

ANEXO V

ANÁLISIS DE LAS POTENCIALIDADES HIDROLÓGICAS DEL SISTEMA YESA-BARDENAS

ÍNDICE

1.- Introducción	3
2.- COMENTARIOS AL INFORME SOBRE EL RECRECIMIENTO DE YESA PRESENTADO POR EL GOBIERNO DE ARAGÓN	3
2.1.- Capacidad de conducción del canal de bardenas:	3
2.2.- caudales ambientales.....	6
2.3.- Afecciones al núcleo urbano de Sigües	6
3.- Elementos considerados en los modelos de simulación.	7
3.1.- Aportaciones	7
3.2.- Infraestructuras de regulación existentes	9
3.2.1.- Presa de Malvecino	9
3.2.2.- Presa de La Berné.	9
3.2.3.- Presa de Carcastillo.....	10
3.3.-Propuesta de nuevas infraestructuras de regulación	10
3.4.- Características técnicas de los embalses en los modelos de simulación.....	14
3.5.- Infraestructura de transporte	15
3.6.- Aprovechamientos Hidroeléctricos.....	15
3.7.- Explicación de las Garantías	15
3.8.- Caudales ambientales.....	16
3.9.- Demandas de los regadíos tradicionales del río Aragón.....	16
3.10.- Abastecimiento a Zaragoza.....	16
3.11.- Abastecimiento a los municipios de Bardenas.....	16
3.12.- Usos Industriales	17
3.13.- Demandas para usos agrarios.....	17
3.14.- Escenarios de simulación	18
4.- RESULTADOS DEL PROCESO DE SIMULACIÓN	19
4.1.-Escenario “SITUACIÓN ACTUAL”:	19
4.1.2.- Situación actual pero con los embalses de regulación interna previsto en la planificación oficial.....	20
4.1.3.- situación actual con los embalses laterales previsto en la planificación oficial y el abastecimiento a zaragoza.....	22
4.2.- Escenario “HORIZONTE AÑO 2008”:.....	23
4.3.- Escenario “HORIZONTE AÑO 2015”	24
4.4.- Escenario “HORIZONTE 2020”:	25
4.5.- Escenario “HORIZONTE 2020 PLUS”:	27
4.7.- Otros Escenarios simulados:	29
BIBLIOGRAFÍA.....	30

1.- INTRODUCCIÓN

En este apartado se contrasta para los escenarios de cultivos y necesidades hídricas planteados en el “Anexo II Análisis de los requerimientos (Demandas)” las disponibilidades de los recursos hídricos existentes para el sistema Yesa-Bardenas, principalmente los embalses de Yesa y los embalses laterales de Malvecino, La Verné, Carcastillo y los que a lo largo de este trabajo se vayan incluyendo. Es decir, a partir de los caudales que se almacenan en el embalse de Yesa se intenta comprobar si estos son suficientes para atender los requerimientos de los usuarios existentes. Los usuarios están comprendidos por: usos urbanos, usos agrícolas, usos industriales y aprovechamientos hidroeléctricos

Los escenarios son un conjunto de hipótesis susceptibles de convertirse en realidad con el tiempo según evolucionen parámetros tales como caudales disponibles en el río Aragón por encima de Yesa, cultivos que se siembren en la zona de Bardenas, construcción o no de determinadas infraestructuras, además del conjunto de infraestructuras ya existentes, tales como embalses, canales y centrales hidroeléctricas.

Este proceso se lleva a cabo mediante modelos matemáticos de simulación que intentan reflejar los diferentes escenarios planteados. Para la realización de las simulaciones se ha empleado un paquete informático de modelización matemática para cuencas complejas. De los muchos existentes en el mercado se ha optado por el software desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia: el modelo matemático SMGES.

De esta forma se puede analizar la disponibilidad de caudales para atender los diferentes usos que existen en Bardenas.

2.- COMENTARIOS AL INFORME SOBRE EL RECRECIMIENTO DE YESA PRESENTADO POR EL GOBIERNO DE ARAGÓN

2.1.- Capacidad de conducción del canal de bardenas:

El Canal de las Bardenas es la arteria principal del sistema Yesa-Bardenas. Se trata de la conducción que sirve los caudales almacenados en Yesa a regadíos, abastecimientos urbanos e industria. Por lo tanto, se trata de una pieza fundamental en el sistema que se está analizando.

En el “Informe sobre el recrecimiento de Yesa” de abril de 2004 presentado por el Gobierno de Aragón también emplea se un modelo de simulación para analizar las posibilidades del embalse de Yesa una vez haya sido recrecido. En su planteamiento asigna una capacidad de 64 m³/seg al Canal de las Bardenas.

Sin embargo en la planificación oficial, Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, Plan Hidrológico Nacional, la capacidad empleada fue de 60 m³/seg, que en principio es la que debería tener.

Para la elaboración del presente estudio se ha consultado diversos expertos en el sistema Yesa-Bardenas, y la opinión generalizada de los mismos ha sido que dicho canal puede transportar, con total garantía 52 m³/seg, y que las únicas veces que ha llevado 60 m³/seg ha sido cuando se han hecho pruebas en el sistema. No obstante, también podría soportar un caudal de 54 m³/seg, pero no de manera continua durante los meses de julio y agosto.

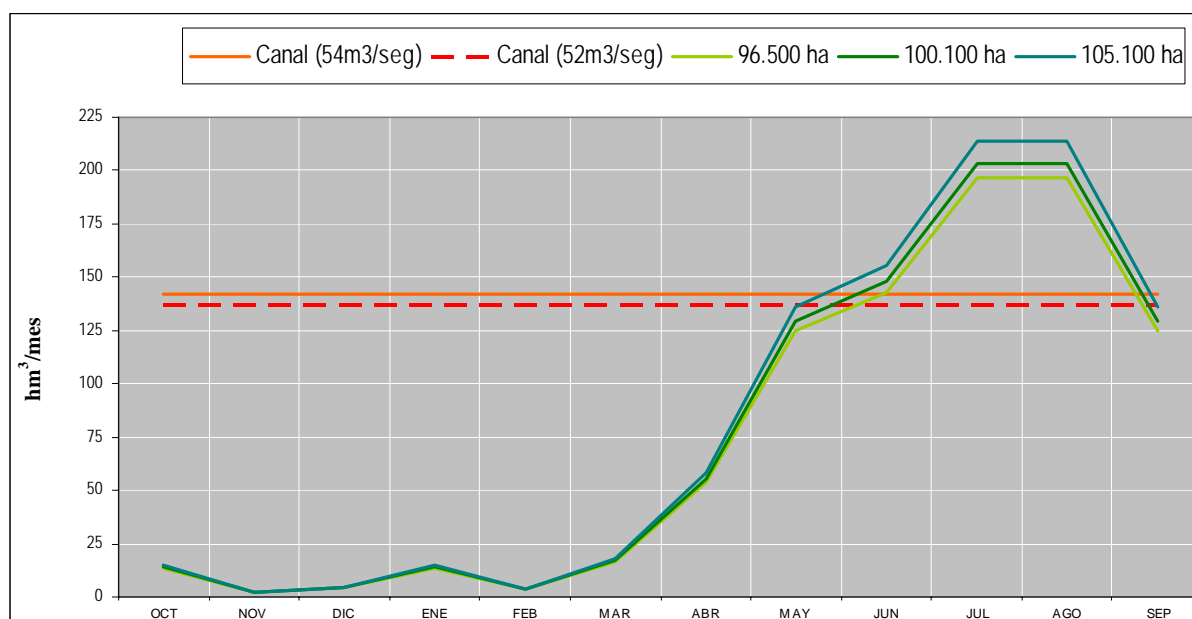
Se trata por tanto de un dato de especial trascendencia. Para la elaboración del presente trabajo se ha solicitado a los organismos oficiales competentes que nos indicaran cual es la capacidad de transporte máxima del Canal de las Bardenas, pero hasta la fecha de redacción de este documento no se ha recibido contestación oficial.

Se considera la opinión de los expertos consultados con suficiente peso como para ser tenidas en cuenta, máxime si se trata de personas relacionadas con la explotación de dicho canal.

Por tanto, parece lógico utilizar como capacidad máxima la de 52 m³/seg, o a lo sumo 54 m³/seg.

En el siguiente gráfico se contrasta la capacidad del canal frente a las demandas mensuales, según las dotaciones planteadas en el Informe del Gobierno de Aragón.

La línea recta discontinua representa la capacidad del canal de 52 m³/seg; la línea recta continua por encima de la anterior representa una capacidad de conducción de 54 m³/seg. La primer curva representa la modulación mensual de demandas para un escenario de 96.600 hectáreas. La siguiente curva lo hace para 100.100 hectáreas. La curva más alta refleja la modulación mensual de la demanda de 105.100 hectáreas, que son los tres escenarios de hectáreas manejados en el mencionado informe.



Como puede observarse las demandas a atender durante los meses de junio, julio y agosto son superiores a la capacidad que tiene el canal para atenderlas.

La solución propuesta en el propio informe ha sido bien aumentar la capacidad del canal o bien hacer embalses laterales en el sistema de riego, inclinándose por ésta última alternativa.

Para ver la incidencia que la capacidad del canal puede tener en los escenarios presentados, en el mencionado informe, se han repetido las simulaciones que en el mismo se incluyen, pero introduciendo una capacidad de conducción del canal de Bardenas más acorde a su explotación diaria de $52 \text{ m}^3/\text{seg}$. Y los resultados obtenidos son bastante reveladores.

Para los escenarios de 95.600 hectáreas la garantía de suministro es del 5,6%, sirviéndose como máximo el 87% del volumen requerido. Esta garantía es inaceptable y no se pueden atender las necesidades fundamentalmente en los meses de julio y agosto.

En el caso de que se tratara de 100.100 hectáreas la garantía de suministro es del 1,8%, y tan solo se sirve un 84% del volumen demandado.

