75	78	0,32	1998-99	129	0,12
1975-76	95	0,27	1999-00	32	0,52
1976-77	72	0,32	2000-01	14	0,79
1977-78	9	0,57	2001-02	111	0,19
1978-79	0	0,76	2002-03	20	0,60
1979-80	23	0,51	2003-04	74	0,33
1980-81	81	0,29	2004-05	89	0,28
1981-82	106	0,24			

Figura 18. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Carrión)

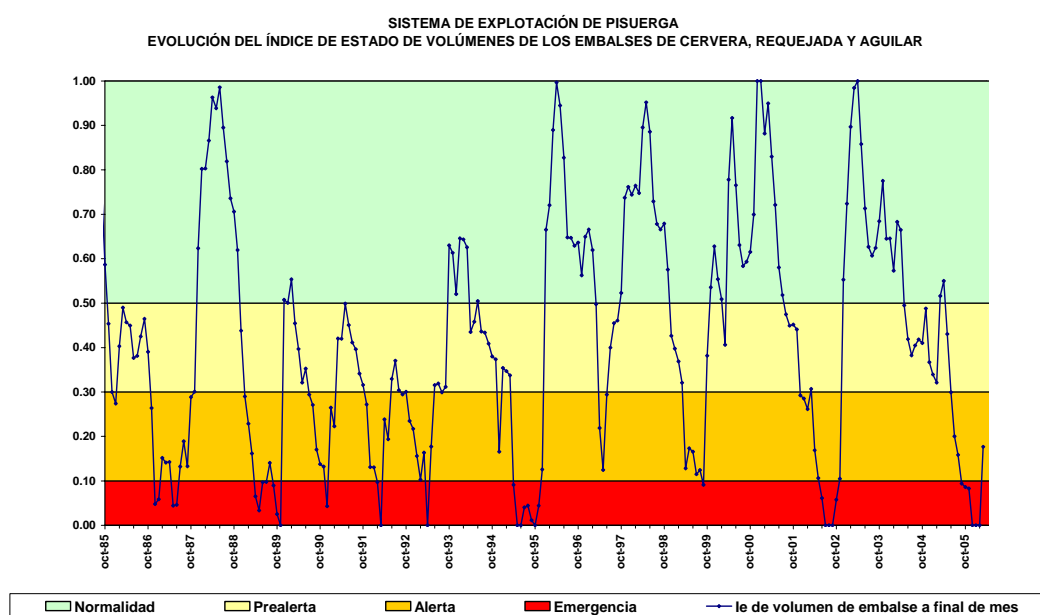


5.6.5. Sistemas de explotación de Pisuerga y Bajo Duero

El indicador elegido para el sistema de explotación del Pisuerga, y por añadidura para el Bajo Duero, es la suma de los volúmenes de embalse almacenados a fin de mes en Cervera, Requejada y Aguilar. Como ya se ha comentado previamente, este indicador se emplea tanto para Pisuerga como para el Bajo Duero, dado que las demandas de ambos sistemas están reguladas por estos tres embalses.

En el gráfico que se muestra a continuación se representa la evolución del índice de estado de dicho indicador.

Figura 19. Evolución del índice de estado de los sistemas de explotación de Pisuerga y Bajo Duero



El índice se sitúa principalmente en las zonas de normalidad y prealerta, observándose caídas en las épocas de escasez y una rápida recuperación de las mismas.

Se ha comparado el comportamiento del índice con los acontecimientos, sucedidos en el sistema de explotación de Pisuerga y Bajo Duero, recogidos en la prensa y en las actas de las reuniones de la Comisión de Desembalse.

- Durante el año 1988/89 el índice presenta una tendencia descendente desde el inicio del año hidrológico, llegando a entrar en la zona de emergencia. Se limitó el caudal desembalsado y los embalses de Requejada y Cervera se encontraban por debajo de las previsiones de la Confederación para años secos. En febrero de 1989, en general en toda la cuenca, hubo problemas con la calidad de las aguas. En Zamora se tuvieron que tomar restricciones por la incapacidad de las instalaciones existentes para depurar convenientemente el agua de los ríos.
- Durante el periodo 1990-93, las aportaciones registradas en el sistema de Explotación del Pisuerga, según el estudio realizado para la caracterización de las

sequías, no superaron las aportaciones medias del sistema. En este periodo el índice se sitúa entre las zonas de alerta y emergencia. En el año 1991/92 los embalses del Pisuerga eran los que presentaban mayores problemas en la cuenca. En 1992/93 hubo una sequía en el campo castellano-leonés muy notable, siendo Valladolid una de las provincias más afectadas.

- En el año 1998/99 se presentaron unas aportaciones muy inferiores a la media, esto se ve reflejado con la tendencia descendente del índice de estado, el cual se sitúa la mayor parte del tiempo en la zona de alerta. En este año se hubo de extremar el cuidado en la gestión de los recursos. En marzo de 1999 se establecieron turnos de riego para los regantes concesionales. Se pasó por una situación de excepcionalidad pero, debido a la buena administración de los recursos, y teniendo en cuenta que el indicador está basado en la situación de los embalses reguladores, no se llegó a entrar en una situación que se pueda considerar de emergencia.
- En el año 2001/02 se observa una tendencia descendente del índice de estado hasta alcanzar la zona de emergencia. En este año se establecieron turnos de riego incluso en los riegos concesionales. En junio se aprobó la petición del Sistema de disminuir el volumen embalsado al final de septiembre, en los embalses reguladores del Sistema de Explotación de Pisuerga, y se autorizó el incremento de desembalses de Las Cogotas, embalse situado en el Sistema de Explotación de Adaja, para ayudar a cubrir las demandas del Bajo Duero. Medida que viene a corresponder con la situación de emergencia.
- Durante el año 2004/05 el índice desciende hasta alcanzar al final del año hidrológico la situación de emergencia. En junio de 2005 se acuerda instaurar turnos para los regadíos concesionales (los regadíos estatales ya tenían turnos internos en cada Comunidad de regantes) por tramos de río. El sindicato de riego del Canal de San José aplicó turnos de riego para afrontar una campaña que podía ser difícil. En julio los canales de Toro-Zamora y San José sufrieron un corte de suministro de agua debido a que la presa de Castronuño, de la que ambos se abastecen, alcanzó niveles tan bajos que no era posible la entrada de agua. En agosto se instauran nuevos turnos y en septiembre se da por finalizada la campaña, momento en el que los valores del índice entran en la zona de emergencia.

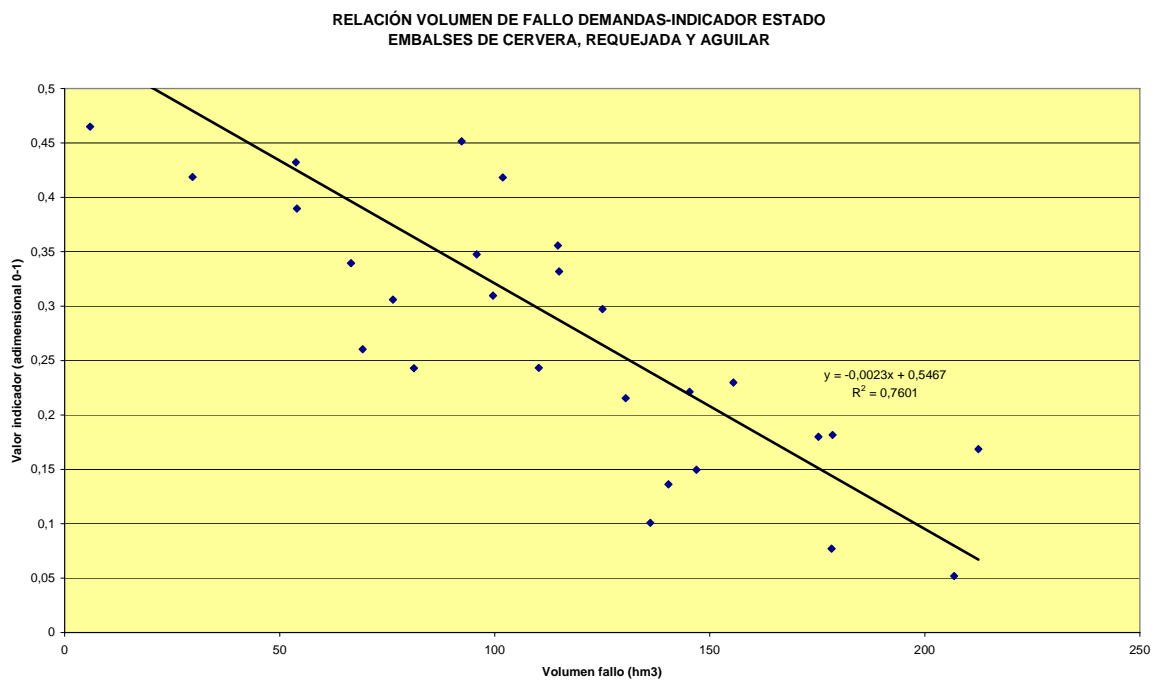
Se puede concluir que la evolución del índice de sequía se corresponde, en líneas generales, con los periodos de sequía histórica registrados.

