

Anexo I. Descripción de la zona de estudio

Anexo I DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El embalse de Barasona está situado dentro de la provincia de Huesca, junto al municipio de Graus, en los Pirineos centrales y recoge las aguas de los ríos Ésera e Isábena, antes de desembocar en el Cinca, todo ello dentro de la cuenca hidrográfica del Ebro. La cuenca de la cual se abastece el embalse es la cuenca del Ésera-Isábena. El nombre de la misma se debe a que está articulada en torno a los dos ríos principales, los cuales le dan nombre. Cuenta con una superficie de 1224 Km² y se extiende desde las altas cumbres del Pirineo hasta las sierras prepirenaicas al sur.



Figura 1. 1 Situación geográfica de la cuenca



Figura 1. 2 Esquema de la cuenca Ésera-Isábena y situación del embalse de Barasona.

El río Ésera nace en la cabecera del valle de Benasque y fluye por toda la comarca de la Ribagorza, hasta aportar sus aguas al embalse. Aguas abajo, sigue su curso, hasta desembocar en el río Cinca, contando con una longitud total de 101,30 Km. Entre los municipios por los que transcurre destacaremos, Sahún, situado cerca del nacimiento; Campo, en este punto el río ya ha recorrido 23 Km, aproximadamente, por el congosto de Ventanillo y cuenta con una estación de medida de parámetros hidráulicos; y finalmente, destacamos el municipio de Graus, situado justo antes de la entrada al pantano. Será en estos tres lugares, donde han sido registrados datos hidráulicos en estaciones foronómicas para la posterior caracterización del río.

A su vez, el río Isábena, afluente principal del Ésera, nace en el Pirineo y transcurre por la margen izquierda de su efluente. Su longitud total, desde el origen, hasta la confluencia con el Ésera, es de 62,10 Km. De este segundo, destacamos solamente la población de Capella, puesto que es el único punto de referencia para la toma de datos.

En cuanto al clima y precipitación, por la zona geográfica en la que nos encontramos, presenta un clima predominante de montaña, húmedo y frío (ASCASO Y CUADRAT, 1981). Las precipitaciones, experimentan un descenso, de norte a sur, siendo menores, cuanto más al sur nos situamos. Las temperaturas tienden a ser más frías en la cabecera de la cuenca, y se van suavizando en sentido de la corriente.

En cuanto a la vegetación de la cuenca, en la siguiente imagen se muestra la distribución y el uso del suelo. Los usos principales son los pastos en la zona norte, dejando paso al cultivo de la tierra conforme desciende la altitud.

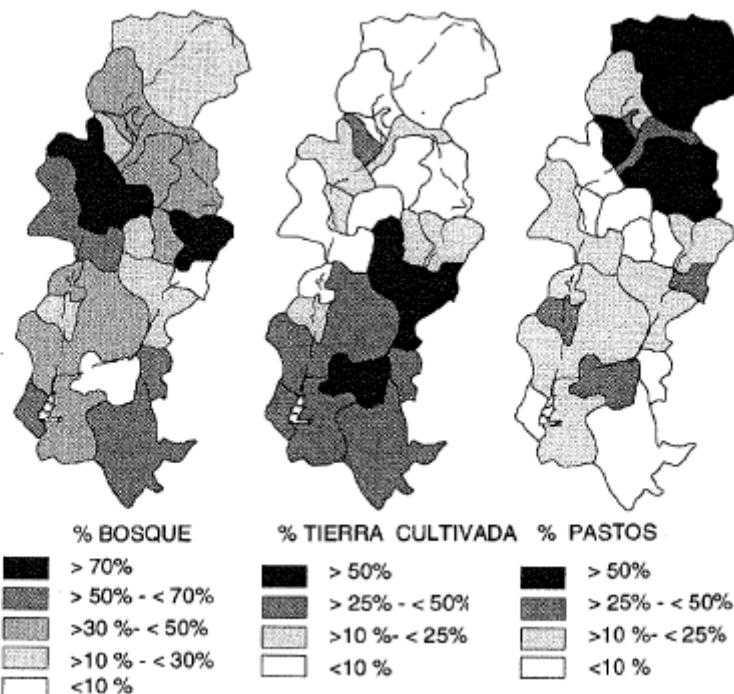


Figura 1. 3 Distribución de los usos del suelo en la cuenca Ésera-Isábena.

El embalse de Barasona, o también llamado de Joaquín Costa, en honor al célebre escritor altoaragonés, fue construido en 1932 con una capacidad inicial máxima de 92 Hm³ (valor que se ha ido reduciendo a lo largo de los años) y una superficie de 560 hectáreas aproximadamente. Sufrió una remodelación en 1972, consistente en un aumento de la altura de la presa de 5 m, respecto del nivel inicial, debido a la pérdida de capacidad de almacenaje. El tipo de presa es de gravedad con planta curva y las cotas de sus principales tomas son las siguientes: aliviaderos: 440.17 m s.n.m.; riegos y producción hidroeléctrica: 417 m s.n.m.; desagüe de fondo: 395.38 m s.n.m. Las características propias del embalse, según una nota de prensa realizada por la propia Confederación Hidrográfica del Ebro, se recogen en la siguiente tabla:

Análisis hidrológico del embalse de Barasona (Huesca) durante el periodo 2000-2018.

| | |
|----------------------------|---------------------------|
| Provincia | Huesca |
| Municipio | Graus |
| Año de finalización | 1932/1972 |
| Tipo de presa | Gravedad con planta curva |

Tabla1. 1 Características del embalse de Barasona

Morfología/Hidroología

| | |
|-------------------------------|-----------|
| Volumen (hm3) | 92,2 |
| Superficie (ha) | 692 |
| Cota (m s.n.m.) | 447,67 |
| Profundidad máxima (m) | 59,9 |
| Profundidad media (m) | 13 |
| Fluctuación de nivel | Media |
| Tiempo de residencia | 1/2 meses |

Tabla1. 2 Morfología e hidrología de embalse de Barasona

Cuenta con las siguientes salidas, cuyas cotas se indican en la tabla posterior, así como su situación en la Figura 3.

Cota tomas (m s.n.m.)

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Aliviadero | 440,17 |
| Riegos y producción eléctrica | 417 |
| Desagüe de fondo | 395,38 |

Tabla1. 3 Costas de las distintas salidas situadas en el embalse de Barasona

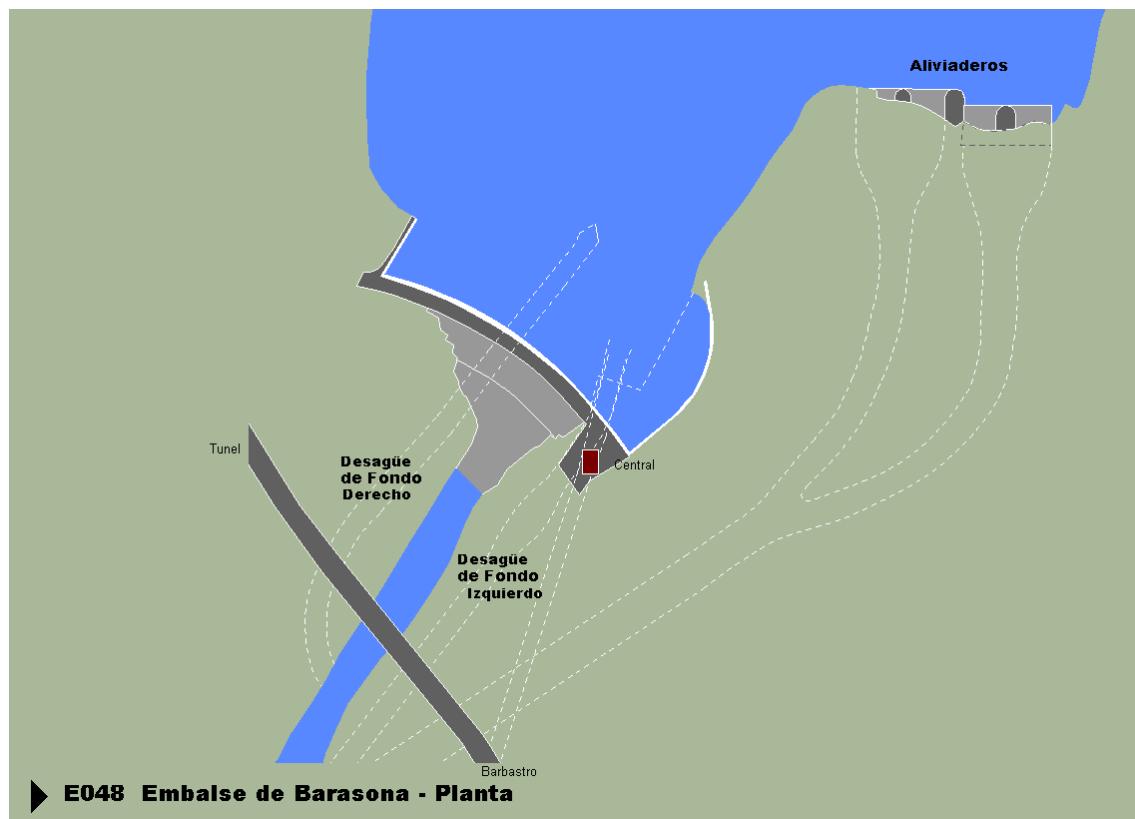


Figura 1. 4 Distribución de las distintas salidas del embalse.

El agua contenida en el embalse tiene dos usos mayoritarios:

- La producción de energía hidroeléctrica y
- El abastecimiento y riego

El aprovechamiento hidroeléctrico se realiza en la central de San José, situada 2 Km aguas abajo.

Esta cuenta con dos grupos de generación con una capacidad máxima de $18 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que dota a la central de un caudal máximo de $36 \text{ m}^3/\text{s}$

Del agua del pantano, se abastece al canal de Aragón y Cataluña. Esta agua del canal va destinada al abastecimiento de municipios tales como Monzón, Binefar y Tamarite, y al riego del cultivo de estas mismas zonas, mayoritariamente árboles frutales.

La gestión ordinaria del embalse se realiza de la siguiente manera: el agua sale por la toma de riegos y de producción hidroeléctrica a través de un canal excavado en la montaña, el cual conecta con una tubería hasta la central de San José donde se turbinan y posteriormente se deriva al canal de Aragón y Cataluña, para poder ser utilizada posteriormente para el abastecimiento y riegos. El agua que no es derivada al canal es devuelta al río Ésera, el cual terminará desembocando en el Cinca. A su vez, el agua del canal se puede turbinar nuevamente en la central de El Ciego, hasta un caudal máximo de 12 m³/s.

En la figura 1.5 se muestra un esquema en el que se muestran las distintas salidas con las que cuenta el embalse.

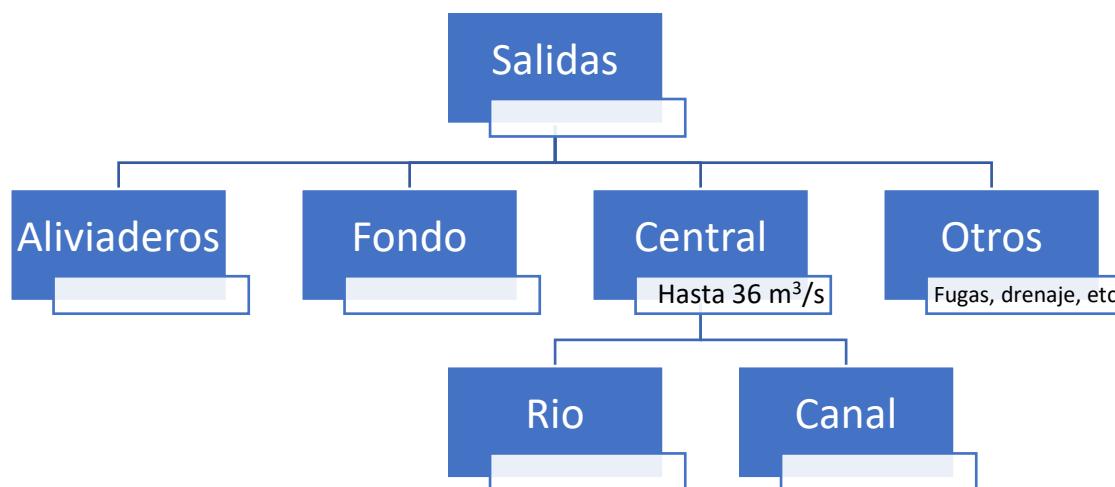


Figura 1.5 Esquema del reparto de agua que abandona el embalse.

Anexo II. Análisis hidrológico de los datos

Anexo II. ANÁLISIS DE LOS DATOS RECOGIDOS EN EL EMBALSE DE BARASONA DURANTE EL PERIODO 2000-2018

2.1 Introducción

En el siguiente documento se va a realizar un análisis hidrológico de los datos recogidos en el embalse de Barasona durante el periodo 2000-2018 proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Dentro de los datos de la CHE, se engloban tanto mediciones de caudales a la entrada y salida del embalse, diferenciando la finalidad de los flujos salientes, datos de temperaturas y precipitaciones, así como de producción hidroeléctrica, entre otros. Por parte de los datos del CEDEX http://www.cedex.es/CEDEX/lang_castellano/ se ha realizado una búsqueda sistemática de datos referentes a la cuenca, en la que se han obtenido referencias tanto del caudal como de la altura del Ésera e Isábena, los dos ríos que conforman el principal aporte del cual se nutre el pantano en un periodo entre el año 2000 y el 30 de Septiembre del año 2015.

Los datos facilitados por la CHE son de carácter diario y se encuentran almacenados en hojas de Microsoft Access, el cual es un programa dedicado a la gestión de bases de datos. Los obtenidos del CEDEX, han sido descargados en distintos documentos de texto. Una vez inspeccionados los datos, han sido volcados en hojas Excel, para facilitar su uso.

En las siguientes hojas, se recogen cada uno de los análisis de los diferentes años, dividiéndolos por capítulos para diferenciar los periodos, y posteriormente en subapartados.

Para comenzar, el guion que se va a seguir para la realización de cada análisis será el siguiente: comenzaremos por analizar la cuenca de la que forma parte el embalse analizando la altura y el caudal de los dos ríos principales de los que se compone. Posteriormente, se analizará el embalse, se hablará de las temperaturas y precipitaciones recogidas en el mismo, así como de las entradas y salidas, diferenciando en este segundo caso, entre las distintas demandas que presenta el pantano y los caudales destinados tanto al canal de Aragón y Cataluña, como el que se deja fluir por el río Ésera. Por último, se visualizará la producción de energía

hidroeléctrica que se genera en la central de San José y la capacidad del embalse, teniendo en cuenta los flujos de entrada y salida de agua y el volumen embalsado en cada momento.

Como resumen, los pasos que se siguen en el análisis de datos es el siguiente:

- Cuenca
 - Aportaciones
 - Ésera
 - Isábena
 - Confluencia
 - Embalse
 - Temperatura y precipitación
 - Entradas
 - Demanda
 - Salidas Canal/Río
 - Producción hidroeléctrica
 - Capacidad de almacenamiento

Antes de realizar el análisis de cada año de manera individual, se va a realizar una explicación de la manera de proceder en cada caso, ya sea las operaciones realizadas o la forma de obtener las representaciones, para evitar la repetición de dichas cuestiones.

En primer lugar, se va a realizar una descripción de la cuenca, así como de las distintas estaciones de aforo utilizadas para la obtención de los datos.

La cuenca en la cual está situado el embalse de Barasona es la del Ésera-Isábena. Dentro de ésta, los dos ríos principales son los que dan nombre a la misma, es decir el Ésera y el Isábena que, a su vez, representan la principal vía por la cual se nutre el embalse.

Dentro del apartado “Aportaciones” se va a analizar la naturaleza de los ríos para poder tener un punto de partida a la hora de realizar una primera aproximación en el análisis de la gestión del embalse, puesto que estos dos ríos transportan, como hemos nombrado anteriormente, los flujos más significativos de los cuales se abastece el embalse.

Para poder realizar un análisis del río Ésera partiremos de datos diarios de caudal, expresado en m^3/s , y de altura, en m. Las mediciones de dichas variables han sido realizadas en tres estaciones foronómicas situadas a lo largo del transcurso del río. En nuestro estudio,

evaluaremos los datos referentes al río Ésera, recogidos en las estaciones nº 9145 en Sahún, 9258 en Campo y 9013 en Graus.

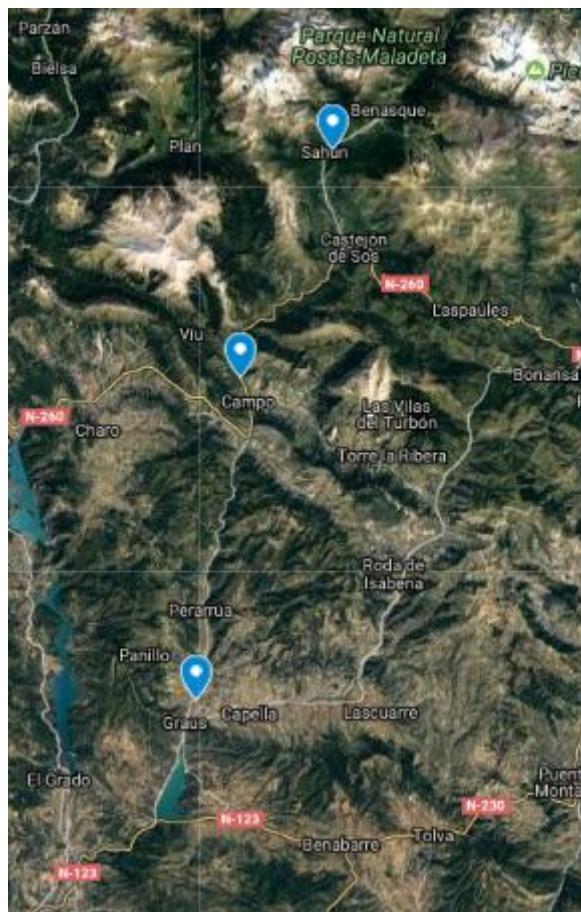


Figura 2. 1 Situación de las estaciones de aforo a lo largo del río Ésera.

La primera de ellas se sitúa en Eriste, en el municipio de Sahún, situada a 830 m s.n.m, latitud 42° 34' 48'' y longitud 0°28' 21''. Las medidas se realizan mediante el encauzamiento por medio de un canal de aguas bajas de 16.4 m de ancho y la estación cuenta con una caseta prefabricada y una escala exterior, además de vertedero. Hasta esta primera toma de datos, la cuenca receptora es de 323 Km².



Figura 2. 2 Imagen de la estación foronómicas de Eriste.

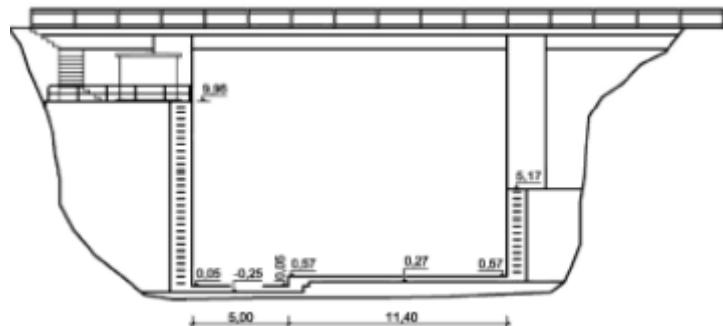


Figura 2. 3 Esquema de la estación de aforo de Eriste.

Si seguimos el río curso abajo, 30 Km al Sur, y tras recorrer el congosto de Ventamillo, llegamos al municipio de Campo, en el que se encuentra la segunda estación de aforo, con una altura de 675 m, 0º23' 20''; latitud 42º 25' 33''. En este caso las medidas son tomadas directamente en el cauce natural del río Ésera.



Figura 2. 4 Fotografía de la estación de aforo de Campo.

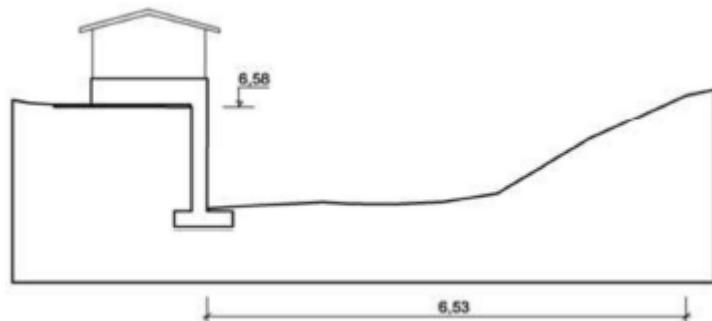


Figura 2. 5 Esquema de la estación de aforo de Campo.

Por último, en el municipio de Graus se encuentra la última estación, la nº 9013. Es en dicho punto donde se recogen los niveles más altos tanto de caudal como de altura, puesto que es la estación más próxima al embalse de Barasona, y cuenta con 893 Km² de cuenca receptora. Su localización es longitud 0º 20' 45'', latitud 42º 12' 21'', y al igual que la nº 9258, utiliza el cauce natural del río para la obtención de los parámetros.



Figura 2. 6 Fotografía de la estación de aforo de Graus.

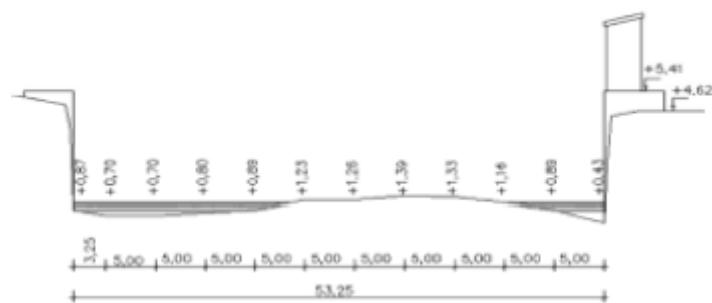


Figura 2. 7 Esquema de la estación de aforo de Graus.

El rango temporal a evaluar en este análisis abarca desde el 01 de Enero del año 2000 hasta el 30 de Septiembre del 2015, por lo que contamos con más de 10000 datos.

Para la elaboración de las representaciones en las que se apoyará el análisis del flujo del río, se ha tenido que realizar, en algunos casos, una serie de cálculos, para poder obtener una mayor claridad a la hora de visualizar las distintas variables, y así poder obtener mejores conclusiones.

La metodología a seguir en la evaluación de las tres estaciones se basará en un análisis de los caudales y la altura tanto anual, para poder ver la influencia de las estaciones, así como una comparativa de los valores medios anuales en todo el periodo de estudio. En este último caso, tendremos que adecuar los datos para poder realizar la comparativa, y ver la tendencia del recuso.

Una vez analizado el río Ésera, se realizará el mismo procedimiento con el Isábena: partiremos de los datos recogidos en la página del CEDEX, y usamos el mismo periodo temporal (del 1 de Enero del 2000, hasta el 30 de Septiembre del año 2015). En este caso, los datos han sido recogidos en una única estación, la nº 9047, situada en Capella, con longitud 0º 23' 48" y latitud de 42º 11' 42", y una altura de 485 m s.n.m. La cuenca receptora del Isábena cuenta con una extensión de 426 Km².

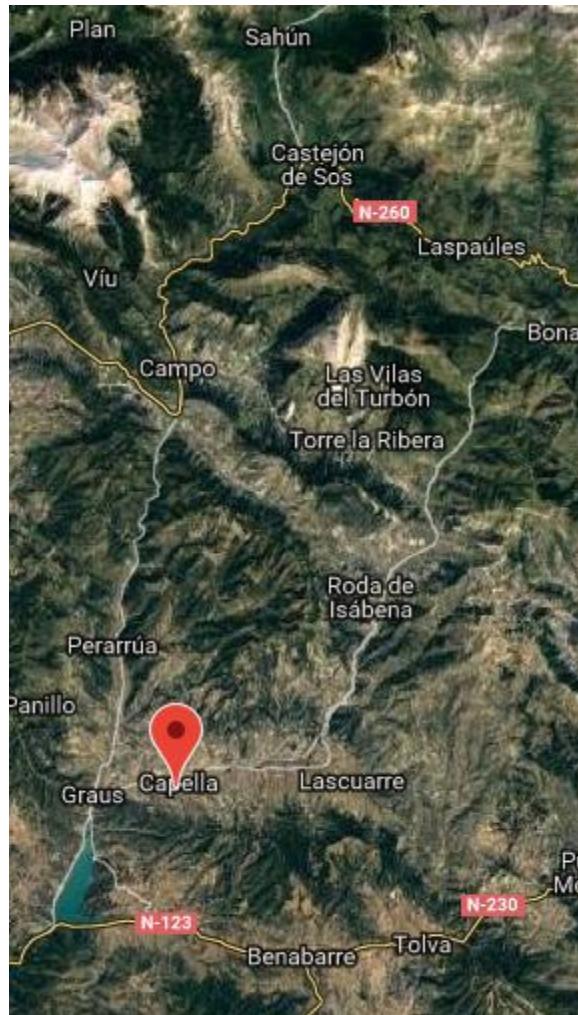


Figura 2. 8 Situación de la estación de aforo de Capella.



Figura 2. 9 Fotografía de la estación de aforo de Capella.

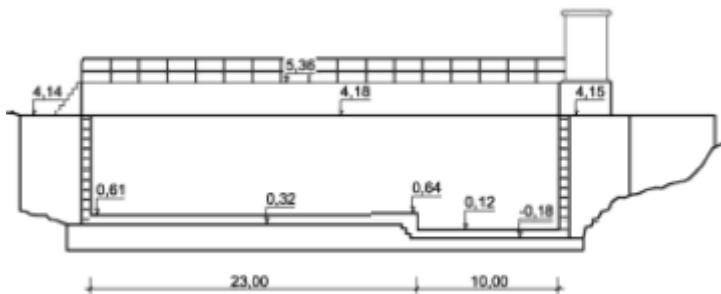


Figura 2. 10 Esquema de la estación de aforo de Capella.

Una vez visto cada río como un aporte individual, nos centraremos en analizar la influencia total de ambos, como conjunto, puesto que el aporte mayoritario de agua, al cual se hace referencia con “Entrada”, se basa fundamentalmente en el aporte de ambos ríos.

En este punto se dará una primera aproximación de cuál va a ser el caudal que entra al pantano. Hablamos de aproximación, puesto que desde las estaciones foronómicas de Graus y Capella, hasta el punto donde se registran las estradas del pantano, todavía existe un tramo de río en el que puede haber diferentes pérdidas, tales como uso de aguas para la industria, plantas de áridos y hormigones, graveras, ...

Para poder realizar el análisis hidrológico que nos interesa se han tratado los datos recopilados como se detalla a continuación. Se han sumado los valores de caudal de cada uno de los ríos a lo largo de cada día para obtener el caudal diario total de aporte de agua de ambos ríos y confeccionar de esta manera las representaciones en las que apoyaremos el análisis.

Al igual que el procedimiento utilizado para cada río individualmente, se realizará la media aritmética del valor de caudal, para cada uno de los años de estudio.

Tras analizar los datos recogidos por las estaciones de aforo de ambos ríos nos centraremos en los datos del embalse en sí mismo. Todos los datos han sido recogidos por el personal encargado de la presa, y facilitados para su utilización en este trabajo por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Los datos abarcan un periodo entre el 01 de Enero del 2000, hasta el 8 de Abril del 2018.

Los datos analizados en esta memoria son solamente una pequeña parte de todos los facilitados por la CHE. Nos centraremos solamente en la entrada de pantano, las temperaturas y precipitaciones registradas en el mismo, y en la salida, diferenciando en este caso los distintos usos que se le dan al caudal desembalsado.

Al igual que en los apartados anteriores, los datos son de carácter diario, por lo que, para su mejor representación y análisis, se realizarán distintas operaciones sobre los mismos, indicando cuál será el procedimiento seguido en cada caso en particular.

Comenzaremos por la evaluación de las temperaturas y precipitaciones recogidas en el pantano y se realizará sobre las temperaturas, tanto máximas como mínimas, una media aritmética para obtener el valor mensual de cada variable. A su vez, se calculará la temperatura media, como la media de las temperaturas máximas y mínimas recogidas en las instalaciones del pantano.

Con las precipitaciones, realizaremos un tratamiento diferente. En primer lugar, realizaremos una adecuación de las unidades. Los datos facilitados se encuentran expresados en l/m^3 . Nosotros utilizaremos las medidas en mm, o lo que es lo mismo, altura de agua recogida en una superficie plana. No tendremos que realizar ningún cambio de unidades, ya que las medidas l/m^3 y mm, son equivalentes. Una vez expresados los datos en mm, no realizaremos la media aritmética, sino que sumaremos los datos obtenidos en cada uno de los días de los diferentes meses, para obtener la acumulación total de agua recogida en todo el periodo analizado.

Para evaluar la regularidad de los datos se realizará una representación en la que estarán presentes los valores de temperaturas máximas, medias y mínimas anuales, así como la precipitación total, en mm, caída a lo largo del año.

De igual manera que antes, las temperaturas se obtendrán realizando la media aritmética de cada periodo, y el valor de precipitación se obtendrá fruto de la suma de los valores diarios.

Dentro del apartado “Entrada” vamos a tener en cuenta la relación entre las entradas medidas en el pantano y las supuestas entradas debidas a los ríos, sin tener en cuenta las precipitaciones; ya que las consideraremos despreciables frente al caudal aportado por los ríos, debido a su escasa influencia.

Representaremos, tanto la suma de los caudales de los ríos Ésera e Isábena, expresados en m^3/s , calculada anteriormente; así como los datos recogidos de entradas de agua al pantano con las mismas unidades. Obtendremos un desacuerdo entre ambos valores, por lo que a la diferencia de ambos valores lo llamaremos pérdidas. Estas tendrán un carácter negativo cuando a la entrada del pantano se recojan medidas inferiores a la suma de los caudales de los ríos, y valores positivos en caso contrario. Es decir, serán negativas cuando el dato de entrada

recogido en el pantano, para un mes en concreto, sea de menor magnitud que la suma de los ríos, valor calculado anteriormente en el apartado “Confluencia”.

$$\text{Pérdidas} = \text{Entrada} - \text{Confluencia}$$

Para las representaciones de este apartado, se realizará la suma de los valores diarios agrupando los datos por meses.

En cuanto a la evaluación del periodo completo, se sumarán todas las entradas, tanto por parte de ambos ríos como las medidas en el pantano, y la resta de ambas nos dará el valor de pérdidas.

Dentro del apartado “Demanda”, diferenciaremos entre las cuatro salidas diferentes con las que cuenta el pantano.

Si el caudal es utilizado para la producción de energía eléctrica, el flujo de agua saldrá por la salida que llamaremos central, el agua desembalsada por los aliviaderos estará representada por la salida con el mismo nombre, los desagües de fondo también están contemplados en el tipo de salidas, y por último la llamada “Otros” engloba tanto caudales ecológicos, como distintas fugas que pueden aparecer en la presa. Este caudal ecológico, representa el valor mínimo de agua necesaria para preservar los valores ecológicos del cauce, como pueden ser la flora y fauna, o la simple protección del paisaje y siempre tiene que estar presente, por muy pequeño que sea su valor.

Con todos los datos diarios recopilados por cada una de estas salidas, con unidades de m^3/s , y realizando una media aritmética para obtener el caudal medio registrado por mes, se obtendrán las gráficas necesarias.

Para la evolución de la salida de caudal del embalse por los diferentes conductos, bastará con sumar los caudales desembalsados por cada uno de ellos, y representarlos conjuntamente.

Una vez el agua desembalsada por la salida de la central es aprovechada para la generación de energía hidroeléctrica, este caudal se divide entre el río y el canal. El agua del río fluye por el cauce del Ésera hasta desembocar en el Cinca, y la del canal abastece el Canal de Aragón y Cataluña y es utilizada para riegos.

Como acabamos de nombrar, el caudal de agua que sale por la salida de la central es turbinado en la central de San José y una vez se ha aprovechado para la obtención de energía hidroeléctrica se divide entre el agua que es devuelta al río, y la que formará parte del Canal de Aragón y Cataluña. El caudal que circula por el río es calculado como la diferencia entre el caudal total que sale del embalse, menos el que se destina al Canal de Aragón y Cataluña. Una vez más, realizando la media aritmética, obtenemos el valor medio de cada uno de los caudales, agrupando los valores mensualmente.

A su vez, sumando los caudales destinados al río y al canal, veremos la evolución de éstos a lo largo del periodo de estudio.

El agua que sale por la salida de la central es aprovechada para la generación de energía hidroeléctrica. La central cuenta con dos grupos de generación de $18 \text{ m}^3/\text{s}$ cada uno, lo que da un caudal máximo de $36 \text{ m}^3/\text{s}$.

Una vez más se realizará la media aritmética para evaluar los valores de caudal mensual destinado a la producción de energía, así como la energía obtenida en el mismo periodo. Para la representación de la tendencia, se sumarán ambos datos diariamente, en cada uno de los años de estudio.

Por último, dentro de la capacidad de almacenamiento, analizaremos el volumen de agua contenido en el pantano, y lo representaremos junto a las entradas y salidas del mismo. El volumen es expresado en Hm^3 , mientras que las entradas y salidas tienen unidades de m^3/s .

Con todo ello, y realizando la habitual media mensual, representamos conjuntamente los valores de capacidad, entradas y salidas, obtenidos durante el año de estudio.

Para finalizar, sumando los valores diarios anuales, obtenemos la gráfica que nos muestra, para cada año en concreto, el valor tanto de entradas como salidas, junto con el volumen almacenado.

2.2 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2008

El análisis hidrológico correspondiente a este año 2008 se presenta en este trabajo como ejemplo del procedimiento seguido para analizar todo el periodo objetivo. Los datos utilizados para la confección de este análisis han sido recogidos de dos fuentes diferentes. La primera de ellas es la Confederación Hidrográfica del Ebro, la cual nos ha cedido datos referentes al embalse de Barasona, del periodo comprendido entre el año 2000 y el 8 de Abril del 2018. Dentro de este conjunto de datos, se engloban tanto mediciones de caudales a la entrada y salida del embalse, diferenciando la finalidad de los flujos salientes, datos de temperaturas y precipitaciones, así como de producción hidroeléctrica, entre otros. La segunda fuente es el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) http://www.cedex.es/CEDEX/lang_castellano/ donde se ha realizado una búsqueda sistemática de datos referentes a la cuenca, en la que se han obtenido referencias tanto del caudal como de la altura del Ésera e Isábena, los dos ríos que conforman el principal aporte del cual se nutre el pantano en el periodo de estudio entre el año 2000 y el 30 de Septiembre del año 2015.