Cuando nos situamos en el umbral de las 105.000 hectáreas la garantía de suministro es nula. Lo que representa una quiebra total del sistema.

Cuando en estos escenarios se introduce un embalse lateral en el sistema de riego que pueda superar las deficiencias del canal se obtienen los siguientes resultados.

Para los escenarios de 95.600 hectáreas se hace necesario introducir un embalse lateral de aproximadamente 60 hm^3 de capacidad para obtener una garantía de suministro del 80%. Garantía ésta mínimamente aceptable.

Cuando no situamos en el entorno de de las 100.100 hectáreas en embalse lateral ha de tener una capacidad de aproximadamente 100 hm^3 para alcanzar una garantía del 84%.

Se concluye por tanto que el canal debido a su capacidad de conducción se muestra como un auténtico cuello de botella, impidiendo atender los requerimientos en los meses de máxima demanda. Siempre dentro de los escenarios del informe referido y con una capacidad máxima del canal entre 52 y $54 \text{ m}^3/\text{seg}$. Aunque esta capacidad de $54 \text{ m}^3/\text{seg}$ es poco probable que se mantenga continuamente durante un periodo muy largo de dos meses seguidos.

Otra cuestión relevante es la ubicación del mencionado embalse, pues la garantía varía dependiendo cual sea su ubicación. Además, no se ha tenido en cuenta el coste de este nuevo embalse.

A la vista de estos resultados parece aconsejable que el Gobierno de Aragón revise el informe presentado para que tenga en cuenta los condicionantes debidos a la falta de capacidad de transporte. Por que lo que está meridianamente claro es que el Canal de las Bardenas no tiene una capacidad de $64 \text{ m}^3/\text{seg}$, a no ser que se recrezca, cuestión ésta que el propio informe desaconseja, por el elevado coste y los impactos medioambientales que conlleva dicho recrecimiento.

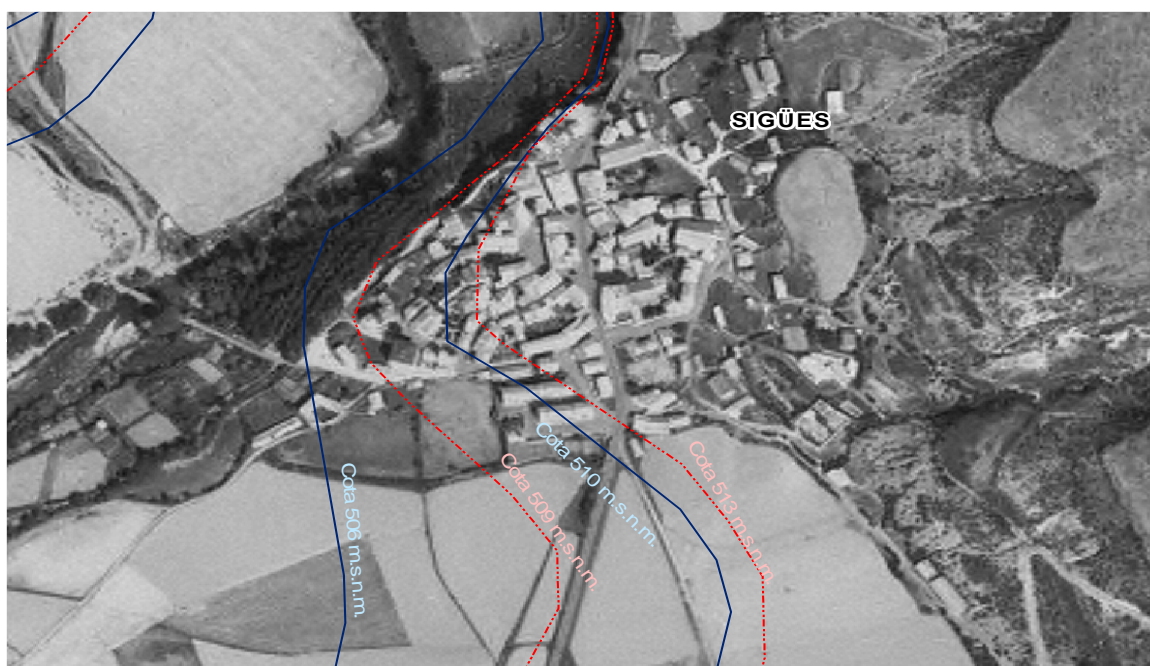
2.2.- caudales ambientales

La transposición de la Directiva Marco del Agua al derecho español supondrá la obligatoriedad de mantener unos caudales en los ríos que permitan recuperar su “Estado Ecológico Natural”. No es la primera vez que se explicita legalmente esta necesidad. El propio Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro define los caudales o volúmenes de compensación como aquellos que satisfagan el objetivo ambiental para un tramo de la cuenca de un río.

En el informe del Gobierno de Aragón no se hace referencia en absoluto a unos caudales ambientales que permitan recuperar el “estado ecológico natural del río Aragón”. Tan sólo asegura el mantenimiento de como máximo $8\text{m}^3/\text{seg}$ y en los meses de verano de $4'5\text{m}^3/\text{seg}$. En principio estos valores resultan insuficientes para lograr dicho objetivo. Por lo que se incumple la Directiva Marco del Agua.

2.3.- Afecciones al núcleo urbano de Sigües

El recrecimiento a cota 514 de máximo nivel de avenidas afecta al núcleo urbano de Sigües tal como se muestra en la imagen.



En el informe del Gobierno de Aragón se hace referencia a “la construcción de unos pequeños diques” para mantener a salvo el núcleo de Sigües, pues bien como puede observarse en la imagen los pequeños diques tendrán una altura de alrededor 10 metros.

A día de hoy no existe proyecto alguno que permita avalar con solvencia dicha tesis y además, no se han tenido en cuenta los costes de la construcción de estos enormes diques.

3.- ELEMENTOS CONSIDERADOS EN LOS MODELOS DE SIMULACIÓN.

3.1.- Aportaciones

Las aportaciones consideradas en los modelos de simulación son, sin lugar a dudas, el elemento más importante, pues en ellas se recogen los caudales de que dispone el sistema susceptibles de ser empleados en diferentes usos.

Aunque el objetivo inicial del trabajo era hacer un estudio detallado de los caudales para el río Aragón, este trabajo no se ha podido llevar a cabo al no haber recibido la información necesaria por parte de los organismos competentes.

En esta situación, hemos tenido que trabajar con la misma serie hidrológica de entradas en el embalse de Yesa que la utilizada por el “Informe sobre el recrecimiento de Yesa” del Gobierno de Aragón.

Esta serie representa una aportación media de 1.400 hm^3 al año. Tiene una tendencia estable, es decir, no presenta una tendencia creciente, como lo hace la serie obtenida por el modelo Sacramento para la elaboración del Plan de Cuenca. En principio esta tendencia nos parece bastante aceptable. Ahora bien, la serie empleada presenta unos picos demasiado altos.

Podríamos decir que estas puntas son exageradas, si se contrastan con otras informaciones. En el gráfico de la página siguiente se compara la serie del Gobierno de Aragón, con la que se obtendría sumando los caudales aforados en las estaciones del río Esca en Sigües más la del río Aragón en la cola del embalse de Yesa. O con la serie referida a las entradas en Yesa utilizado en la elaboración del Plan de Cuenca.

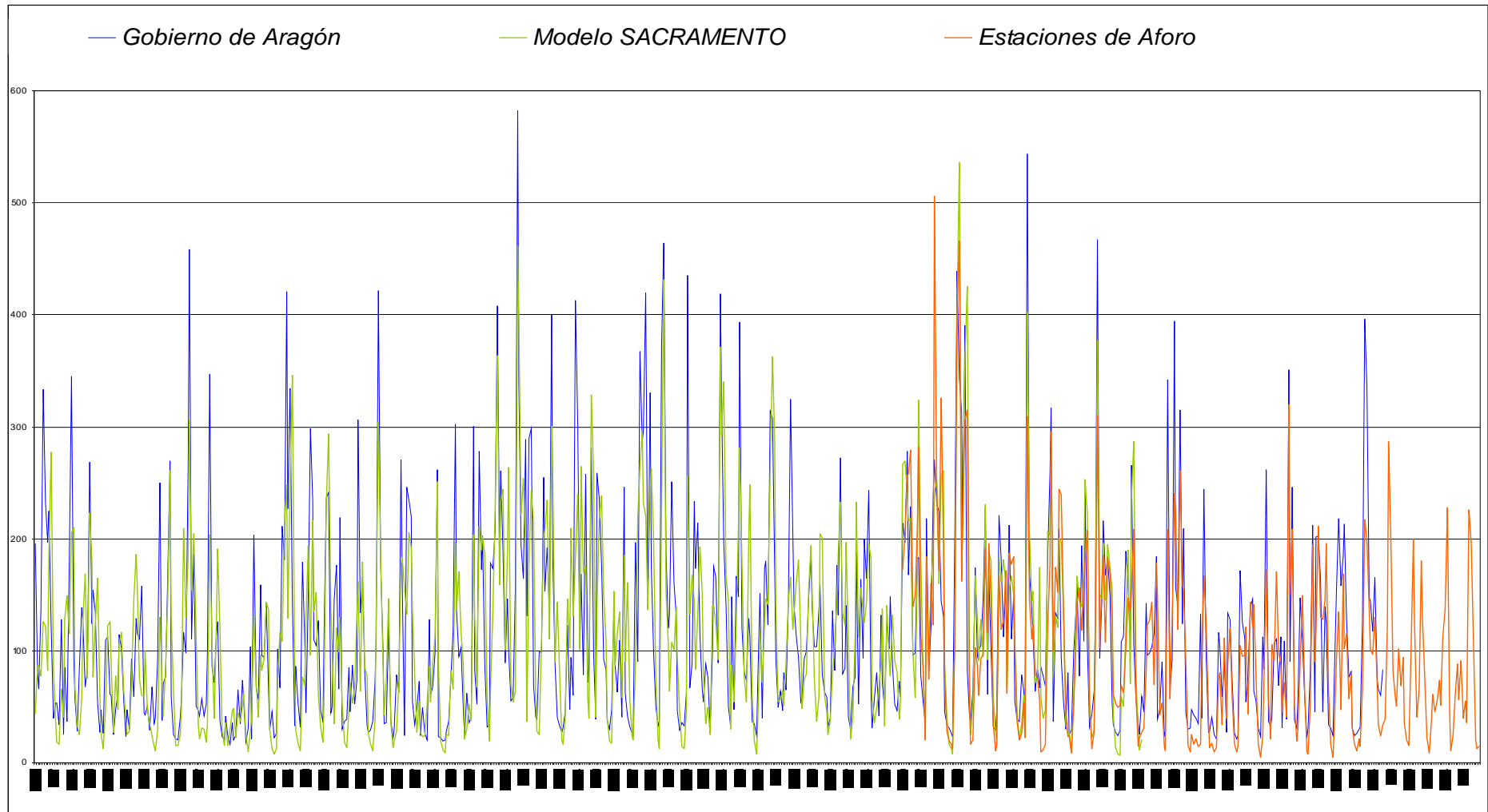
El tener unas puntas tan altas es una cuestión muy importante pues este tipo de series se suelen emplear cuando se trata de justificar la construcción de grandes embalses. Está claro que cuando las avenidas son tan altas y tan pronunciadas cuanto mayor sea el embalse mayor capacidad habrá de laminar estas avenidas.