Se ha realizado un modelo de regulación asimilando el comportamiento de los embalses de Cervera, Requejada y Aguilar a uno solo, considerando como aportaciones al sistema la suma de las entradas a Cervera y Requejada, embalses situados aguas arriba de Aguilar. De esta forma se obtiene la relación índice anual medio - volumen de fallo que se muestra en la Tabla 6, y una correlación lineal (Figura 20), con valores de dispersión significativos, pero que, a pesar de todo, se considera adecuada.

Tabla 6. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Pisuerga y Bajo Duero)

Año	Volumen	Indice	Año	Volumen	Indice
1966-67	92	0,45	1986-87	178	0,08
1967-68	54	0,39	1987-88	0	0,68
1968-69	81	0,24	1988-89	212	0,17
1969-70	67	0,34	1989-90	125	0,30
1970-71	69	0,26	1990-91	76	0,31
1971-72	6	0,46	1991-92	136	0,10
1972-73	17	0,56	1992-93	147	0,15
1973-74	25	0,56	1993-94	102	0,42
1974-75	145	0,22	1994-95	175	0,18
1975-76	130	0,22	1995-96	54	0,43
1976-77	30	0,42	1996-97	179	0,18
1977-78	3	0,53	1997-98	96	0,35
1978-79	0	0,73	1998-99	207	0,05
1979-80	0	0,76	1999-00	47	0,52
1980-81	115	0,33	2000-01	0	0,87
1981-82	155	0,23	2001-02	78	0,58
1982-83	1	0,52	2002-03	20	0,56
1983-84	110	0,24	2003-04	115	0,36
1984-85	18	0,52	2004-05	100	0,31
1985-86	140	0,14			

Figura 20. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Pisuerga y Bajo Duero)



5.6.6. Sistema de explotación de Arlanza

Los indicadores seleccionados en el Sistema de Explotación de Arlanza son: la suma de los volúmenes a fin de mes de los embalses de Arlanzón y Úzquiza y el aforo 2030 (Covarrubias) en el río Arlanza.

La evolución de los indicadores elegidos se muestra en las gráficas que se presentan a continuación.

Figura 21. Evolución del índice de estado del aforo 2030

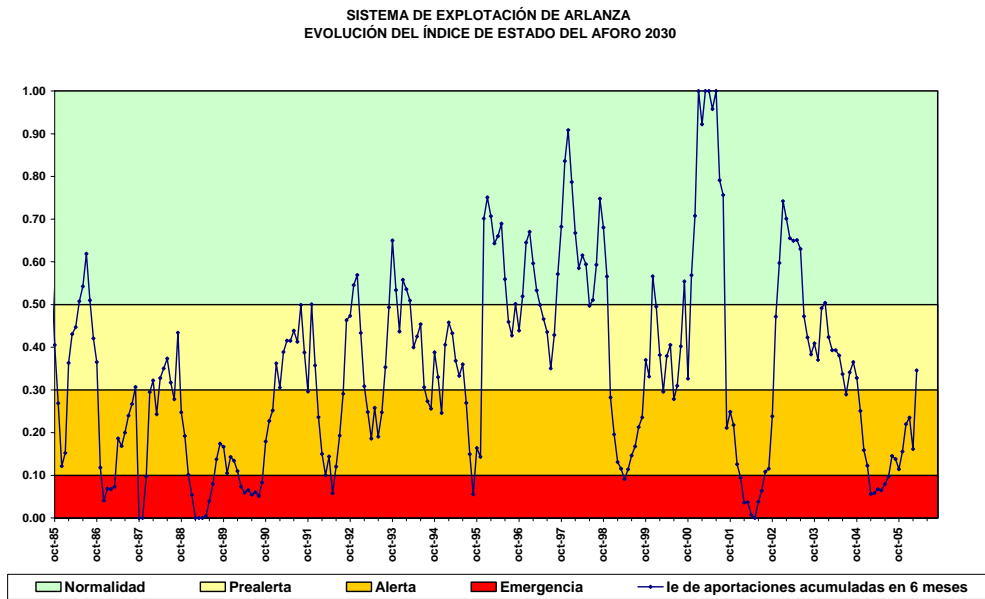
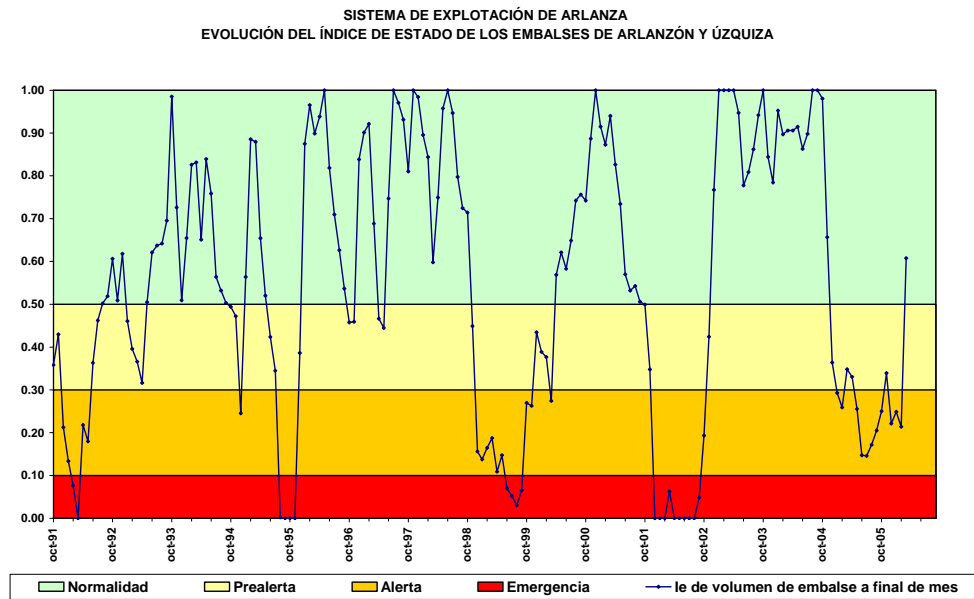
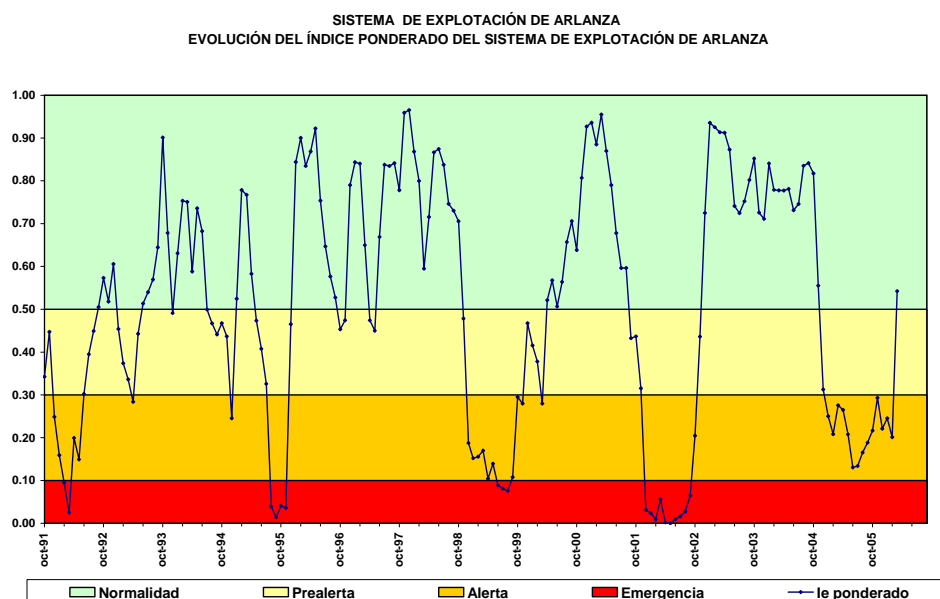


Figura 22. Evolución del índice de estado de los embalses de Arlanzón y Úzquiza



Para sintetizar los resultados de los indicadores del sistema de explotación en un único indicador representativo, se han ponderados los valores de índice de estado obtenidos para cada indicador, proporcionalmente a las demandas de cada uno (75 % para el sistema Arlanzón y Úzquiza y 25 % para el río Arlanza). La longitud de la serie de datos considerada viene marcada por la del embalse de Úzquiza, del que se tiene una serie de datos más corta. Los resultados obtenidos se muestran en el gráfico que se presenta a continuación.

Figura 23. Evolución del índice de estado del Sistema de Explotación de Arlanza



En conjunto, el sistema de explotación del Arlanza, muestra una evolución dominante en el periodo analizado dentro de los estados de normalidad y prealerta con incursiones temporales en las zonas de alerta y emergencia, en los años: 1991/92, 1994/95, 1998/99 y 2001/02.