Todos los datos obtenidos son de carácter diario y han sido facilitados mediante diversas hojas de Microsoft Access, programa dedicado a la gestión de bases de datos y diversos documentos de texto. Una vez inspeccionados los datos, éstos han sido volcados en hojas Excel, para facilitar su uso.

2.2.1 Cuenca

2.2.1.1 Aportaciones de la cuenca del embalse

En primer lugar, con el objetivo de analizar la gestión del embalse, se analizan las entradas al mismo a través de los ríos que lo nutren: el Ésera y el Isábena.

2.2.1.1.1 Ésera

Se analizan las variables caudal (en m^3/s) y altura de la lámina de agua (en m) del río Ésera en tres estaciones foronómicas situadas a lo largo del cauce: 9145 en Sahún, 9258 en Campo y 9013 en Graus.

A su vez, el rango temporal a evaluar en este análisis abarca desde el 01 de Enero del año 2000 hasta el 30 de Septiembre del 2015, por lo que contamos con más de 10000 datos.

En primer lugar, representaremos gráficamente la evolución temporal de las variables caudal y altura de agua en las estaciones de medida para observar el comportamiento del flujo de agua según la estación, el año o las peculiaridades que hayan ocurrido.

Los datos recogidos de caudal durante el año 2008 en la estación de Sahún son los recogidos en la Figura 11.

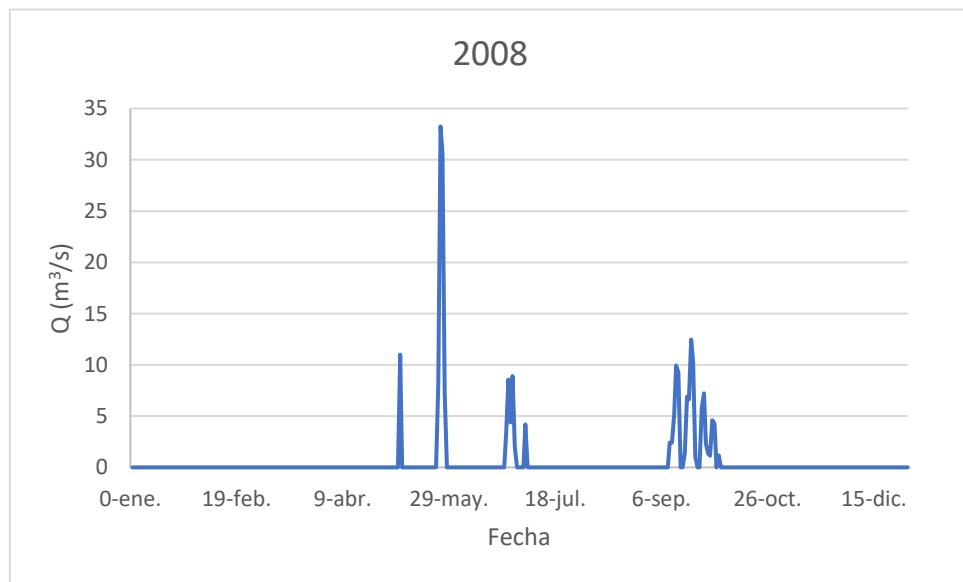


Figura 2. 11 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2008.

Podemos ver que, al ser una estación muy próxima al nacimiento del río, los caudales registrados durante la mayor parte del año se encuentran próximos a cero. El valor máximo es de $32 \text{ m}^3/\text{s}$, alcanzado a finales de mayo. También se observan dos épocas claras en las que los caudales aumentan de valor, por lo que ya vamos obteniendo una primera idea de cuáles serán las épocas en las que los caudales que circulen por el río sean mayores.

Si nos fijamos en la altura de la lámina de agua, medida respecto al lecho del río, podremos ver que es directamente proporcional al caudal circulante por el mismo recogido en la Figura 11.

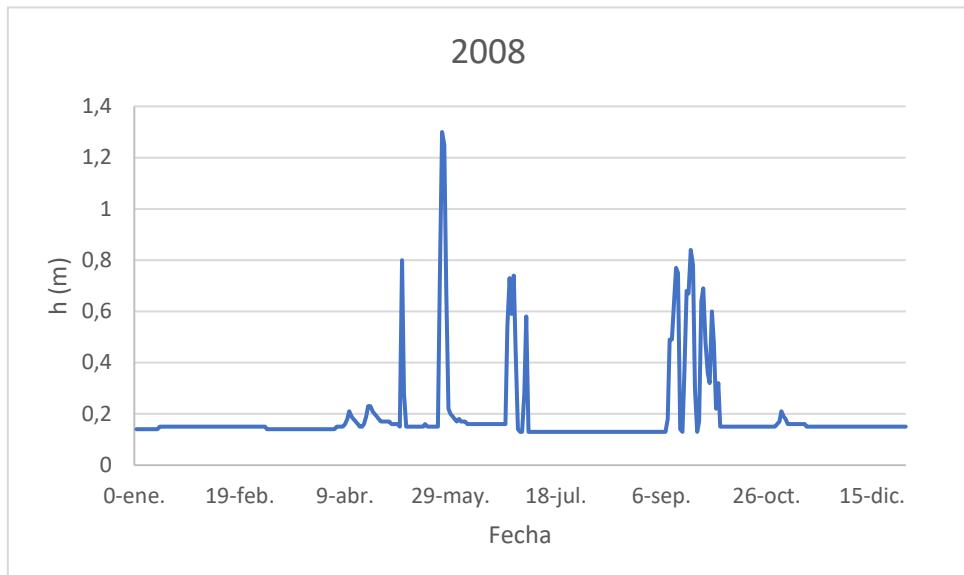


Figura 2. 12 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2008.

Podemos ver que, al igual que en el caso anterior, el máximo aparece a finales de mayo, presentando dos fechas en las que los datos superan los 0.2 m.

A continuación, se presentan los datos recogidos en la estación de Campo. A su paso por dicha estación, el río ya ha recorrido alrededor de 30 km, a lo largo del congosto de Ventamillo. Apreciamos, en los datos recopilados en el año 2008, la misma tendencia que en la estación anterior. El máximo caudal sigue ocurriendo a finales de mayo, y el segundo periodo de máxima circulación se sitúa a finales de octubre.

La diferencia más significativa es que el caudal del río ha sufrido un aumento debido a que el río ya tiene una cierta longitud, el estiaje en esta estación es de aproximadamente $5 \text{ m}^3/\text{s}$ lo que supone un aumento significativo, con respecto a la medida de la misma fecha en la estación previa.

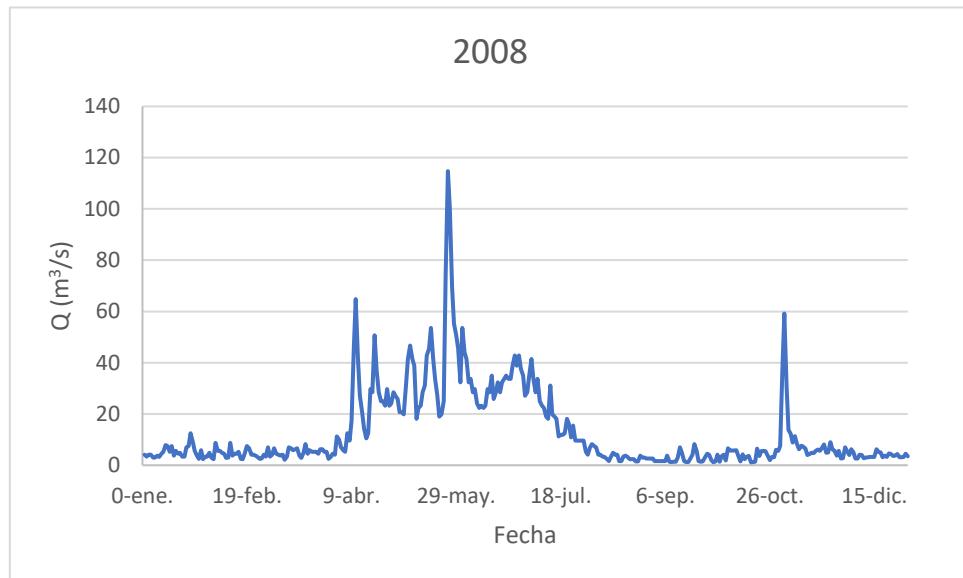


Figura 2. 13 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2008.

La representación de la altura de agua nos sigue dando la misma información que el caudal que circula por el río. Solamente apreciamos un aumento de alrededor de 0.4 m con respecto a la estación de Eriste, fruto del aumento de caudal que transporta el río en este punto.

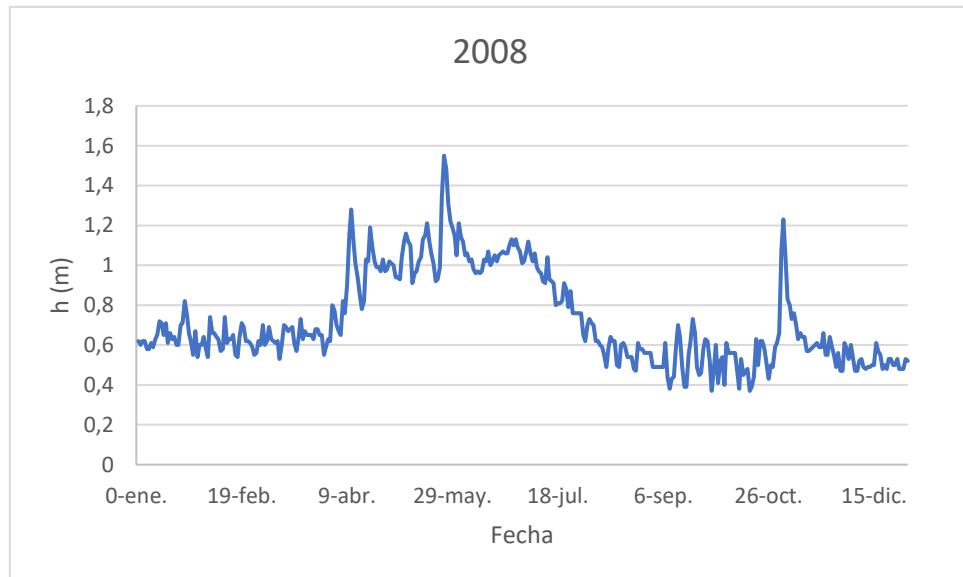


Figura 2. 14 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2008.

En la última estación donde se recogen datos de este río (Graus) observamos que se encuentran los niveles más altos tanto de caudal como de altura, puesto que es la estación más próxima al embalse de Barasona. Se representan estas variables en las siguientes gráficas.

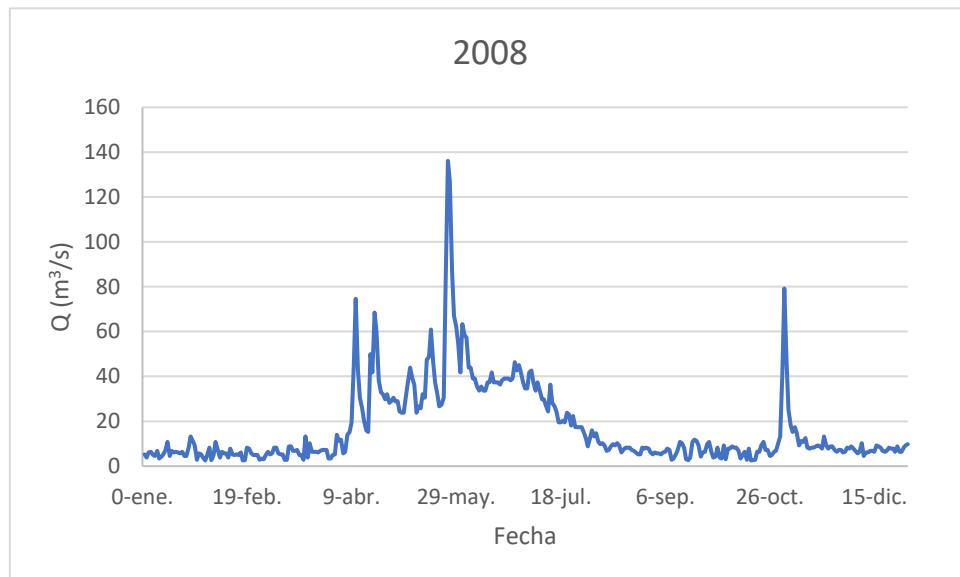


Figura 2. 15 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2008.

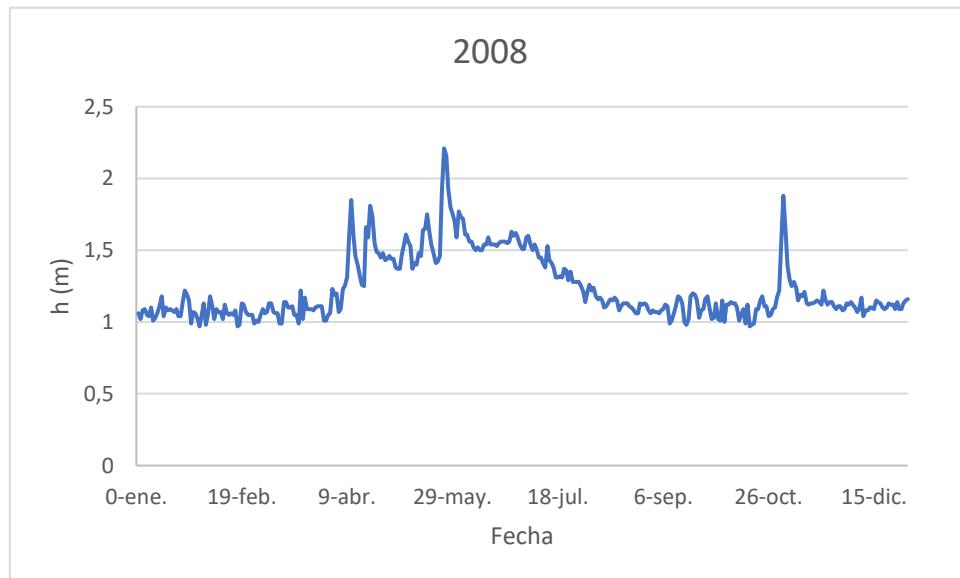


Figura 2. 16 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2008.

Las representaciones nos siguen indicando dos máximos anuales, uno a finales de mayo debido a la fusión de la nieve caída en el Pirineo durante el invierno; y otro en el mes de octubre, debido a la abundancia de precipitaciones durante ese periodo; lo que refuerza la teoría de que el río presenta un régimen nival de transición, caracterizado por dos máximos y dos mínimos.

2.2.1.1.2 Isábena

Una vez analizado el río Ésera, realizamos el mismo procedimiento con el Isábena: partimos de los datos recogidos en la página del CEDEX, y usamos la misma longitud temporal (del 1 de Enero del 2000, hasta el 30 de Septiembre del año 2015).

En este caso, los datos han sido recogidos en la estación nº 9047 situada en Capella. En la siguiente figura se muestran los datos de caudal recogidos en el año 2008.

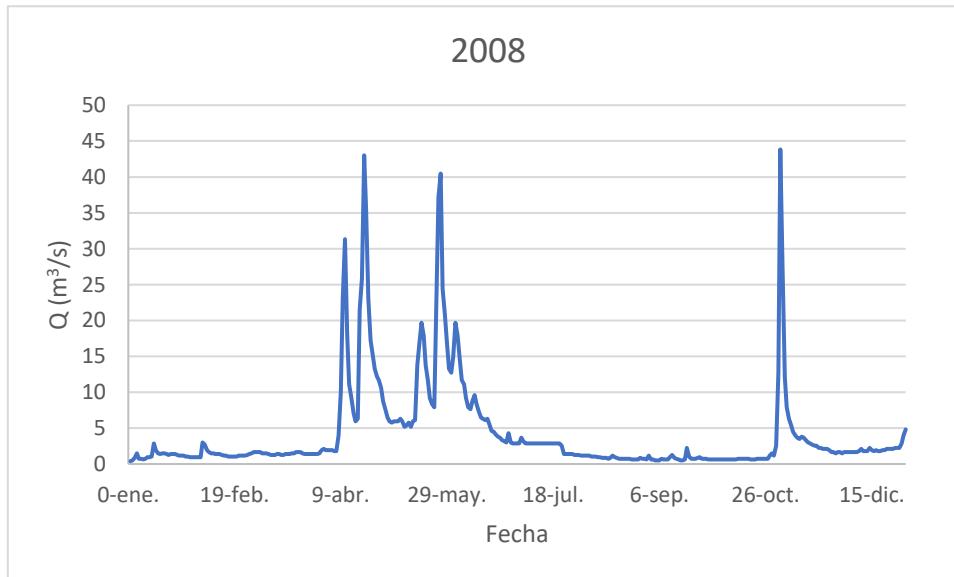


Figura 2. 17 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2008.

El río Isábena, al igual que el Ésera, presenta dos épocas en las que el caudal aumenta considerablemente. En ambos ríos las fechas de crecida coinciden, a comienzos de verano y finales del otoño, por lo que deducimos que ambos ríos tienen la misma naturaleza, y se

nutren del deshielo nival en su primera crecida anual, y de las abundantes precipitaciones que ocurren en el segundo periodo de máximo caudal.

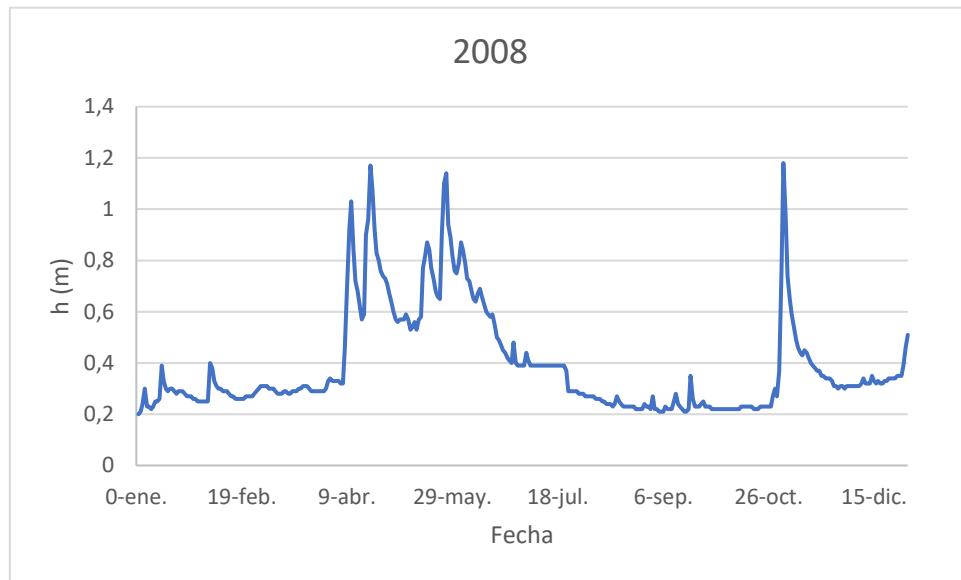


Figura 2. 18 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2008.

2.2.1.1.3 Confluencia

Una vez visto cada río como un aporte individual, pasamos a analizar la influencia total de ambos, como conjunto. Anteriormente ya hemos nombrado que el aporte mayoritario de agua, al cual se hace referencia en los datos recopilados del pantano como "Entrada", se basa fundamentalmente en el aporte de estos dos ríos.

En este punto se dará una primera aproximación de cuál va a ser el caudal que entra al pantano. Hablamos de aproximación, puesto que desde las estaciones foronómicas de Graus y Capella, hasta el punto donde se registran las estradas del pantano, todavía existe un tramo de río en el que puede haber diferentes pérdidas, tales como uso de aguas para la industria, plantas de áridos y hormigones, graveras, ...

Para poder realizar el análisis hidrológico que nos interesa se han tratado los datos recopilados como se detalla a continuación. Se han sumado los valores de caudal de cada uno de los ríos a lo largo de cada día para obtener el caudal diario total de aporte de agua de ambos ríos.

En la siguiente gráfica se representa la evolución del caudal a lo largo del año 2008 en la confluencia de los dos ríos. Siguen apareciendo los máximos observados en las mismas épocas anteriores, ya que este resultado es suma de los anteriores; por lo que se puede asegurar que la entrada de caudal que recibe el pantano es debida, en su mayoría, al deshielo nival y a las altas precipitaciones obtenidas a finales de primavera.

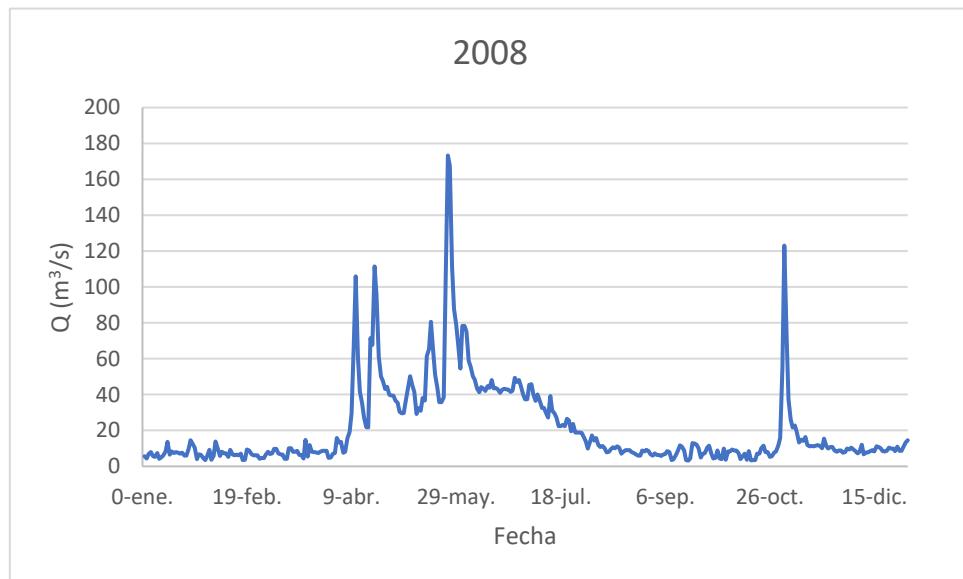


Figura 2. 19 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2008.

2.2.2 Embalse de Barasona

Una vez realizada la descripción de la presa en el capítulo anterior, pasamos a analizar los datos referentes a la misma, los cuales abarcan un periodo entre el 01 de Enero del 2000, hasta el 8 de Abril del 2018.

Los datos analizados en esta memoria son solamente una pequeña parte de todos los facilitados por la CHE. Nos centraremos solamente en la entrada de pantano, las temperaturas y precipitaciones registradas en el mismo, y en la salida, diferenciando en este caso los distintos usos que se le dan al caudal desembalsado.

Al igual que en los apartados anteriores, los datos son de carácter diario, por lo que, para su mejor representación y análisis, se realizarán distintas operaciones sobre los mismos, indicando cuál será el procedimiento seguido en cada caso particular.

2.2.2.1 Temperatura y precipitación

Comenzamos por la evaluación de las temperaturas y precipitaciones recogidas en el pantano y continuando con el año 2008 como ejemplo, realizamos sobre las temperaturas, tanto máximas como mínimas una media aritmética para obtener el valor mensual de cada variable.

A su vez, se ha calculado la temperatura media, como la media de las temperaturas máximas y mínimas recogidas en las instalaciones del pantano.

Con las precipitaciones, realizaremos un tratamiento diferente. En primer lugar, realizaremos una adecuación de las unidades. Los datos facilitados se encuentran expresados en l/m^3 , nosotros utilizaremos las medidas en mm, o lo que es lo mismo, altura de agua recogida en una superficie plana. No tendremos que realizar ningún cambio de unidades, ya que las medidas de l/m^3 y mm, son equivalentes. Una vez expresados los datos en mm, no realizaremos la media aritmética, sino que sumaremos los datos obtenidos en cada uno de los días de los diferentes meses, para obtener la acumulación total de agua recogida en todo el periodo analizado.

Con lo expuesto anteriormente, la representación de ambas variables queda de la siguiente manera. En naranja se muestra la temperatura máxima mensual, en azul la mínima y superpuesta a estas dos la media calculada. Las precipitaciones acumuladas, se representan en forma de línea.

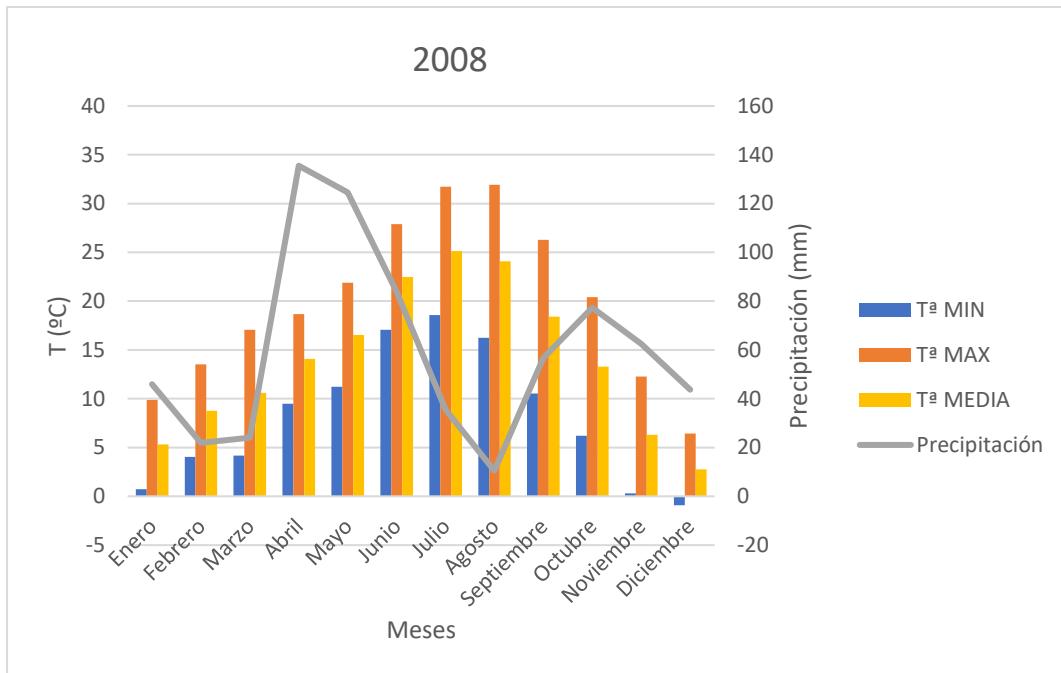


Figura 2.20 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2008.

Las temperaturas son de carácter cíclico: las máximas se dan en la época de verano, disminuyendo conforme se acerca el invierno, y volviendo a aumentar hasta completar el ciclo.

Las temperaturas medias registradas nunca bajan de los 0º, a diferencia de las mínimas, en las cuales se dan valores negativos.

Las precipitaciones a su vez presentan dos épocas de mayor importancia, estas son a principios del otoño, cuando se alcanza el máximo anual, y a finales de la primavera. Estos picos de precipitaciones coinciden con los caudales máximos recogidos en los ríos, pero su aportación frente al total de agua proporcionada por los ríos es muy pequeña, por lo que no la tendremos en cuenta cuando hablemos de las entradas que se recogen en el pantano.

2.2.2.2 Entradas

Dentro de este apartado vamos a tener en cuenta la relación entre las entradas medidas en el pantano y las supuestas entradas debidas a los ríos, sin tener en cuenta las precipitaciones; ya que como hemos dicho son despreciables frente al caudal aportado por los ríos.

Representaremos tanto la suma de los caudales de los ríos Ésera e Isábena, calculada anteriormente, así como los datos recogidos de entradas de agua al pantano. Obtenemos un desacuerdo entre ambos valores, por lo que a la resta de los mismos lo llamaremos pérdidas.

El valor del término pérdidas será el resultado de la diferencia entre los caudales de los ríos registrados en las estaciones de aforo menos el caudal registrado en la entrada del embalse. Este término tendrá signo negativo cuando el caudal que circula por ambos ríos sea mayor que el caudal registrado a la entrada del pantano.

El signo negativo indicará la presencia de pérdidas en el tramo entre la toma de las dos medidas; en cambio, si el signo es positivo querrá decir que el caudal entre ambas estaciones de toma de datos habrá aumentado.

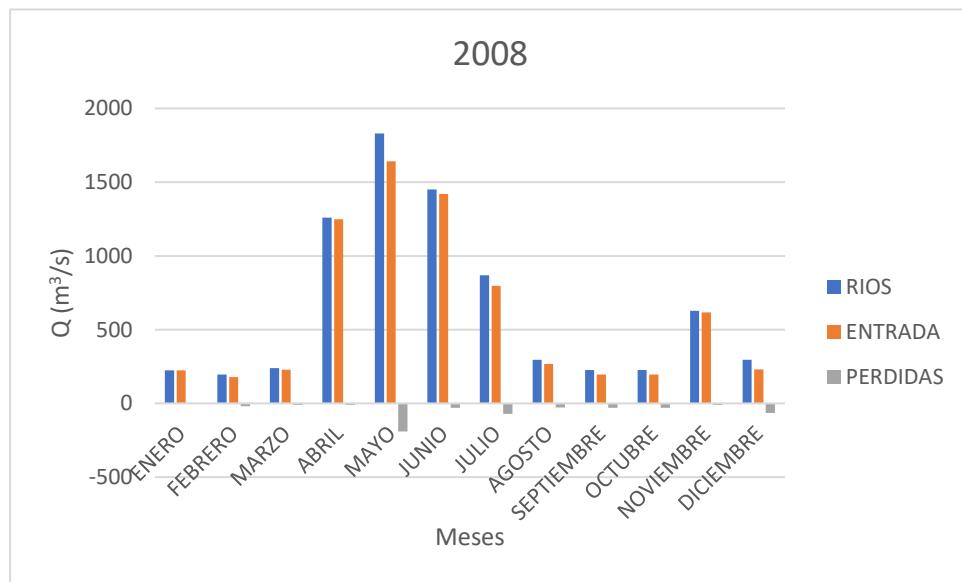


Figura 2. 21 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2008.

Vemos que ambos valores de entradas nunca coinciden, por lo que en todos los meses existe un valor de pérdidas.

Las mayores entradas registradas en el pantano coinciden, una vez más, con las épocas de finales de primavera y comienzos de verano, siendo éstas, durante el resto el año, inferiores a 300 m³/s. Esto nos indica que dichas épocas serán en las que tendremos una mayor disponibilidad de agua y la gestión del embalse tendrá que ser la adecuada para no perder el valor de la misma.

2.2.2.3 Demandas

El pantano cuenta con cuatro salidas diferentes. Si el caudal es utilizado para la producción de energía eléctrica el flujo de agua saldrá por la salida que llamaremos central; el agua desembalsada por los aliviaderos estará representada por la salida con el mismo nombre; los desagües de fondo también están contemplados en el tipo de salidas; y por último, la llamada “otros” engloba tanto caudales ecológicos como distintas fugas que pueden aparecer en la presa.

Con todos los datos diarios recopilados en cada una de estas salidas, con unidades de m^3/s , y realizando una media aritmética para obtener el caudal medio registrado por mes, obtenemos la siguiente representación.

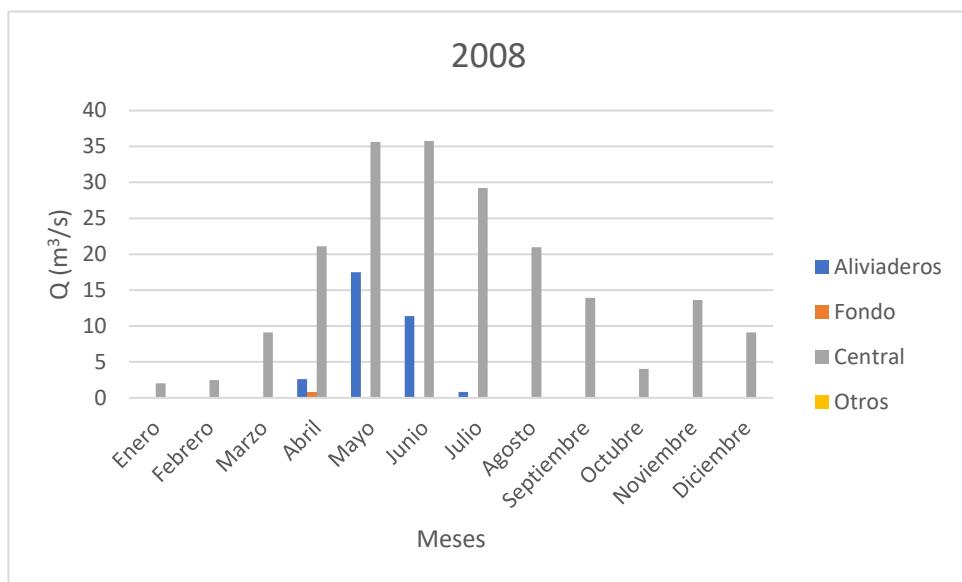


Figura 2. 22 Evolución de la salida de caudal del embalse por diferentes conductos mensual a lo largo del año 2008.

El uso mayoritario del agua embalsada sale por la salida de la central y es utilizada para la producción de energía eléctrica en la central de San José. Los aliviaderos representan, en el año 2008, la segunda salida más significativa. Por último, los desagües de fondo, así como las pérdidas en la central, no llegan ni al 1% del total de agua desembalsada. Estos porcentajes se aprecian de una manera mucho más clara en un gráfico circular.