Pues bien, a pesar de estas contradicciones hemos optado por emplear la serie empleada por el Gobierno de Aragón en su informe, principalmente por una razón muy sencilla: los resultados de las simulaciones que se obtengan serán fácilmente comparables con los obtenidos con el Informe sobre el recrecimiento.

Al haber partido ambos informes de las mismas series de caudales de partida los resultados de ambos informes son fácilmente comparables.

A la hora de la comparabilidad habrá que tener en cuenta dos cuestiones una la capacidad de transporte del Canal de las Bardenas y otra que las series de aportaciones tales como la empleada favorecen la construcción de grandes embalses para laminar avenidas.

Comparativa de las series de Aportaciones:



3.2.- Infraestructuras de regulación existentes

Las infraestructuras de regulación previstas en los modelos de simulación son, por un lado las ya existentes o en diferentes proceso de ejecución por la administración y la Comunidad General de Bardenas, y por otro uno o dos de los nuevos embalses que este trabajo presenta.

Los embalses ya existentes o en ejecución son los de **Yesa**, tal y como se encuentra en la actualidad, y los embalses laterales alimentados con la red de transporte del sistema de Malvecino, Carcastillo y Laverné o La Berné. o La Verné

Recogemos una breve información de cada uno de ellos, procedentes de la web de la Comunidad de Regantes de Bardenas:

3.2.1.- Presa de Malvecino

La presa de Malvecino ya ejecutada, tiene una capacidad aproximada de 7,23 hm³ y regula los caudales circulantes por la Acequia de Cinco Villas ó A-2. Dicho embalse se sitúa en el barranco de "Malvecino" en el barranco de "Onzanova", en los términos municipales de Ejea de los Caballeros y Sádaba, provincia de Zaragoza.

La Acequia de Cinco Villas ó A-2 es uno de los canales principales del sistema regable del Canal de las Bardenas, nace del Partidor del Vedado, con una capacidad en origen de 15 m³/sg y cruza el Barranco de Malvecino a la altura del P.K. 15, donde tiene una capacidad de transporte de 11 m³/sg. Aguas abajo de dicho punto, la zona atendida por la acequia comprende terrenos de los municipios de Sádaba, Ejea de los Caballeros y Tauste.

La localización de la presa en el Barranco de Malvecino, además de las ventajas que la propia proximidad presa-cauce presenta, cuenta con que en dicho punto se encuentra la rápida número uno de la Acequia de Cinco Villas, lo que permite realizar la obra de toma de la acequia aguas arriba del rápido y desaguarla aguas abajo de la misma sin coste energético alguno, existiendo incluso la posibilidad del aprovechamiento hidroeléctrico del salto producido por el embalse, aprovechamiento del que es titular la Comunidad General de Regantes del Canal de las Bardenas y sobre el cual ha construido ya la minicentral de "Cinco Villas", encontrándose en funcionamiento.

En algunos escenarios se plantea la posibilidad de recrecer este embalse hasta una capacidad de **16 hm³**. Posibilidad esta ya apuntada por la Comunidad General de los Regantes del Canal de las Bardenas.

3.2.2.- Presa de La Berné.

La presa de La Verné, ya en ejecución, tendrá una capacidad de 37,78 hm³ y servirá para regular la Acequia de Sora ó A-5. La zona regable por la Acequia de Sora comprende terrenos de los términos municipales de Ejea de los Caballeros, Sierra Luna, Erla y Tauste, todos ellos de la provincia de Zaragoza.

La Acequia de Sora nace en el p.k. 111 del Canal de las Bardenas, al final del trozo sexto, con una capacidad en origen de $41 \text{ m}^3/\text{sg}$, disminuyendo su caudal a $25 \text{ m}^3/\text{sg}$ a unos 600 metros de su origen, lugar donde está construida la toma de la Acequia del Gállego.

Dicho embalse se situará en el término municipal de Ejea de los Caballeros, a unos 6 Km al sudeste de su casco urbano, al norte de la Acequia de Sora y al oeste del Barranco de La Berné.

Una parte del embalse previsto podrá atender la zona regable del sistema del Canal de Bardenas, mediante el bombeo de vuelta a la Acequia de Sora con una estación de bombeo de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, y otra parte podrá ser atendida por gravedad.

3.2.3.- Presa de Carcastillo.

Esta presa es diferente de la presa de Carcastillo que luego propondremos y que por ello la llamaremos "Carcastillo 2".

El embalse de Carcastillo tiene prevista una capacidad de $5,3 \text{ Hm}^3$ y regulará los caudales existentes en la Acequia de Navarra ó A-1, situándose en el barranco de la Portillada sito en el término municipal de Carcastillo y perteneciente a la Comunidad Foral de Navarra. Se ha pensado en una cerrada siguiendo el trazado de la Acequia de Navarra y creando un embalse a lo largo del valle del Barranco de la Portillada y sus vaguadas adyacentes.

La Acequia de Navarra nace del partidor del Vedado, con una capacidad en origen de $7,2 \text{ m}^3/\text{sg}$. A la altura del PK 7,5 pasa a tener una capacidad de transporte de $6 \text{ m}^3/\text{sg}$, siendo el caudal que circula por el lugar de ubicación del embalse.

Se ha de reseñar que la ubicación del embalse, aguas arriba de las rápidas nº 1 y nº 2 de la Acequia, permite que el coste energético sea nulo, existiendo incluso la posibilidad del aprovechamiento hidroeléctrico del salto producido por el embalse, del cual es titular la Comunidad General de Regantes del Canal de Bardenas y sobre el cual se ha construido ya la minicentral de "Carcastillo", encontrándose en funcionamiento.

3.3.-Propuesta de nuevas infraestructuras de regulación

En el presente trabajo se ha realizado una labor de prospección de posibles nuevas cerradas y embalses en el interior de la zona regable o en sus proximidades, de tal forma que puedan almacenar agua procedente del sistema de Bardenas para luego servir a una zona regable dominada o bien reintegrarse a los canales y servir las superficies aguas abajo.

Se ha trabajado en esta línea asumiendo dos hechos:

- La capacidad de transporte actual del sistema de Bardenas está derivando en la época de riegos un volumen de más de 600 hm^3 de los 1.411 hm^3 que aporta como media el río. Expresado gráficamente, el río Aragón al salir de Yesa se desdobra en dos ramales. Dentro del sistema se puede aprovechar los periodos ociosos del canal, fuera de los meses de riego para llenar embalses internos.

- Es fundamental dejar libre los ejes de los ríos para no romper su dinámica como ecosistema. Esto nos lleva a desechar una ampliación de Yesa pero también otros embalses que se podrían, en principio, llenar con aguas de Yesa como los de Biota y Luna en los Arbas. Así como el de Sangüesa que también ha sido estudiado.

La regulación en embalses laterales supone una serie de ventajas añadidas

* Sociales en la comarca afectada:

- .- La solución al conflicto histórico,
- .- La asunción de un menor riesgo por rotura de presa,
- .- El equilibrio territorial. Las infraestructuras de impacto social son soportadas por los propios beneficiarios.
- .- Económicas. La flexibilidad y economía de pequeñas soluciones que se distribuyen en el tiempo ante escenarios de demandas inciertos.