De la información consultada en la prensa y en las actas de la Comisión de Desembalse, se han localizado los siguientes sucesos ocurridos en épocas de sequías:

- En el año 1991/92 el índice se encuentra principalmente en la franja de alerta llegando a entrar en emergencia. En febrero de 1992 el embalse de Arlanzón era el que presentaba la peor situación de todos los embalses de la cuenca.
- En marzo de 1999 se ordenó suspender la campaña de riego; se estimaba que se podría tener algún problema por lo que se extremó la vigilancia, estableciendo turnos para los regantes concesionales. En esta situación el índice se sitúa en la zona de prealerta con una tendencia descendente que hace que el índice llegue a entrar en la zona de emergencia al final del año hidrológico.
- Durante la campaña 2004/05 el indicador del sistema se sitúa en niveles de alerta. El indicador del aforo 2030 llega a la zona de emergencia, lo cual indica la mala situación por la que pasaba el río Arlanza; donde, en julio de 2005, se prohibieron los riegos para preservar el estado de su cauce.

Se puede concluir que, al responder la evolución del índice de manera coherente con las sequías históricas ocurridas en el sistema de explotación de las que se tiene información, puede adoptarse el Índice de Estado formado por la ponderación entre la suma de los volúmenes a fin de mes de los embalses de Arlanzón y Úzquiza y el aforo 2030 (Covarrubias) en el río Arlanza.

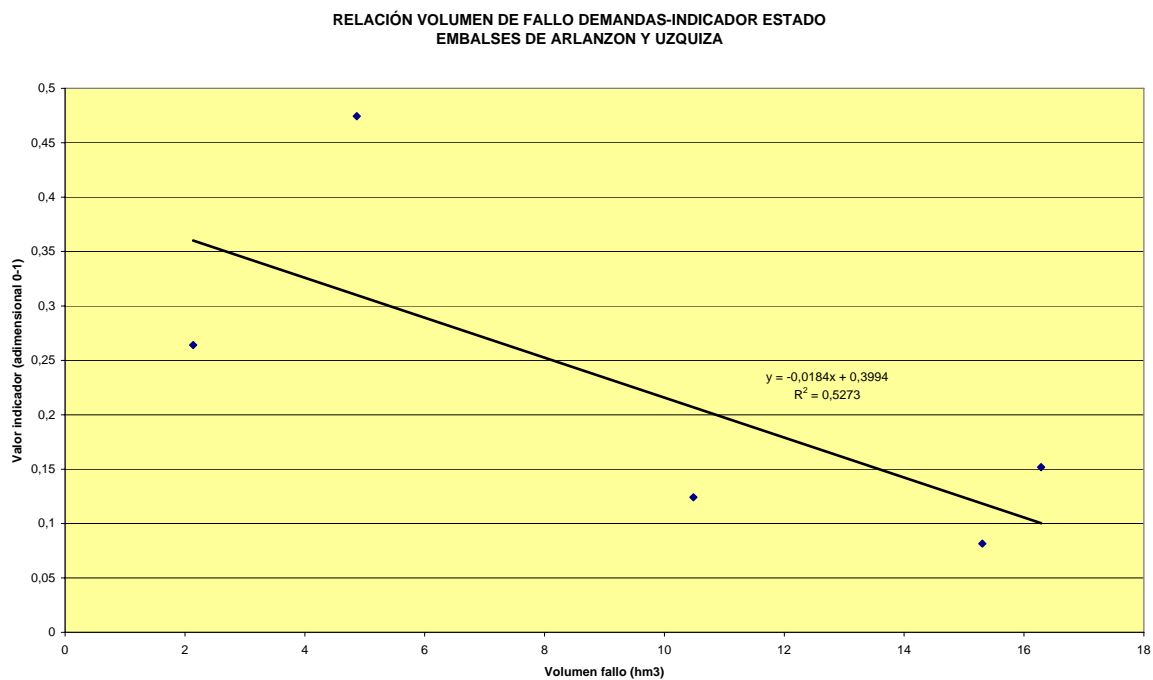
Para calibrar el indicador en función de los déficit anuales es necesario tener un elemento regulador, por lo tanto no se puede realizar una estimación de fallo en el río Arlanza. Por otra parte, el indicador de más peso es el de los volúmenes almacenados en los embalses de Arlanzón y Úzquiza.

Para valorar la adecuación de los intervalos establecidos para los diferentes estados de sequía (normalidad, prealerta, alerta y emergencia) se ha realizado una simulación de la regulación considerando un único embalse con la capacidad conjunta de Arlanzón y Úzquiza, teniendo en cuenta las aportaciones históricas a Arlanzón (embalse situado aguas arriba), y las demandas correspondientes a ambos embalses. Con los resultados se realiza un estudio comparativo entre la evolución del índice medio anual y el volumen de déficit anual de suministro, comprobándose la correlación entre ambos valores. (Tabla 7, Figura 24).

Tabla 7. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Arlanza)

Año	Volumen	Indicador
1991-92	15	0,08
1992-93	10	0,12
1993-94	0	0,24
1994-95	16	0,15
1995-96	5	0,47
1996-97	0	0,62
1997-98	0	0,71
1998-99	0	0,47
1999-00	2	0,26
2000-01	4	0,75
2001-02	0	0,65
2002-03	0	0,81
2003-04	0	0,93
2004-05	0	0,74

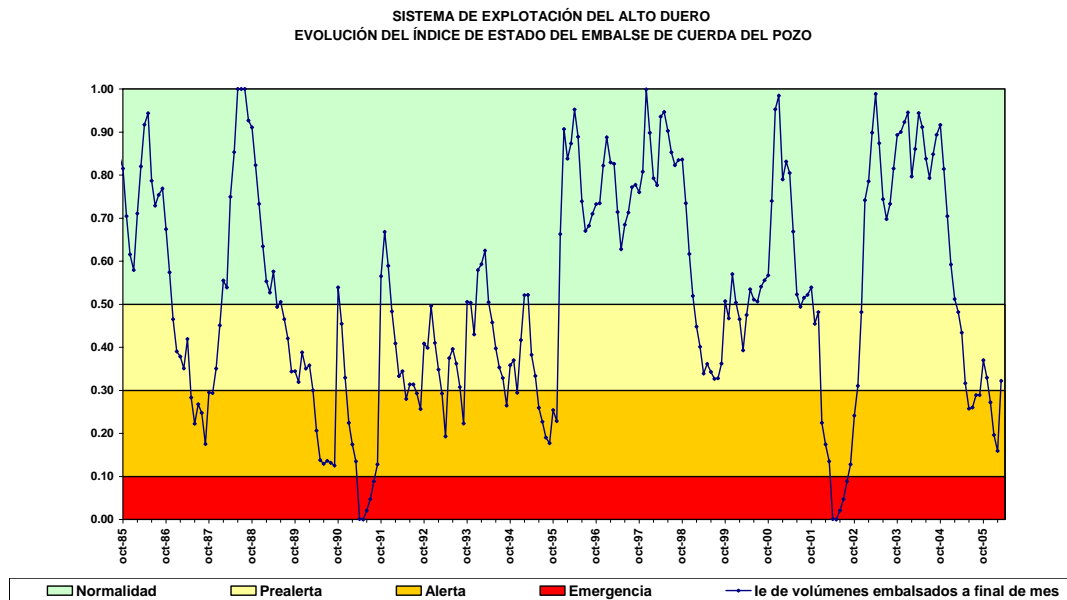
Figura 24. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Arlanza)



5.6.7. Sistema de explotación de Alto Duero

El indicador seleccionado para el sistema de explotación de Alto Duero es el volumen almacenado a fin de mes en el embalse de La Cuerda del Pozo.

Figura 25. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Alto Duero



En el periodo de tiempo estudiado se observa que los valores del índice se encuentran preferentemente entre las zonas de prealerta y normalidad, produciéndose bajadas más suaves que otros casos. El sistema de explotación se recupera bien de los episodios de sequía, lo que se traduce en una buena capacidad de reservas reguladoras.

- En el año 1989/90 se observa una disminución de los valores del índice, que desciende a la zona de alerta. En este año se presentaron algunos problemas de escasez de agua para la agricultura, debido a las precauciones adoptadas para garantizar el abastecimiento de núcleos de población como Soria y Aranda de Duero.
- En el año 2001/02 se regó con menos de la mitad de agua utilizada habitualmente, estableciendo turnos rigurosos, incluso en los regadíos concesionales. Hubo grandes problemas y dificultades de riego en la cola del Canal de Guma. Este hecho se ve corroborado por la situación del índice en la zona de emergencia.

Se puede concluir que, comparándolo con los acontecimientos históricos registrados, el comportamiento del índice de estado elegido se ajusta al comportamiento real del Sistema.