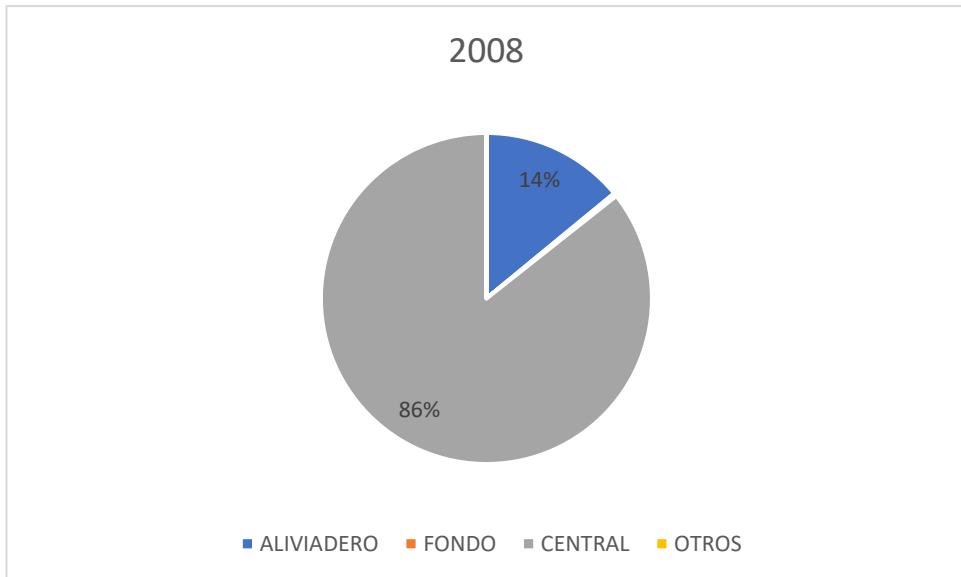


Figura 2. 23 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2008.

En el resto de los años se repite la misma tendencia, más del 80% del agua que sale lo hace por la salida de la central. Esto nos indica el uso que se le da, mayoritariamente, al agua que contiene el pantano.

Después de la generación de energía, esta agua se divide entre el río y el canal. El agua del río fluye por el cauce del Ésera hasta desembocar en el Cinca, y la del canal abastece el Canal de Aragón y Cataluña y es utilizada para riegos, como veremos en el siguiente apartado.

2.2.2.4 Canal/Río

Como acabamos de nombrar, el caudal de agua que sale por la salida de la central es turbinado en la central de San José y una vez se ha aprovechado para la obtención de energía eléctrica se divide entre el agua que es devuelta al río, y la que formará parte del Canal de Aragón y Cataluña. El caudal que circula por el río es calculado como la diferencia entre el caudal total que sale del embalse menos el que se destina al Canal de Aragón y Cataluña. Una vez más, realizando la media aritmética, obtenemos el valor medio de cada uno de los caudales.

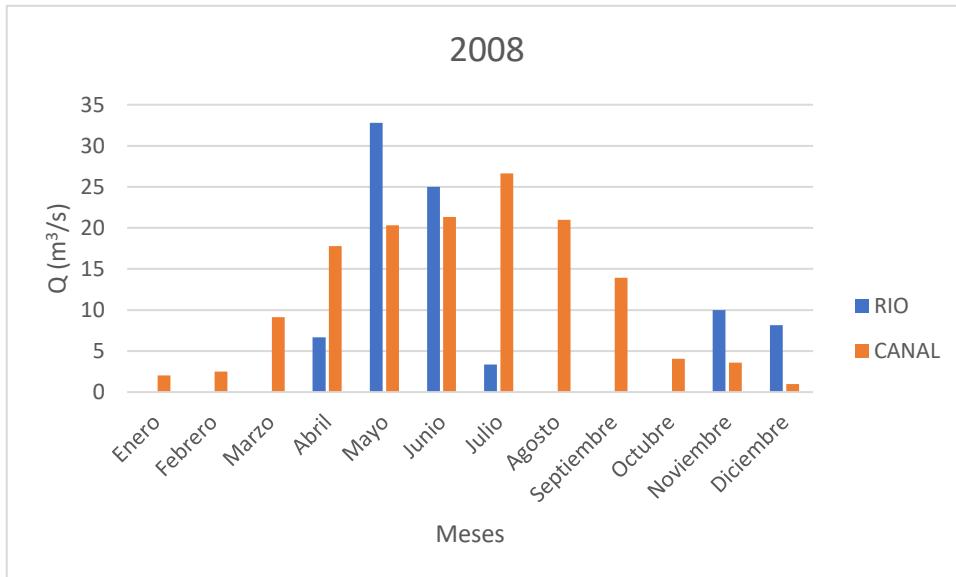


Figura 2. 24 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2008.

La mayor parte del caudal se usa para abastecer el canal, pero podemos ver que tanto en el mes de mayo, como en el de junio, el caudal del río fue mayor. Esto fue debido al gran caudal de entrada en dichos meses, lo que obligó a abrir los aliviaderos y dejar que una gran cantidad de agua circulara por el río, no pudiendo aprovecharse para la generación ni el riego.

2.2.2.5 Producción hidroeléctrica

El agua que sale por la salida de la central es aprovechada para la generación de energía hidroeléctrica. La central cuenta con dos grupos de generación de $18 \text{ m}^3/\text{s}$ cada uno, lo que da un caudal máximo de $36 \text{ m}^3/\text{s}$.

En el eje vertical primario se representa el caudal, en m^3/s , y se reserva el eje secundario para la energía generada, expresada en Kwh.

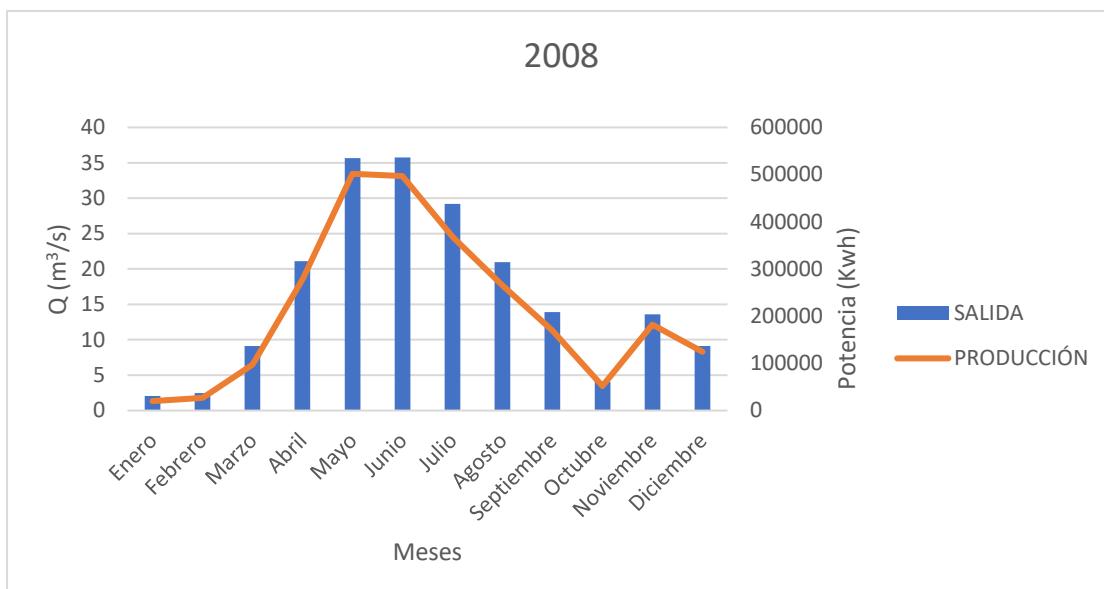


Figura 2. 25 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2008.

La generación y la salida por la central son directamente proporcionales. En los meses de mayo y junio vemos que el caudal medio se encuentra próximo a los $36 \text{ m}^3/\text{s}$. La explicación es similar a la obtenida para deducir por qué el caudal del río en esos meses era superior al del canal. Se tuvieron que abrir los aliviaderos, puesto que por la salida de la central ya estaba circulando el máximo caudal permitido, perdiendo el valor del agua almacenada.

2.2.2.6 Capacidad de almacenamiento

En este último punto de capacidad de almacenamiento analizaremos el volumen de agua contenido en el pantano, y lo representaremos junto a las entradas y salidas del mismo.

El volumen es expresado en Hm^3 , mientras que las entradas y salidas tienen unidades de m^3/s .

Con todo ello, y realizando la habitual media mensual, representamos los valores recogidos durante el año para continuar con el ejemplo.

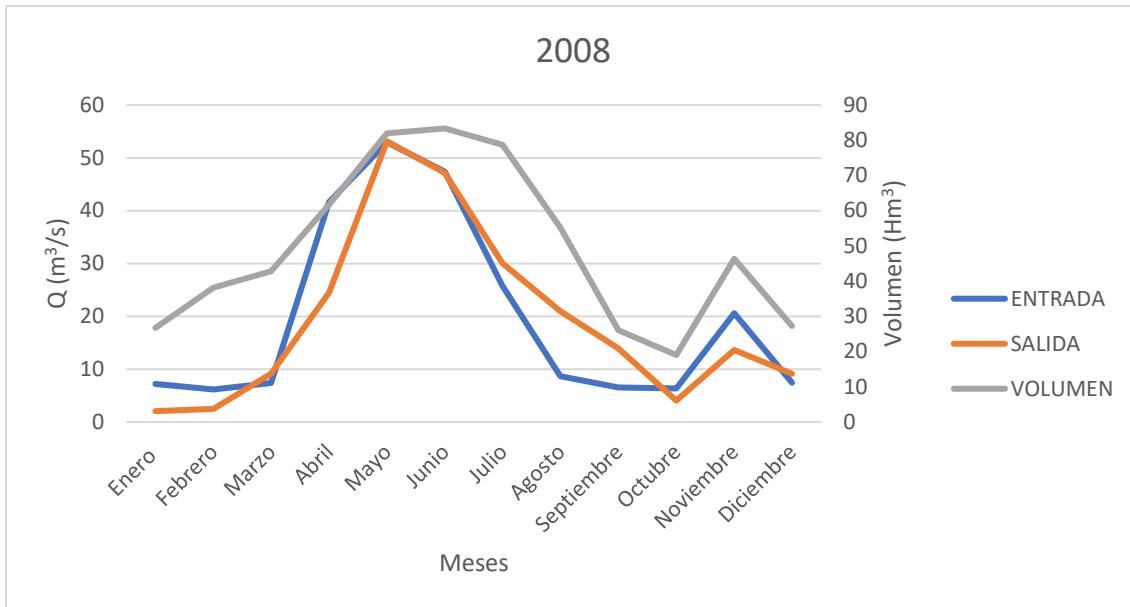


Figura 2.26 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2008.

Una vez más, los meses de mayo y junio fueron en los que se obtuvieron unos mayores caudales tanto de salida como de entrada, y el volumen del pantano fue a su vez el máximo registrado en todo el año. A partir de entonces, la entradas fueron descendiendo, y con ello, el nivel de agua y las salidas, para adaptarse a la situación de escasez, registrándose en el mes de octubre el mínimo anual de volumen embalsado.

2.3 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2000.

En este capítulo se muestra el análisis hidrológico de los datos recogidos durante el año 2000 en la cuenca del Ésera-Isábena y en el pantano de Barasona.

2.3.1 Cuenca

En primer lugar, comenzaremos por analizar los datos referentes a la cuenca, recogidos a lo largo del año de estudio.

2.3.1.1 Aportaciones de la cuenca al embalse

2.3.1.1.1 Ésera

En la Figura 27 se muestra el caudal registrado en la estación de aforo de Eriste durante el año 2000. Se observa que el caudal es prácticamente cero durante la mayor parte del año, excepto a finales de mayo. Los valores registrados durante este periodo tuvieron un máximo de 20 m³/s, muy superiores a la media anual. Este aumento de caudal es debido al deshielo nival que tiene lugar en las montañas del Pirineo.

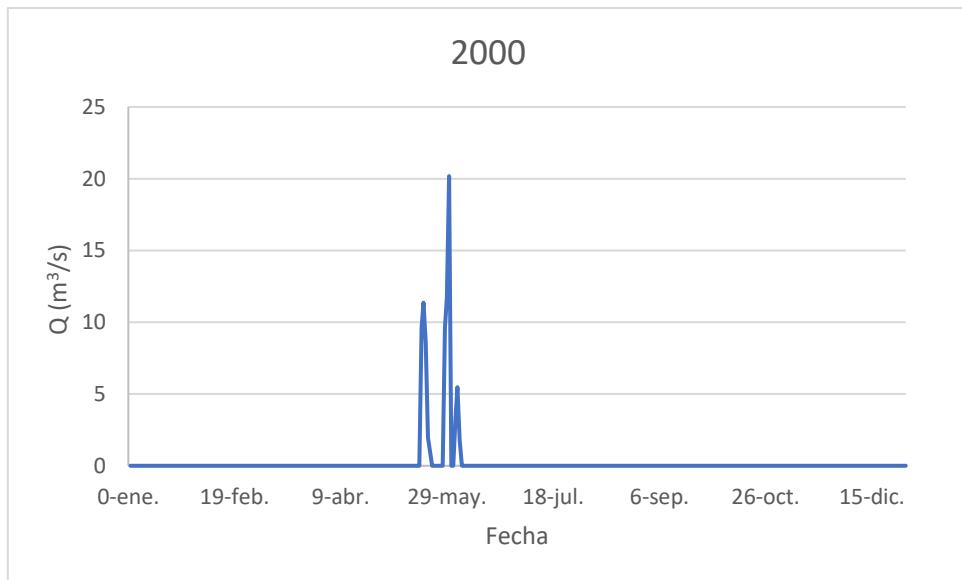


Figura 2. 27 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2000.

Si analizamos las alturas de agua registradas en el río, vemos que tiene cierta similitud con el caudal que transporta, obteniendo la máxima altura en las mismas fechas, con un valor alrededor de 1 m. Este máximo es 10 veces mayor que las medidas obtenidas durante el resto del año 2000 y se deben al aumento del caudal ocasionado en dicho periodo.

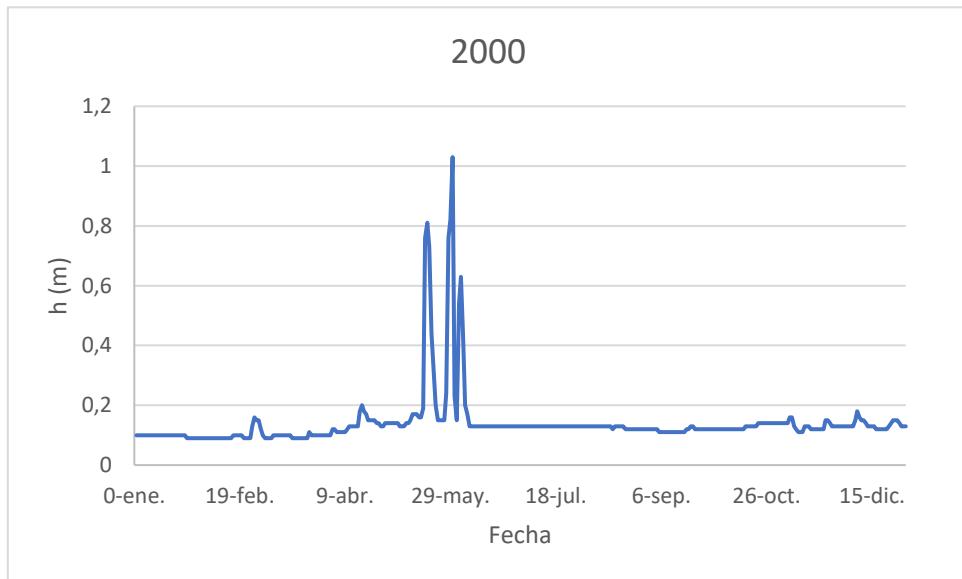


Figura 2. 28 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2000.

En la Figura 29 se representa el caudal registrado en la estación de aforo de Campo durante este periodo anual.

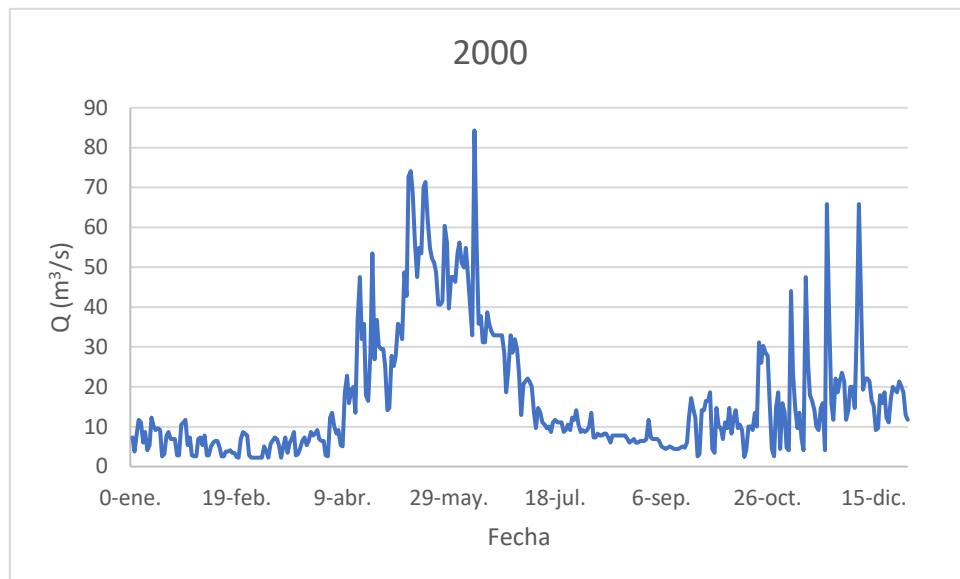


Figura 2. 29 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2000.

En la Figura 29 observamos que el máximo debido al deshielo sigue apareciendo, y a su vez encontramos un segundo máximo anual. Este segundo máximo se sitúa durante el mes de noviembre, y se debe a la gran abundancia de precipitaciones que ocurrieron durante ese periodo. Además, se observa cómo el caudal del río ha aumentado en torno a $5 \text{ m}^3/\text{s}$ durante las épocas de menor aportación, gracias al aporte de diversos afluentes minoritarios que desde la anterior estación han vertido sus aguas en él.

La representación de la altura sigue siendo semejante a la del caudal transportado por el río (ver Figura 30).

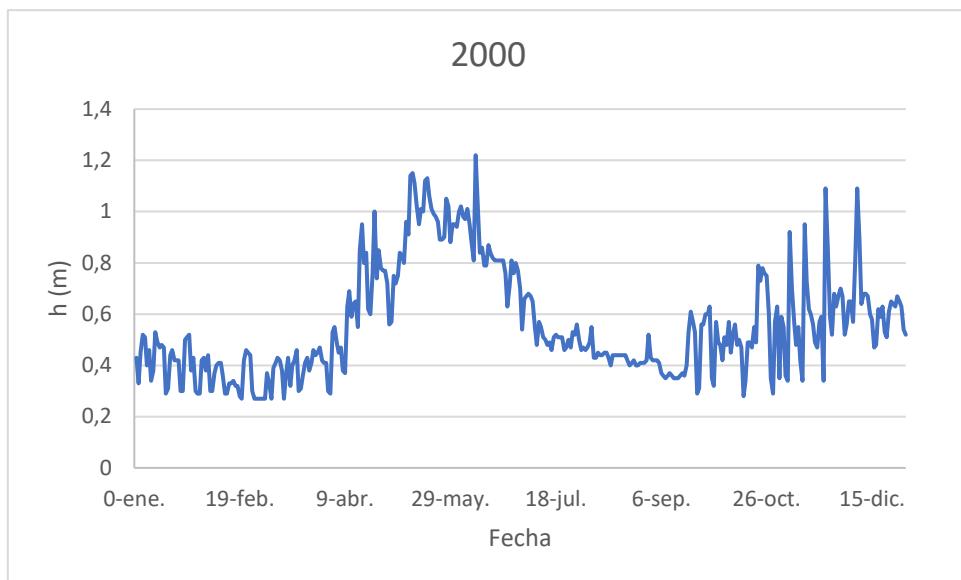


Figura 2. 30 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2000.

Los máximos siguen coincidiendo con las épocas en las que el caudal es mayor, y el aumento de 5 m³/s vemos que se refleja en una subida del nivel de agua de 0,2 m, aproximadamente.

En la Figura 31 podemos ver el caudal registrado en la estación de aforo de Graus en el año 2000. En ella se sigue observando que las dos épocas de mayores aportaciones continúan ocurriendo en el mismo espacio temporal citado con anterioridad.

Lo destacable de esta representación del caudal a lo largo del año es el pico que se da el día 10 de junio. El dato de caudal registrado ese día es de 101,4 m³/s, que supone el valor más alto de toda la serie analizada, por lo que se deberá tomar como punto de referencia para evaluar la gestión de avenidas.

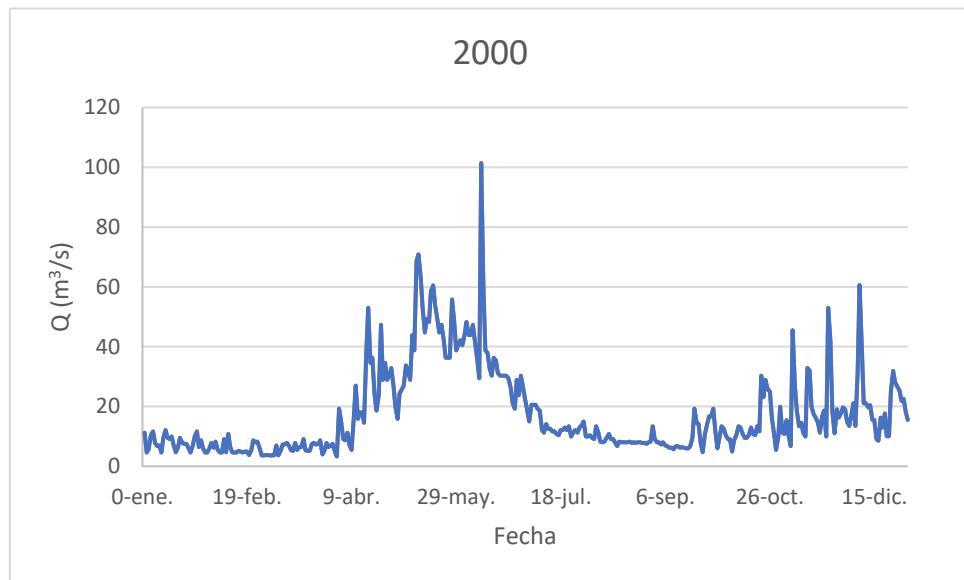


Figura 2. 31 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2000.

La representación de la altura sigue guardando relación con el caudal diario, y el máximo anual se da el 10 de junio, cuyo valor registrado en la estación es de 2,1 m.

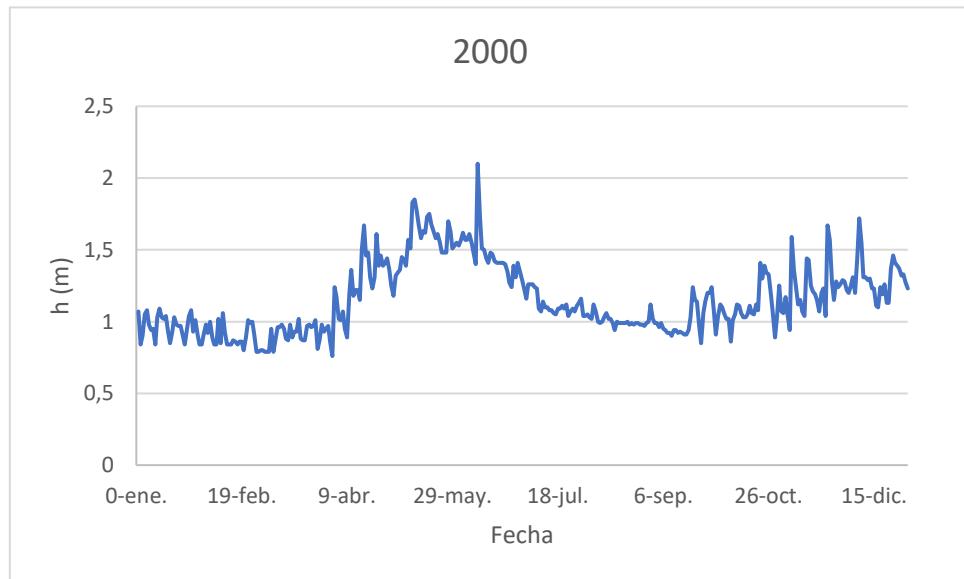


Figura 2. 32 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2000.

2.3.1.1.2 Isábena

Las épocas del año en las que el río presenta sus valores máximos coinciden con las observadas en su efluente. Los máximos aparecen debido a la fusión nival, en torno al mes de mayo; y en una segunda época, debida a las abundantes precipitaciones a finales de otoño.

Al igual que con la figura 31, destacamos el valor obtenido el 10 de junio, con un valor de $42,995 \text{ m}^3/\text{s}$.

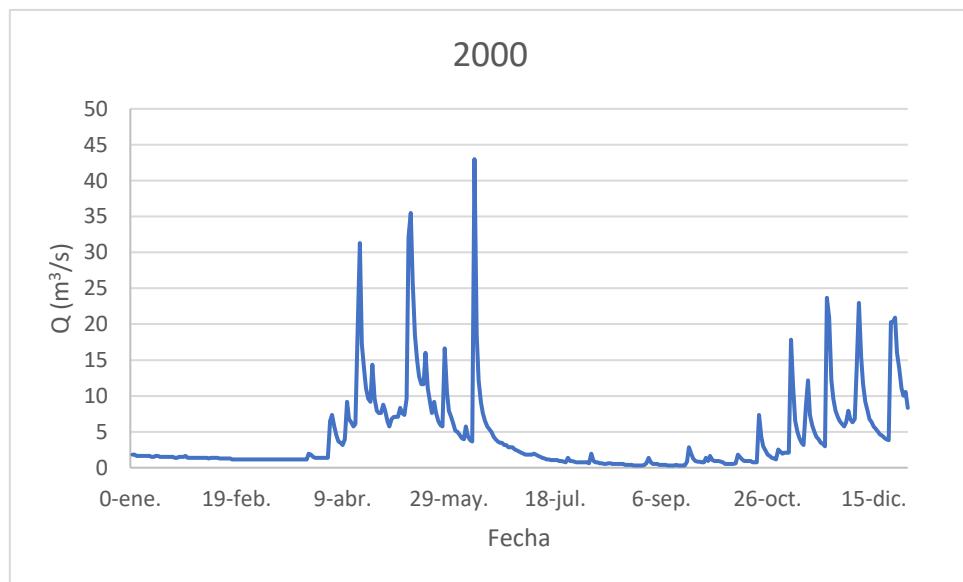


Figura 2. 33 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2000.

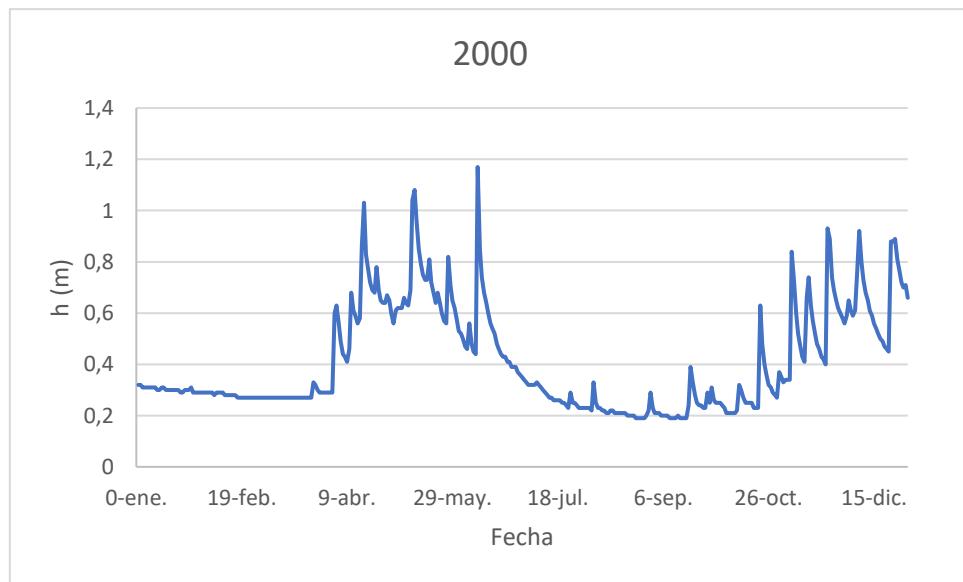


Figura 2. 34 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2000.

La representación de la altura de agua nos indica que el día en el que se produjo la avenida, el nivel de agua alcanzó un valor de 1,17 m, 90 cm por encima del valor frecuente durante la época invernal.

2.3.1.1.3 Confluencia

Si realizamos la suma de los valores de caudales recogidos en las estaciones más próximas a la cola del pantano, la de Graus y Capella, y representamos el valor diario de caudal, obtenemos una primera representación de cuál será el flujo de agua con el que se abastece el pantano.

En el máximo anual analizado anteriormente, registrado el día 10 de junio, el caudal que circulaba por ambos ríos tenía un valor de 144,395 m³/s, muy superior a la media anual, cuyo valor es de 17,44 m³/s.

Es por ello que, durante el año de estudio, la mayor dificultad en cuanto a la gestión de avenidas se concentró en ese día, y nos centraremos en cómo se resolvió dicha situación, y qué medidas se llevaron a cabo.

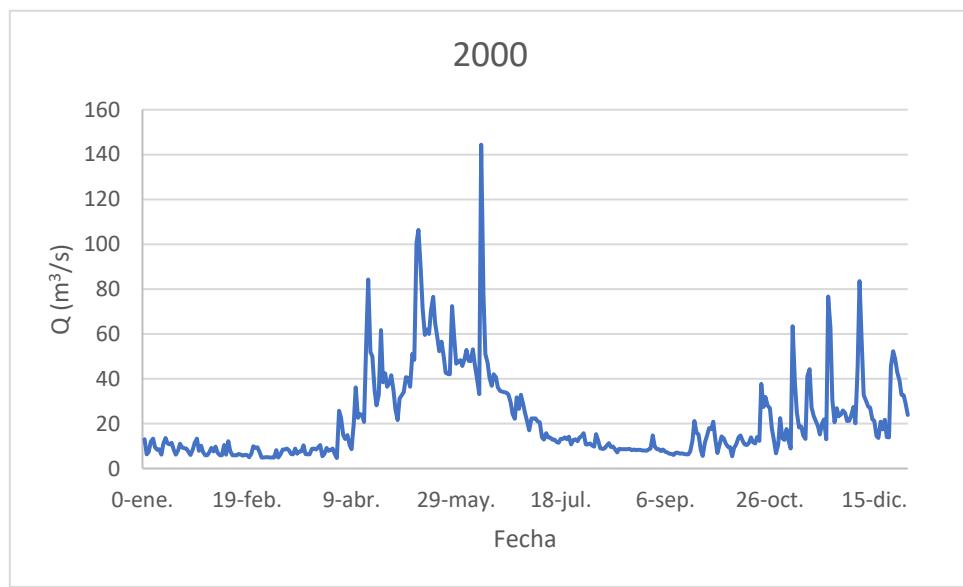


Figura 2. 35 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2000.

2.3.2 Embalse de Barasona

Una vez analizados los datos de la cuenca, emprendemos el análisis de los datos concernientes al embalse de Barasona recogidos durante el mismo periodo.

2.3.2.1 Temperatura y precipitación

Comenzamos por evaluar las temperaturas y precipitaciones obtenidas en las inmediaciones del pantano como se ha explicado con anterioridad.

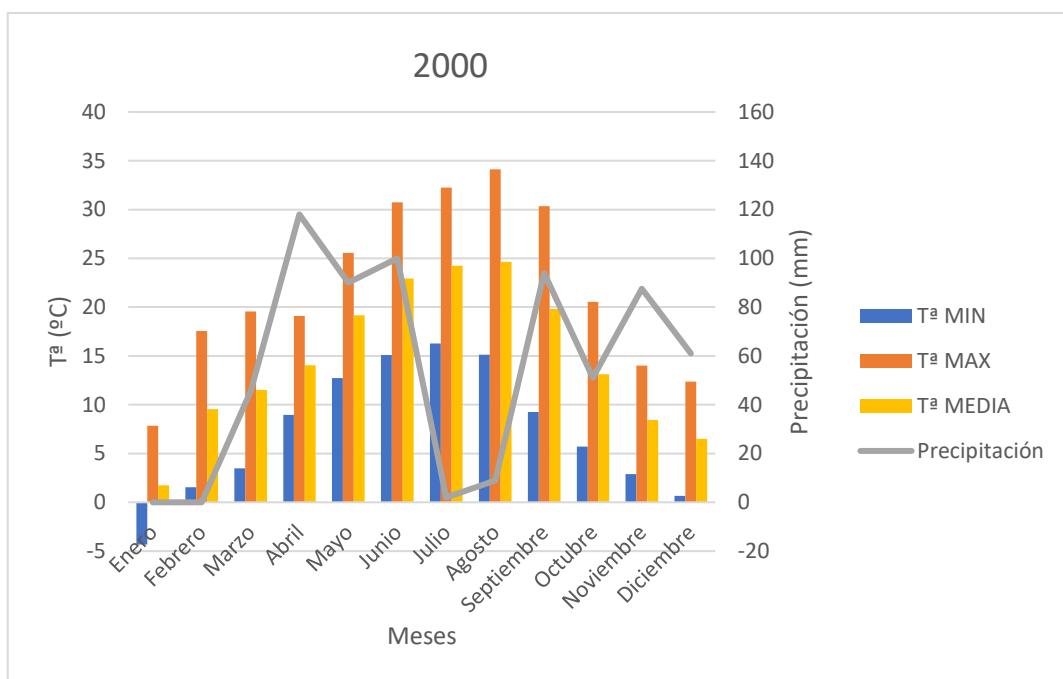


Figura 2. 36 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2000.

Las temperaturas máximas y mínimas siguen un comportamiento normal. Durante los meses fríos de invierno descienden, llegando las mínimas a valores inferiores a 0°C. En los meses cálidos de verano, éstas aumentan hasta alcanzar prácticamente los 25°C. Las máximas siguen el mismo patrón, descendiendo en invierno hasta los 7°C, y aumentando en verano hasta alcanzar valores cercanos a los 35°C. Las temperaturas medias calculadas toman valores positivos a lo largo de todo el año y varían desde 1,75°C en enero hasta los 24,6°C en agosto, el mes más caluroso del año 2000.

Las precipitaciones son escasas durante los meses de invierno, siendo el mes de abril en el que se registran los valores máximos. Cabe destacar que las precipitaciones caídas son muy inferiores a los caudales trasportados por los ríos, por lo que éstas no se tendrán en cuenta cuando, a continuación, hablemos de “entradas” del pantano.

2.3.2.2 Entradas

En este apartado de entradas nos centraremos en la diferencia entre los valores registrados de caudales en la entrada del pantano, y la suma de los caudales de los ríos Ésera e Isábena.