* Para la zona beneficiada

- .- El agua almacenada en los polígonos está garantizada de forma “estructural” para Bardenas. La almacenada en Yesa puede tener otros demandantes según la coyuntura política vigente en cada momento (reactivación del trasvase).
- .- Más flexibilidad ante cortes por accidentes en los canales principales
- .- Más flexibilidad para cubrir altas demandas puntuales y problemas de transporte en el canal

* Ambientales y patrimoniales

- .- En el entorno del actual Yesa al no destruirse patrimonio natural ni histórico como se ha descrito anteriormente
- .- La gestión de los materiales sólidos transportados fundamental para conseguir el buen estado ecológico de los ríos tal como marca la Directiva Marco del Agua es mucho más fácil de conseguir técnicamente desde el Yesa actual que desde uno recrecido a cualquier

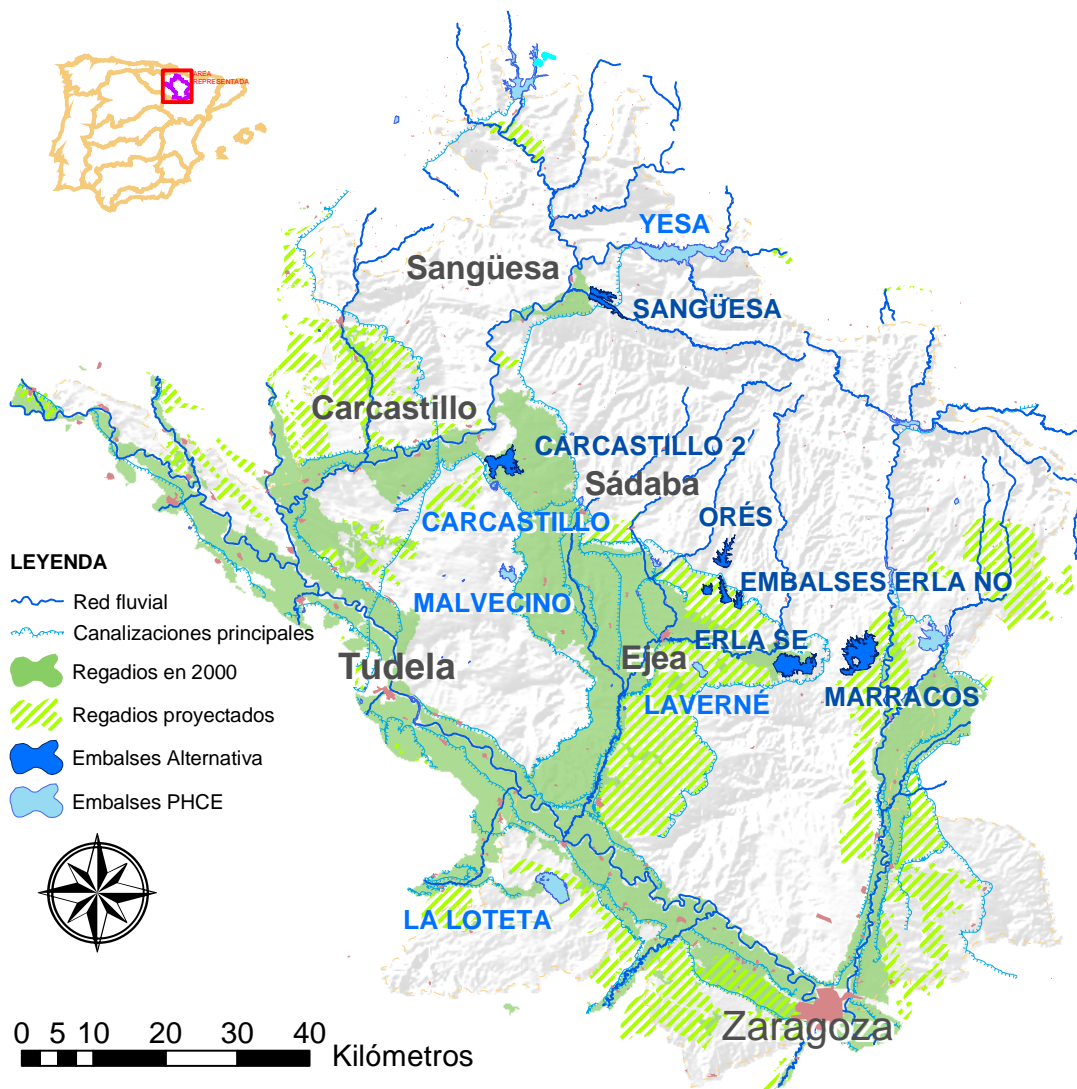
Se han situado ocho embalses con capacidades que oscilan de los 20 a los 173 hm³. Según los casos se llenan por gravedad y se vacían por gravedad (en ocasiones uno de los procesos permite aprovechamiento hidroeléctrico), en otros se llenan bombeando y se vacían turbinando, y en otros se llenan por gravedad y se vacían bombeando.

Una descripción somera de los ocho embalses aparece en la siguiente tabla. Información más detallada de cada uno de ellos se puede consultar en el anexo IV.

ANEXO V: Análisis de las potencialidades hidrológicas del sistema Yesa-Bardenas
ALTERNATIVA SOSTENIBLE AL RECRECIMIENTO DE YESA

Nombre	Sangüesa	Carcastillo 2	Erla O	Erla 1	Erla 2	Erla SE	Marracos	Orés (510)
Situación	Sangüesa (Navarra)	Carcastillo (Navarra)	Ejea de los Caballeros (Zaragoza)	Ejea de los Caballeros (Zaragoza)	Ejea de los Caballeros (Zaragoza)	Luna y Sierra de Luna (Zaragoza)	Gurrea y Marracos (Zaragoza)	Orés (Zaragoza)
Capacidad (hm ³)	64	32	22	36	20	73	173	de 60 á122
Cota MEN (m.s.n.m.)	440	370	430	430	420	410	400	510
Cota canal (m.s.n.m.)		390	438	438	438	425	430	438
Cota cauce (m.s.n.m.)	412	350	387	395	390	387	374	438
Cota de volumen medio (m.s.n.m.)	433	368	420	420	413	406	394	495
Altura presa hasta MEN (m)	28	20	43	35	30	23	26	72
Longitud de presa y contrapresa(m)	637+462	572	663	971	889+206	1324+303	1014+337	1090
Superficie inundada (has.)	585	947	136	254	170	1160	1651	480
Origen de caudales	Río Onsella	Acequia de Navarra	Canal de Brdenas	Canal de Bardenas	Canal de Bardenas	Canal de Bardenas	Canal Bardenas (final)	Canal de Bardenas
Método de llenado	gravedad	gravedad con turbinado	gravedad	gravedad	gravedad	gravedad con turbinado	gravedad con turbinado	bombeo
altura de bombeo o turbinado (m)	0	20				15	30	57
Lugar de vaciado	Río Aragón	Acequia de Navarra	Comunidad IX	Comunidad IX	Comunidad IX	Acequia de Sora	Acequia de Sora	Comunidad IX y Canal de Bardenas
Método de vaciado	gravedad con turbinado	bombeo	gravedad con turbinado	gravedad con turbinado	gravedad con turbinado	bombeo	bombeo	gravedad con turbinado
altura de bombeo o turbinado (m)	21	22	33	25	23	19	36	57

Mapa que ilustra la ubicación geográfica de la totalidad de embalses estudiados:



La elección de los embalses a realizar depende de varios factores:

- Escenarios de demandas considerados.
- Capacidad de los mismos.
- Existencia de demanda aguas abajo del embalse (un embalse grande en un lugar donde ya no puede servir demanda no sirve para mucho).
- Existencia de capacidad de transporte para llenarse en los periodos ociosos de los canales.
- Impactos patrimoniales y ambientales.
- Coste de los mismos, tanto de ejecución como de explotación.

El análisis de estos factores nos ha hecho decantarnos por priorizar, en caso de que el escenario de demandas así lo exija, la construcción de la presa de Orés a una cota 495 msn, inferior a la cota máxima (510 msn) y el embalse de Marracos.

En la decisión de la elección de Marracos también pesa el hecho de que este mismo embalse puede servir como alternativa válida al embalse de Biscarrués para Riegos del Alto Aragón (ver anexos) con un menor coste social y ambiental.

3.4.- Características técnicas de los embalses en los modelos de simulación

Para la introducción de estos embalses en los modelos de simulación se han tenido en cuenta sus características técnicas de capacidad y sus reglas de gestión. En cuanto a los volúmenes de partida tan solo se ha supuesto que Yesa tiene un volumen inicial de 80 hm³. Para el resto de embalses introducidos se ha partido de un volumen inicial de Cero.

En cuanto a los criterios de gestión del embalse de Yesa se ha establecido un volumen de embalse muerto de 35 hm³. Y un volumen mínimo mensual que garantiza el riego al mes siguiente. Por lo tanto este volumen variará con los escenarios planteados. Para el establecimiento del volumen máximo se ha respetado en todos los casos el resguardo para avenidas.

Para el resto de embalses simulados se han respetado sus capacidades máximas teniendo en cuenta el resguardo para avenidas.

3.5.- Infraestructura de transporte

La principal infraestructura de transporte es el canal de Bardenas, además de las acequias interiores del sistema. Aunque a la salida de Yesa el canal tiene una capacidad de 90 m³/seg se reduce inmediatamente a 60 m³/seg. Sin embargo debido principalmente a su trazado y los numerosos túneles y acueductos por los que discurre en la práctica se le supone una capacidad máxima de 52 m³/seg, aunque en ocasiones puede llegar hasta 54 m³/seg.

En las simulaciones efectuadas se ha supuesto que la capacidad máxima es de 52 m³/seg. Para quedar del lado de la seguridad.

El resto que conducciones del sistema también se han introducido con sus capacidades respectivas sobre todo las que hacen llegar el agua a los embalses laterales existentes y previstos.

3.6.- Aprovechamientos Hidroeléctricos

Para el análisis llevado a cabo nos centramos en conocer el potencial de generación hidroeléctrica del embalse de Yesa actual suponiendo que existen las centrales que técnicamente están previstas. Su potencial se ha calculado ubicando una central hidroeléctrica que turбина los caudales que salen con destino al río y otra que hace lo propio con los caudales que discurren por el canal de Bardenas.

Para poder comparar la energía potencial que el sistema pueda entregar se han introducido centrales en los embalses alternativos. Como se describirá en los resultados de las simulaciones los embalses alternativos introducidos han sido el de Orés y Marracos. Para el primero se ha supuesto un salto a pie de presa. Para el segundo se ha supuesto una central que turбина los caudales que entran en dicho embalse.

En cuanto a las eficiencias de las turbinas y el generador se ha supuesto del 90%.

3.7.- Explicación de las Garantías

Garantía mensual: indica el porcentaje de meses en los que la demanda mensual es atendida al 100%.

Garantía volumétrica: indica el tanto por ciento del volumen que se sirve del total demandado.

Garantía de suministro: indica la garantía anual para una demanda de agua en base a dos criterios:

- que ningún mes de ese año tenga un déficit superior al 30%.
- que el volumen servido durante un año sea superior al 90%.