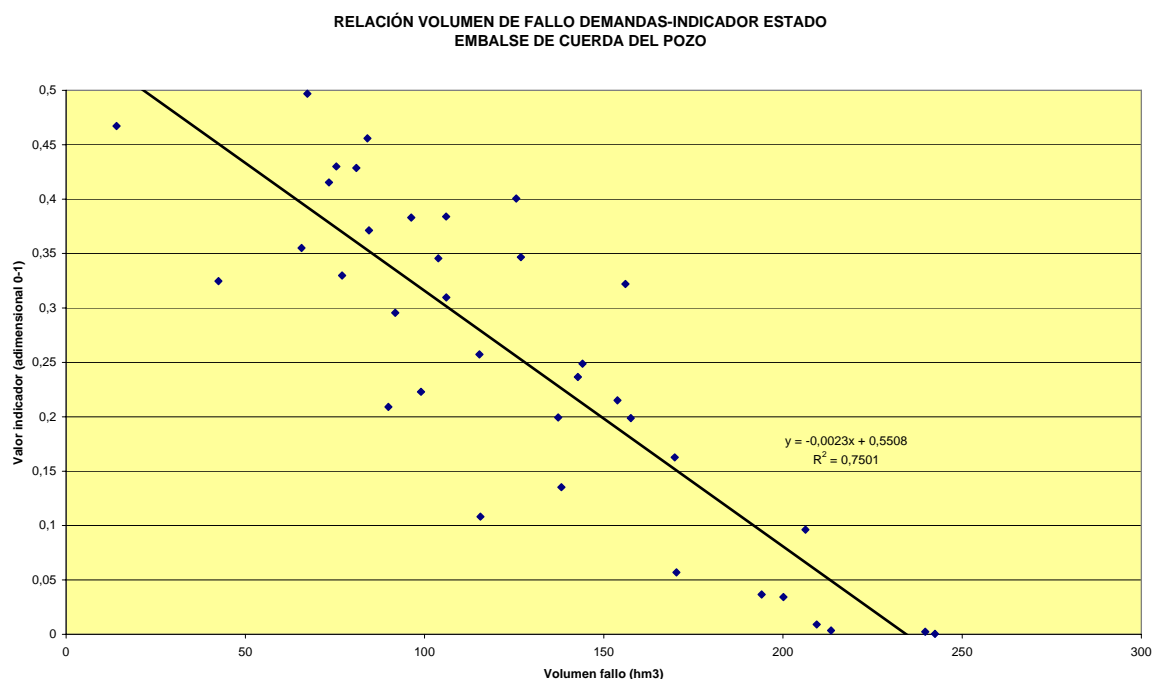
Como en el resto de los sistemas, se ha realizado la simulación. Se toman las aportaciones de entrada al embalse de Cuerda del Pozo y las demandas que figuran en el Capítulo 2 del presente Plan, de esta forma se han estimado los déficit anuales asociados a un valor de índice de estado anual medio. Los resultados de la correlación (índice de estado medio – volumen de déficit anual) se presentan en la Tabla 8 y en la Figura 26, donde se puede

observar una correlación lineal entre ambas variables aunque con valores significativos de dispersión.

Tabla 8. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Alto Duero)

AÑO	Volumen	Indice	AÑO	Volumen	Indice
1958-59	137	0,20	1982-83	73	0,42
1959-60	0	0,79	1983-84	90	0,21
1960-61	0	0,84	1984-85	8	0,71
1961-62	19	0,75	1985-86	92	0,30
1962-63	99	0,22	1986-87	156	0,32
1963-64	143	0,24	1987-88	77	0,33
1964-65	154	0,22	1988-89	213	0,00
1965-66	0	0,85	1989-90	206	0,10
1966-67	81	0,43	1990-91	115	0,26
1967-68	96	0,38	1991-92	170	0,16
1968-69	14	0,47	1992-93	144	0,25
1969-70	106	0,31	1993-94	126	0,40
1970-71	116	0,11	1994-95	158	0,20
1971-72	42	0,32	1995-96	37	0,56
1972-73	104	0,35	1996-97	106	0,38
1973-74	138	0,14	1997-98	75	0,43
1974-75	170	0,06	1998-99	209	0,01
1975-76	200	0,03	1999-00	127	0,35
1976-77	20	0,64	2000-01	41	0,69
1977-78	66	0,36	2001-02	242	0,00
1978-79	0	0,78	2002-03	26	0,59
1979-80	84	0,37	2003-04	84	0,46
1980-81	194	0,04	2004-05	240	0,00
1981-82	67	0,50			

Figura 26. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Alto Duero)



5.6.8. Sistema de explotación de Riaza

En el sistema de explotación de Riaza se han elegido dos indicadores: las aportaciones (entradas) acumuladas a seis meses en el embalse de Linares del Arroyo (río Riaza) y en el embalse de Burgomillodo (río Duratón).

La evolución de los indicadores elegidos se representa en los siguientes gráficos. (Figura 27 y Figura 28).

Figura 27. Evolución del índice de estado del embalse de Linares del Arroyo

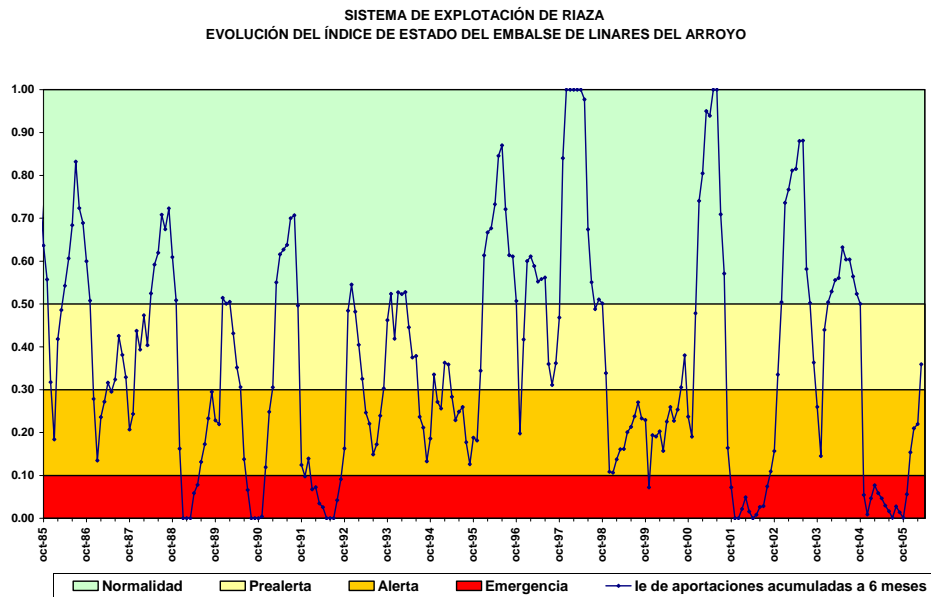
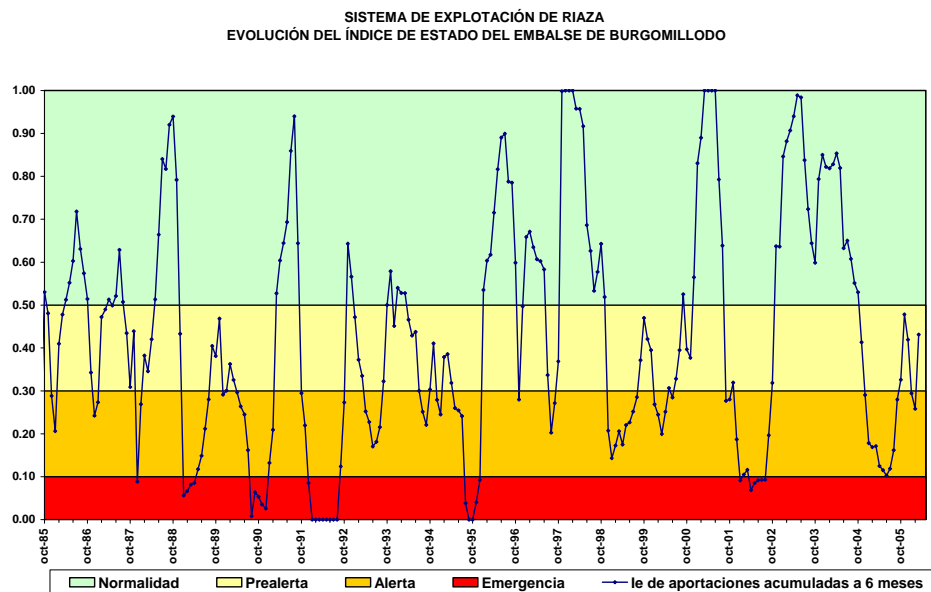
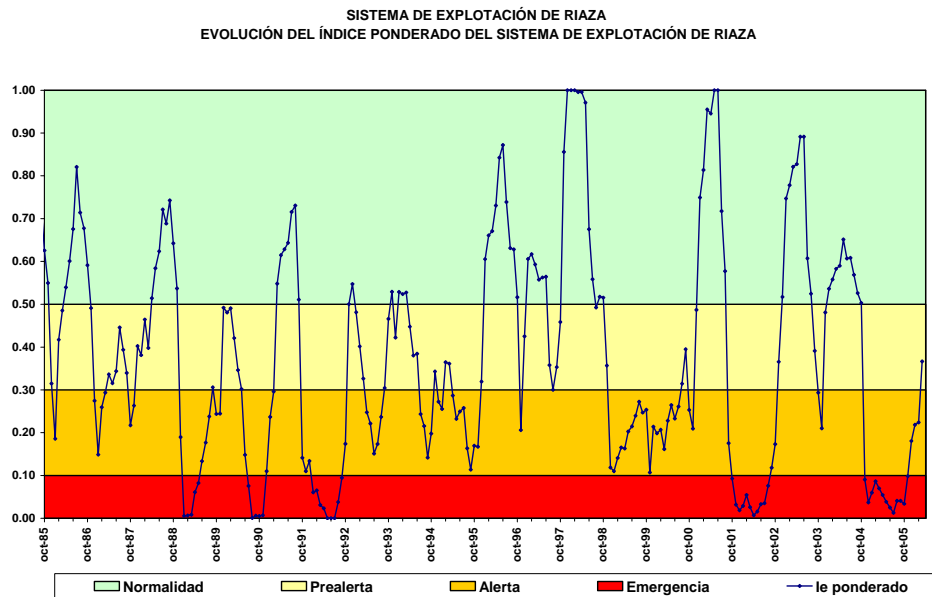


Figura 28. Evolución del índice de estado del embalse de Burgomillodo



Al objeto de sintetizar los resultados de los índices de estado del Sistema de explotación en un único indicador representativo, se han ponderado los valores de Índice de Estado obtenidos para cada indicador, proporcionalmente a las demandas de cada uno, 90% para el indicador de Linares del Arroyo y 10% para el indicador de Burgomillodo.