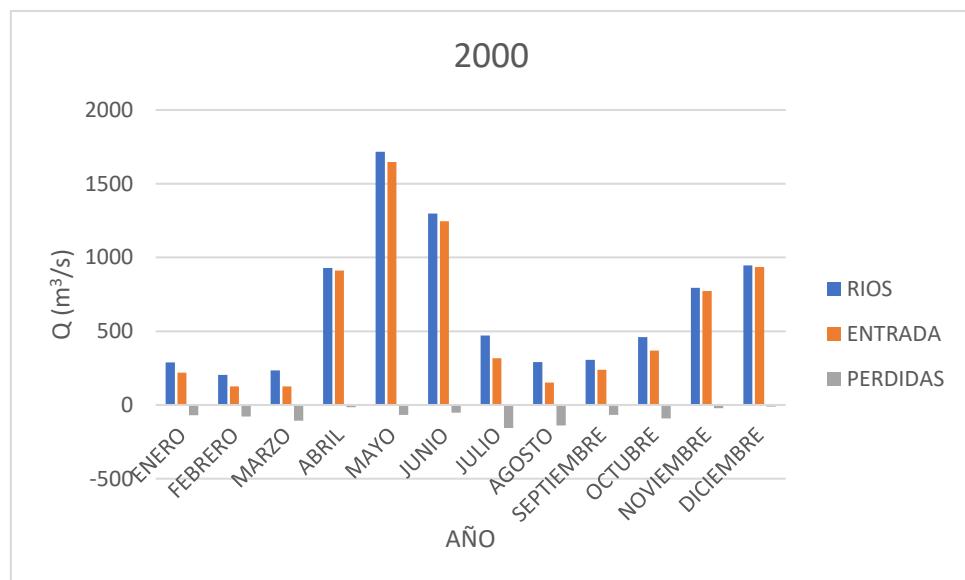


Figura 2. 37 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2000.

En la Figura 37 podemos ver la distribución de las entradas a lo largo del año 2000.

Los valores máximos se concentraron en el mes de mayo del año 2000, obteniendo un valor de entrada de agua de 1648,12 m³/s. En ese mismo periodo del año, la suma de caudales de ambos ríos fue de 1716,60 m³/s, por lo que las pérdidas ascendieron hasta un valor de 68,48 m³/s.

El mes de Junio es el segundo mes en el cual los caudales de entrada fueron mayores, a pesar de contar con el día en el que se registró el mayor caudal de entrada al pantano.

2.3.2.3 Demanda

Una vez realizada la media mensual de cada una de las salidas, y representándolas en un gráfico de barras, se obtiene la figura 38.

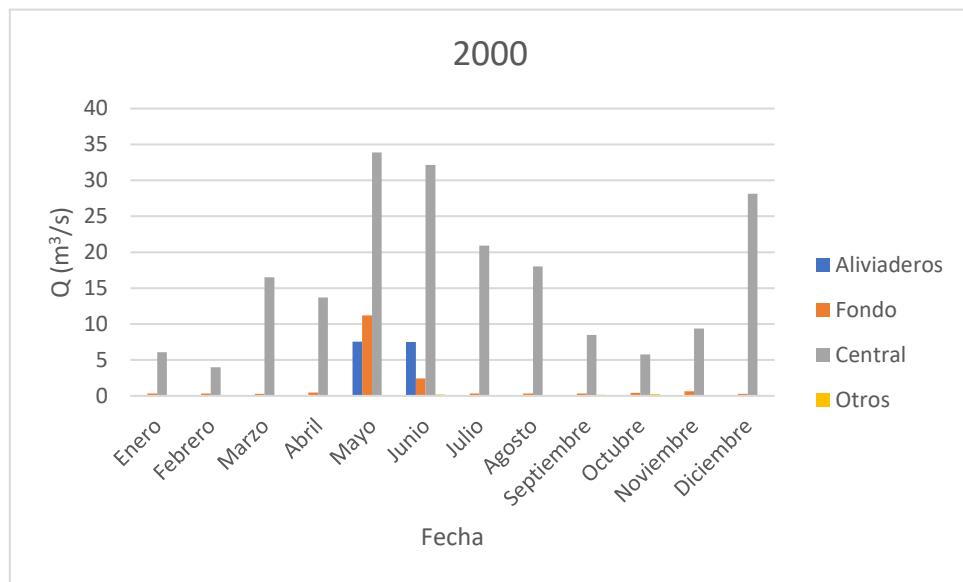


Figura 2. 38 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2000.

En ella se puede ver con claridad, que el agua sale prioritariamente por la salida de la central y es destinada a la producción de energía hidroeléctrica. Los caudales que circulan por las salidas de aliviaderos, fondo y otros, son prácticamente cero durante la mayor parte del año, y solamente en los meses de mayo y junio, éstas toman valores por encima de los 5 m³/s.

Es en esos meses cuando se registran las mayores entradas al pantano, por lo que la salida de la central, por la que puede circular un caudal máximo de 36 m³/s diarios, no es suficiente para desalojar toda el agua que está entrando y evitar el desbordamiento de la presa.

Si analizamos individualmente el mes de junio, y realizamos una representación de los datos diarios de las distintas salidas, podremos ver el procedimiento a seguir ante una avenida.

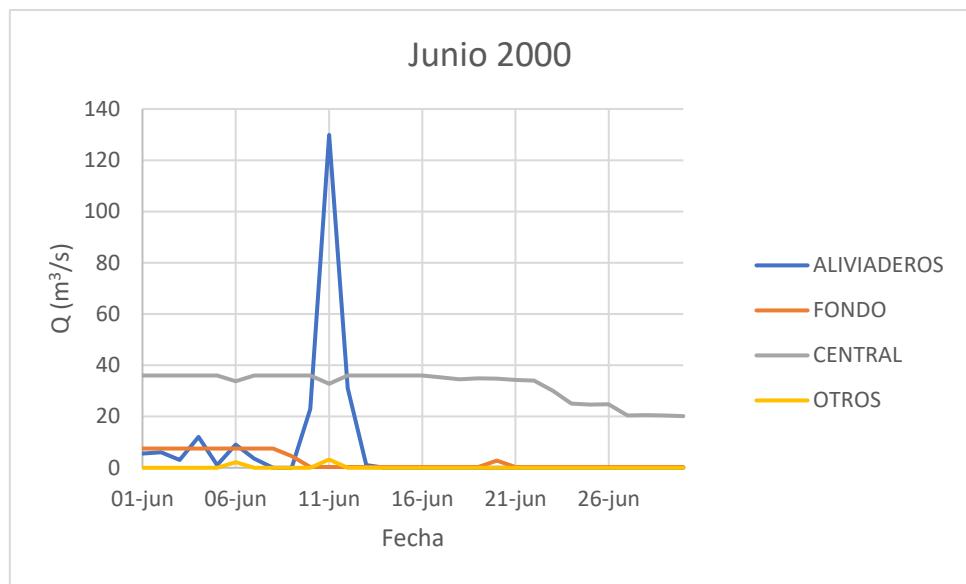


Figura 2. 39 Evolución de la salida de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del mes de junio del año 2000.

Durante los dos primeros tercios de mes, vemos que por la central está saliendo el valor máximo de caudal permitido de $36 \text{ m}^3/\text{s}$; el resto del agua es desalojada por medio de las compuertas de fondo y por los aliviaderos superiores. El día de la avenida, el 10 de junio, observamos un aumento del valor de caudal que sale por los aliviaderos, y éste se hace muy superior el 11 de junio, hasta alcanzar un valor de $129,86 \text{ m}^3/\text{s}$, cercano a los $144 \text{ m}^3/\text{s}$ que conforman el caudal de avenida. Esta obertura de los aliviaderos es debida a que el pantano, después de acoger el agua de la avenida, estaría próximo a su límite de almacenamiento, por lo que será necesario desalojar cierta cantidad de agua para poder hacer frente a otra situación similar. Es curioso que mientras el caudal de los aliviaderos toma su valor máximo, las compuertas de fondo permanecen cerradas, dando prioridad al desalojo de agua por la parte superior.

2.3.2.4 Canal/Río

A continuación, se muestra el reparto de caudales entre el Canal de Aragón y Cataluña y el que circula por el río Ésera.

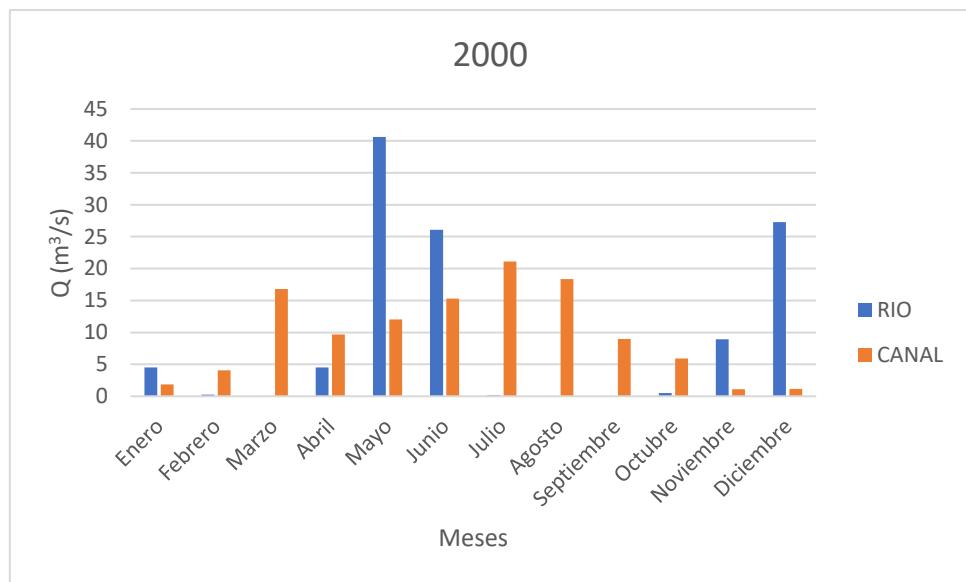


Figura 2. 40 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2000.

Solamente el agua que es utilizada por la salida de la central se desvía al canal; es decir, en los meses de mayo y junio, el caudal aportado nuevamente al río es muy superior al destinado al canal. Esto se debe a que toda el agua despachada por medio de los desagües de fondo y aliviaderos es incorporada automáticamente al río. Por ello, en los meses donde la salida de la central esté trabajando al máximo de su capacidad, y aún así se tenga que dejar salir agua, el valor del caudal por el río será más elevado.

En el mes de diciembre se observa una anomalía, consistente en que el caudal del río es muy superior al del canal, sin tomar este último un valor suficientemente elevado para decretar que estará trabajando a su capacidad máxima.

2.3.2.5 Producción hidroeléctrica

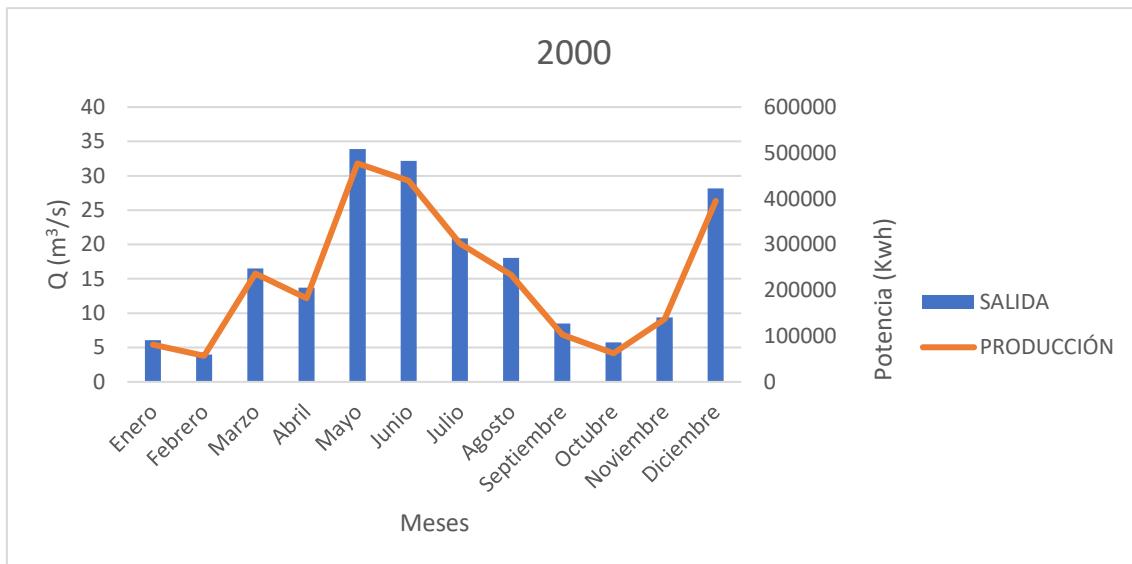


Figura 2. 41 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2000.

Dentro de este penúltimo apartado, representaremos los datos mensuales de salidas destinadas a la producción de energía hidroeléctrica, y los Kwh de potencia generada con dicho caudal.

La distribución de las salidas por la central a lo largo del año tiene una forma similar al caudal que circula por ambos ríos y constituye el caudal de entrada al pantano. De esta similitud se obtiene la conclusión de que cuanto mayor sea la entrada de caudal al embalse, mayor será el aprovechamiento del agua almacenada, siempre que dichas entradas no superen cierto valor, y no se tenga que desalojar agua por otras salidas.

La potencia obtenida en la central de San José es directamente proporcional al agua que es utilizada para generarla, obteniendo meses de un alto caudal, con una alta generación, y otros en los que las entradas son menores y la potencia obtenida disminuye.

En el mes de mayo se obtiene una media de casi $34 m^3/s$, por lo que la salida ha debido trabajar a su mayor capacidad durante la mayor parte del periodo. En cambio, en el mes de febrero, la potencia generada no supera los 60000 Kwh, ya que la media de agua desembalsada no supera los $5 m^3/s$.

2.3.2.6 Capacidad de almacenamiento

Por último, analizamos la capacidad de almacenamiento del embalse. En la siguiente figura, se representa conjuntamente los valores de entradas y salidas registradas, y el volumen de agua embalsado en cada mes:

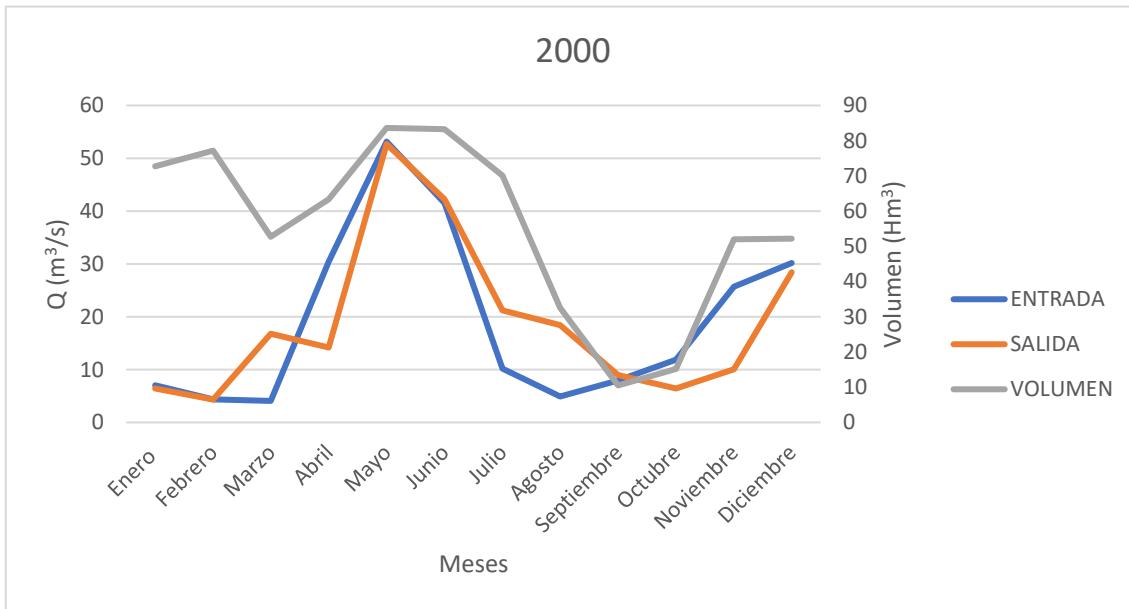


Figura 2. 42 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2000.

Es en los meses de mayo y junio donde la capacidad está próxima a su máximo. A partir de entonces, las salidas comienzan a ser mayores que las entradas, lo que hace que el volumen descienda hasta alcanzar su mínimo anual en el mes de septiembre. A partir de ahí, las entradas vuelven a ascender y el embalse empieza a recuperarse o a recuperar su capacidad de almacenamiento.

Como hemos comentado anteriormente, el día 10 de junio, será el más destacable del año 2000, ya que se tendrá que hacer frente a una avenida de $144 \text{ m}^3/\text{s}$, sin poder ser almacenada, ya que como se puede apreciar en la Figura 26, el pantano se encuentra al límite de su capacidad durante todo el mes de junio.

2.4 Análisis hidrológico de los datos referentes al 2001

En el siguiente documento, se van a analizar los datos obtenidos durante el año 2001, apoyándose en las representaciones realizadas tras la adecuación de los datos.

2.4.1 Cuenca

Siguiendo el guion, empezamos por el análisis de los datos recogidos en la cuenca de estudio.

2.4.1.1 Aportaciones de la cuenca del embalse

2.4.1.1.1 Ésera

En la estación de Eriste, se recogieron los siguientes datos referentes al caudal que circula por el río.

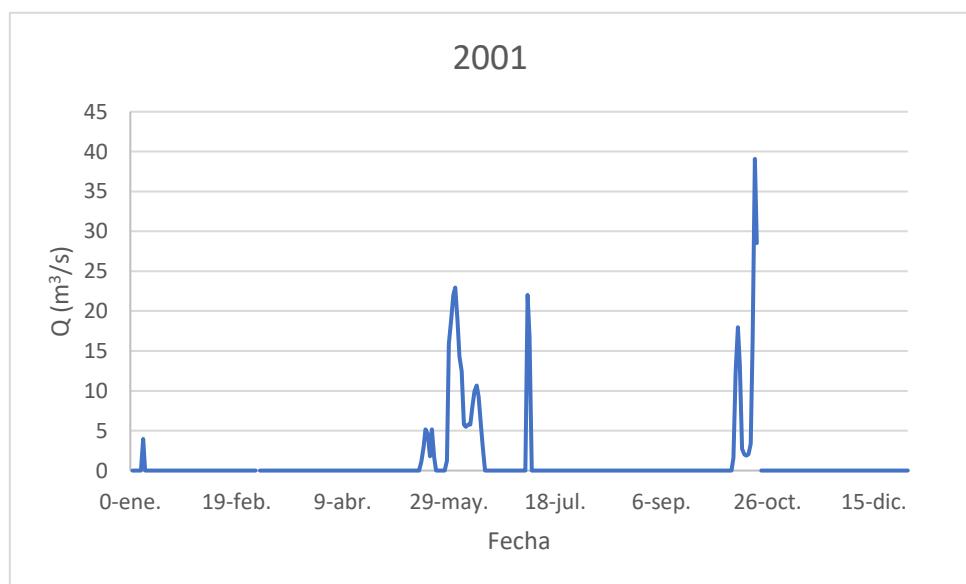


Figura 2. 43 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2001.

El caudal que circula durante la mayoría del año 2001 tiene un valor próximo a cero, y solamente en dos épocas éste aumenta correspondiendo con las fechas de finales de mayo y finales de octubre.

En el primer caso, los caudales registrados llegan a superar los $20 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta los $22,02 \text{ m}^3/\text{s}$, debido al deshielo que se produce en las cumbres del Pirineo. En la segunda época de aumento, se recoge un valor de $39,085 \text{ m}^3/\text{s}$ el día 20 de octubre, lo que nos indica que las precipitaciones caídas durante esas fechas fueron abundantes.

Si analizamos la altura registrada en durante el mismo periodo temporal, obtenemos la figura 44.

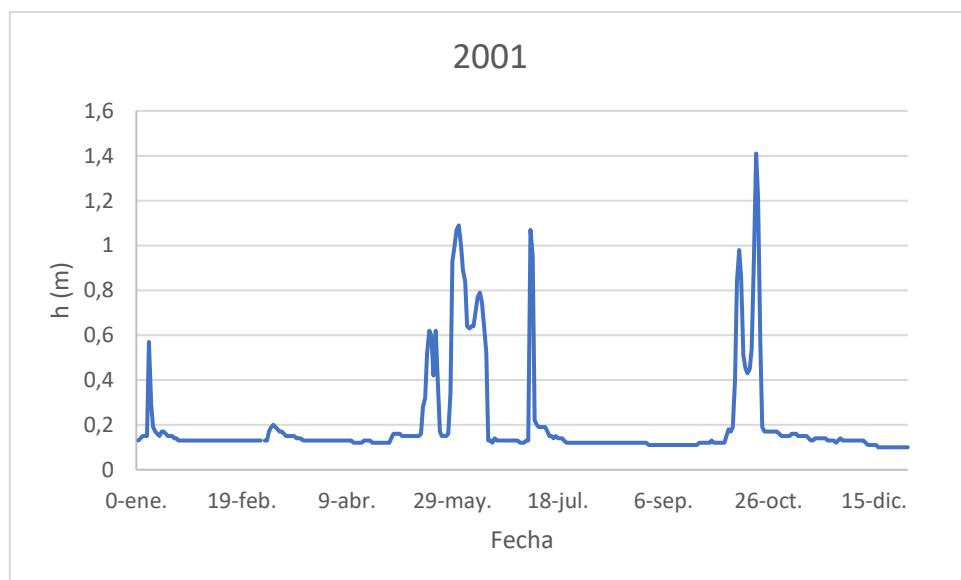


Figura 2. 44 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2001.

En ella podemos ver que los máximos de caudal guardan una relación con las alturas registradas, coincidiendo en fechas. La altura máxima registrada en la estación fue de 1,41 m, el 20 de octubre con un caudal de $39,085 \text{ m}^3/\text{s}$.

Siguiendo el cauce del río, llegamos a la segunda estación de estudio, situada en Campo. En ella, si representamos el caudal en función del tiempo obtenemos la figura 45.

Se aprecia que el caudal ya no toma valores próximos a cero en ningún momento del año. Lo destacable es que el máximo aparece el día 6 de enero y es de $143,25 \text{ m}^3/\text{s}$, valor muy superior al resto del año. Esto se puede deber a un aumento de las precipitaciones, puesto que este máximo aparece en la época que se caracteriza por el aumento de éstas.

El segundo máximo anual se encuentra a finales de mayo, y su naturaleza se debe al deshielo nival, al igual que el máximo de la figura 43.

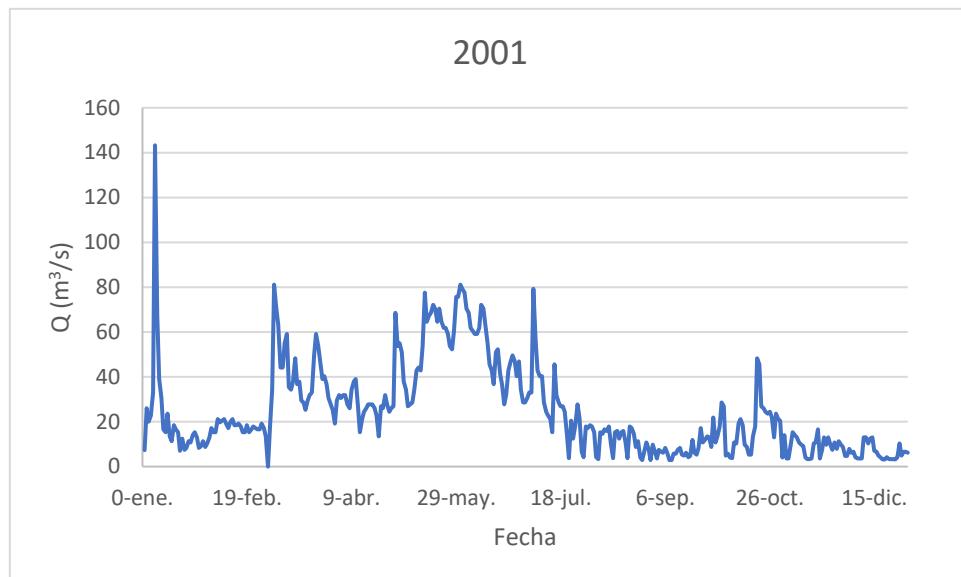


Figura 2. 45 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2001.

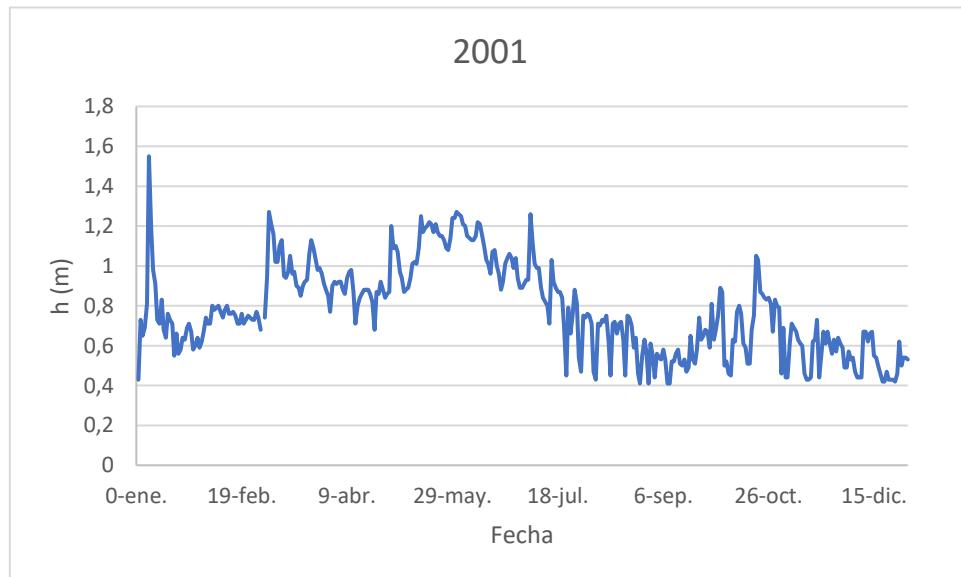


Figura 2. 46 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2001.

Siguiendo con las alturas, el fenómeno que observamos es el mismo, el máximo anual aparece a principios de año, y nos da un valor de 1,55 m de altura, 1,1 m más que el mínimo registrado a principios del mes de septiembre.

Para finalizar el análisis del río Ésera, nos centramos en los datos recogidos en Graus, última estación antes del pantano.

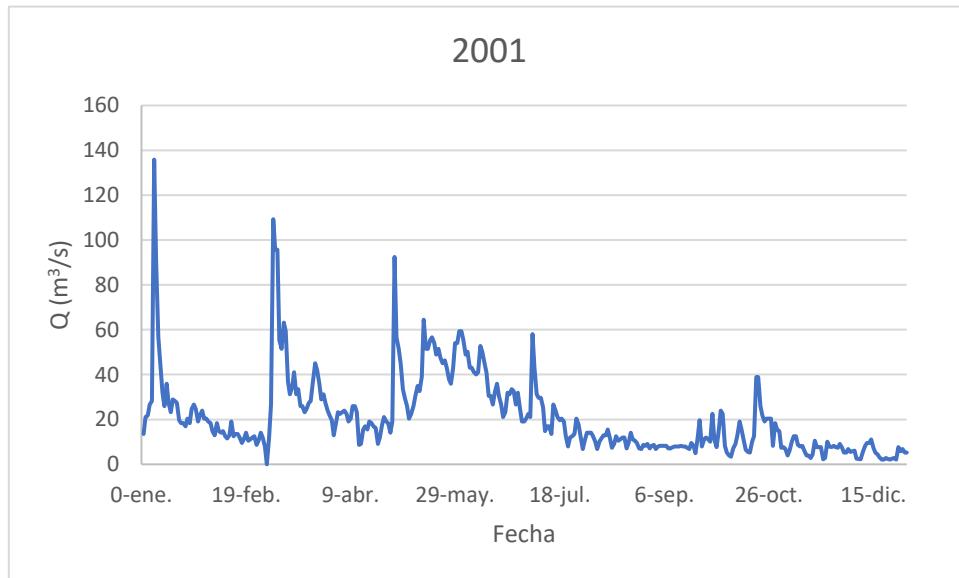


Figura 2. 47 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2001.

En esta figura 47, el máximo anual sigue apareciendo el día 6 de enero, por lo que a partir de ahora nos centraremos en ese día al igual que hicimos en el análisis del año 2000.

El día anterior el valor de caudal era de $28,16 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que en una jornada éste aumentó más de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, llegando a circular $135,86 \text{ m}^3/\text{s}$, durante el día señalado. Este aumento imprevisto de caudal debió ser tomado en cuenta por el personal encargado del pantano para actuar de la mejor manera posible.

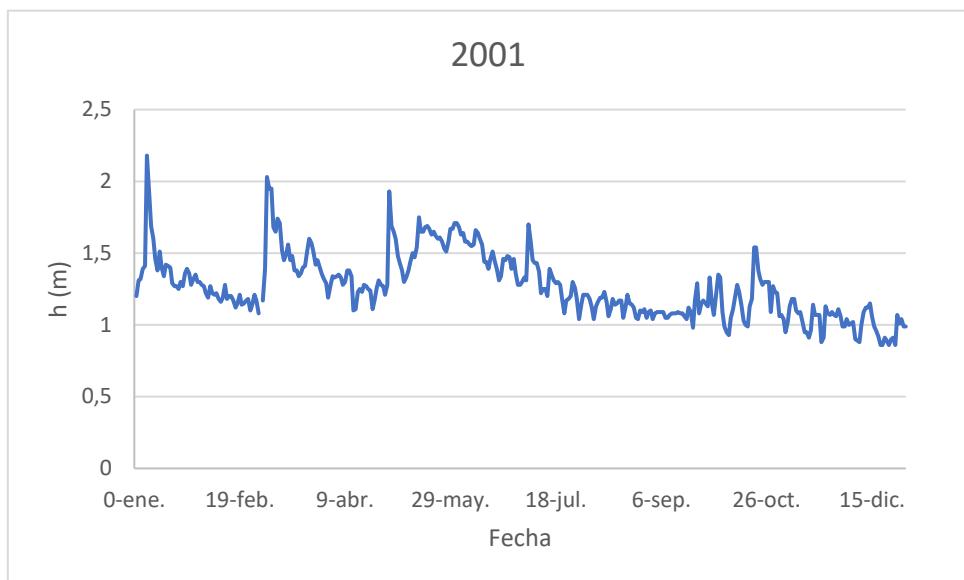


Figura 2. 48 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2001.

Los datos referentes a la altura nos indican que, el día de estudio, el nivel del agua aumentó hasta los 2,18 m, muy superior a los 1,26 m de media que se registraron durante todo el periodo de estudio.

2.4.1.1.2 Isábena

Si representamos los datos de caudal en función del tiempo recogidos en la estación nº 9047, se obtiene la figura 49.

En ella el máximo anual se sitúa el 8 de marzo, con un valor de 47,33 m³/s. El día 6 de enero, en el río Isábena circularon 38,82 m³/s, lo que supone la tercera jornada con mayor caudal registrado en el año 2001.

Al coincidir este aumento de caudal inesperado durante el día 6 de enero, tanto en el Ésera como en el Isábena, se puede achacar al aumento de las precipitaciones durante esta jornada, lo que conllevó el aumento de caudal descrito.

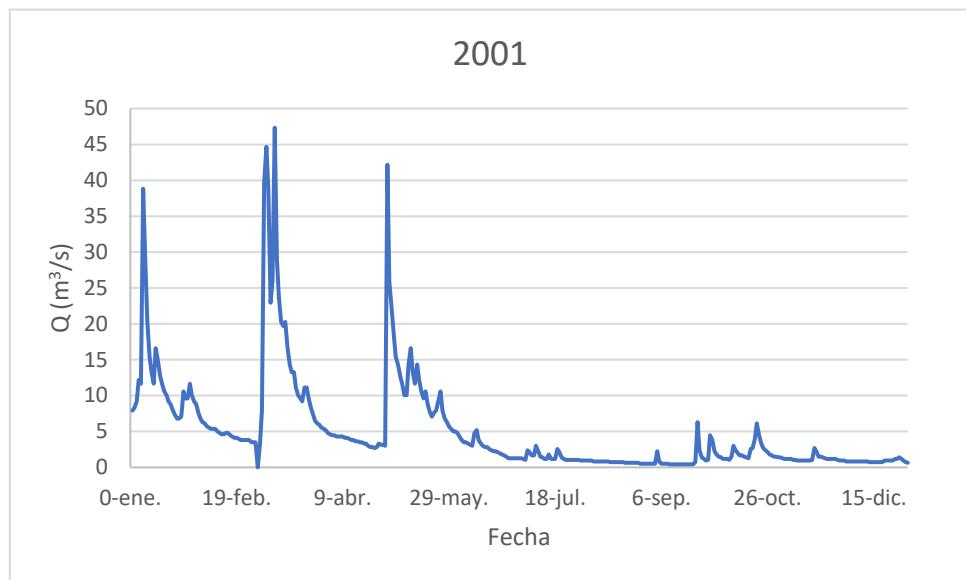


Figura 2. 49 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2001.

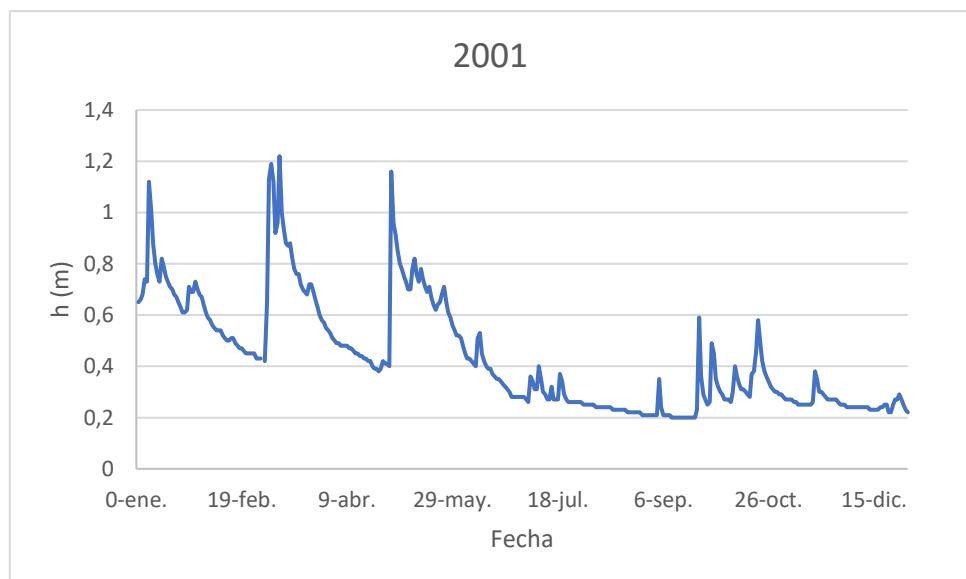


Figura 2. 50 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2001.