3.8.- Caudales ambientales

La modulación de los caudales necesarios para mantener el buen estado natural del río, cuyo cálculo se ha basado en el método del Caudal Básico es el reflejado en el siguiente cuadro:

Demanda	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	TOTAL
hm ³ /mes	26,3	37,9	43,9	45,0	49,9	55,6	51,2	55,4	48,5	27,6	19,5	23,0	483,7
m ³ /seg	10,0	14,4	16,7	17,1	19,0	21,2	19,5	21,1	18,5	10,5	7,4	8,7	

En las modelizaciones se ha exigido como restricción el cumplimiento del caudal básico mínimo de 8 m³/seg. Dejando que sea la propia dinámica del escenario simulado la que contemple la posibilidad de su cumplimiento, incluyendo los caudales ambientales y los caudales generadores

3.9.- Demandas de los regadíos tradicionales del río Aragón

Su modulación, conforme se ha explicado en el anexo de demandas, es la siguiente:

Demanda	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	TOTAL
hm ³ /mes	21,02	21,02	21,02	21,02	21,02	21,02	21,02	21,02	21,02	21,02	21,02	21,02	252,2
m ³ /seg	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	

3.10.- Abastecimiento a Zaragoza

Conforme se ha explicado en el anexo de demandas su distribución mensual se recoge en el siguiente cuadro:

Demanda	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	TOTAL
hm ³ /mes	6,578	6,578	6,578	6,578	6,578	6,578	6,578	6,578	6,578	6,578	6,578	6,578	78,9
m ³ /seg	2,503	2,503	2,503	2,503	2,503	2,503	2,503	2,503	2,503	2,503	2,503	2,503	

3.11.- Abastecimiento a los municipios de Bardenas

Se ha supuesto la siguiente modulación:

Demanda	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	TOTAL
hm ³ /mes	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336	4,032
m ³ /seg	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	

Una explicación más detallada aparece en el anexo de demandas.

3.12.- Usos Industriales

Su modulación es la misma que la recogida en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro para el segundo horizonte:

Demanda	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	TOTAL
hm ³ /mes	0,694	0,694	0,336	0,694	0,694	0,694	0,694	0,694	0,694	0,694	0,694	0,694	8,4

3.13.- Demandas para usos agrarios

Presentamos ahora un cuadro resumen de las demandas que han sido explicadas detalladamente en el anexo III del análisis de las demandas.

	2004	2008	2015	2020	2020 plus	Horizonte B-III
Porcentaje de modernización	0%	0%	50%	50%	50%	50%
Porcentaje de retirada	0%	0%	0%	0%	0%	2,7%
Eficiencia a gravedad	0,51	0,60	0,64	0,64	0,64	0,64
Eficiencia a presión	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Necesidades netas	4.722	4.834	5.041	5.041	5.542	5.041
Porcentaje de tradicionales cubierta	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Dotación objetivo de yesa (m ³ /ha/año)	8.679	7.602	7.240	7.228	7.950	7.197
Dotación objetivo Yesa+Arbas (m ³ /ha/año)	8.895	7.862	7.506	7.465	8.211	7.408
Eficiencia global	53%	61%	67%	68%	67%	68%
Superficie puesta en riego (has)	76.239	80.024	80.024	89.941	89.941	100.041
Superficie regada (has)	76.239	80.024	80.024	89.941	89.941	98.479
Superficie a gravedad (has)	65.999	65.999	39.237	40.923	40.923	39.361
Superficie a presión (has)	10.240	14.025	40.787	49.019	49.019	59.119
% de superficie a gravedad	87%	82%	49%	45%	45%	40%
% de superficie a presión	13%	18%	51%	55%	55%	60%
Volumen a servir desde el Aragón (hm ³)	662	608	579	650	715	709
Volumen a servir desde los Arbas (hm ³)	16	21	21	21	23	21
Demanda total (hm ³)	678	629	601	671	738	730
Alfalfa	28%	32%	38%	38%	38,3%	38%
Trigo	25%	26%	26%	26%	14,0%	26%
Maíz	19%	15%	6%	6%	23,5%	6%
Arroz	8%	11%	15%	15%	13,5%	15%
Cebada	9%	8%	7%	7%	4,6%	7%
Girasol	4%	1%	0%	0%	0,0%	0%
Otros cultivos	7%	7%	8%	8%	6,1%	8%

3.14.- Escenarios de simulación

Los escenarios planteados tienen en cuenta los elementos comentados anteriormente y se basan en las siguientes hipótesis:

Situación Actual: Partiendo de la situación actual se analiza los efectos que el sistema Yesa-Bardenas tiene la puesta en servicio del embalse de Malvecino 7 hm³ (también se ensayará su recrecimiento a 16 hm³), de La Verné 37 hm³ y Carcastillo de 5,3 hm³. En este escenario la estructura de cultivos y sus necesidades hídricas son las comentadas en el apartado 5.7.1. del anexo III Análisis de los requerimientos (Demandas).

Posteriormente se introduce el abastecimiento de aguas a Zaragoza y se analiza el impacto que el mismo tendrá en los regadíos de Bardenas si entrara en vigor en un muy corto periodo de tiempo.

Horizonte 2008: Pasaremos a situarnos en el horizonte 2008. donde la estructura de cultivos y necesidades hídricas es la comentada en el apartado 5.7.2. del anexo III Análisis de los requerimientos (Demandas).

Horizonte 2015: Para el horizonte del año 2015 se introducen los supuestos del apartado 5.7.3. del anexo III Análisis de los requerimientos (Demandas). Se trata de un escenario de estructura de cultivos mas demandadores de agua, pero a la vez se ha producido un proceso de modernización en Bardenas I de 28.000 hectáreas.

Horizonte 2020: El horizonte 2020 es el que se recoge en el apartado 5.7.4. del anexo III Análisis de los requerimientos (Demandas). Nos situamos en la hipótesis de 90.000 hectáreas de regadío. Cultivos mas demandadores de agua, pero se tiene en cuenta la modernización del supuesto anterior. Es en este escenario donde se ha introducido el embalse de Orés como alternativa al recrecimiento de Yesa.

La elección de la cota de Orés puede variar en función de ver la necesidad de introducir el embalse de Marracos. Entre ambos han de suponer una capacidad aproximada de 122 hm³. En resumen, estamos hablando de un embalse en Orés de 60 hm³ y otro en Marracos de 177 hm³, del que solo se emplea 62 hm³, sirviendo el resto para una alternativa al embalse de Biscarrues. Pero el volumen manejado entre los dos ha de sumar 122 Hm³

Horizonte 2020 Plus: Para comprobar la capacidad del sistema y dentro del planteamiento anterior se introducir la hipótesis de unos cultivos más demandadores de agua. Los embalses alternativos a introducir han de suponer una capacidad de almacenamiento de 122 hm³. Que bien puede ser un Orés de 60 hm³ y aprovechar otros 62 hm³ en Marracos. Sus planteamiento en cuento a cultivos aparecen explicados en el apartado 5.7.5. del anexo III Analisis de los requerimientos (Demandas).

Horizonte Bardenas III: En la última hipótesis planteada se introduce la posibilidad de atender a 100.100 hectáreas en el sistema Yesa-Bardenas. Los embalses introducidos vuelven a ser Orés y Malvecino para que entre ambos se llegue a una capacidad de 122 hm³. Planteamiento del apartado 5.7.6. del anexo III Análisis de los requerimientos (Demandas).

4.- RESULTADOS DEL PROCESO DE SIMULACIÓN

4.1.-Escenario “SITUACIÓN ACTUAL”:

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Hectáreas en riego: 76.239;
Eficiencia en el riego por gravedad: 51%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: NO se incluye en el escenario actual;
Estructura de cultivos: Dotación Neta 4.722 m³/ha/año;
Dotación Objetiva: 8.680 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);

Este escenario intenta reflejar cual es la situación actual del sistema de riego en Bardenas. Entorno a 76.000 hectáreas que se riegan en la actualidad con una estructura de cultivos que se corresponde con la de los últimos dos años.

De las salidas del embalse de Yesa el 54% se va al río para el mantenimiento de caudales, siendo el 46% restante el que sale por el canal de las Bardenas.

Los resultados obtenidos nos indican que el volumen de agua servido supone un 95% del requerido (como media 628'6 hm³ de los 661'8 hm³ demandados), obteniéndose una garantía mensual del 92%, en los periodos muy secos el sistema se resiente haciendo que los agricultores tengan que disminuir la dotación por hectárea, modificar la estructura de los cultivos e incluso teniendo que retirar algunas tierras, esto se confirma al obtenerse una garantía de suministro del 75%.

A pesar de todo el sistema la garantía mensual de 92% nos indica que en la inmensa mayoría de los meses el agua requerida por los agricultores es atendida satisfactoriamente por el sistema. Sólo en periodos de dos o más años de sequía el sistema se resiente.