Figura 29. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Rianza



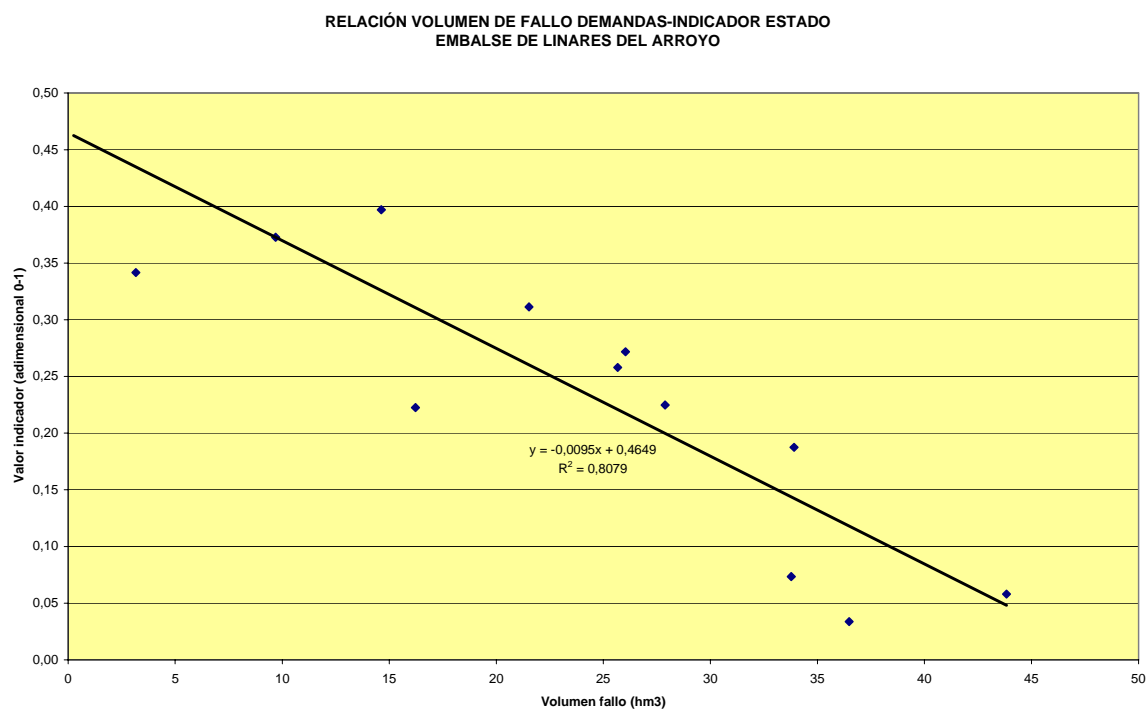
El índice ponderado muestra gran sensibilidad a los periodos de escasez, puesto que entra un gran número de ocasiones en la zona de alerta, debido a la menor inercia del sistema ligada a menores capacidades de los embalses.

- En febrero de 1989, en general en toda la cuenca, se evidenciaron problemas con la calidad de las aguas.
- En junio de 1990, en una situación similar al año anterior, la Confederación no esperaba problemas en la campaña de regadío. El canal del Duero presentaba escasez de agua para la agricultura debido al abastecimiento de núcleos de población. El índice, en esta situación, presenta una tendencia descendente, llegando a entrar en zona de emergencia al final del año hidrológico.
- El año 1998/99 fue un año seco en general para toda la cuenca, como se comprueba en muchos sistemas de explotación, sin embargo en el sistema de Rianza no llega a alcanzar el nivel de emergencia, lo que se corrobora con las sequías históricas ya que en marzo no se esperaban problemas para la campaña de riegos.
- El año 2004/05 fue un año deficitario, como queda de manifiesto por la situación de los valores del índice que entra en la zona de emergencia. En marzo de 2005 Linares del Arroyo se encontraba entre los embalses que almacenaban menos agua, por lo que se planteaba una campaña de riego estricta. En julio de 2005 Rianza solicitó camiones cisterna para hacer frente a la sequía, además en el sistema de explotación se acordó que todos los regadíos, incluidos los concesionales, solo podrían ser atendidos en semanas alternas, cuando se produjeran los desembalses, hasta septiembre.

Las demandas asociadas al indicador de Burgomillodo suponen un 10 % de las del sistema además al ser este embalse hidroeléctrico no se puede simular una regulación. Dado que la mayor parte de la demanda, el 90%, es cubierto por Linares del Arroyo, para calibrar el indicador del sistema de explotación de Riaza se ha realizado un cálculo teniendo en cuenta las aportaciones de entrada al embalse de Linares del Arroyo y las demandas fijadas en el Capítulo 2 del presente Plan. De esta forma se consigue asociar al índice anual medio de aportaciones al embalse de Linares del Arroyo con el déficit anual calculado, obteniéndose una correlación lineal como se muestra en la Figura 30.

Tabla 9. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Riaza)

AÑO	Volumen	Indice	AÑO	Volumen	Indice
1979-80	0	0,79	1992-93	22	0,31
1980-81	0	0,52	1993-94	15	0,40
1981-82	0	0,41	1994-95	26	0,26
1982-83	10	0,37	1995-96	0	0,59
1983-84	0	0,50	1996-97	0	0,47
1984-85	0	0,80	1997-98	0	0,79
1985-86	0	0,56	1998-99	16	0,22
1986-87	3	0,34	1999-00	28	0,22
1987-88	0	0,50	2000-01	0	0,65
1988-89	34	0,19	2001-02	36	0,03
1989-90	26	0,27	2002-03	0	0,61
1990-91	0	0,42	2003-04	0	0,49
1991-92	44	0,06	2004-05	34	0,07

Figura 30. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Riaza)

5.6.9. Sistema de explotación de Adaja – Cega

Los indicadores elegidos en el sistema de explotación de Adaja – Cega son las aportaciones acumuladas en seis meses del aforo 2046, situado en el río Adaja, y las entradas al embalse del Pontón Alto, situado en el río Eresma.

Como se ha explicado anteriormente, en este sistema, dado el fuerte uso de agua subterránea que se realiza, en particular para usos agrarios, sería de sumo interés incorporar indicadores que reflejen el comportamiento de los acuíferos. Sin embargo, dada la escasa representatividad temporal de las series hasta ahora registradas se deja esta opción para futuras actualizaciones del Plan Especial.