Si nos centramos en el nivel de agua, el máximo anual toma un valor de 1,22 m, un metro más que en la época seca del año. Por último, el día 6, el nivel de agua en el río Isábena alcanzó los 1,12 m.

2.4.1.1.3 Confluencia

Una vez analizados ambos ríos, vamos a ver el caudal que aportarán en conjunto al embalse. Se representa en la figura 51.

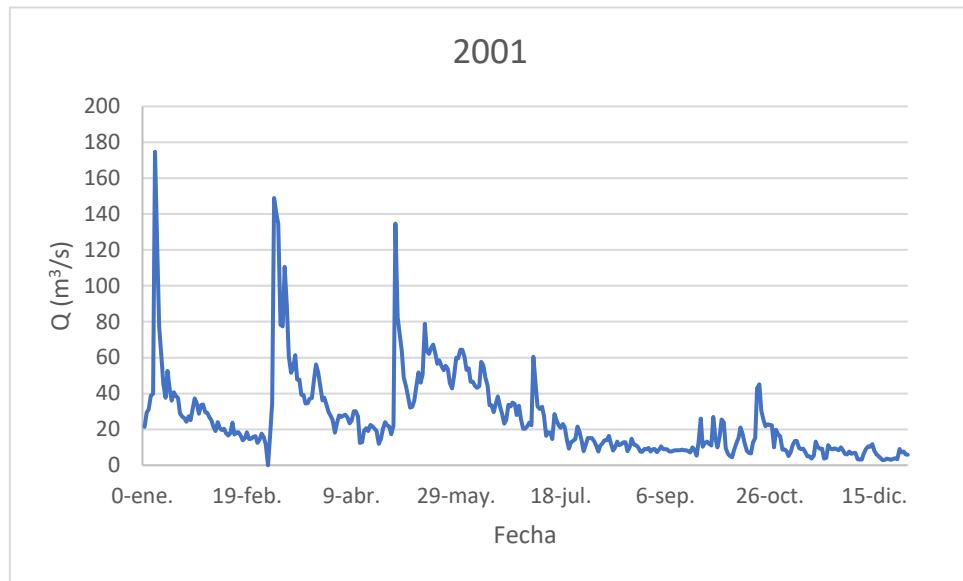


Figura 2. 51 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2001.

Como cabía esperar, el máximo caudal anual se registra el día 6 de enero con $174,68 \text{ m}^3/\text{s}$. Las dos siguientes fechas que presentan una mayor aportación son los días 3 de marzo y el 30 de abril con unos caudales de $148,96 \text{ m}^3/\text{s}$ y $134,61 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

Como ya hemos dicho con anterioridad, nos centramos en el día 6 de enero, ya que no solamente se registra el máximo anual, sino que este ocurre de manera inesperada y en unas fechas en las cuales no es usual este aumento tan repentino del caudal de ambos ríos.

Los mínimos anuales se registran durante el mes de septiembre con valores alrededor de $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Consideraremos pues que este fue un periodo de sequía, ya que además, el máximo que suele ocurrir normalmente a finales de octubre, fruto del aumento de precipitaciones se hace menos notable en el año 2001.

2.4.2 Embalse

2.4.2.1 Temperatura y precipitación

En la figura 52, se muestran las temperaturas máximas, mínimas, medias, y las precipitaciones, medidas en mm.

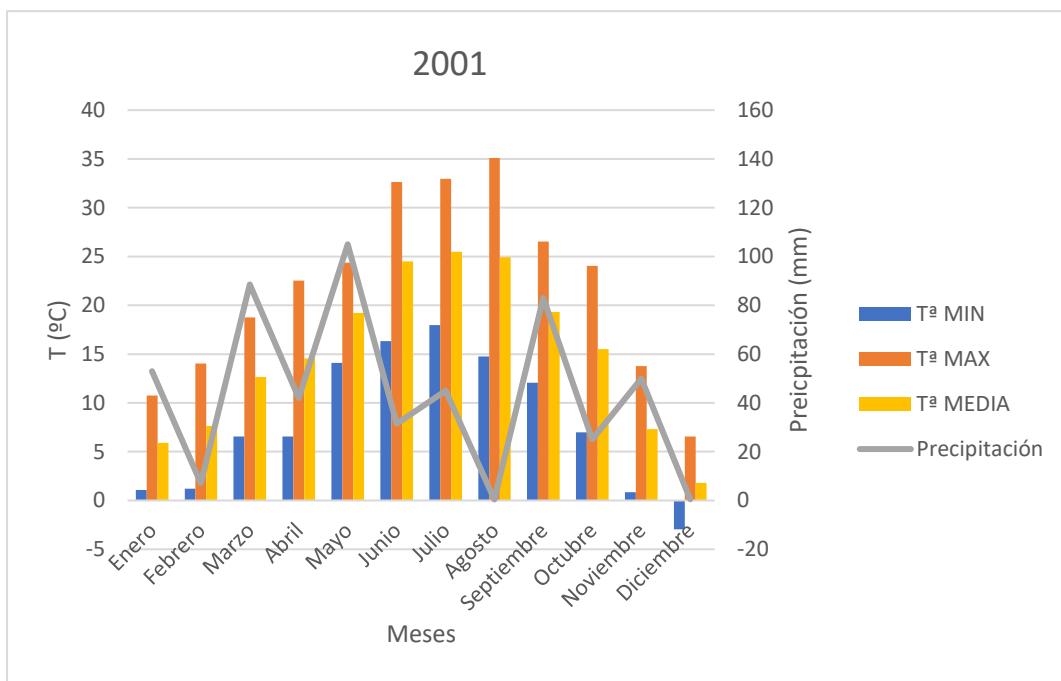


Figura 2.52 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2001.

Las temperaturas tienen un carácter cíclico, aumentando al acercarnos a los meses de verano y disminuyendo de valor al llegar el invierno. Las temperaturas mínimas sólo toman valores negativos durante el mes de diciembre hasta llegar a los -2,91°C. Las temperaturas máximas, alcanzan los 35°C durante el mes de agosto, siendo este el más caluroso del año. En cuanto a las medias, toman valores positivos durante todo el periodo de estudio.

Las precipitaciones registradas durante el año 2001, son escasas durante los meses de verano. En primavera es cuando éstas registran sus valores más elevados, llegando a los 105 mm en el mes de mayo.

A pesar de la suposición de que las precipitaciones máximas tenían lugar durante el mes de enero, la figura 52 nos muestra que, en las instalaciones del pantano, las lluvias durante este mes fueron más bien escasas.

2.4.2.2 Entradas

Si en segundo lugar analizamos la diferencia entre las entradas registradas en el pantano y el aporte de agua que conforma la confluencia de ambos ríos, y siguiendo los pasos descritos anteriormente, podemos ver que durante 9 de los 12 meses que conforman el año, el caudal de agua que circulaba por ambos ríos, fue superior al que acabó entrando finalmente al pantano.

Solamente durante los meses de enero, marzo y abril, las pérdidas fueron negativas, es decir, que el caudal que entró al pantano fue mayor que el aportado por los ríos. Además, durante el mes de marzo esta diferencia fue muy significativa, en comparación con los valores de pérdidas calculados durante el año, en concreto la diferencia entre ambos caudales fue de 337,8 m³/s.

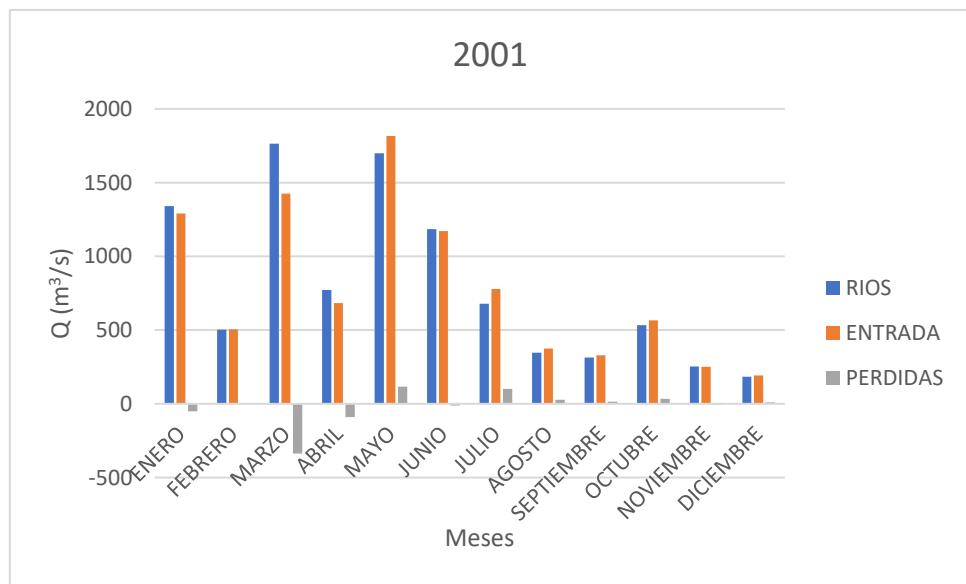


Figura 2. 53 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2001.

2.4.2.3 Demanda

Dentro del capítulo de demandas, y teniendo en cuenta la distinción que se ha ido haciendo a lo largo de los anteriores capítulos según los distintos usos, los resultados se plasman en la figura 54.

En ella se aprecia que el uso mayoritario que se le da al agua desembalsada es la producción de energía hidroeléctrica. Este caudal dedicado a la central es superior a los 25 m³/s diarios de media durante casi toda la primera mitad del año 2001. Cuando la época de sequía que hemos nombrado anteriormente se acerca; el uso el caudal que se desembalsa por dicha salida disminuye hasta alcanzar el mínimo durante el mes de diciembre. Más tarde veremos cuál es el impacto que tiene esta disminución del caudal desembalsado sobre el volumen del pantano.

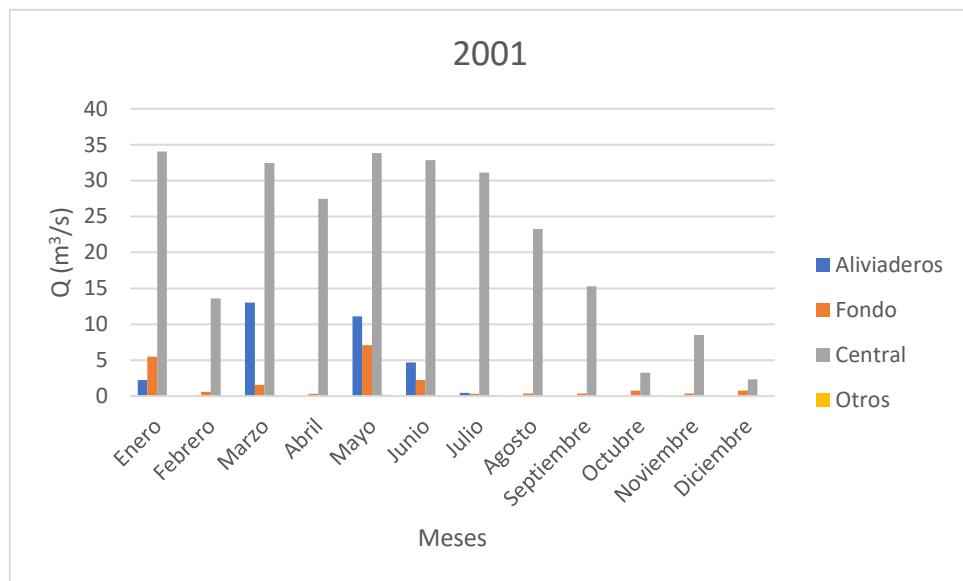


Figura 2. 54 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2001.

Si ahora realizamos los mismos pasos que en el análisis del año 2000, para ver cuál es la respuesta cuando ocurre una avenida, y analizando los días anteriores y posteriores a la aparición de esta, se obtiene la figura 55.

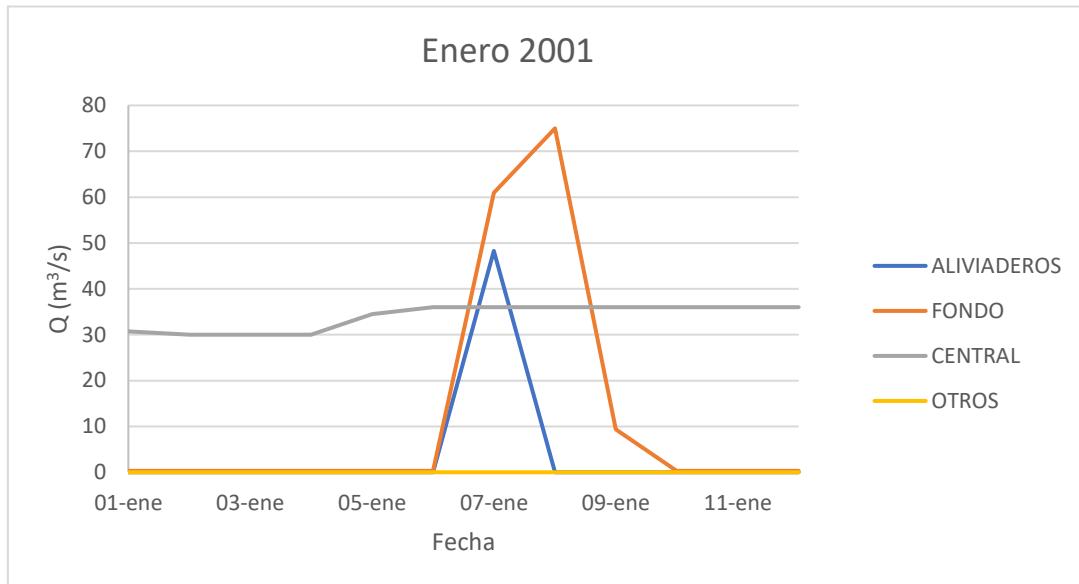


Figura 2. 55 Evolución de la salida de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del mes de enero del año 2001.

El caudal tanto de las salidas de fondo como de los aliviaderos es de 0 m³/s hasta el día 6, jornada en la que ocurre la avenida. Es entonces cuando ambas salidas se abren aumentando los valores hasta los 48,27m³/s para el fondo y 60,94m³/s en los aliviaderos. Con esto se consigue comenzar a soltar agua. Este proceso se alarga durante dos días en el caso del fondo, siendo el día 8 cuando más agua sale por dicho orificio, 75 m³/s.

La diferencia más significativa si comparamos las reacciones de ambos años, 2000 y 2001, es que en el 2000 se dio prioridad a la salida de los aliviaderos dejando fluir por éstos el mayor caudal durante la avenida, y en el 2001 han sido las salidas de fondo las que han desembalsado los mayores caudales.

2.4.2.4 Canal/Río

Si analizamos la segunda distinción que se hace del agua desembalsada, diferenciamos entre el agua que pasará a formar parte del canal de Aragón y Cataluña y la que seguirá su curso por el Ésera. Una vez más, fijándonos en el ejemplo, y realizando las mismas operaciones que en él, se obtiene la figura 56.

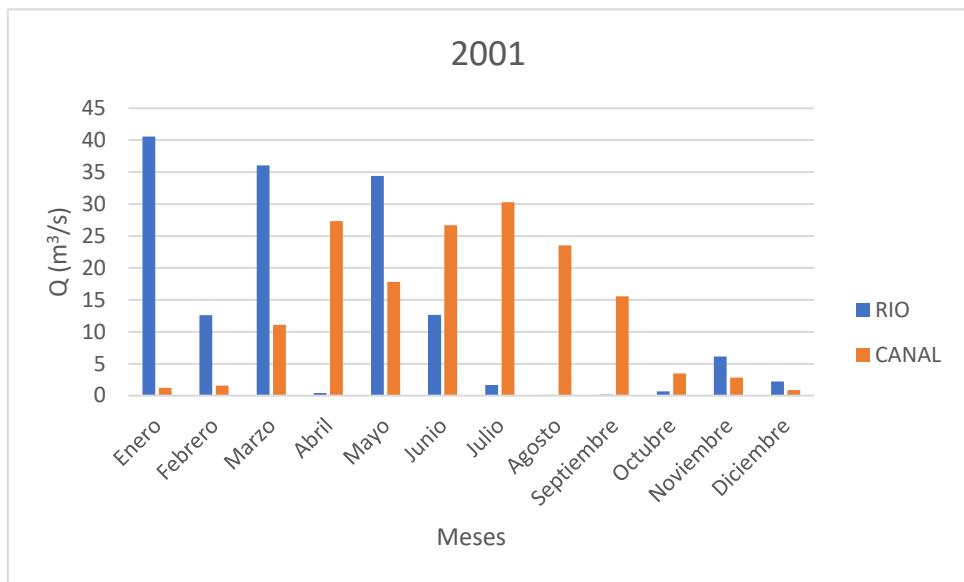


Figura 2. 56 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2001.

En ella se puede ver que, fruto del agua desembalsada por los aliviaderos y el desagüe de fondo, el caudal que circuló por el río en el mes de enero del año 2001 alcanzó una media diaria de $40,55\text{ m}^3/\text{s}$, muy superior al agua destinada al canal durante ese mismo mes, que fue de $1,19\text{ m}^3/\text{s}$.

La tónica general durante los meses de verano fue que la mayor parte del agua desembalsada fuera a parar al canal, mientras que por el río, solamente durante el mes de junio, se superó el valor de $10\text{ m}^3/\text{s}$ de media diaria. Únicamente durante el primer cuarto del año el agua que circulaba por el río superó al agua del canal con cierta contundencia.

2.4.2.5 Producción hidroeléctrica

Centrándonos en la salida de agua de la central y la generación de energía hidroeléctrica que este caudal produce, los datos de ambas variables se representan en la figura 57.

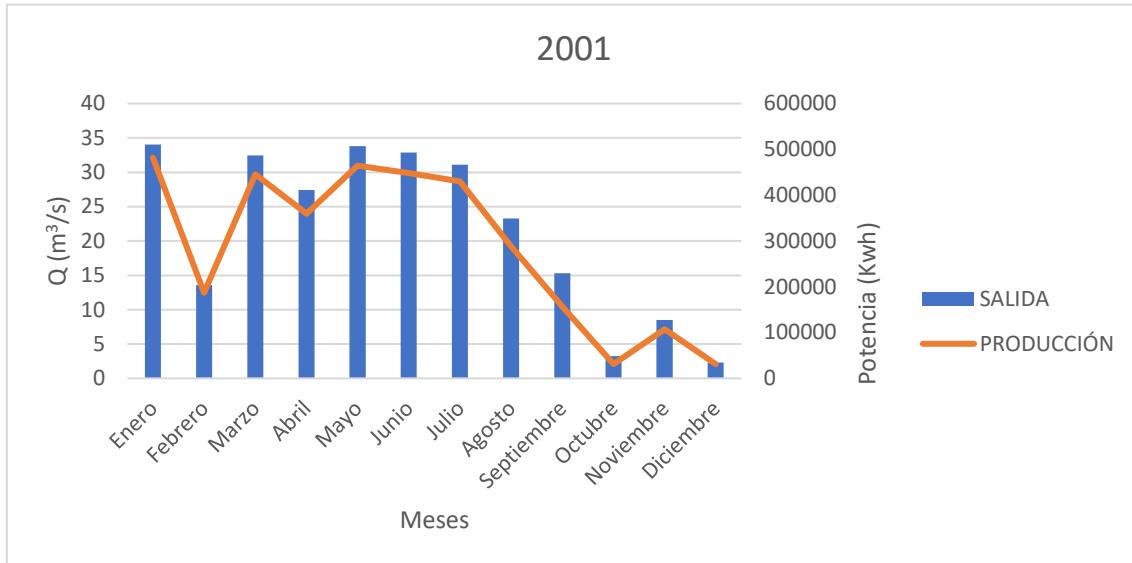


Figura 2. 57 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2001.

En ella se ve que el caudal destinado a la producción de energía estuvo cerca de su máximo durante la mayor parte del año. Este valor disminuyó durante la época de otoño, llegando a finales de año con una producción de 31332 Kwh, muy inferior a los 450000 Kwh que se venían obteniendo durante el primer semestre. Esta disminución de la producción se entenderá con mayor claridad en el siguiente punto, al analizar conjuntamente las entradas, salidas y el volumen embalsado durante el año.

2.4.2.6 Capacidad de almacenamiento

Para finalizar el análisis del año 2001, llegamos al punto en el que se verá con mayor claridad qué ocurre cuando las entradas al pantano comienzan a disminuir y qué medidas se toman al respecto.

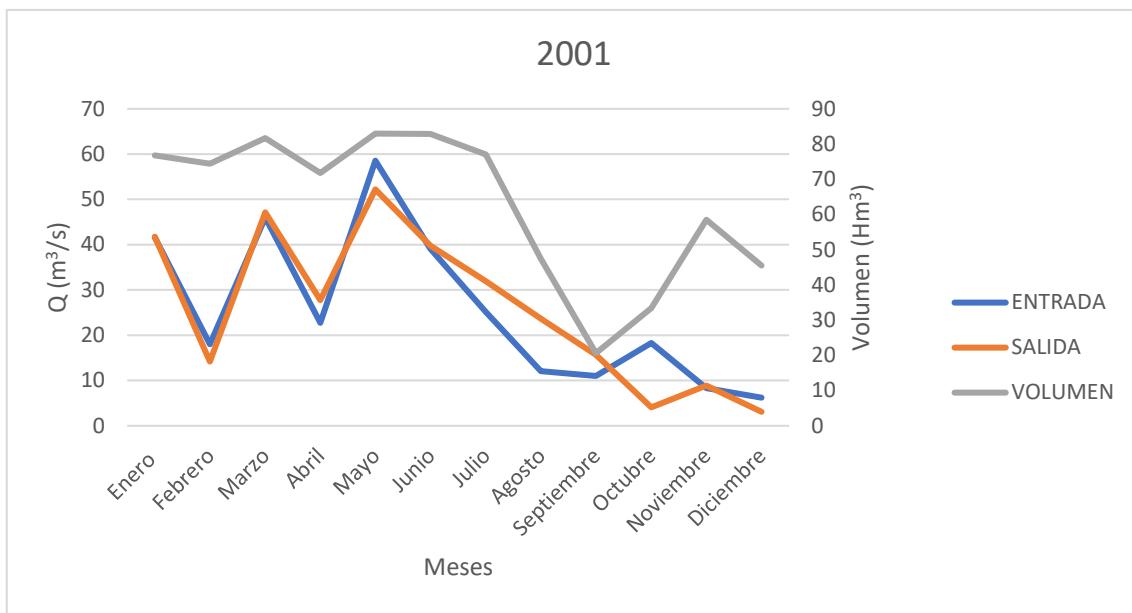


Figura 2. 58 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2001.

En la figura 58, se aprecia que durante la primera mitad de año, las salidas del pantano se adecuaban a las entradas para lograr mantener el nivel cerca de su máximo. Es a partir del mes de junio cuando dichas entradas comienzan a disminuir y con ellas el nivel del pantano. Para minimizar la disminución de agua embalsada, las salidas empiezan a disminuir y hasta que las entradas vuelven a tomar un valor superior al del mes anterior, fenómeno que ocurre durante el mes de octubre, las salidas no vuelven a aumentar. Se produce un retraso de un mes hasta que por las salidas vuelve a circular el agua correspondiente al que entra para conseguir un nuevo aumento del agua embalsada y así evitar que el pantano se quede vacío.

2.5 Análisis hidrológico de los datos referentes al 2002

2.5.1 Cuenca

2.5.1.1 Aportaciones de la cuenca del embalse

2.5.1.1.1 Ésara

En la estación nº 9145 se recogieron durante el año 2002 los datos de caudal y altura que se representan en las figuras 59 y 60.

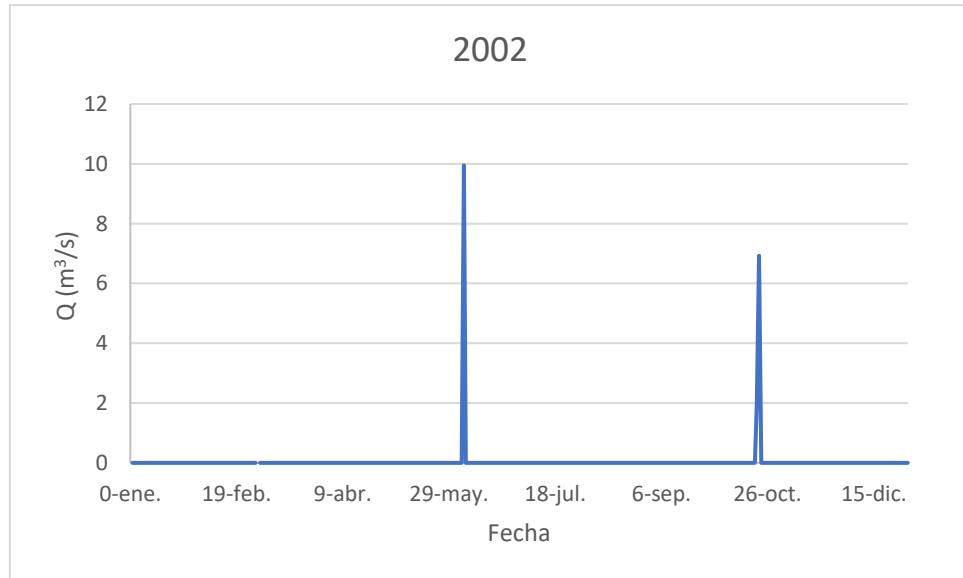


Figura 2. 59 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2002.



Figura 2. 60 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2002.

En ellas podemos ver que se aprecian dos máximos anuales, uno a finales de mayo y otro a finales de octubre. Estos son debidos al deshielo nival y a la abundancia de precipitaciones respectivamente, y han estado presentes en los análisis realizados durante otros años en esta misma estación.

Los máximos de ambas gráficas corresponden al día 5 de junio, cuando se registró un caudal de $9,95\text{m}^3/\text{s}$ y una altura de 0,77 m. El segundo máximo ocurrió el día 22 de octubre, con una altura de 0,68 m y un caudal de $6,92\text{ m}^3/\text{s}$.

Durante el resto del año, el caudal medido fue prácticamente 0 y la altura en torno a 0,15 m

Las figuras 61 y 62, muestran las medidas de caudal y altura registradas en la estación de Campo, durante el periodo de estudio. En cuanto al caudal medido en esta estación, se aprecia que el valor medio es de $20\text{ m}^3/\text{s}$ durante la mayor parte del año, oscilando entre valores comprendidos entre 5 y $25\text{ m}^3/\text{s}$. El máximo caudal medido se encuentra el día 9 de octubre con $95,37\text{ m}^3/\text{s}$, y las dos jornadas siguientes en las que se registró un mayor caudal fueron las nombradas anteriormente. En ellas se aumentó el valor del caudal en $55\text{ m}^3/\text{s}$, pasando de $9.95\text{ m}^3/\text{s}$ y $6.92\text{ m}^3/\text{s}$ a $65.89\text{ m}^3/\text{s}$ y $64,53\text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente.

La altura mostrada en la figura 62 muestra valores muy oscilantes, al igual que el caudal, aumentan y disminuyen de un día para otro alrededor de 0,15 m. El 9 de octubre, al igual que pasaba con el caudal, toma su máximo de 1,35 m.

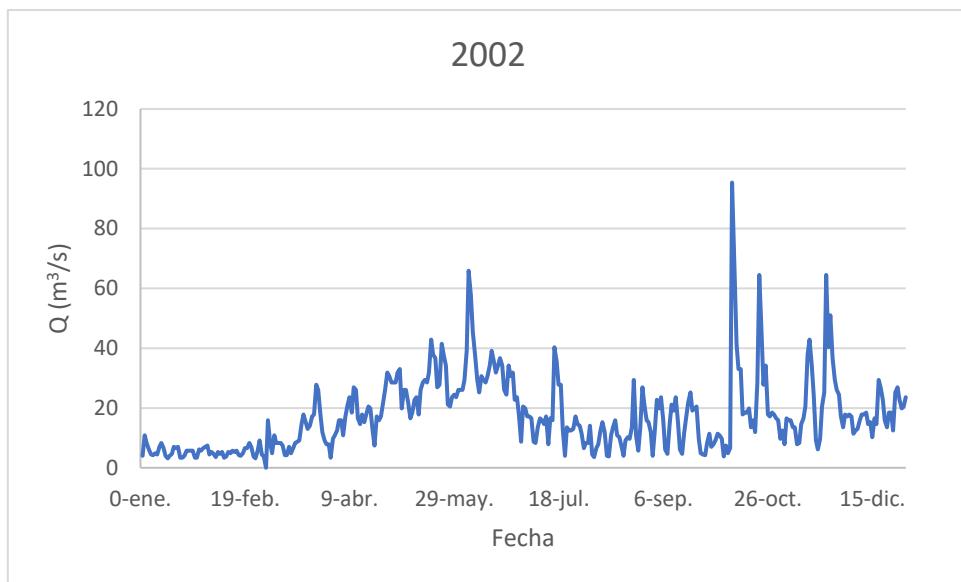


Figura 2. 61 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2002.

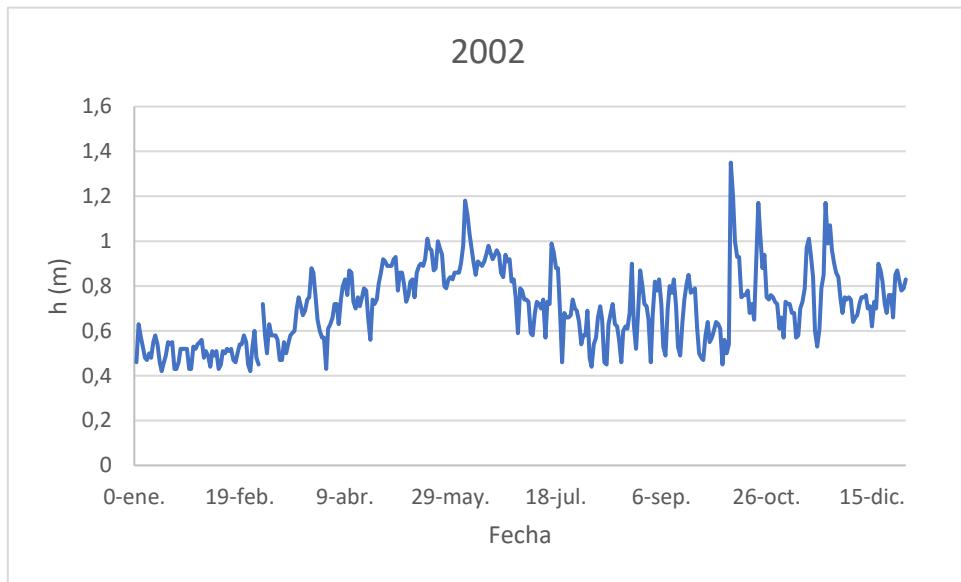


Figura 2. 62 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2002.

La última estación situada en el río Ésera nos deja los valores representados en las figuras 63 y 64.

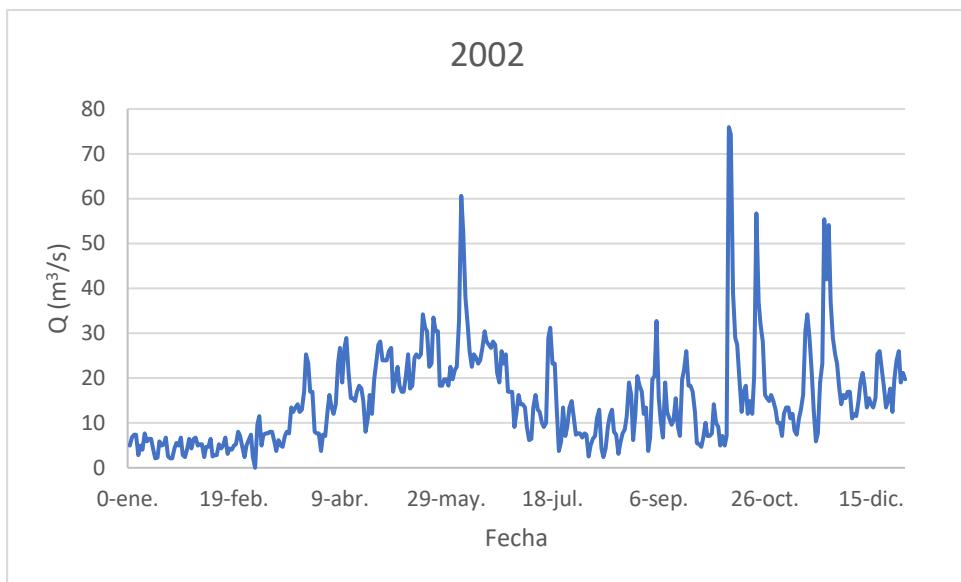


Figura 2. 63 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2002.

El caudal registrado presenta los habituales máximos debidos al deshielo nival, a finales de mayo; y un segundo máximo a finales de octubre, debido a la abundancia de precipitaciones.

En este caso no apreciamos ningún valor que desentone en exceso, por lo que el fenómeno a analizar durante este año 2002, será el escaso caudal de entrada durante los meses de enero y febrero, no superando el valor de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta el uno de marzo.