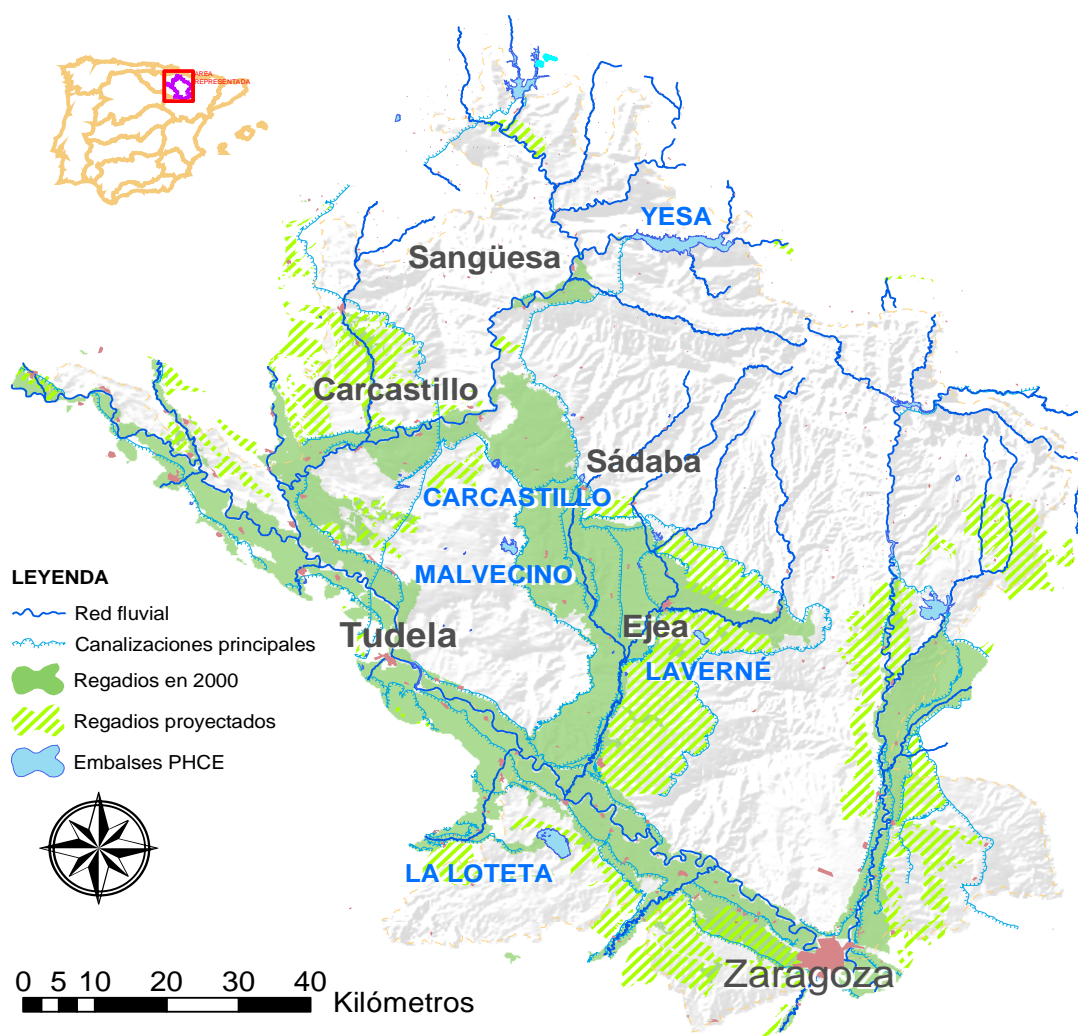
Los caudales que circularán por el río aguas debajo de Yesa son en media alrededor 751 hm³, que permiten mantener estado ecológico natural del río.

Resumen de resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.391,2					
Salida al Canal de Bardenas	640,2					
Regadío Bardenas	628,6	661,8	8.680	95%	92%	75%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		99%	99%	98%
Uso Industria	7,7	8,3		92%	92%	60%
Abastecimiento Zaragoza	0,0					
RESERVA	0,0					
Salida al Río	751,0					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	156,1	GWh/año				

4.1.2.- Situación actual pero con los embalses de regulación interna previsto en la planificación oficial

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), La Verné (37 hm³), Carcastillo (5'3 hm³);
Hectáreas en riego: 76.239;
Eficiencia en el riego por gravedad: 51%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: NO se incluye en el escenario actual;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 4.722 m³/ha/año;
Dotación Objetivo: 8.680 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo,



Los nuevos embalses laterales se llenan con agua de invierno que no ha sido necesario regular en Yesa.

La introducción de los embalses laterales mejora sustancialmente las posibilidades del sistema de Bardenas: las demandas son atendidas al 97%, es decir, de los 661'8 hm³ requeridos se sirven de media 641,5 hm³.

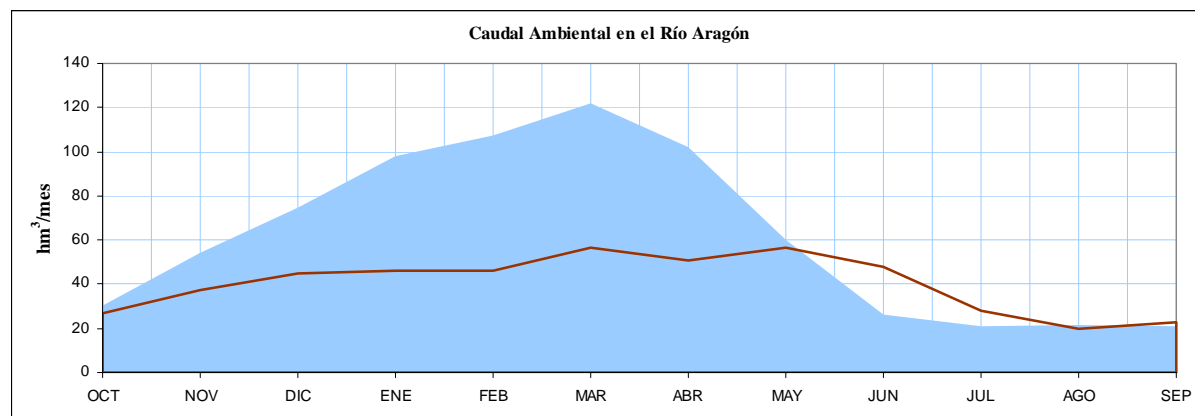
El dato más revelador es la garantía del suministro que se eleva del 75% al 89%. Ahora ante periodos de sequía el sistema responde mejor almacenando más agua para hacerle frente.

La introducción de embalses laterales de regulación mejoran considerablemente la garantía de riego. Es decir, estos embalses no suponen un aumento de regulación real en el sistema, pero suponen un aumento importantísimo de la garantía de suministro.

Resumen de resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.391,8					
Salida al Canal de Bardenas	653,5					
Regadío Bardenas	641,5	661,8	8.680	97%	95%	89%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		99%	99%	98%
Uso Industria	7,9	8,3		95%	95%	71%
Abastecimiento Zaragoza	0,0					
RESERVA	0,2					
Salida al Río	738,3					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	156,0	GWh/año				

En cuanto a los caudales que salen de Yesa con destino al río son los que aparecen en la siguiente gráfica, en la que se indica con una línea los caudales ambientales calculados por el método del Caudal Básico. Se puede observar que se atienden perfectamente un caudal medioambiental con sus caudales de mantenimiento y generadores que ayuden a mantener el estado ecológico natural del río Aragón.



4.1.3.- situación actual con los embalses laterales previsto en la planificación oficial y el abastecimiento a zaragoza

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), La Verné (37 hm³), Carcastillo (5'3 hm³);
Hectáreas en riego: 76.239;
Eficiencia en el riego por gravedad: 51%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: NO se incluye en el escenario actual;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 4.722 m³/ha/año;
Dotación Objetivo: 8.680 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

En el caso anterior hemos visto que el sistema había ganado en garantía al introducirse los embalse laterales, pretendemos ahora comprobar que efecto tiene sobre el sistema actual la traída de agua a Zaragoza desde el embalse de La Loteta, que se llena con aguas de invierno que circulan primero por el Canal de Bardenas y posteriormente por la acequia de Sora.

La garantía de suministro es del 84%, es decir, en el 84% de los años se atiende plenamente la demanda para regadío.

El volumen suministrado ahora es el 96% del requerido y por el canal de Bardenas circulan de media 636'7 hm³ para usos agrarios.

Como vemos la introducción del abastecimiento a Zaragoza, siempre que su regulación se efectúe en el embalse de La Loteta, no tiene una incidencia desiva en el sistema de riego Yesa-Bardenas.

Resumen de Resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.390,2					
Salida al Canal de Bardenas	729,0					
Regadío Bardenas	636,7	661,8	8.680	96%	94%	84%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		99%	99%	98%
Uso Industria	7,8	8,3		94%	94%	70%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	1,5					
Salida al Río	661,2					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	158,8	GWh/año				

El régimen de caudales que circulan por el río es suficiente para mantener su estado ecológico natural, siendo un total de 661 hm³ al año como media.

4.2.- Escenario “HORIZONTE AÑO 2008”:

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), La Verné (37 hm³), Carcastillo (5'3 hm³);
Hectáreas en riego: 80.024;
Eficiencia en el riego por gravedad: 60%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: NO se incluye en el escenario Horizonte 2008;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 4.834 m³/ha/año;
Dotación objetivo: 7.680 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

En el horizonte del año 2008 se considera que estarán puestas en riego unas 80.024 hectáreas en el conjunto del sistema Yesa-Bardenas, conforme a la previsiones del Plan Nacional de Regadíos. También es previsible que la estructura de cultivos se modifique conforme a lo que hemos denominado “Horizonte 2008”.

Por tanto la principal novedad de este escenario es la modificación de la estructura de cultivo, lo cual supone un cambio en las necesidades netas de los cultivos situándose ahora en 4.834 m³/ha/año. Además, se considera que se ha producido una mejora en la eficiencia de riego, por un adecuado manejo del riego situándose ahora en el riego por gravedad en el 60%. Todavía no se ha introducido la hipótesis de modernización del regadío.

Por otra parte hay que destacar que aun cuando hay más hectáreas en riego una adecuado manejo del mismo permite alcanzar mayores niveles de eficiencia para situarnos en un nivel del 60% de eficiencia acorde con la planificación oficial para el regadío en este horizonte del 2008. Pues bien con este aumento en la eficiencia se puede atender a un mayor número de hectáreas. Ahora la demanda se sitúa en los 614'6 hm³/año.

Los resultados de la simulación nos indican que se sirven, en media, del orden del 98% de los 614'6 hm³/año requeridos, con una garantía de suministro de 89% por cierto.