Figura 31. Evolución del índice de estado de la estación de aforos 2046

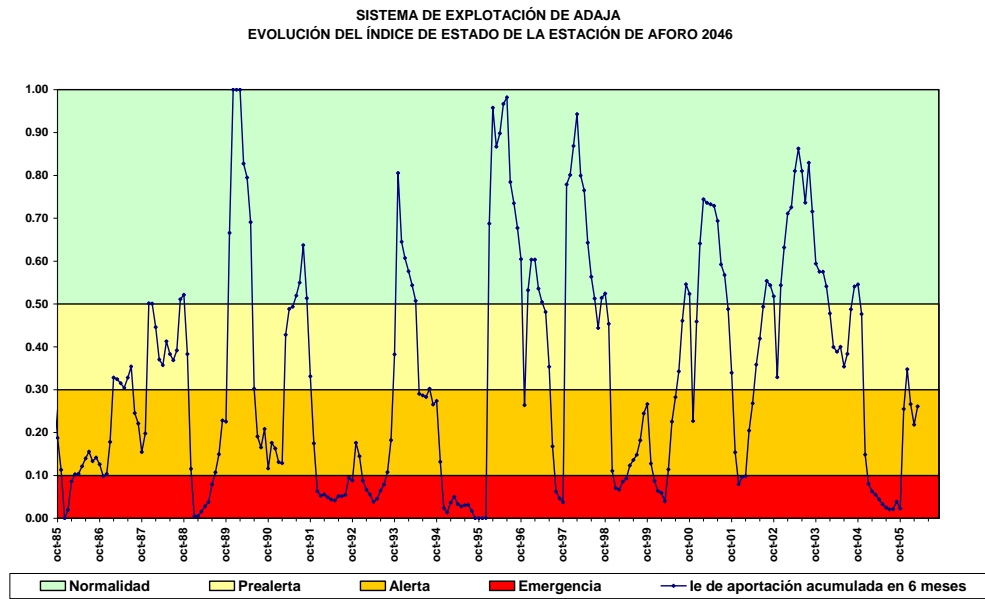
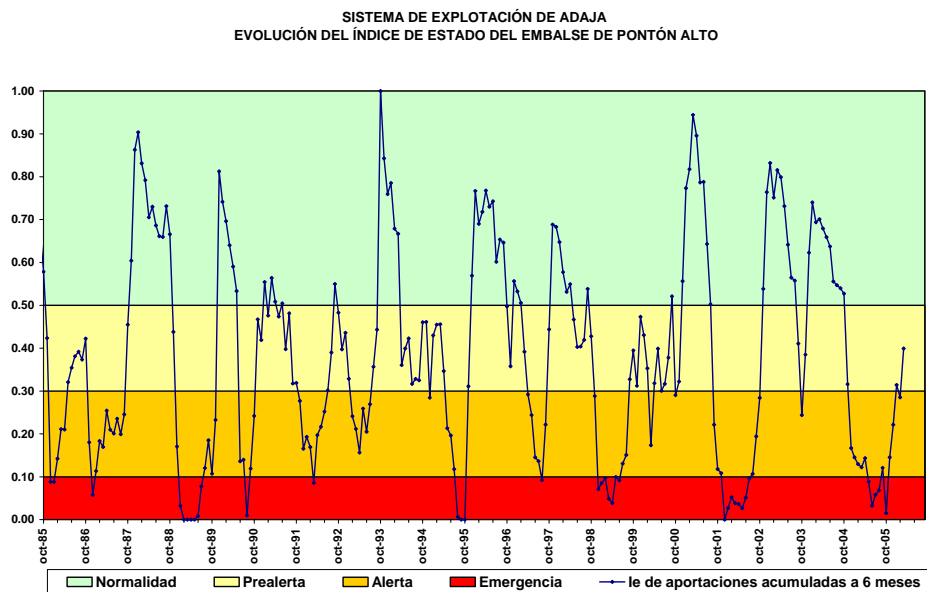
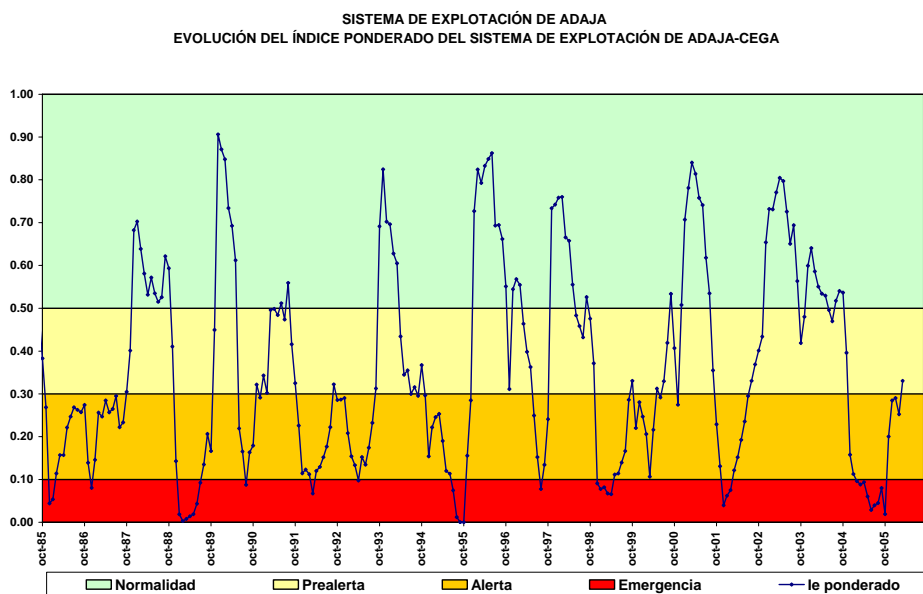


Figura 32. Evolución del índice de estado de las entradas al embalse de Pontón Alto



Para sintetizar los resultados de los indicadores del sistema de explotación en un único indicador representativo, se han ponderados los valores de Índice de Estado obtenidos para cada indicador, dando el mismo peso a los dos indicadores (0,50) ya que la entidad de los abastecimientos es del mismo orden.

Figura 33. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Adaja -Cega



En el gráfico (Figura 33) se observa una gran sensibilidad del indicador a los periodos de sequía, debido a las menores reservas reguladoras, encontrándose el índice, la mayor parte del tiempo, en las zonas de alerta y emergencia.

- En febrero de 1992 los embalses de Segovia estaban entre los que presentaban más problemas. En marzo el Ayuntamiento de Segovia ordenó cortar las fuentes públicas y prohibió el riego en parques y jardines fuera del periodo determinado, en junio la situación del campo segoviano era cada vez más alarmante. El índice en este periodo se mueve entre las zonas de alerta y emergencia, encontrándose en el mes de marzo, cuando se produjeron los cortes de suministro en Segovia, en emergencia.
- En enero de 1993 Ávila comienza a sufrir las consecuencias de las restricciones y en la provincia de Ávila hubo casi 6.000 habitantes abastecidos por cisternas en el año 1993. Teniendo en cuenta la evolución del índice se puede observar que el sistema de explotación no se llegó a recuperar del mal periodo del año anterior.
- Durante el año 2004/05 los valores del índice se encuentran en la zona de emergencia. En marzo de 2005, la presa de Puente Alta, que abastece a Segovia, desde el río Frío, se encontraba a un quinto de su capacidad, por lo que los responsables municipales tuvieron que plantearse nuevas formas de abastecimiento. En junio varios pueblos de Segovia anunciaron restricciones ante la escasez de lluvias. A lo largo del mes de agosto, la provincia de Segovia se encontraba, entre las más afectadas por la sequía.

Se puede concluir que el índice de estado muestra una evolución acorde con las sequías históricas de las que se ha podido obtener información del sistema de explotación de Adaja-Cega.

Al no tener grandes embalses reguladores, no se ha podido realizar una correlación entre los valores del índice de estado anual medio y los déficit anuales asociados.

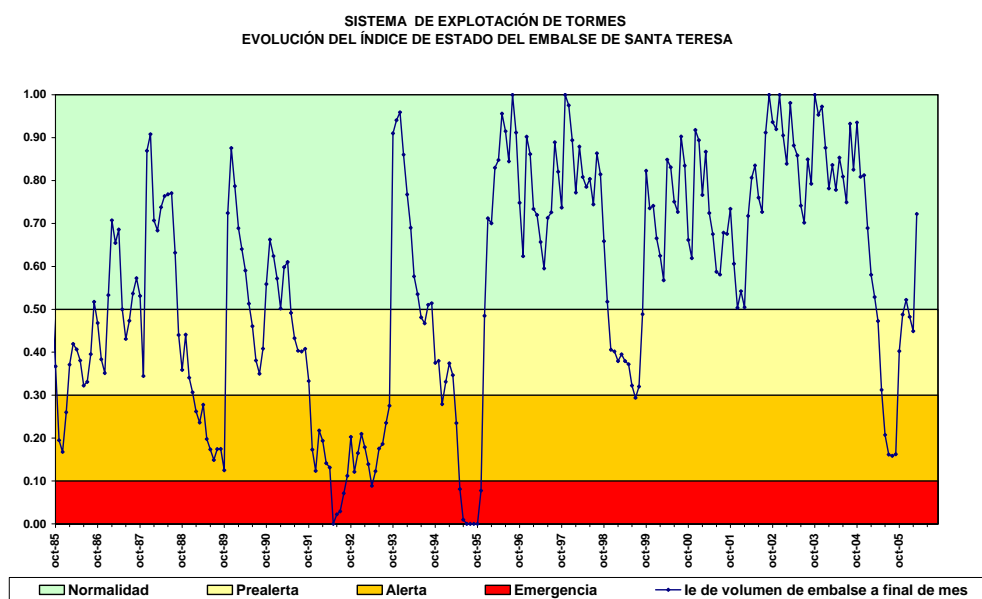
5.6.10. Sistema de explotación de Bajo Duero

Las demandas existentes en el sistema de explotación del Bajo Duero se abastecen con aguas reguladas por los embalses de Cervera, Requejada y Aguilar pertenecientes al sistema de explotación de Pisuerga, por lo tanto, se considera que para el Bajo Duero el indicador más adecuado es el mismo que para el Pisuerga, es decir, la suma de los volúmenes de embalse almacenados a fin de mes en Cervera, Requejada y Aguilar.

5.6.11. Sistema de explotación de Tormes

El indicador elegido para el sistema de explotación de Tormes es el volumen almacenado a final de mes en el embalse de Santa Teresa.