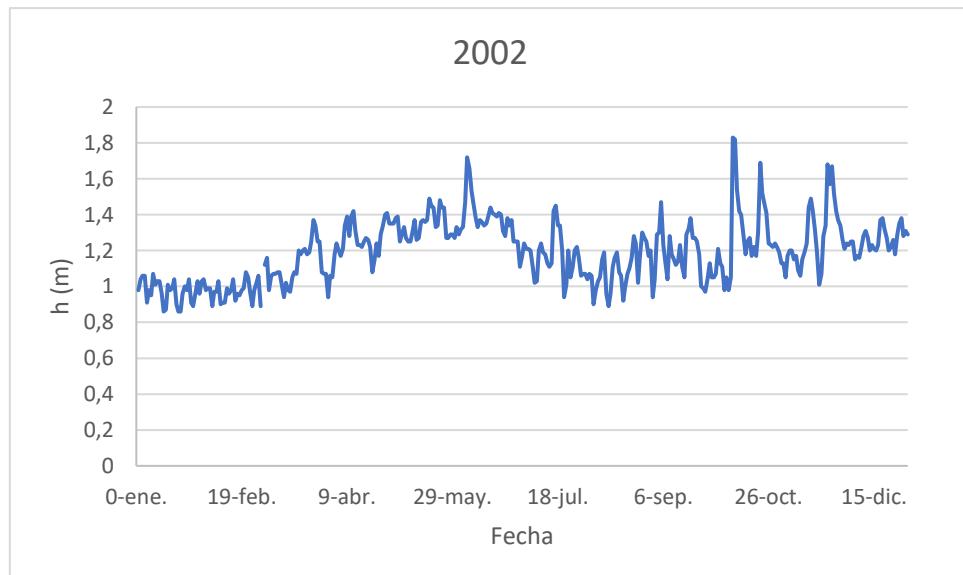


Figura 2. 64 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2002.

La altura sigue la misma tendencia que el caudal, siendo el nivel del río, durante este periodo de escasas aportaciones, de alrededor de 1 m.

2.5.1.1.2 Isábena

La estación que registra la altura y el caudal del río Isábena nos muestra, al igual que las del Ésera, dos épocas en las que las aportaciones son mayores, que coinciden con las analizadas en el punto anterior.

Durante los dos primeros meses del año, el valor de caudal se mantiene inferior a 1 m^3/s , siendo la altura durante este mismo periodo inferior a 0,3 m. Los máximos anuales siguen coincidiendo con las épocas del deshielo y la primavera. Los valores máximos recogidos en ambas épocas son de 16,019 m^3/s y 21,5 m^3/s . A su vez, estos máximos de caudal se traducen en unas alturas que toman valores 0,81 m y 0,9 m, respectivamente.

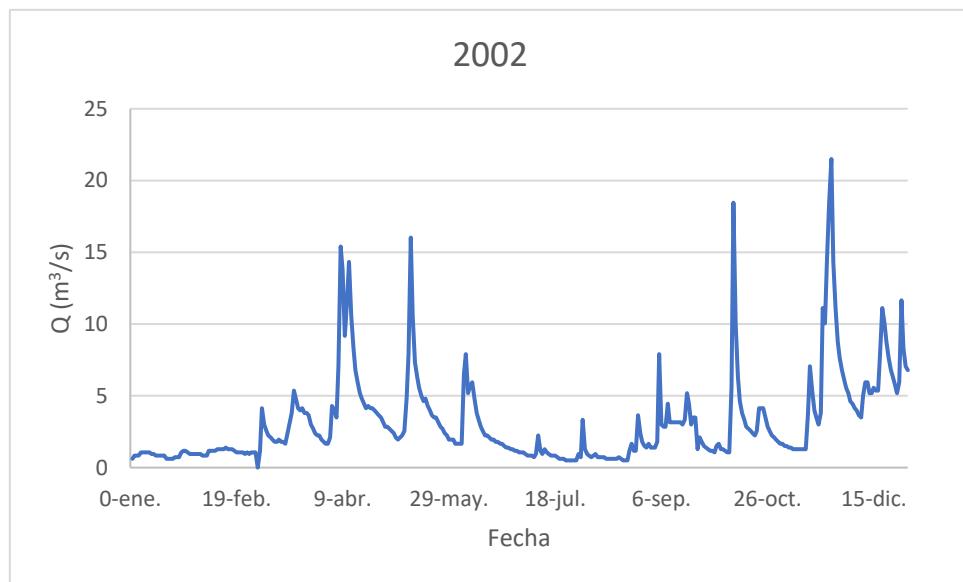


Figura 2. 65 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2002.

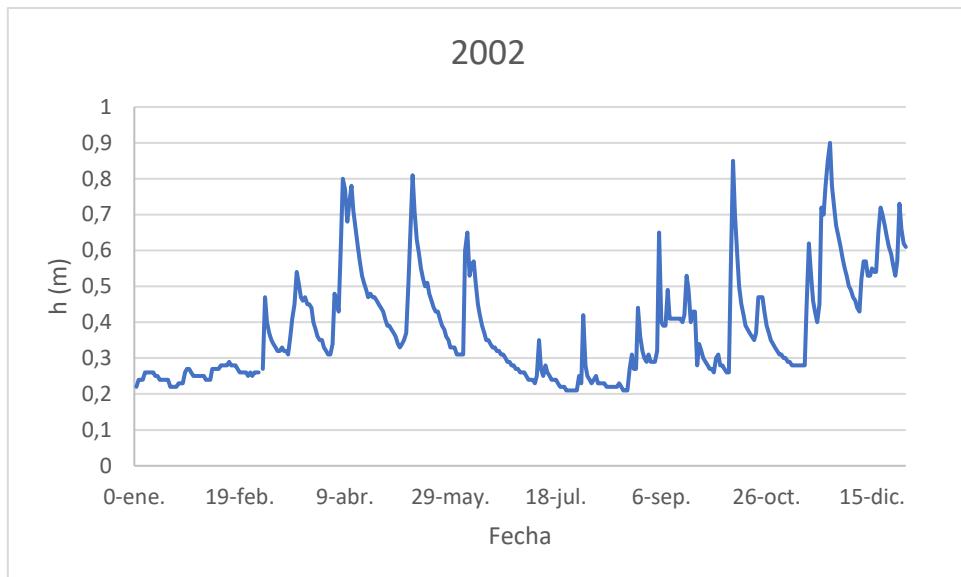


Figura 2. 66 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2002.

2.5.1.1.3 Confluencia

En la figura 67 podemos observar el caudal que circula por ambos ríos en conjunto. Los máximos aparecen en las fechas ya nombradas, y sus valores son $67,1 \text{ m}^3/\text{s}$ y $92,75 \text{ m}^3/\text{s}$.

El año 2002 comienza con la misma tendencia con la que terminó el anterior, en el que ya hubo una escasez de caudal de aportación. Esta se extiende hasta llegar al mes de marzo, no llegando a circular ningún día un caudal superior a los $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Es por ello que durante este análisis nos centraremos en este hecho.

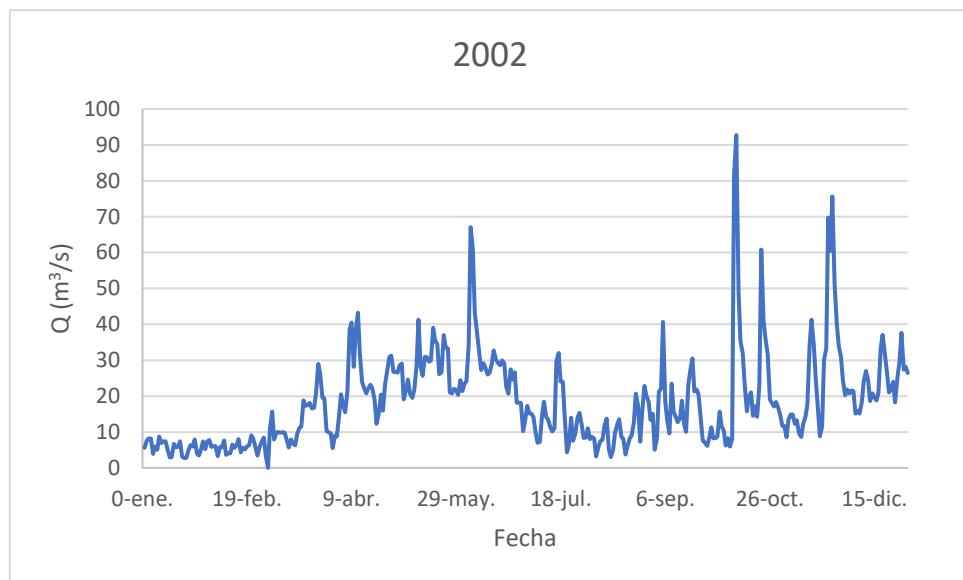


Figura 2. 67 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2002.

2.5.2 Embalse

2.5.2.1 Temperatura y precipitación

El año comienza con unas temperaturas mínimas superiores a 0°C, siendo enero el mes en el que se recogen las menores temperaturas anuales. Estas van ascendiendo, tanto máximas como mínimas hasta llegar al verano. En la gráfica, las medidas nos muestran unos valores máximo y mínimo de 33°C y 16,9°C en el mes de julio; y éstos vuelven a descender conforme avanza el año.

En cuanto a las precipitaciones, comenzamos el periodo con una escasa acumulación no superando los 20mm. Los valores aumentan en otoño, pero con la llegada del verano descienden de nuevo. Finalmente es en la primavera cuando alcanzan sus máximos anuales, concretamente en el mes de septiembre, llegando a acumularse un valor de 118 mm.

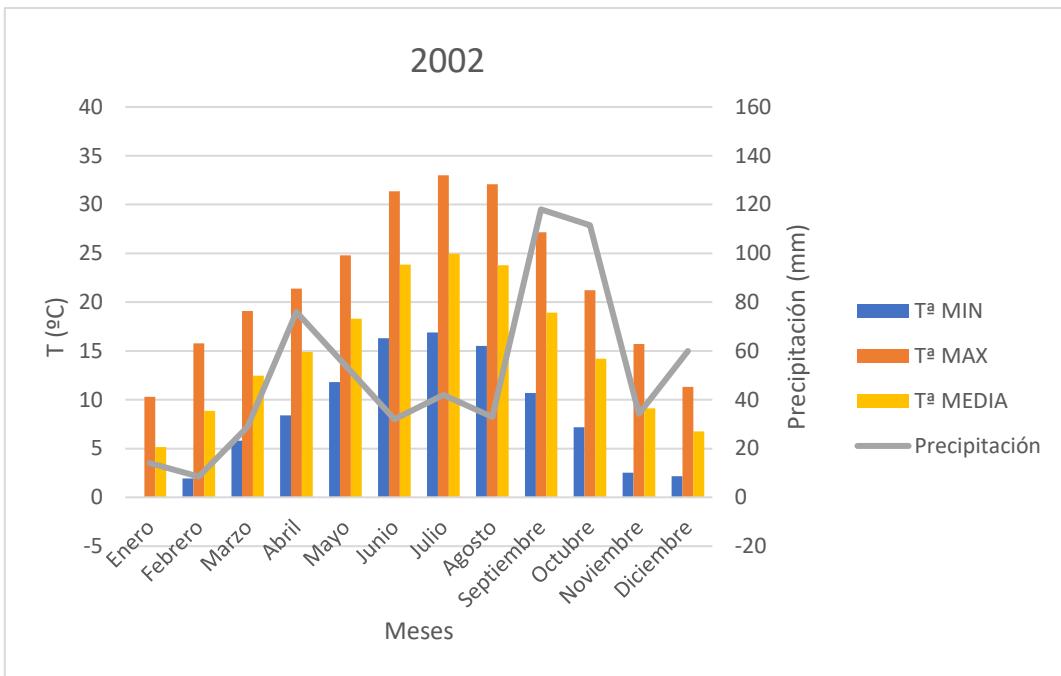


Figura 2.68 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2002.

2.5.2.2 Entradas

Las entradas de agua registradas en el pantano, así como la medida del caudal de agua que se junta en la confluencia de ambos ríos se refleja en la figura 69.

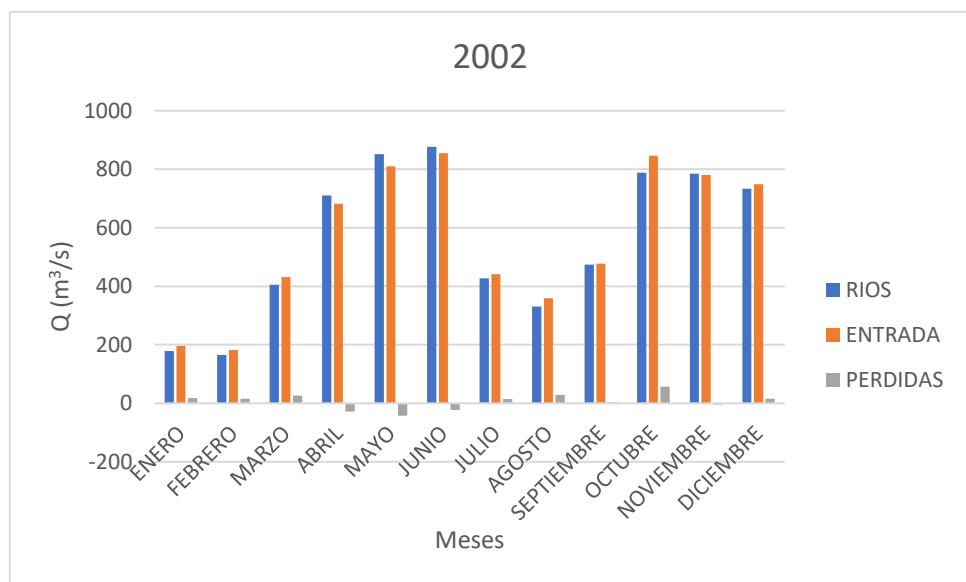


Figura 2.69 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2002.

Se aprecia que, durante el año 2002, las pérdidas son escasas a lo largo de todo el año analizado. Otro fenómeno a tener en cuenta es la escasa aportación de caudal de los ríos. En la figura 69 se aprecia claramente como los valores de caudal que se aportaron al pantano durante los dos primeros meses del año, toman valores muy inferiores en relación al resto de meses del año.

Estas escasas entradas tendrán una repercusión en las salidas como veremos a continuación.

2.5.2.2.3 Demanda

En la figura 70 quedan representados los distintos métodos de desalojo de agua en la presa. La mayor parte del agua desembalsada es conducida a la central, esto queda reflejado en el gráfico circular de la figura 71. En él se ve que el porcentaje destinado a la central es del 98% a lo largo de todo el año 2002, lo que deja solamente un 2% de caudal desalojado por las salidas de fondo. Las dos vías de evacuación restantes, los aliviaderos y el concepto otros, no representan conjuntamente ni el 1% del total, al no haberse apreciado en ningún momento una avenida o anomalía similar.

En cambio, como ya hemos resaltado, los dos primeros meses se caracterizaron por unas entradas escasas, esto se traduce en escasas salidas del pantano, para mantener el nivel y no perder una gran cantidad de volumen embalsado, pero, aun siendo escasas las salidas, el uso mayoritario del agua es la producción de energía.

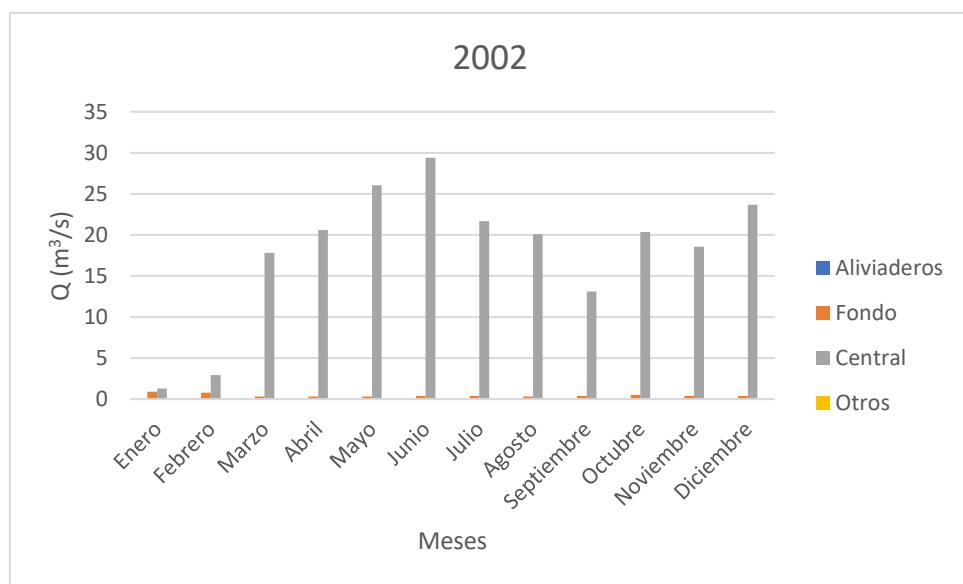


Figura 2. 70 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2002.

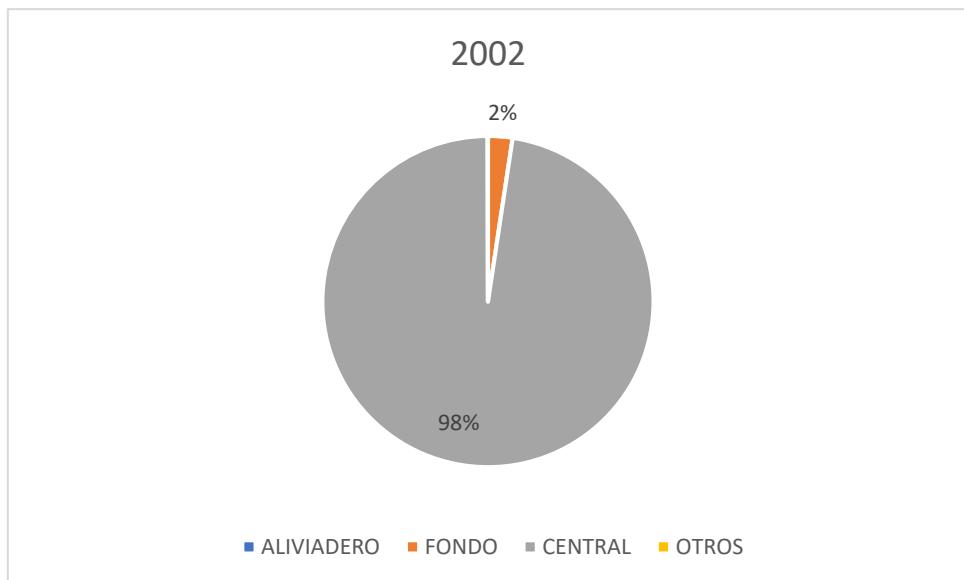


Figura 2. 71 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2002.

2.5.2.2.4 Canal/Río

Si nos fijamos en la segunda distribución de salida de agua, diferenciando entre el río Ésera y el Canal de Aragón y Cataluña, observamos un comportamiento similar.

Los dos primeros meses del año, debido al escaso caudal desembalsado, los caudales que circularon por el río y el canal fueron escasos, sin llegar a superar los $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Durante el periodo central del año, la mayor parte del agua se destinó al regadío distribuyéndola por el canal, llegando hasta los $28,87 \text{ m}^3/\text{s}$ durante el mes de junio. A partir de octubre, es el río el que toma protagonismo, superando al canal hasta final de año. Es diciembre, con $22,56 \text{ m}^3/\text{s}$, el mes en el que más agua circula por el río Ésera, dejando al canal con apenas $1,46 \text{ m}^3/\text{s}$.

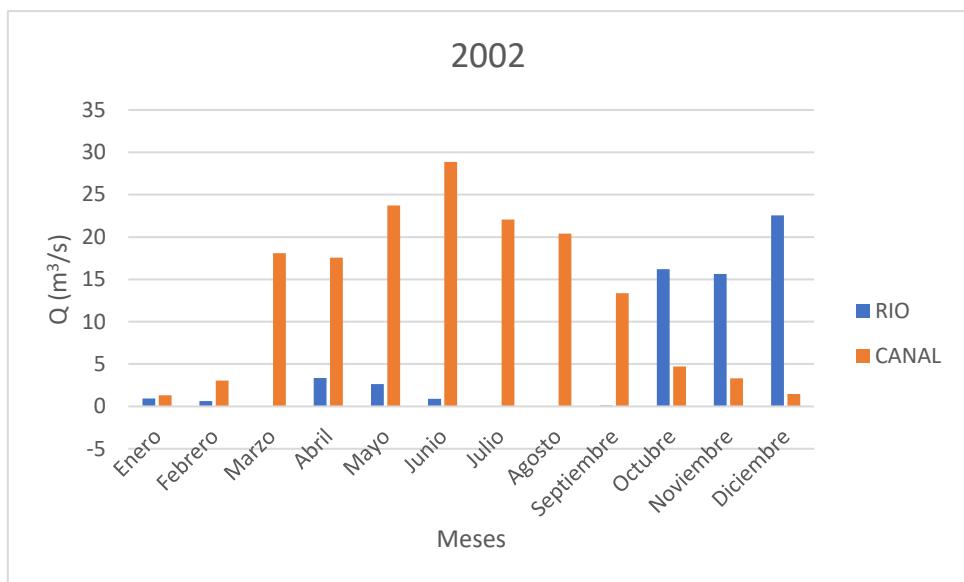


Figura 2. 72 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2002.

2.5.2.5 Producción hidroeléctrica

La generación de energía hidroeléctrica sufre los efectos de la escasez ocurrida a principios de año. El caudal de agua destinado a la generación durante estos dos meses no superó los 5 m^3/s , y la energía generada en total fue de 43500 Kwh aproximadamente. El segundo mes que menos energía se generó fue en septiembre, con 140473 Kwh; aun así, este mes se triplicó la energía del primer bimestre.

Las escasas aportaciones repercuten a su vez en la generación de energía, de una manera muy significativa como muestra la figura 73, en la que se aprecia esta diferencia tanto de producción, como de caudal dedicado a ella.

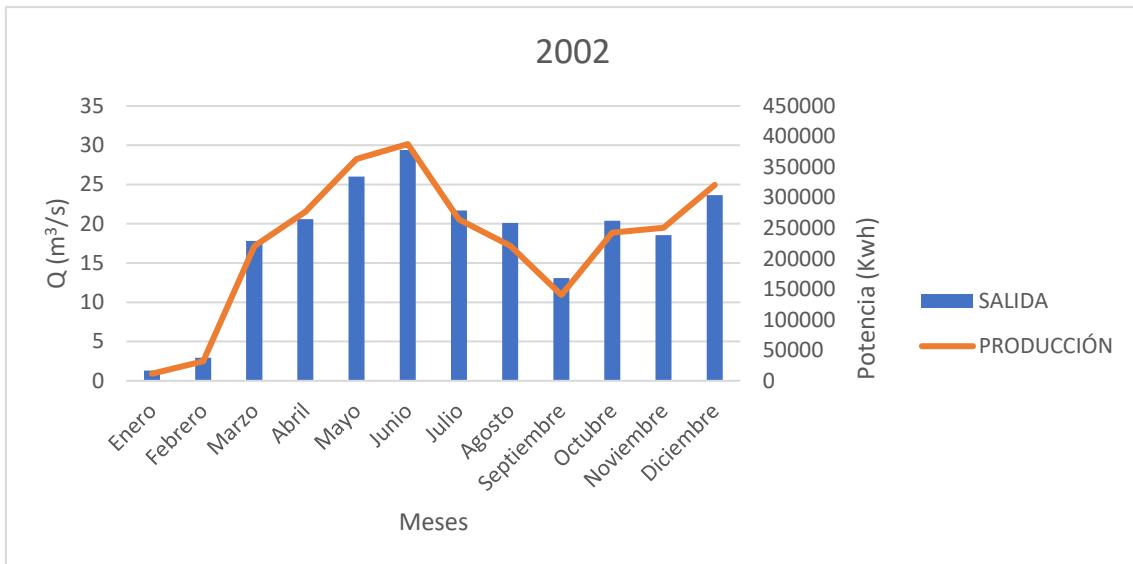


Figura 2.73 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2002.

2.5.2.6 Capacidad de almacenamiento

Por último, la capacidad de almacenamiento se muestra en la siguiente figura, la nº 74.

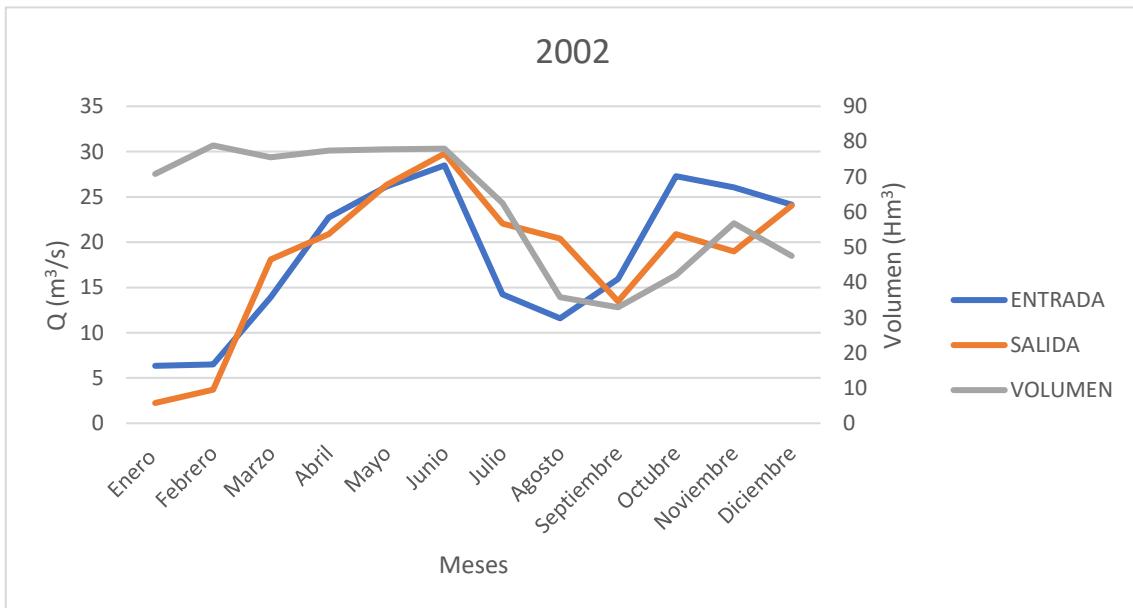


Figura 2.74 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2002.

En ella se aprecia de una forma más clara este fenómeno que venimos nombrando a lo largo de este capítulo.

Un escaso caudal de entrada se traduce en una disminución del caudal de salida, para mantener el nivel del pantano y poder hacer frente a los meses de verano, ya que es en este periodo cuando la necesidad de contener agua embalsada es mayor. Una vez las entradas toman valores más usuales, las salidas aumentan obteniendo consigo una mayor generación de energía hidroeléctrica y un mejor aprovechamiento del agua contenida.

2.6 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2003

Una vez visto el efecto del pantano ante un periodo de escasas aportaciones como ha sido el año 2002, comenzamos con el análisis del año 2003.

2.6.1 Cuenca

2.6.1.1 Aportaciones de la cuenca del embalse

2.6.1.1.1 Ésera

La estación de aforo que registra los datos de caudal y altura del río Ésera, a escasos kilómetros de su nacimiento, presenta el comportamiento típico observado: los dos máximos de caudal coinciden con las épocas de mayores aportaciones; y el resto del año, el caudal que circula por la estación es cercano a cero (ver Figura 75).

Las alturas siguen el mismo patrón: en las épocas de menos caudal, éstas presentan unos valores próximos a 0,2 m, y aumentan con el caudal, llegando hasta un valor máximo anual de 1,2 m, lo que supone un aumento de 1 m con respecto al valor mínimo. Este aumento de altura corresponde a su vez a un aumento del caudal de 30 m³/s, que es el máximo registrado.

Las figuras 75 y 76 muestran estos comportamientos, además de apreciarse una mayor fluctuación de valores en la época primaveral, en los que el aumento de caudal tiene su origen en el deshielo.

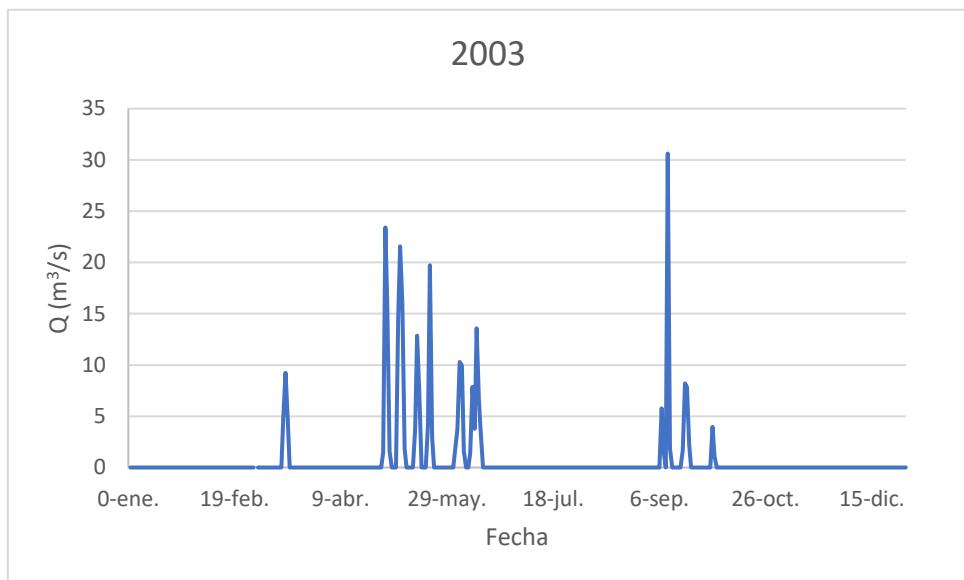


Figura 2. 75 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2003.

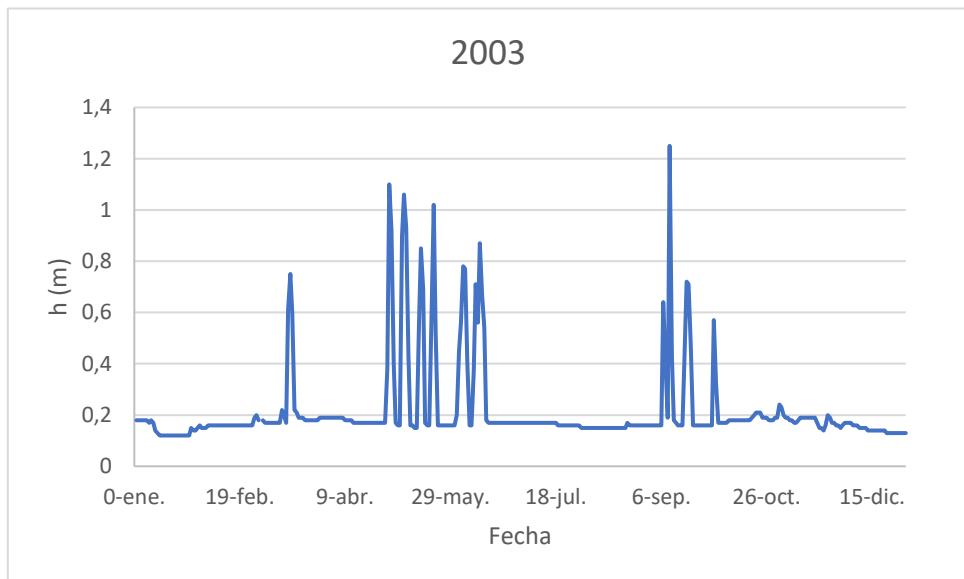


Figura 2. 76 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2003.

La segunda estación situada en el transcurso del río registra los datos de caudal que se muestran en la figura 77. El caudal del río aumenta en torno a $10-15 \text{ m}^3/\text{s}$ en las épocas de menor tránsito. En las épocas de mayores aportaciones este aumento es más significativo, llegando a tomar un valor de caudal de $163,16 \text{ m}^3/\text{s}$ durante la época de abundantes precipitaciones.

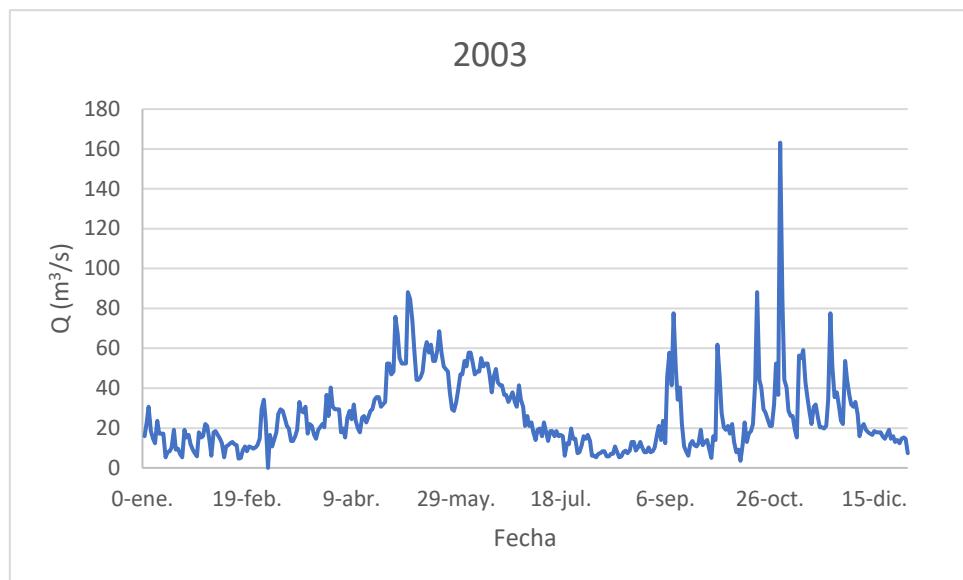


Figura 2. 77 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2003.

La altura también aumenta. Las jornadas en las que la altura registrada en Eriste era de 0,2 m, se corresponden con alturas registradas en Campo de 0,5 a 0,7 m, lo que supone un aumento de medio metro en el nivel del agua. En la siguiente figura podemos ver estos valores, y como fluctúan al igual que el caudal representado en la figura anterior.