Resumen resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.388,8					
Salida al Canal de Bardenas	693,0					
Regadío Bardenas	601,1	614,6	7.680	98%	97%	89%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		100%	99%	98%
Uso Industria	8,1	8,3		97%	97%	84%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	0,9					
Salida al Río	695,7					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	162,0	GWh/año				

4.3.- Escenario “HORIZONTE AÑO 2015”

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), La Verné (37 hm³), Carcastillo (5'3 hm³);
Hectáreas en riego: 80.024;
Eficiencia en el riego por gravedad: 64%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: 50% de hectáreas que se riegan por gravedad, excepto en huerta trad.;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 5.041;
Dotación Objetivo: 7.304 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

Este escenario tiene como novedad el cambio en la estructura de cultivos, la cual supone una mayor dotación neta al situarse en 5.041 (dotación objetivo de salida de embalse de 7.304m³/ha/año), se trata por tanto de una estructura de cultivos más exigente. La modernización también supone una modificación respecto al escenario del 2008, esta modernización afecta al 50% de los cultivos que se riegan por gravedad exceptuándose los regadíos de las huertas tradicionales, es decir, la modernización afecta a 28.000 ha.

Los resultados de la simulación nos indican que se destinan un promedio anual al sistema de riego Yesa-Bardenas de 575 hm³/año, es decir, un 98% de lo demandado. La garantía del suministro es del 93%.

También se ha ensayado la introducción de regulación en tránsito adicional, cualquiera de los embalses alternativos, y se ha visto que se conseguía aumentar la garantía de suministro al 98%. En un análisis de coste-eficiencia realizado, en principio, y para este horizonte hace desaconsejable la introducción de infraestructuras de regulación adicional. Estas se introducirán en los escenarios de 90.000 hectáreas

Resultados obtenidos:

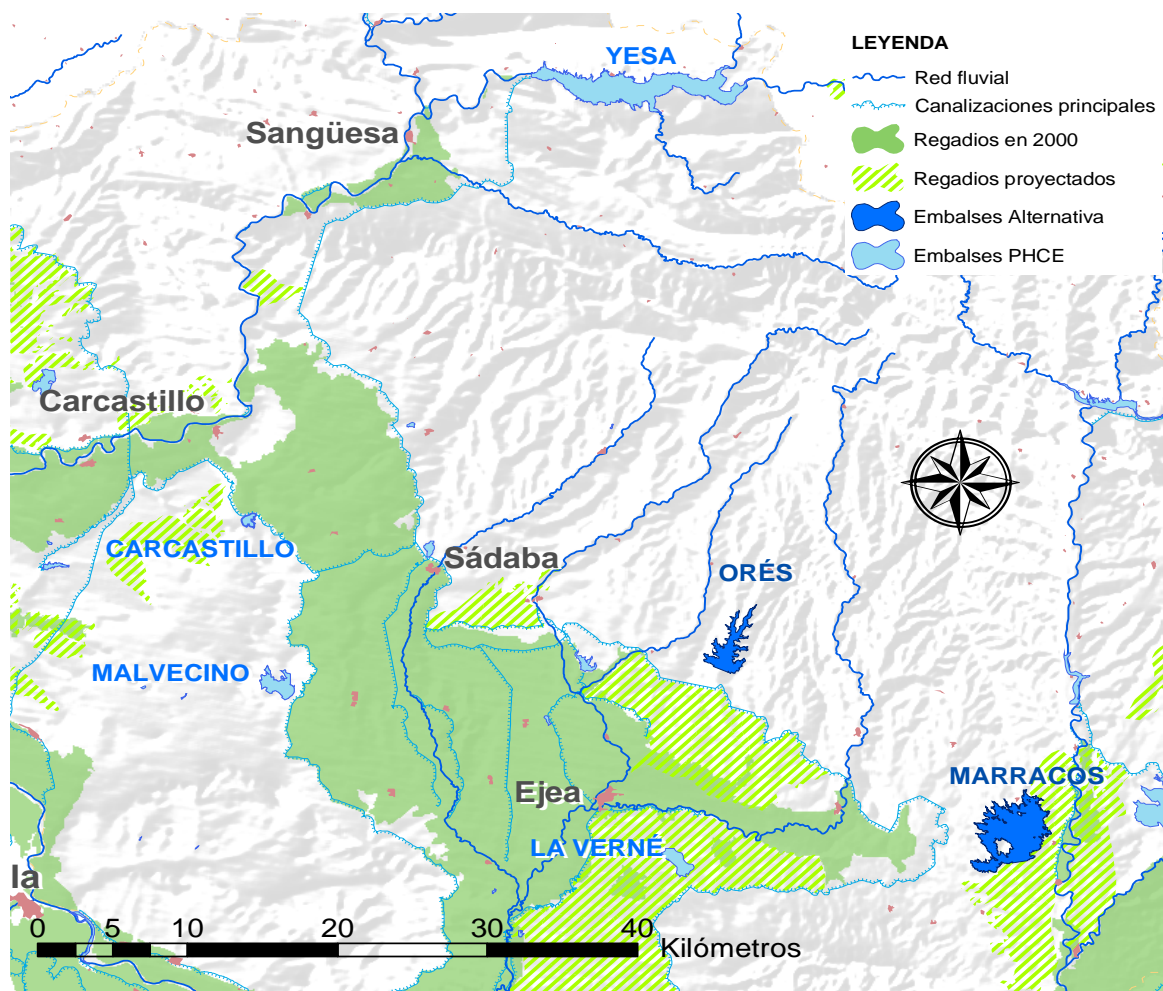
	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.387,8					
Salida al Canal de Bardenas	668,0					
Regadío Bardenas	575,5	584,5	7.304	98%	98%	93%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		100%	100%	98%
Uso Industria	8,2	8,3		98%	98%	91%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	1,3					
Salida al Río	719,9					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	170	GWh/año				

Los 719 hm³ al año que de promedio salen al río permiten cumplir el objetivo medioambiental de mantenimiento del estado ecológico natural del río Aragón.

4.4.- Escenario “HORIZONTE 2020”:

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), La Verné (37 hm³), Carcastillo (5'3 hm³);
NUEVOS EMBALSES: Orés (60 hm³) y Marraacos (62 hm³);
Hectáreas en riego: 89.941;
Eficiencia en el riego por gravedad: 64%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: 50% de modernización en el riego por gravedad, excepto en huerta trad.;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 5.041;
Dotación Objetivo: 7.950 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

La situación geográfica de los nuevos embalses puede observarse en el mapa siguiente:



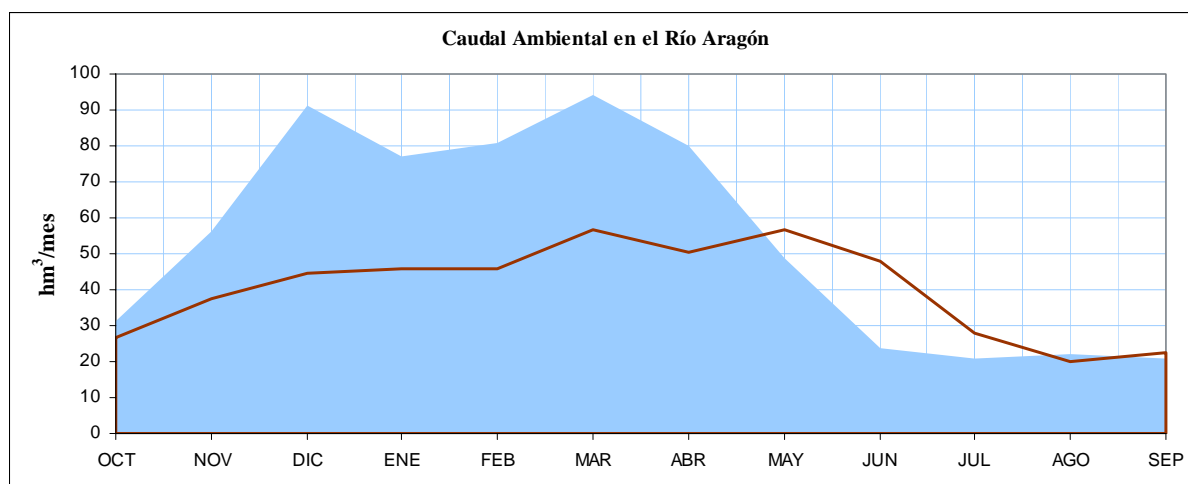
En el horizonte del año 2020 nos situamos en el entorno de las 90.000 hectáreas y una estructura de cultivos bastante exigente, las necesidades netas son ahora de 5.041 m³/ha/año. La demanda para este escenario es de 656'940 hm³/año.

Los resultados de la simulación indican que se sirven 646'5 hm³/año de media con una garantía de suministro del 94%. En definitiva se está sirviendo el 98% del volumen demandado con una garantía mensual del 98%, es decir, en el 98% de los meses los caudales requeridos son atendidos en su totalidad.

Resumen Resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.387,0					
Salida al Canal de Bardenas	739,6					
Regadío Bardenas	646,5	656,9	7.304	98%	98%	94%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		100%	100%	98%
Uso Industria	8,3	8,3		100%	100%	98%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	1,8					
Salida al Río	647,4					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	172	GWh/año				

En cuanto a los caudales que salen con destino al río Aragón aguas debajo de Yesa se pueden observar en la gráfica siguiente. Donde se ve claramente que cumplen el régimen de caudales medioambientales establecido con el criterio del Caudal Básico. Se producen en el río la crecidas habituales, por lo que se puede considerar que el objetivo del estados ecológico natural del río se logra.