Figura 34. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Tormes



El indicador se sitúa la mayor parte del tiempo en la zona de normalidad. Se observa una mayor inercia que en indicadores de los sistemas anteriores, al mayor volumen de reservas reguladoras.

- En febrero de 1989, en general en toda la cuenca, se registraron problemas con la calidad de las aguas. En Salamanca se tuvieron que tomar restricciones por la incapacidad de las instalaciones existentes para depurar convenientemente el agua de los ríos. Se propuso limitar los caudales desembalsados, a pesar de lo cual, en marzo, la provincia de Salamanca presentaba una situación muy deficitaria. En esta situación el índice se encuentra en la zona de alerta con una tendencia descendente.

- En febrero de 1992 los embalses de Salamanca eran de los que presentaban mayores problemas, en marzo Salamanca era la provincia que presentaba dificultades más graves para el abastecimiento. En ese momento la situación era de alerta con una tendencia descendente que situaba los valores del índice en la zona de emergencia.
- En 1993 Salamanca se encontró entre las provincias más afectadas, con unos 8.000 habitantes abastecidos con cisternas. En febrero la sequía produjo pérdidas en la agricultura y ganadería en la provincia de Salamanca. En el mes de mayo se prohibió regar en el Alto Tormes, habiéndose alcanzado el nivel de emergencia en abril. Se puede observar que los valores del índice no llegaron a recuperarse del mal año anterior.
- En noviembre de 1995 se fue disminuyendo paulatinamente el caudal de desembalse de Santa Teresa al objeto de garantizar el abastecimiento a la ciudad de Salamanca. El índice de estado se situaba en emergencia, pero llegaron las lluvias y se recuperó el embalse, lo cual se ve reflejado en un aumento en el valor del índice, que pasa a situarse en la franja de normalidad. En Salamanca, en el mes de noviembre, se dieron graves problemas con la escasez de agua, por lo que se llegaron a plantear restricciones.
- En el año 2004/05 se observa una caída de los valores del índice desde la zona de normalidad a la de alerta, lo que se traduce en que en julio de 2005 se produjeran dificultades para regar desde el canal de la Maya y en agosto la población de Guijuelo tuvo que activar unas medidas de emergencia.

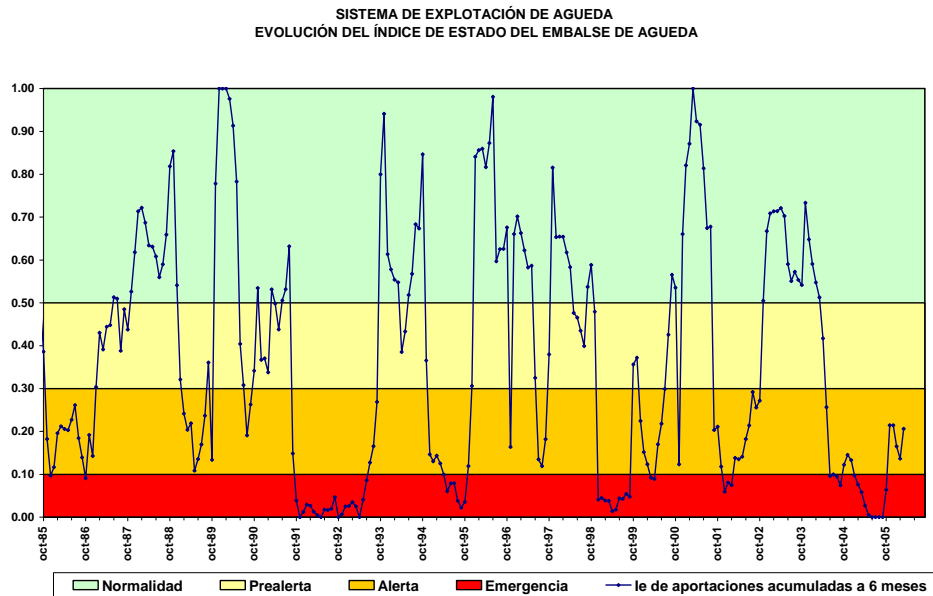
Se puede concluir que la evolución del índice se ajusta sensiblemente a los acontecimientos producidos en el sistema de explotación.

5.6.12. Sistema de explotación de Águeda

Se ha elegido como indicador del sistema de explotación del Águeda las aportaciones al embalse de Águeda acumuladas a seis meses.

A continuación se presenta el gráfico con la evolución de dicho índice (Figura 35).

Figura 35. Evolución del índice de estado del sistema de explotación de Águeda

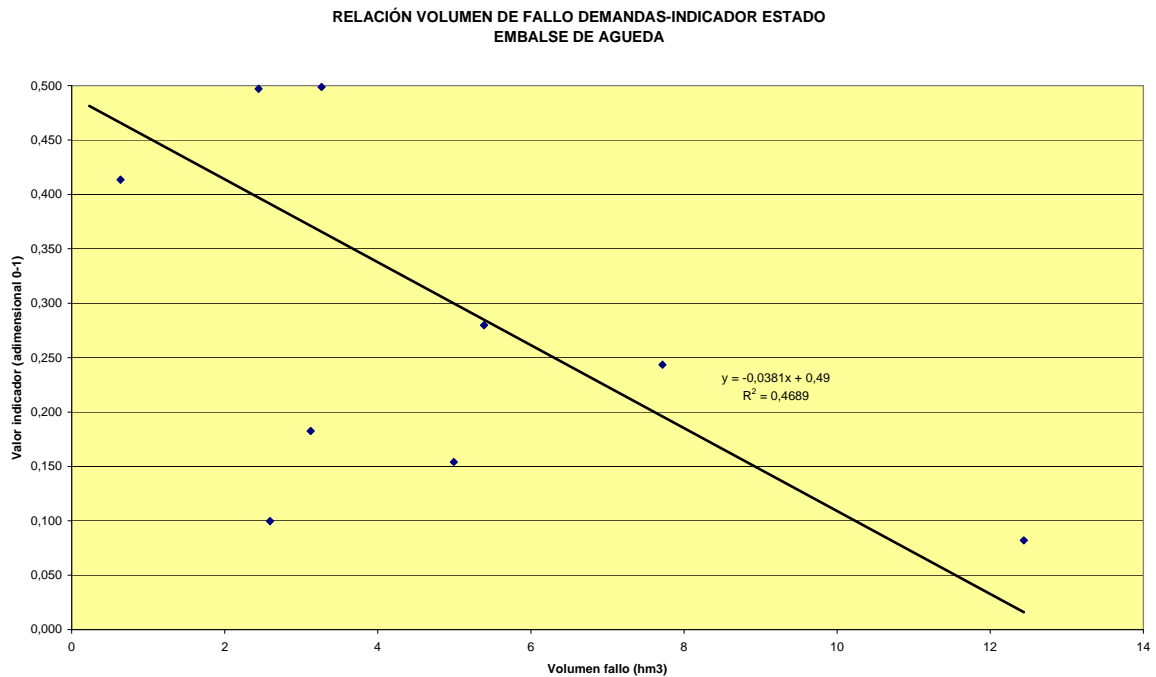


Para calibrar este índice de estado se ha calculado una regulación sencilla tomando las aportaciones de entrada que se han tenido en cuenta para el cálculo del índice y las demandas fijadas en Anexo I del presente Plan. De esta forma se consigue la correlación lineal entre el índice de estado medio anual y los déficit anuales calculados, aunque con unos valores de dispersión muy elevados (Tabla 10, Figura 36).

Tabla 10. Relación volumen en fallos en suministro frente a índice de sequía medio anual (S.E. Águeda)

AÑO	Volumen	Indice	AÑO	Volumen	Indice
1958-59		2 0,50	1982-83		0 0,32
1959-60		0 0,59	1983-84		0 0,48
1960-61		0 0,51	1984-85		0 0,56
1961-62		0 0,47	1985-86		0 0,20
1962-63		0 0,45	1986-87		0 0,36
1963-64		0 0,64	1987-88		0 0,62
1964-65		8 0,25	1988-89		0 0,35
1965-66		0 0,59	1989-90		0 0,65
1966-67		0 0,41	1990-91		0 0,44
1967-68		0 0,35	1991-92		6 0,02
1968-69		0 0,58	1992-93		5 0,07
1969-70		0 0,36	1993-94		0 0,61
1970-71		0 0,44	1994-95		0 0,18
1971-72		3 0,52	1995-96		0 0,63
1972-73		0 0,37	1996-97		0 0,45
1973-74		0 0,51	1997-98		0 0,56
1974-75		0 0,36	1998-99		0 0,12
1975-76		3 0,10	1999-00		0 0,26
1976-77		0 0,52	2000-01		1 0,69
1977-78		0 0,60	2001-02		0 0,16
1978-79		0 0,82	2002-03		0 0,61
1979-80		0 0,27	2003-04		0 0,38
1980-81		12 0,09	2004-05		2 0,06
1981-82		3 0,18			