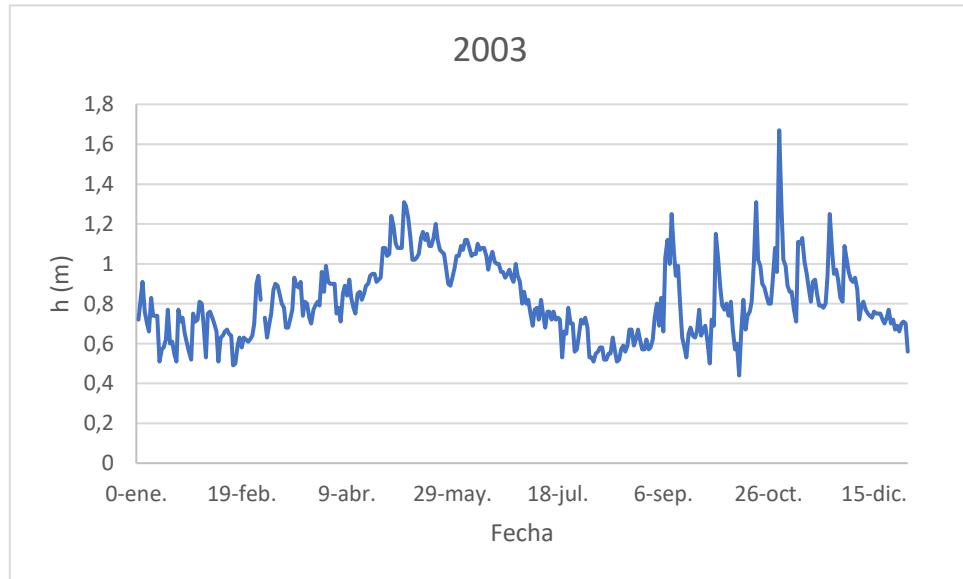


Figura 2. 78 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2003.

En la última estación que nos encontramos a lo largo del Ésera, se tomaron los datos que se han representado en las figuras 79 y 80, presentadas a continuación.

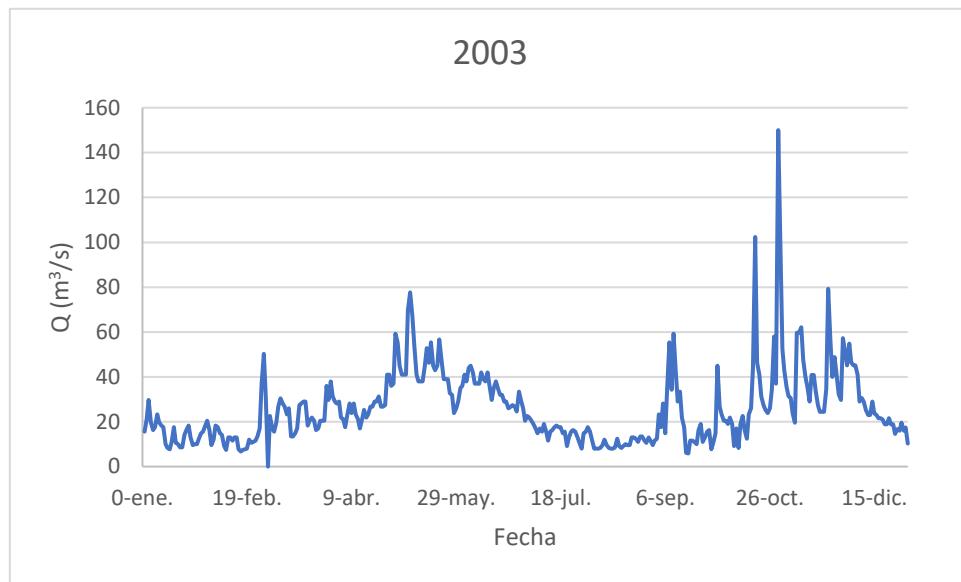


Figura 2. 79 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2003.

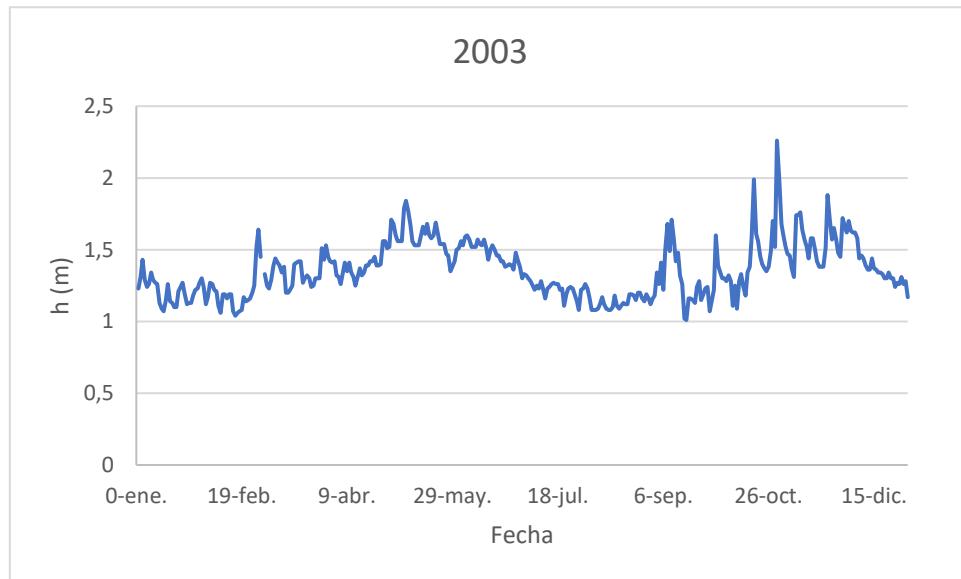


Figura 2. 80 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2003.

Si nos fijamos en la representación del caudal, se aprecian nuevamente las dos épocas en las que el caudal aumenta fruto del deshielo y las precipitaciones respectivamente, como hemos visto en años anteriores (2000, 2001).

El máximo anual del río corresponde al día 30 de octubre. Durante esta jornada discurría por el Ésera un caudal de 150,02 m³/s, y la altura correspondiente fueron 2,26 m; valores que destacan con diferencia, puesto que el segundo máximo anual se presenta con un caudal de 102,35 m³/s y altura 1,99 m.

2.6.1.1.2 Isábena

El río Isábena presenta el mismo comportamiento que el Ésera, con la diferencia de que el máximo anual observado en la figura 79, corresponde al 30 de octubre y en este caso corresponde al 31 de este mismo mes con un valor de caudal de 50,99 m³/s. Podemos decir que el valor máximo de caudal en el Isábena se registró un día después al valor máximo de caudal en el Ésera.

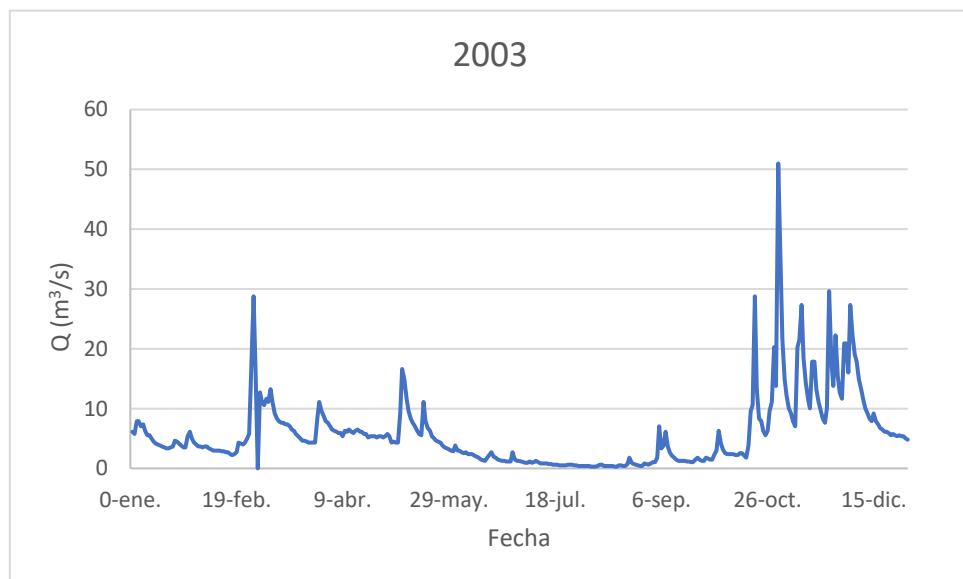


Figura 2. 81 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2003.

Del mismo modo, la altura registrada el 31 de octubre fue de 1,26 m, lo que supone 1,27 m más que el mínimo anual registrado el 6 de agosto, cuyo valor fue de 0,19 m.



Figura 2. 82 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2003.

Confluencia

En la figura 83 podemos ver la representación del caudal que circulaba por ambos ríos durante el año 2003. Lo destacable de ella aparece a finales de octubre, cuando en dos días sucesivos, el 30 y el 31 de dicho mes, el caudal supera los 150 m³/s, lo que supuso un reto a la hora de la gestión de avenidas.

Más adelante veremos cuál fue el procedimiento de actuación al respecto, para un fenómeno que es la primera vez que aparece en este análisis hidrológico desde el año 2000, ya que por uno de los ríos se alcanza el máximo y al día siguiente se tiene el mismo máximo por el otro río.

En cuanto al deshielo nival, el caudal aumentó hasta un valor de 94,97 m³/s, siendo éste el máximo registrado durante esta época del año.

Por último, durante el verano, los valores descendieron hasta valores que rondaban los 8,5 m³/s en el mes de agosto.

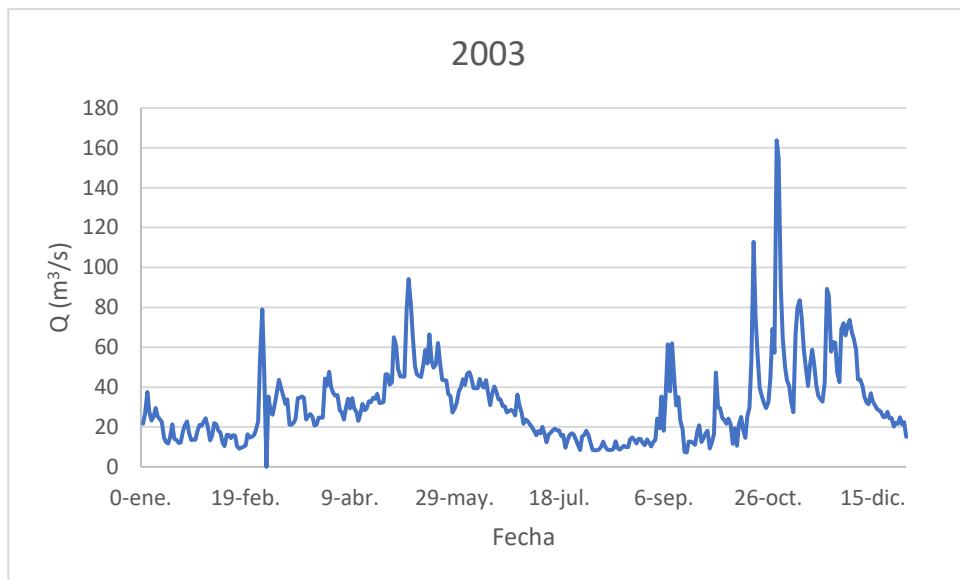


Figura 2. 83 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2003.

2.6.2 Embalse

2.6.2.1 Temperatura y precipitación

Las temperaturas recogidas en las instalaciones del pantano nos muestran que el año 2003 presentó el verano más caluroso registrado desde comienzos de siglo. En verano, las temperaturas llegaron a alcanzar los 36,61°C en agosto, no descendiendo por debajo de los 30°C durante ningún mes estival. Las mínimas en este mismo periodo tampoco tomaron valores por debajo de los 15°C.

Las temperaturas medias superaron los 25°C durante junio, julio y agosto. Solamente durante el mes de enero, donde aparece una temperatura media de 4,83°C bajaron de los 5°C.

Las precipitaciones mostradas en la figura 84 alcanzan su máximo en el mes de septiembre, con 164 mm. En los meses de verano, éstas no superan los 50 mm, puesto que sus valores fueron 44,5 mm en junio, 49 mm en julio y 18,5 mm en agosto, que además de ser el mes más caluroso fue también el segundo más seco, solamente por detrás de abril, en el que se tomó un valor de 14 mm de precipitación.

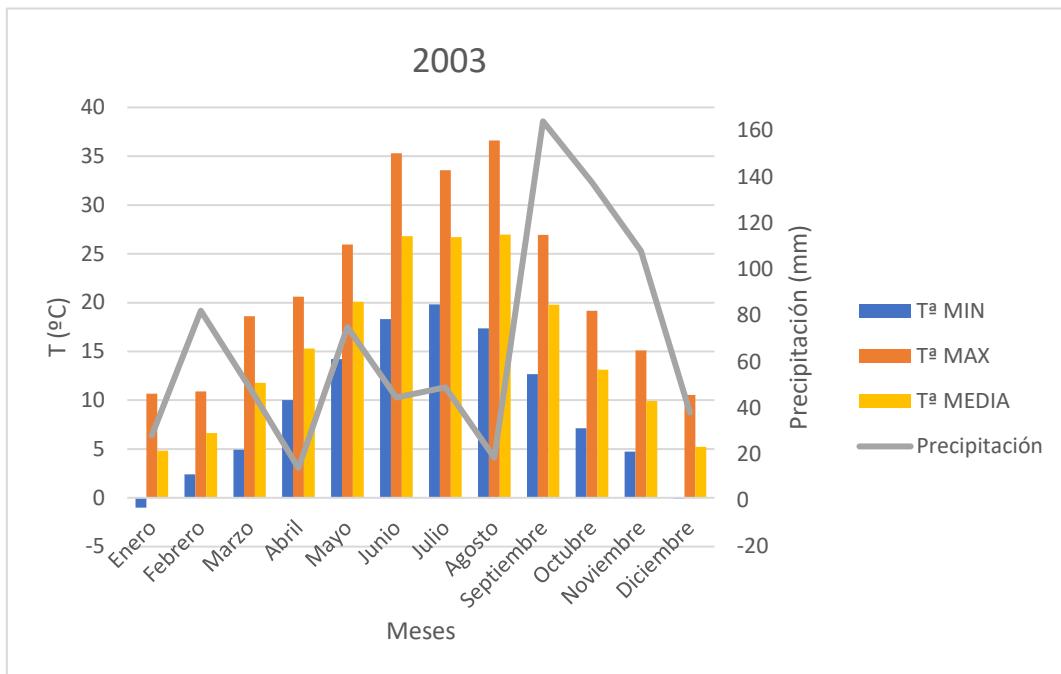


Figura 2.84 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2003.

2.6.2.2 Entradas

En cuanto a las entradas, los valores registrados en el pantano, y el caudal que circulaba por ambos ríos toman valores muy similares a lo largo de los meses de estudio. Los meses de mayores aportaciones fueron mayo y noviembre. Octubre a pesar de contar con los dos días de mayor caudal, se queda en tercer lugar.

Solamente durante octubre el valor de pérdidas fue significativo llegando hasta los 310,39 m³/s, lo que supone que este caudal de agua que circulaba por el río no llegó a ser registrado en las instalaciones del pantano.

Si miramos más detenidamente, esta diferencia tan grande se registró mayoritariamente durante los días 30 y 31 de octubre. El valor de pérdidas en estos dos días fue de -102,089 y -100,59 m³/s respectivamente, lo que sugiere un error a la hora de la toma de medidas, ya que como veremos a continuación el agua desembalsada supera los registros habituales.

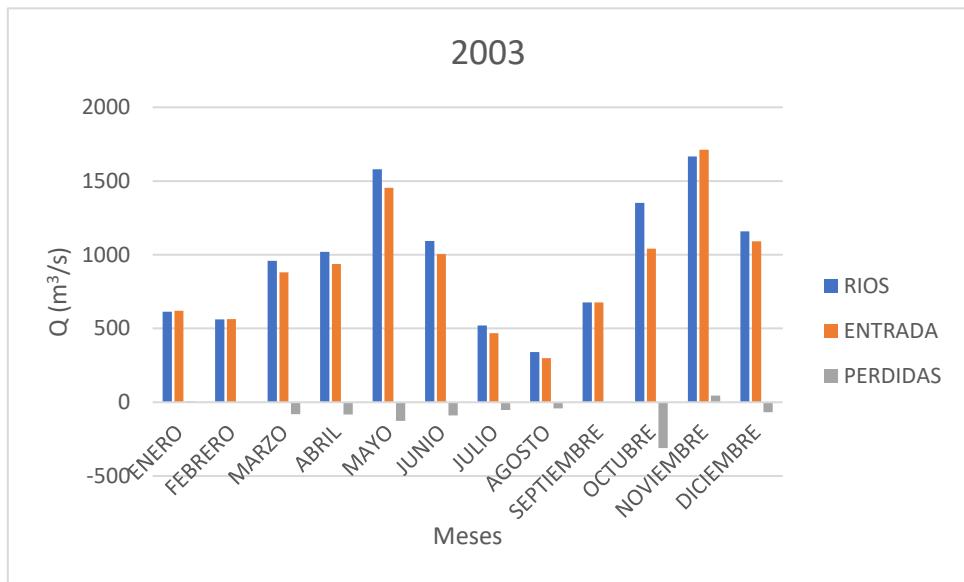


Figura 2. 85 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2003.

2.6.2.3 Demanda

Las salidas de caudal tienen como finalidad principal la satisfacción de demanda de energía hidroeléctrica, siendo la salida de la central la que registra mayores flujos a lo largo de los 12 meses del 2003. Solamente en los meses de mayo, noviembre y diciembre, otras salidas como son las de fondo o los aliviaderos tomaron valores de caudal significativos.

Durante el mes de mayo, entre ambas salidas, el caudal medio diario fue de 10 m³/s, puesto que, como hemos nombrado en el punto anterior, este fue uno de los meses en los que se recibió una mayor aportación.

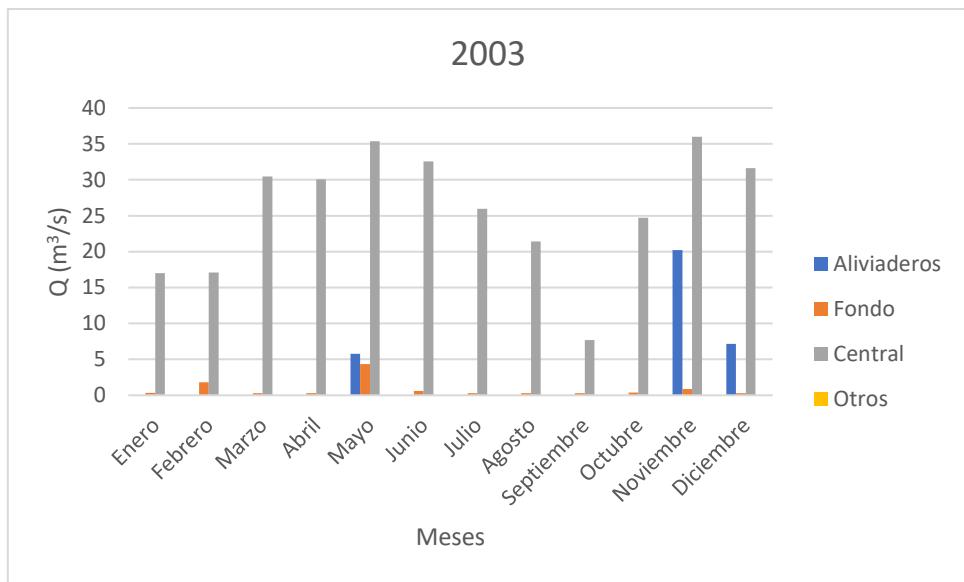


Figura 2. 86 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2003.

Las dos jornadas de mayor caudal registrado en los ríos fueron el 30 y 31 de octubre. Este hecho se refleja en la figura anterior como una gran cantidad de agua desembalsada por los aliviaderos durante el mes de noviembre.

En la figura 87, se aprecia con mayor detalle cuál fue la naturaleza de esta salida, ya que ocurrió solamente durante los dos primeros días del mes de noviembre, y con dos días de retraso, puesto que el día 1 fluyó por los aliviaderos un caudal de $170,5 \text{ m}^3/\text{s}$, para desalojar el agua aportada el día 30. El día 31 el caudal aportado al pantano fue de $154,99 \text{ m}^3/\text{s}$; con la previsión de que este fenómeno de un aporte inusual había llegado a su fin se liberó un caudal de $79,25 \text{ m}^3/\text{s}$ el día dos de noviembre, con el fin de acumular cierta cantidad de agua.

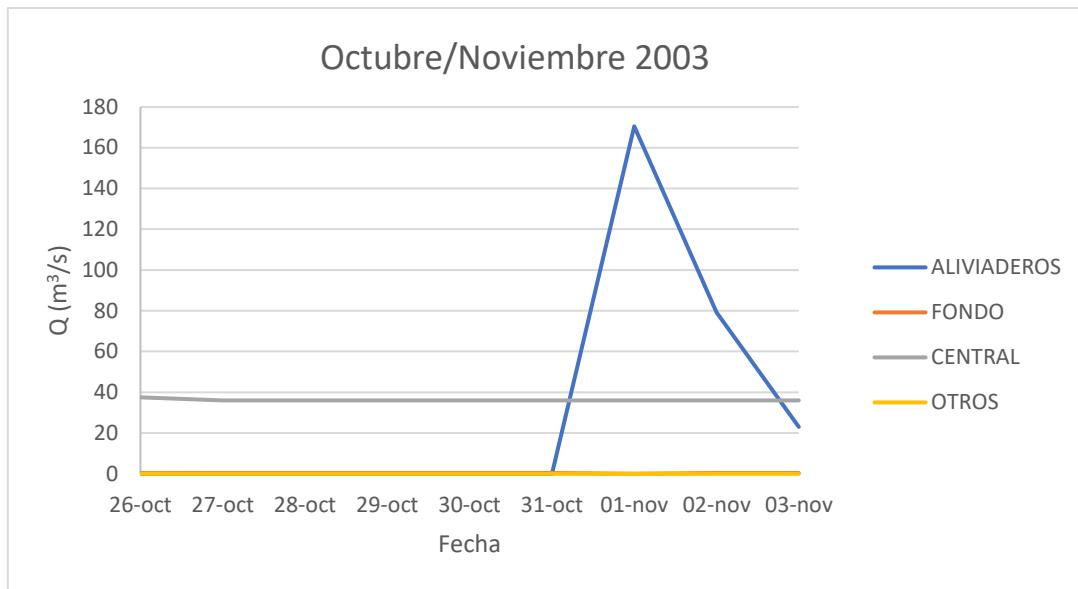


Figura 2. 87 Evolución de la salida de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo de los meses de octubre y noviembre del año 2003.

2.6.2.4 Canal/Río

La segunda distinción que venimos haciendo a los caudales salientes, es entre el río Ésera y el Canal de Aragón y Cataluña.

Durante este año, y como viene siendo habitual, en los primeros meses del año es el río el que se lleva el mayor flujo de agua saliente. Al llegar la época estival, el caudal destinado al canal aumenta, dejando al río en un segundo plano durante los meses de junio hasta septiembre. La diferencia entre ambos es muy significativa: mientras que por el canal circulan más de 20 m³/s, por el lecho del río este valor no supera los 2,86 m³/s, que se dan en el mes de junio.

Al llegar octubre, la tendencia vuelve a cambiar, y es en el mes de noviembre cuando por el río circula el mayor caudal anual, fruto de la gran cantidad de agua desembalsada por los aliviaderos durante los dos primeros días del mes debido a las maniobras de la presa de gestión de la avenida.

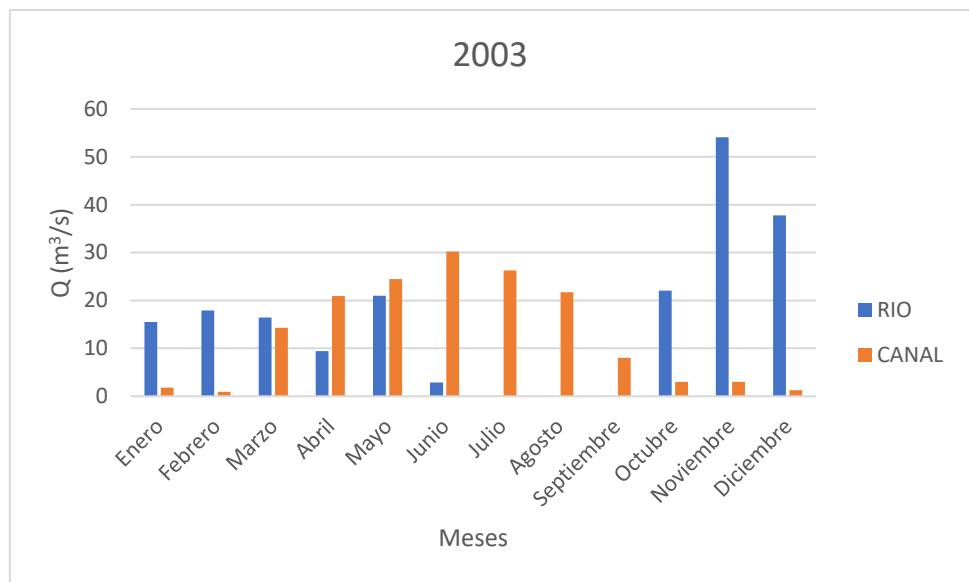


Figura 2. 88 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2003.

2.6.2.5 Producción hidroeléctrica

La producción hidroeléctrica generada en la central de San José se muestra en la figura 89, junto al caudal destinado a este fin.

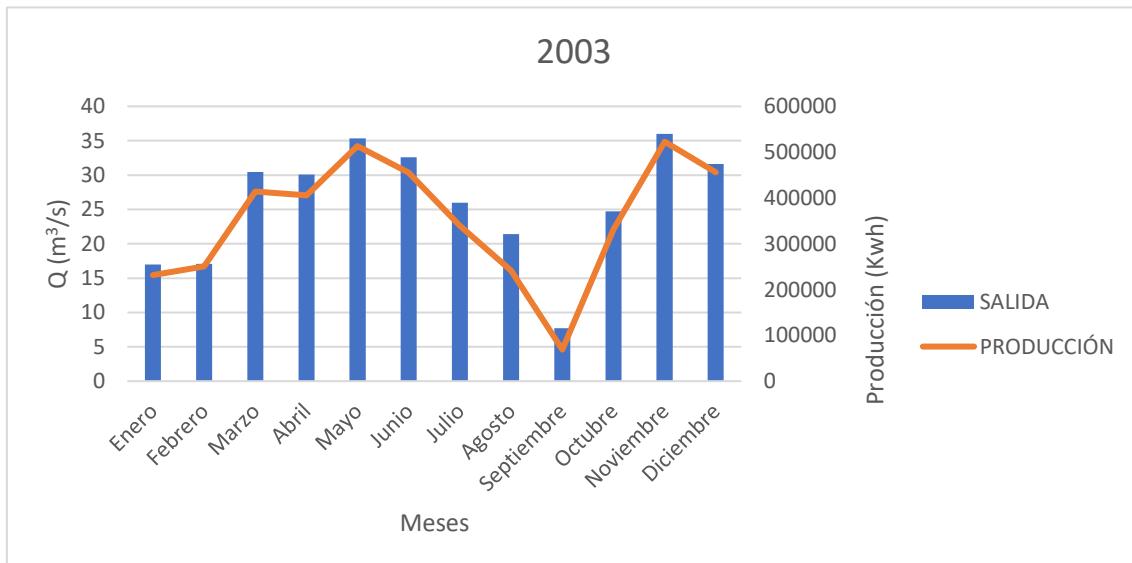


Figura 2. 89 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2003.

El único mes en el que la producción no superó los 200000 Kwh, fue en el mes de septiembre, puesto que el agua destinada a la producción de energía no superó el valor de 10 m³/s diarios.

Los meses de mayor salida de caudal fueron en los que se generó una mayor cantidad de energía, obteniendo el máximo anual en noviembre con 522873,33 Kwh, seguido por los 513154,83 Kwh generados en mayo.

2.6.2.6 Capacidad de almacenamiento

Para acabar el análisis del año 2003, representamos conjuntamente el volumen de agua embalsado, junto con las entradas y salidas al pantano, obteniendo la figura 90.

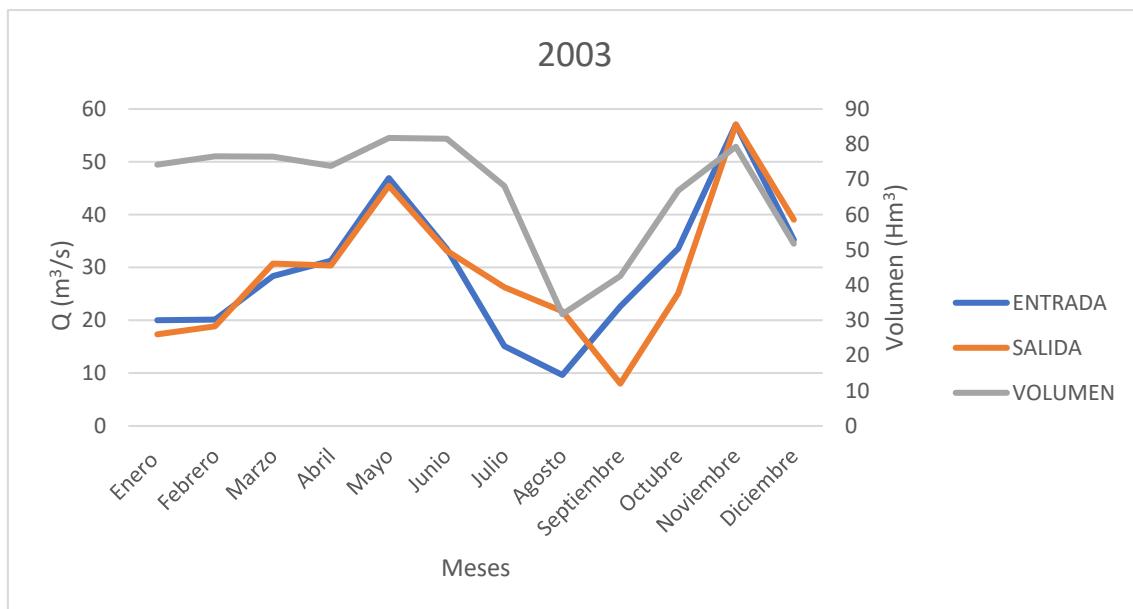


Figura 2. 90 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2003.

En ella vemos como varía el volumen de agua, especialmente en los meses de julio y agosto, en los que las salidas fueron mayores que las entradas, lo que contribuyó a una disminución del volumen. Esto se corrigió durante septiembre y octubre, haciendo que las salidas fueran inferiores para aumentar la cantidad de agua embalsada.

En el mes de noviembre las entradas y salidas son las máximas registradas, puesto que el embalse había contenido un volumen de agua de 79,27 Hm³ y como éste se encontraba próximo a su cupo máximo, se tuvieron que adecuar los flujos entrantes y salientes para que no llegara a rebosar.

2.7 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2004

2.7.1 Cuenca

En este nuevo capítulo vamos a detallar el análisis correspondiente al año 2004.

2.7.1.1 Aportaciones de la cuenca del embalse

2.7.1.1.1 Ésera

Comenzando por el nacimiento del Ésera, los datos de caudal y altura recogidos son los representados en las figuras 91 y 92.

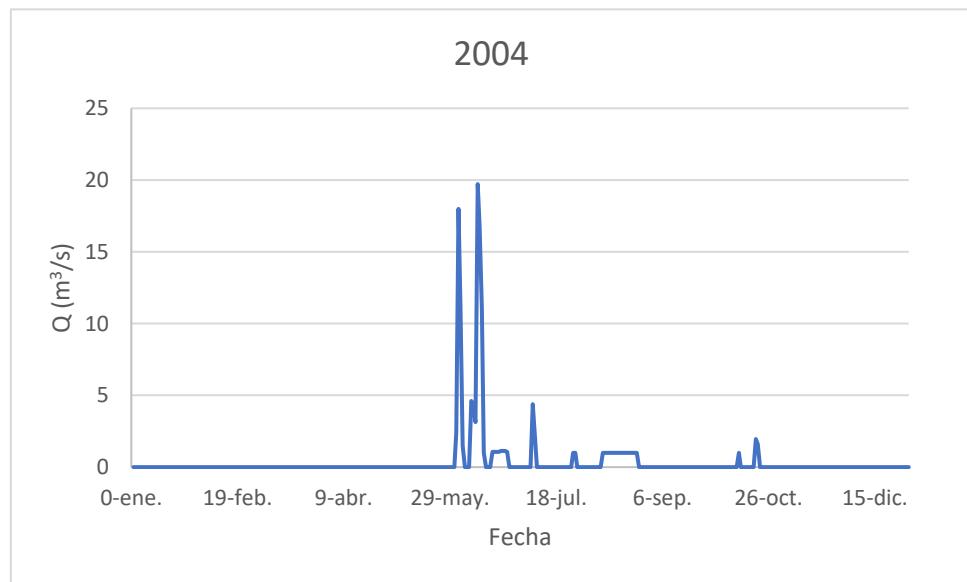


Figura 2. 91 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2004.

En ambas se puede apreciar que, a diferencia de los años anteriores, sólo aparece un máximo, debido al deshielo. Este se sitúa a principios de junio, y los valores máximos que aparecen representados corresponden con un caudal de 19,72 m³/s y una altura de 1,02 m.

El segundo pico que venía apareciendo en hidrogramas de años anteriores en esta estación correspondía al aumento de las precipitaciones; lo que nos indica que durante el año 2004 no se dieron las habituales y abundantes precipitaciones que solían tener lugar durante el mes de octubre.

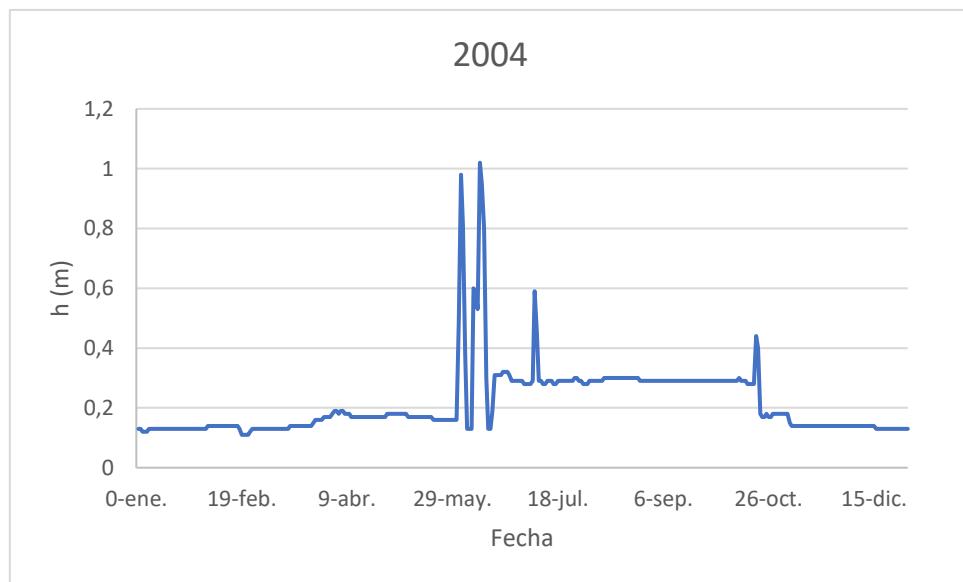


Figura 2. 92 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2004.