4.5.- Escenario “HORIZONTE 2020 PLUS”:

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), La Verné (37 hm³), Carcastillo (5'3 hm³);
NUEVOS EMBALSES: Orés (60 hm³) y Marracos (62 hm³);
Hectáreas en riego: 89.941;
Eficiencia en el riego por gravedad: 64%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Modernización: 50% de modernización en el riego por gravedad, excepto en huerta trad.;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 5.542;
Dotación Objetivo: 7.950 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

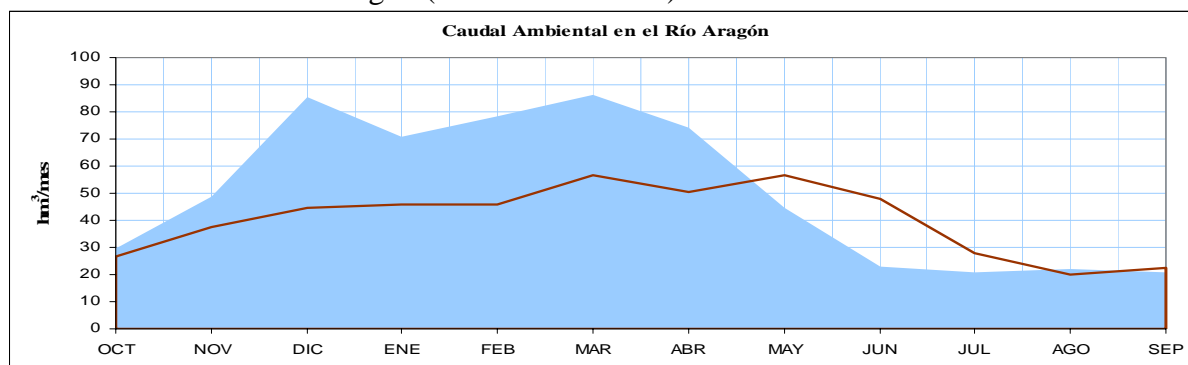
Suponemos en esta caso que tenemos una estructura de cultivos aun mas exigente que en el caso anterior, pues ahora la dotación neta de la estructuras de cultivos es de 5.542 m³/ha/año. Intentamos contrastar la potencialidad del sistema Yesa-Bardenas junto con los nuevos embalse de Orés (a capacidad de 60 hm³) y Marracos (con capacidad de 62 hm³). Los embalses introducidos podrían llenarse aún más, sin embargo con estas capacidades en principio son suficiente.

De los 715'1 hm³ que en media se demandan se atiende un 97%, es decir, 692,6 hm³ al año de media. Además, se atienden los requerimientos con una garantía de suministro del 88%.

Resumen resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.388,4					
Salida al Canal de Bardenas	785,2	0,6				
Regadío Bardenas	692,6	715,1	7.950	97%	96%	88%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		100%	100%	98%
Uso Industria	7,9	8,3		95%	100%	98%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	1,8					
Salida al Río	603,1	0,4				
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	180	GWh/año				

Las salidas al río Aragón (603 hm³ de media) mantienen el caudal ambiental:



4.6.- Escenario “HORIZONTE BARDENAS III”

Yesa SIN RECRECER: capacidad de 447 hm³, embalse muerto 35 hm³;
Malvecino recrecido (16 hm³), **La Verné** (37 hm³), **Carcastillo** (5'3 hm³);
NUEVOS EMBALSES: Orés (60 hm³) y Marracos (62 hm³);
Hectáreas en riego: 100.041;
Eficiencia en el riego por gravedad: 64%;
Eficiencia en el riego a presión: 72%;
Eficiencia Global del Sistema: 71%
Modernización: 50% de hectáreas que se riegan por gravedad, excepto en huerta trad.;
Estructura de cultivos: escenario de Dotación Neta 5.041;
Dotación Objetivo: 7.076 m³/ha/año;
Capacidad del Canal: 52 m³/seg (136'6 hm³/mes);
Caudal Ambiental: al menos los 8 m³/seg como caudal básico mínimo;
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta con aguas del río Aragón;

Nos situamos en el horizonte de las 100.000 hectáreas para el sistema Yesa-Bardenas, lo cual supone poner en regadío Bardenas III. Suponemos que para esta situación el sistema ha mejorado notablemente su eficiencia ahora en conjunto ronda el 70%; La estructura de cultivo suponemos aquella que requiere una dotación neta por hectárea y año de 5.041 m³. La dotación objetivo está en 7.076 m³/ha/año.

En esta situación la demanda total es de 707'9 hm³. Los resultados que arroja el modelo de simulación empleado nos indica que esta demanda es servida, en media, en un 97%, por lo que como medio se sirven de Yesa 688,5 hm³ al año con destino al Sistema Yesa-Bardenas. La garantía del suministro es del 87%, bastante aceptable

Resumen de resultados:

	hm ³ /año	Volumen Requerido (hm ³ /año)	Dotación objetivo (m ³ /ha/a)	Garantía Volumétrica (%)	Garantía Mensual (%)	Garantía Suministro (%)
SALIDAS de YESA	1.387,8					
Salida al Canal de Bardenas	780,9					
Regadío Bardenas	688,5	707,9	7.076	97%	96%	87%
Abastecimiento Bardenas	4,0	4,0		100%	100%	98%
Uso Industria	7,9	7,9		95%	100%	98%
Abastecimiento Zaragoza	78,9	78,9		100%	100%	100%
RESERVA	1,6					
Salida al Río	606,8					
Regadío Tradic. Aragón Bajo	252,3	252,3		100%	100%	100%
Energía Producida:	189,4	GWh/año				

4.7.- Otros Escenarios simulados:

A efectos de comparación con los supuestos del recrecimiento de Yesa hemos generados unos escenarios ficticios en los que hemos tratado de contrastar la capacidad que el sistema basado en la regulación en tránsito es capaz de ofrecer.

Para una estructura de cultivos altamente exigente, muy superior a lo introducido en el resto de simulaciones, basada en maíz y alfalfa se llevan a suministrar para usos agrarios de promedio como máximo un total de 740 hm^3 , con una garantía de suministro del 80%.

Que si compara con el recrecimiento de Yesa planteado por el Gobierno de Aragón y una capacidad en el canal de las Bardenas de $52 \text{ m}^3/\text{seg}$ es prácticamente equivalente al alcanzarse en este supuesto un promedio para regadío de 748 hm^3 , aunque en este supuesto la garantía de suministro sea algo inferior, concretamente del 70%

En esta hipótesis maximalista ambos planteamientos, recrecimiento y la alternativa de regulación en tránsito son completamente EQUIVALENTES.

Por tanto, estamos frente a dos planteamientos opuestos de concebir la gestión del agua pero que en los resultados efectivos, según las hipótesis planteadas y supuestos establecidos, son semejantes en cuanto a capacidad para atender los usos agrarios.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDREU, J.; CAPILLA, J.; FERRER, J. y SOLERA, A. (1992): *Modelo SIMGES de simulación de la gestión de recursos hídricos, incluyendo utilización conjunta. Manual de usuario*. Universidad Politécnica de Valencia.
- ANDREU, J. (1993): *Conceptos y métodos para la planificación hidrológica*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona.
- ARROJO, P. (1997): *La gestión del agua en España y California*. Bakeaz; Bilbao.
- ARROJO, P. y BERNAL, E. (1997): El regadío en el Valle del Ebro. In LÓPEZGÁLVEZ, J. y NAREDO, J.M. (Eds.): *La gestión del agua de riego*. Argenteria-Visor, Madrid.
- ARROJO, PEDRO (1996): Donde estamos y qué se puede aportar hoy desde la ciencia económica a la gestión hidráulica. *Cuadernos Aragoneses de Economía*; 2ª Época. Vol. 6; págs. 5-14.
- ARROJO, PEDRO (1998): Un nuevo enfoque para valorar nuestros recursos hídricos en Aragón. Situación Revista del Banco Bilbao Vizcaya (BBV); Serie de Estudios Regionales. Págs 57-91.
- BALAIRÓN, L. (2000): *Gestión de recursos hídricos*. Edicions UPC, Barcelona.
- GOBIERNO DE ARAGÓN (1998): *Atlas de recursos hidroeléctricos de Aragón*. CIRCE, Zaragoza.
- GOBIERNO DE ARAGÓN, Informe sobre el recrecimiento de Yesa, abril 2004
- MAIRAL, GASPAR (2001): Una cita histórica con la nueva cultura del Agua; la Directiva Marco perspectivas en España y Portugal. Ed. Nuno Grande, Pedro Arrojo; Instituto Fernando El Católico, CSIC.
- OLLERO, A. (2000): Primera aproximación a una clasificación de cursos fluviales aplicable a la ordenación, *Lurralde*, 23: 125-133.
- PALAU, A. (1994): Los mal llamados caudales ecológicos. Bases para una propuesta de cálculo. *Obras Públicas*, 28 (2): 84-95
- PALAU, A.; ALCÁZAR, J.; ALCASER, C. y ROI, J. (1997): *El caudal básico. Método para la gestión hidrobiológica de ríos regulados*. Universitat de Lleida.
- PALAU, A., & ALCÁZAR, J. (1996): The basic flow: An alternative approach to calculate minimum environmental instream flows. *Proc. 2nd. International Symposium on Habitat Hydraulics. Ecohydraulics 2000*. Vol A: 547-558. Québec.

PETTS, G.E. & CALOW, P. (Eds.): *The rivers handbook*, II, London.

CHE, Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro,

CHE, página web de la Oficina de Planificación Hidrológica.

RICHTER, B.D.; BAUMGARTNER, J.V.; WIGINGTON, R. & BRAUN, D.P. (1997): How much water does a river need?. *Freshwater biology*, 37: 231-249

SÁNCHEZ, R. (2000): El método del caudal básico: criterios de cálculo y aplicación, *Trabajo Final de Carrera*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Lleida

SANZ MONTERO, M.E.; COBO, R.; AVENDAÑO, C. & GÓMEZ, J.L. (1996): Influence of the drainage basin area on the sediment yield to Spanish reservoirs, *First European Conference and Trade Exposition on Control Erosion*, Lleida.

UREÑA, J.M. y OLLERO, A. (2001): Criterios y propuestas para la ordenación de áreas fluviales. *Ciudad y Territorio, Estudios Territoriales*, 126 (en prensa).

VALERO, B.L.; NAVAS, A. y MACHÍN, J. (1997): Una aproximación sedimentológica al aterramiento de embalses y la erosión en cuencas de montaña: el embalse de Barasona y la cuenca del Ésera-Isábena (Pirineos centrales, Huesca), *Cuadernos de Investigación Geográfica*, XXII-XXIII: 7-31.