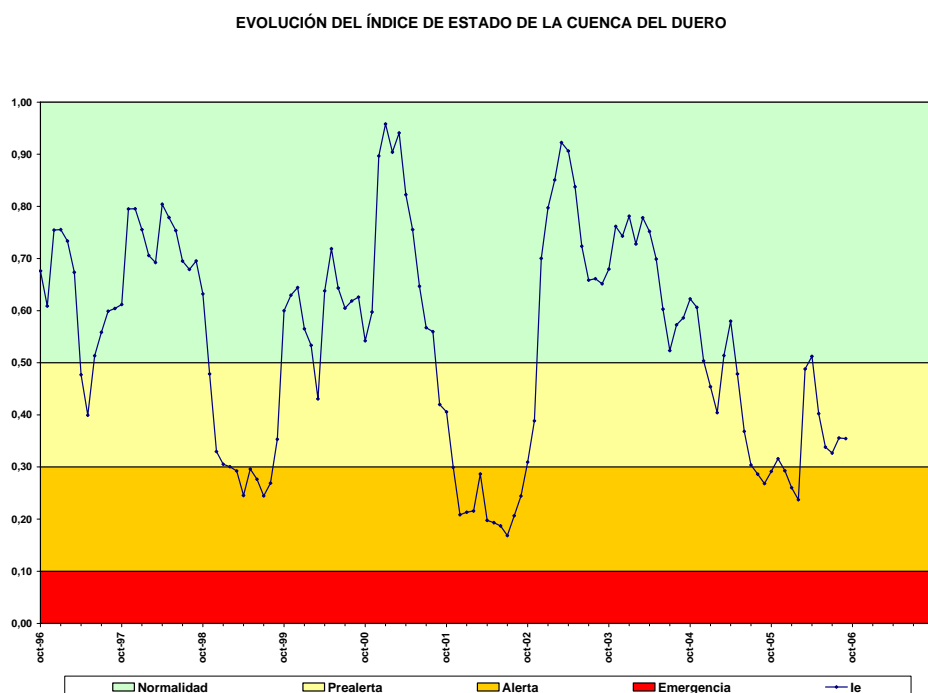
Figura 36. Relación entre el índice de estado y el volumen de fallo (S.E. de Águeda)



5.6.13. Cuenca del Duero

El indicador global de la cuenca se obtiene a través de los coeficientes de ponderación presentados en el epígrafe 5.5 del presente documento, basados en la demanda. El resultado obtenido se presenta en la Figura 37.

Figura 37. Evolución del índice de estado de la cuenca del Duero



Independientemente de este indicador, el *Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas*, hecho en Albufeira el 30 de noviembre de 1998, establece, “hasta que estudios más rigurosos permitan recomendar otra solución”, una combinación de tres pluviómetros, ponderados con pesos iguales (33,3%), para valorar la precipitación de referencia en la cuenca del Duero. Estos pluviómetros, incluidos en la red sinóptica que opera el Instituto Nacional de Meteorología, son, como ya se ha señalado anteriormente:

- Salamanca (Matacán)
- León (Virgen del Camino)
- Soria (Observatorio)

Así, el régimen de caudales que se establece en el artículo 3 del Protocolo Adicional del citado Convenio de Albufeira, no es obligatorio cumplirlo cuando se dan las circunstancias de excepcionalidad.

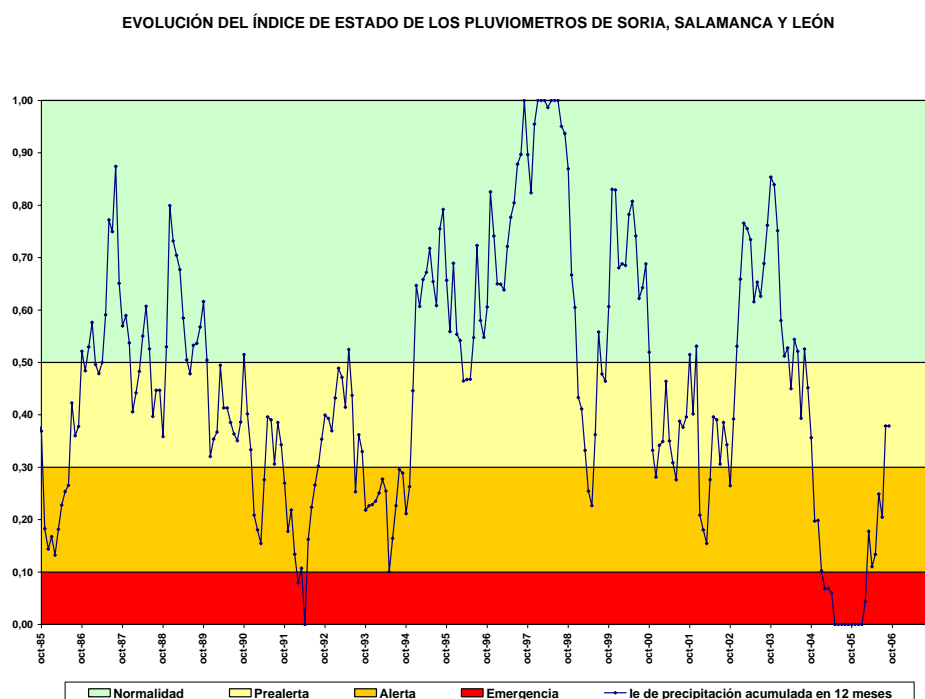
Se entra en excepción cuando se verifica que la precipitación de referencia acumulada en la cuenca desde el inicio del año hidrológico (1 de octubre) hasta el 1 de junio sea inferior al 65% de la precipitación media acumulada en la cuenca para el mismo periodo.

El periodo de excepción se considera concluido a partir del mes siguiente a diciembre en que la precipitación de referencia acumulada en la cuenca desde el inicio del año hidrológico sea superior a la precipitación media acumulada en la cuenca en el mismo periodo.

En consecuencia, resulta mucho más fácil salir de la excepción que entrar en ella; y la combinación planteada de esos tres pluviómetros se viene utilizando como un indicador general del estado de la cuenca española del Duero. Es deseable, por consiguiente, que exista un cierto paralelismo expresivo entre los resultados de los indicadores expuestos en este capítulo y la información que ofrecen estos pluviómetros.

A continuación se presenta la gráfica del índice de estado realizado con los tres pluviómetros mencionados. Se consideran las precipitaciones acumuladas a 12 meses y se ponderan a un 33,3% cada pluviómetro.

Figura 38. Evolución del índice de estado de los tres pluviómetros del Convenio de Albufeira



La evolución del índice para la cuenca, utilizando los pluviómetros de referencia fijados en el Convenio de Albufeira (Figura 38), se encuentra principalmente en las zonas de normalidad y prealerta, poniendo de manifiesto que la cuenca del Duero no ha tenido grandes problemas con las sequías. Las peores épocas coinciden con la sequía de los años noventa, que afectó a toda España, destacándose el año 1991/92, que fue el peor del ciclo, y la sequía iniciada en el año hidrológico 2004/2005.

Durante el periodo de vigencia del Convenio de Albufeira, desde el 17 de enero de 2000 hasta la actualidad, se ha registrado una situación de excepción que comenzó en junio de 2005. Esta situación viene a corresponder a grandes rasgos con la entrada en la zona de alerta del indicador combinado para toda la cuenca.

Por otra parte, en el artículo 19 del citado Convenio se plantean las formas de actuar en situaciones de sequía y escasez de recursos que guardan relación con el propósito de este Plan Especial. Así, los dos Estados deberán coordinar sus actuaciones para prevenir y controlar las situaciones de sequía y escasez, establecerán mecanismos excepcionales para mitigar los efectos de las mismas y definirán la naturaleza de las excepciones al régimen general establecido en el Convenio. Estos mecanismos excepcionales incluirán, entre otros asuntos, la utilización de indicadores que permitan caracterizar las situaciones de sequía y escasez de manera objetiva.

El indicador general de los tres pluviómetros es, sin duda, sencillo y eficaz, pero puede estar sometido a las irregularidades climáticas locales, ya que con tan solo tres puntos de control cualquier fenómeno local puede introducir una apreciable desviación respecto a los valores representativos. Este aspecto, que debe ser analizado, no ha sido considerado hasta el momento en la preparación de este Plan Especial. El Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua se encuentra realizando estudios técnicos que permitirán avanzar próximamente en esta cuestión, así como en el régimen de caudales que está comprometido con la parte portuguesa. Los citados trabajos se realizan en apoyo a los organismos de cuenca españoles implicados, con la participación activa de las Oficinas de Planificación Hidrológica correspondientes. Los resultados, si así se estima conveniente, podrán ser incorporados al Plan Especial en futuras revisiones.

5.6.14. Tiempo de permanencia de la sequía

Analizando la evolución de los indicadores se concluye que la puesta en marcha de las medidas, debidas a un cambio de estado en cualquiera de los sistemas, se iniciará al segundo mes consecutivo de permanencia en el estado o cuando tras un mes de permanencia el indicador evolucione al nivel de intensidad siguiente, entendiendo en este caso que el conjunto de medidas que se activa corresponden al nivel de intensidad menor.