Continuando con la estación de Campo (ver Figura 93), el valor de caudal registrado el día 2 de junio fue de 64,53 m³/s, seguido por otro valor máximo de caudal de 61,82 m³/s registrado el día 12 del mismo mes.

En esta segunda estación ya se empieza a notar la influencia de las precipitaciones otoñales, concretamente el 21 de octubre se registró un caudal de 41,5 m³/s. Durante el resto del año los valores se movieron entre los 3 y 15 m³/s, siendo a finales de septiembre el periodo en el que más estabilidad se apreció sobre el caudal.

La altura registrada llegó a tomar un valor máximo de 1,17 m el día 2 de junio y descendió hasta situarse en 0,36 m durante principios de octubre. Por último, las lluvias de finales de octubre hicieron subir el nivel del río hasta situarlo en 0,93 m (ver Figura 94).

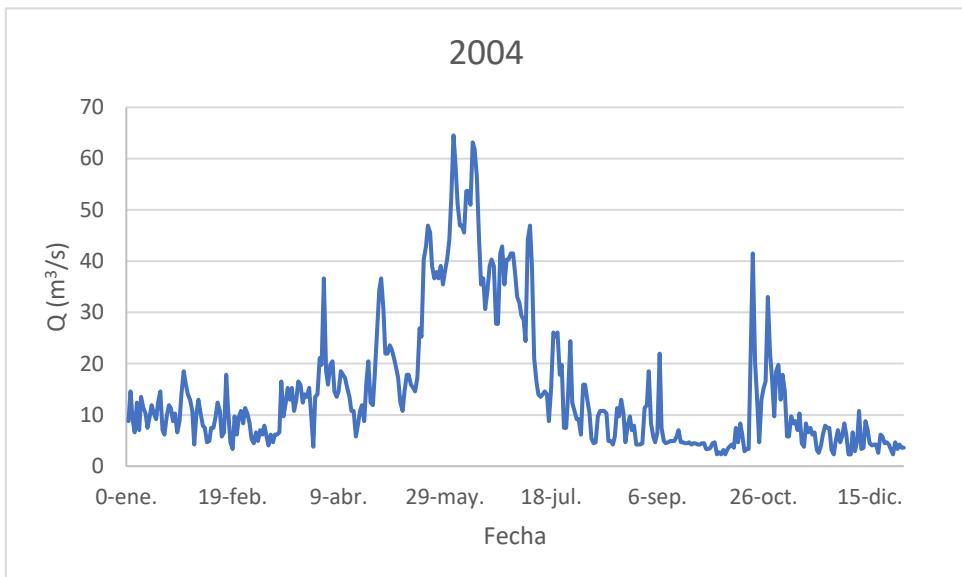


Figura 2. 93 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2004.

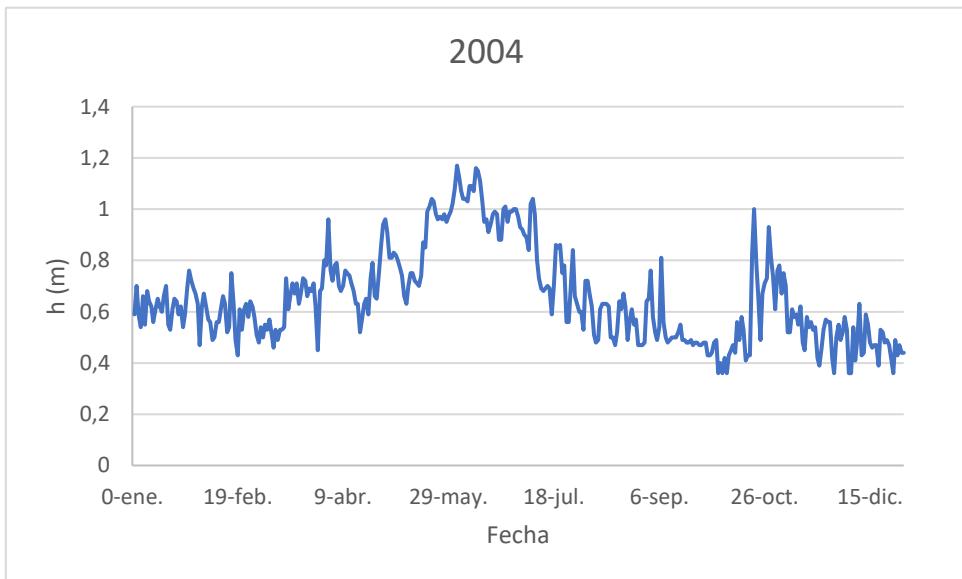


Figura 2. 94 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2004.

Para finalizar con el análisis del río Ésera durante el año 2004, los valores de caudal medidas durante este periodo en la última estación de aforo (Graus) son los representados en la figura 95. Esta tiene una gran similitud con la figura 93, que nos mostraba los valores de caudal recogidos en la estación de Campo.

Si nos fijamos en los máximos anteriores, cuyos valores eran de 64,53, 61,82 y 41,5 m^3/s , estos han variado, y en las mismas fechas, las mediciones reflejan los siguientes valores de caudal: 53,63, 49,99 y 42,7 m^3/s , respectivamente.

Solamente el máximo registrado a finales de octubre incrementó su valor y vemos que en los días 3 y 11 de junio los valores descendieron en torno a 11 m^3/s , caso inusual tratándose de dos estaciones que distan unos 25 km; siendo habitual que los valores tomados en Graus sean de magnitud similar incluso mayor a los de Campo, pero en ningún caso había aparecido una diferencia negativa tan significativa.

Este fenómeno aparece también durante la época de menor caudal; pasando, por ejemplo, de unos 3,36 m^3/s el 29 de septiembre a los 3,06 m^3/s medidos en Graus el mismo día.

Como ya hemos dicho, este comportamiento no es el habitual, habiendo días del año 2004 en los cuales el caudal entre ambas estaciones aumenta como hemos visto en el análisis de años anteriores, como es el caso del año 2001.

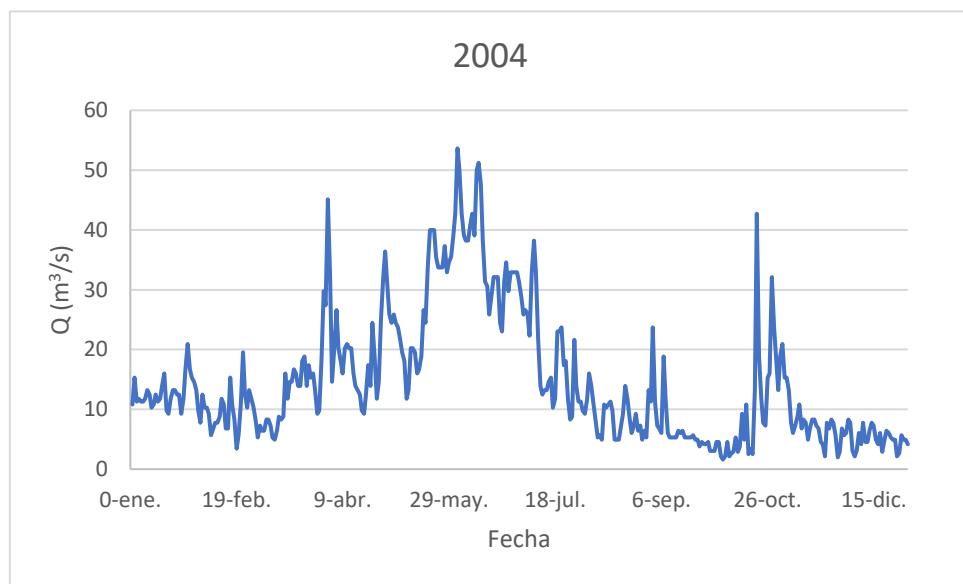


Figura 2. 95 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2004.

Las medidas de altura no siguen la misma tendencia que las de caudal, aumentando por ejemplo el valor del nivel registrado durante el 2 de junio en 0,49 m. Los mínimos registrados en la estación de Campo fueron de 0,36 m a principios de octubre, valores que en la estación de Graus ascendieron hasta 1 m. Este efecto del aumento del nivel y disminución del caudal es una anomalía de la cual se desconoce su naturaleza, aunque podría achacarse tanto a un fallo en las mediciones realizadas o a un uso excesivo del agua entre las dos estaciones de aforo.

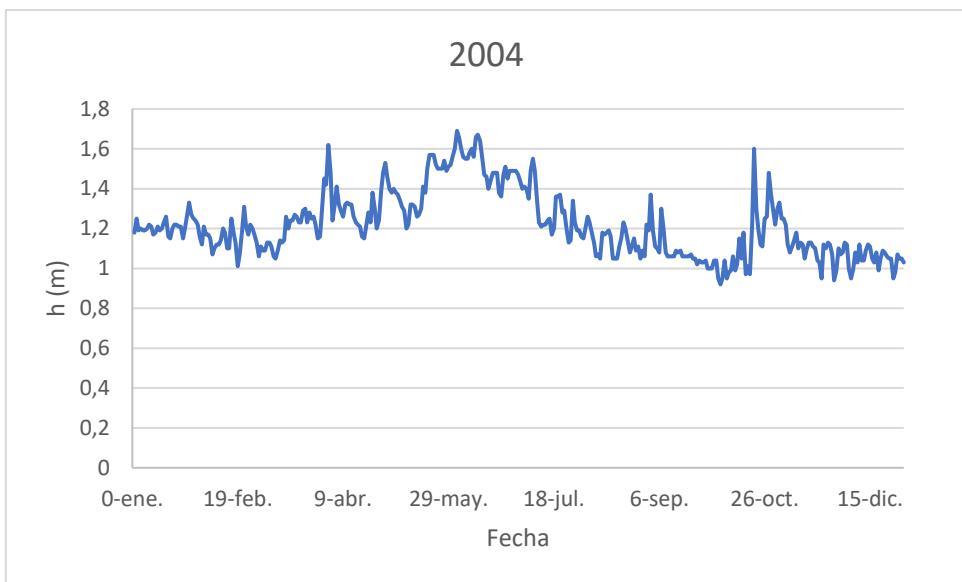


Figura 2. 96 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2004.

2.7.1.1.2 Isábena

El análisis del río Isábena, el cual realizamos apoyándonos en las figuras 97 y 98, obtenidas mediante la representación del caudal y el nivel del río a su paso por Capella, nos muestra de nuevo que durante el 2004 el mayor caudal de agua aportado fue gracias al deshielo.

Nuevamente, la época de abundantes precipitaciones queda en segundo plano, aportando un caudal máximo de $5,93 \text{ m}^3/\text{s}$, valor muy pequeño en comparación a los $21,5 \text{ m}^3/\text{s}$ registrados a principios de abril.

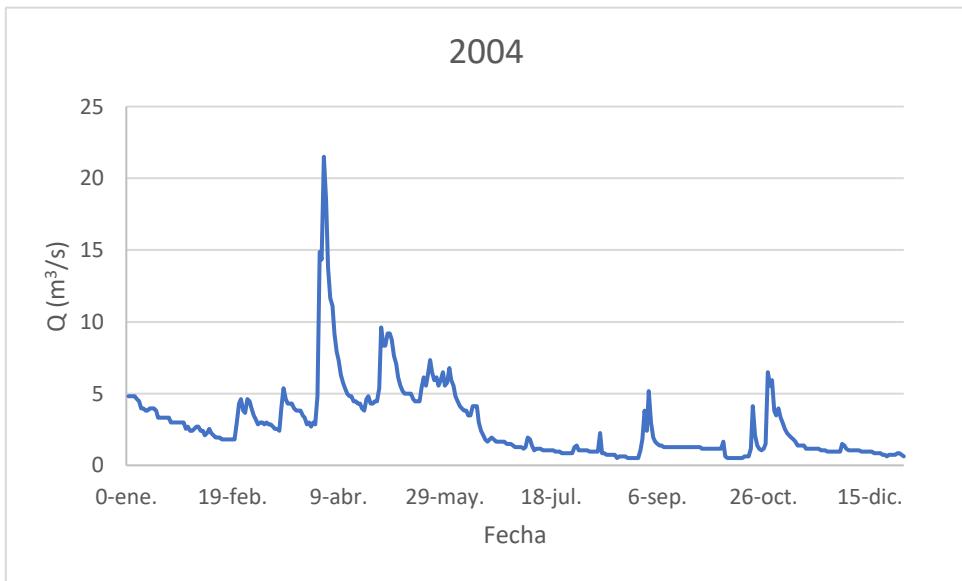


Figura 2. 97 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2004.

Las alturas reflejadas en la siguiente figura muestran que el máximo anual toma un valor de 0,9 m el día dos de abril. Como ya ocurrió con el río Ésera, los valores comienzan a descender hasta el día 28 de agosto, jornada en la que se recoge el mínimo anual de 0,21 m. Se aprecia un pequeño repunte fruto de las precipitaciones otoñales, no llegando a superar los 0,6 m.

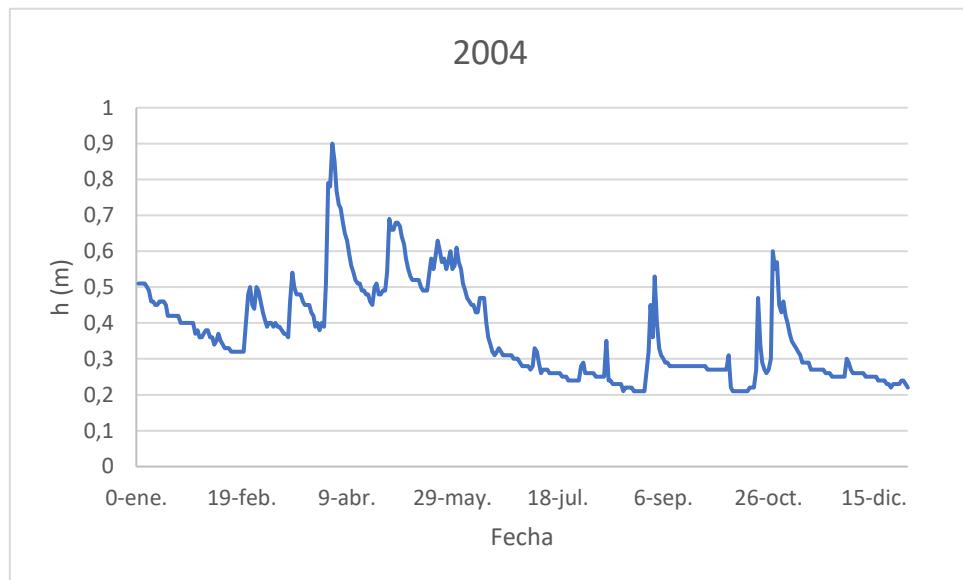


Figura 2. 98 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2004.

2.7.1.1.3 Confluencia

Para finalizar este análisis de la cuenca nos fijamos en la confluencia de ambos ríos. Como ocurrió en años anteriores en los que, a lo largo del año, había algún fenómeno reseñable a destacar, como la presencia de algún día de fuertes avenidas o una temporada de escasez; durante el año 2004 no existió ningún fenómeno a tener en cuenta con un trato especial.

Los valores representados en la figura 99 entran dentro de la normalidad, siendo $66,63 \text{ m}^3/\text{s}$ y $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ los máximos y mínimos caudales registrados.

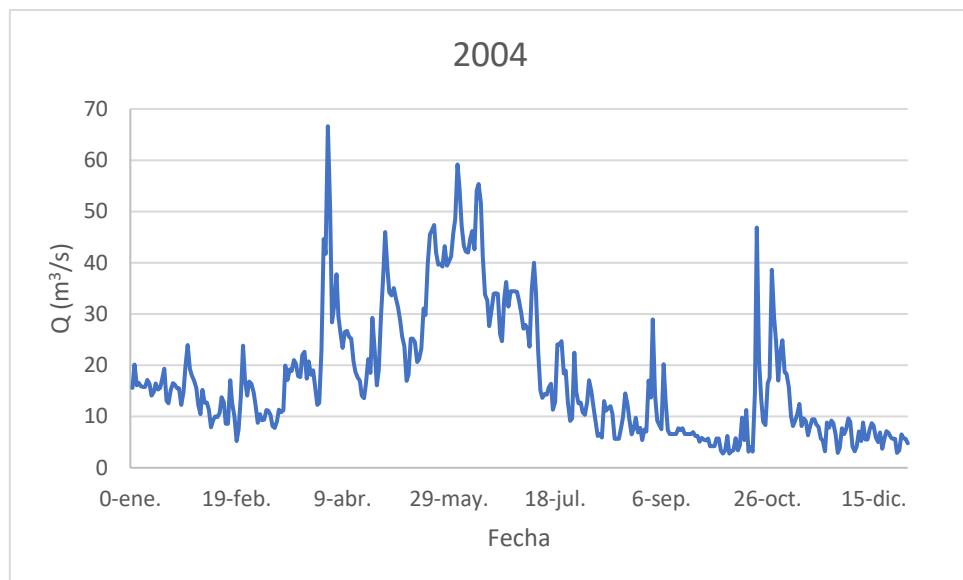


Figura 2. 99 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2004.

Al iniciar este análisis de la cuenca, y con los datos recogidos en la estación de Eriste, podría creerse que el segundo máximo a finales de octubre no iba a aparecer; pero, en esta representación de ambos flujos conjuntamente, sí que se hace visible este aporte de agua fruto de las precipitaciones.

2.7.2 Embalse

2.7.2.1 Temperatura y precipitación

Las temperaturas registradas durante el 2004 en el embalse fueron más suaves que las del año anterior. Los valores medios solamente descendieron por debajo de los 5°C en el mes de diciembre, y su valor máximo fue de 24,77°C en el mes de julio.

Del mismo modo, las temperaturas máximas estuvieron por encima de los 30°C durante los meses de verano, pero sin superar en ningún caso los 33°C. Las mínimas registradas corresponden al mes de diciembre con un valor medio de -1,03°C.

Las lluvias registradas fueron escasas durante todo el periodo, con valores máximos de 72,1 mm, llegando a no superar un valor de 5 mm en 3 meses, concretamente en enero, junio y septiembre. Este último no suele ser un mes tan seco, pero como hemos comentado

anteriormente, las abundantes precipitaciones que se apreciaban en los años anteriores, no estuvieron presentes durante ese año de estudio.

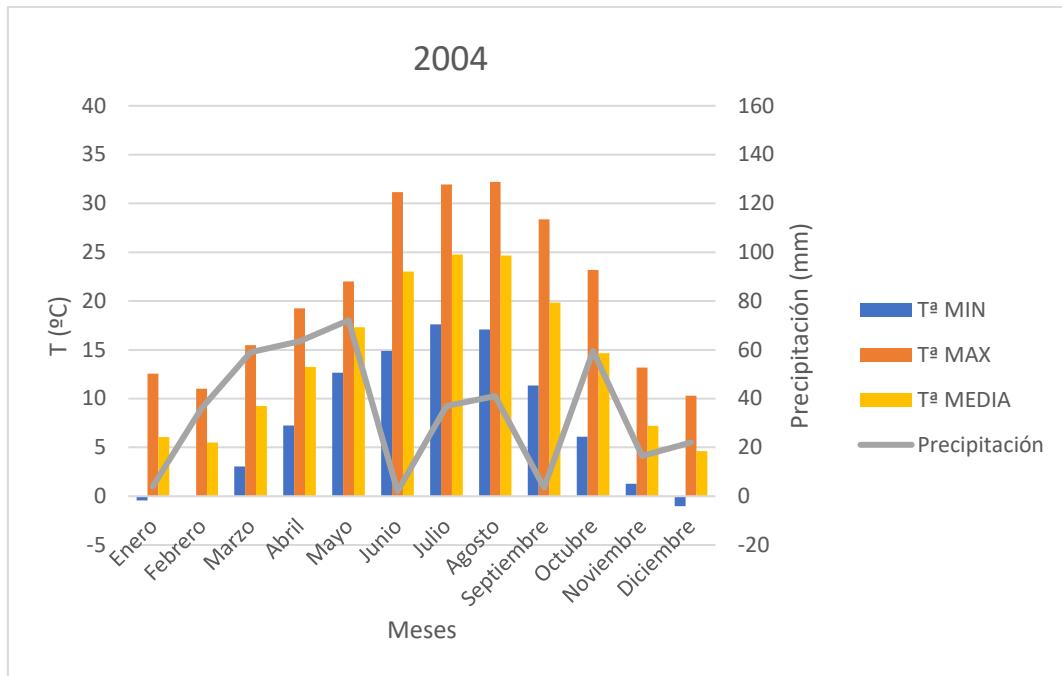


Figura 2. 100 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2004.

2.7.2.2 Entradas

Las entradas de caudal registradas van aumentando conforme avanza el año. Partiendo de unos 500 m³/s mensuales en enero hasta 1200 m³/s en el mes de junio. Una vez alcanzado este máximo desciden hasta los 600 m³/s, y nuevamente hasta los 284 m³/s, para mantenerse en torno a los 300 m³/s lo que resta de año.

En cuanto a las diferencias registradas entre las medidas del pantano y el caudal de ambos ríos no aparecen diferencias muy significativas; solamente durante el mes de enero el valor de pérdidas fue de -90 m³/s, conformando el máximo anual registrado.

Al no existir fenómenos reseñables no se aprecia ningún mes de excesivas entradas de caudal o, por el contrario, épocas donde éste sea muy escaso en comparación al resto.

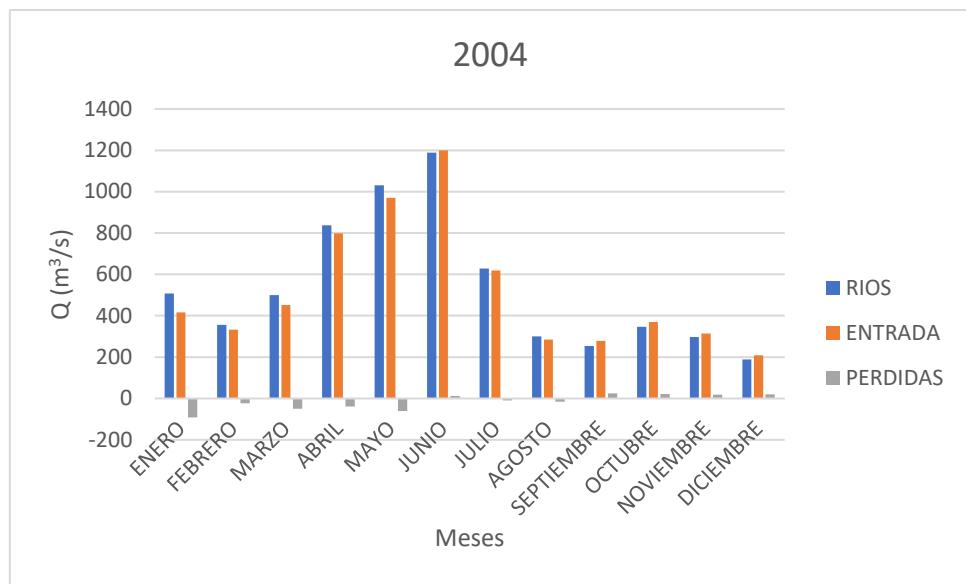


Figura 2. 101 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2004.

2.7.2.3 Demanda

La mayoría del agua embalsada, como se muestra en la figuras 102 y 103, es utilizada para la producción de energía, el 96% del total del agua desembalsada la que se usa para este fin.

Las salidas de aliviaderos o de fondo, las cuales constituyen un 1 % y un 3% del total respectivamente, sólo nos muestran en el mes de junio una obertura significativa dejando fluir por ambas un caudal no superior a 5 m³/s.

Como ya hemos nombrado, un año sin anomalías en la entrada de agua favorece una buena gestión del agua contenida en el pantano y evita que se pierdan grandes caudales por otras salidas que no sean la de la central, aprovechando al máximo el agua para la generación de energía.

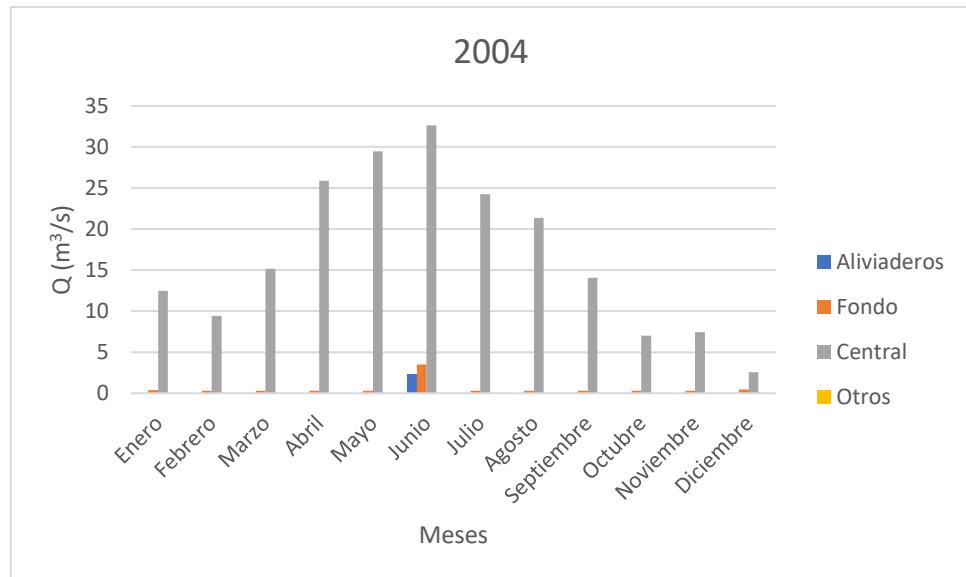


Figura 2. 102 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2004.

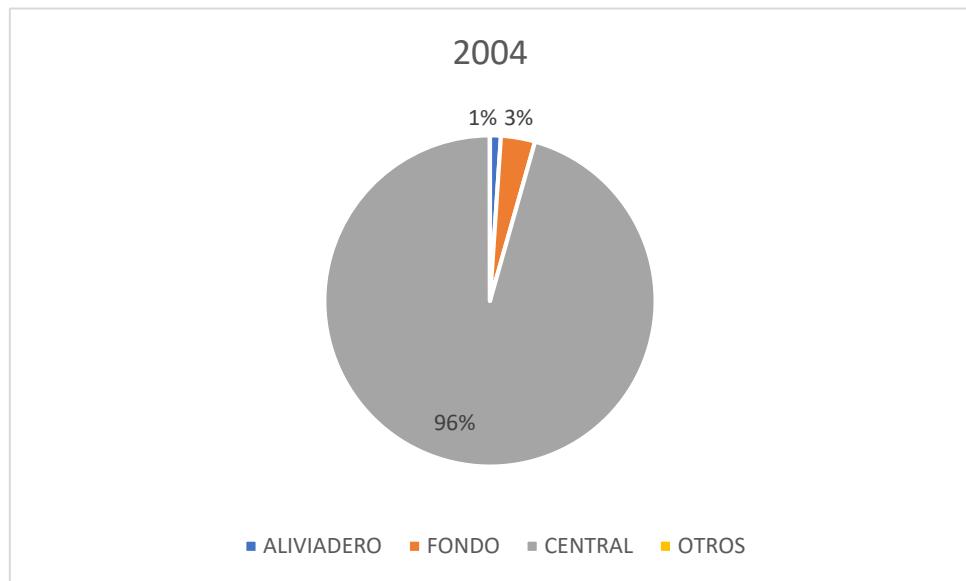


Figura 2. 103 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2004.

2.7.2.4 Canal/Río

El reparto de caudales entre canal y río se realizó según la figura 104. El año comienza con una gran cantidad de agua destinada a fluir por el río: 11,32 m^3/s frente a los 1,54 m^3/s destinado al canal. Este valor de caudal circulando por el canal va aumentando progresivamente hasta

que, en el mes de junio, coincidiendo con el mes de máximas aportaciones, supera los $30 \text{ m}^3/\text{s}$. A partir de entonces comienza a disminuir nuevamente hasta final de año, acabándolo con un valor similar al de comienzos de $1,64 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los valores que circularon por el río son totalmente opuestos, llegando a ser de casi $0 \text{ m}^3/\text{s}$ desde junio hasta octubre. El máximo caudal destinado al río tuvo lugar en el mes de abril, con un valor de $18,01 \text{ m}^3/\text{s}$.

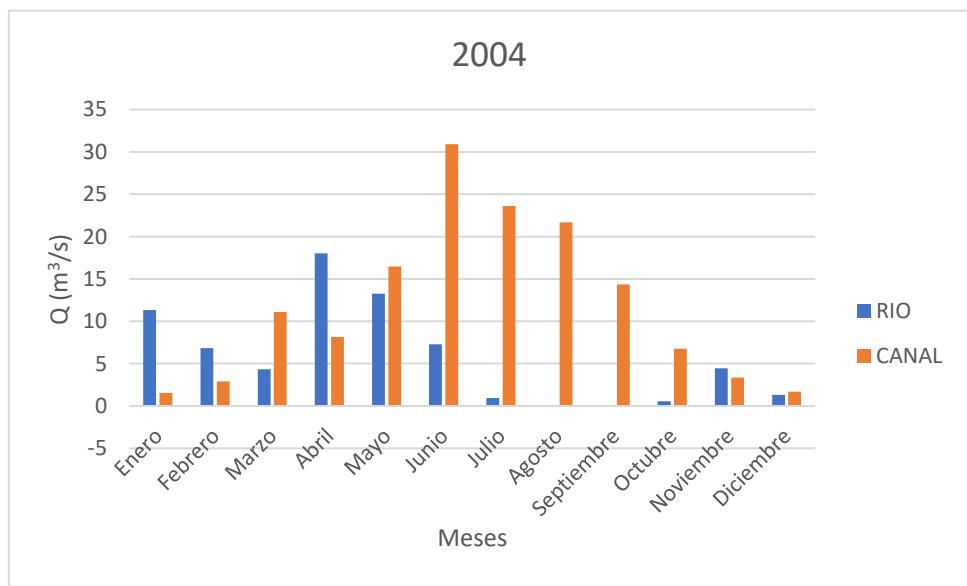


Figura 2. 104 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2004.

2.7.2.5 Producción hidroeléctrica

La producción de energía durante el año 2004 comienza generando unos 180000 Kwh en enero. El descenso de las entradas repercute en la producción, bajando alrededor de 60000 Kwh en el mes siguiente. A partir de febrero experimenta un repunte hasta alcanzar los 456720 Kwh, cifra que constituye la máxima potencia generada durante el año 2004 en el mes de junio; fecha en la que comienza a descender hasta alcanzar el mínimo anual en diciembre con tan solo 30296 Kwh.

Las salidas que hacen posible esta generación de energía hidroeléctrica llegan hasta los $32,63 \text{ m}^3/\text{s}$, cifra que se encuentra cerca del máximo permitido por las turbinas, que se sitúa en unos $36 \text{ m}^3/\text{s}$. El mes de menor caudal que se dedicó a la producción fue diciembre, con $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$, muy por debajo el máximo señalado.

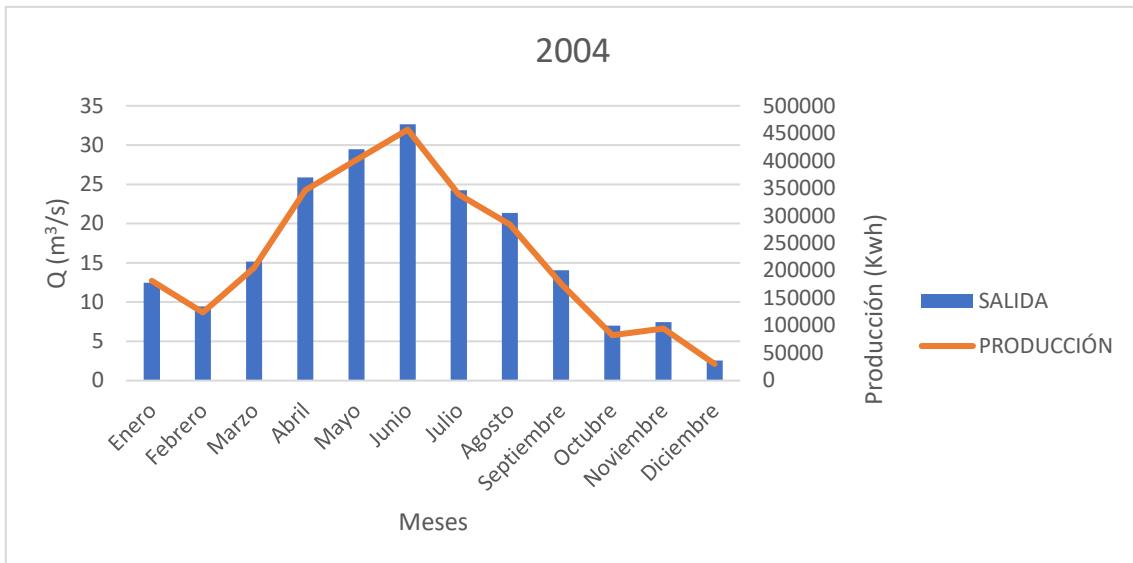


Figura 2. 105 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2004.

2.7.2.6 Capacidad de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento comienza este año con mucha estabilidad, rondando los 75 Hm^3 de volumen almacenado hasta finales de verano. El ya citado descenso de las entradas hace que el volumen almacenado descienda, puesto que las salidas de caudal toman valores superiores a las entradas, hasta el mes de octubre cuando se registra el mínimo volumen contenido con un valor de 16,31 Hm^3 . El descenso de las salidas hace que se recuperen 24 Hm^3 de volumen, hasta los 40 Hm^3 en noviembre, para así poder tener una cierta cantidad de agua almacenada al comienzo del siguiente año y poder hacer frente a cualquier factor inesperado.

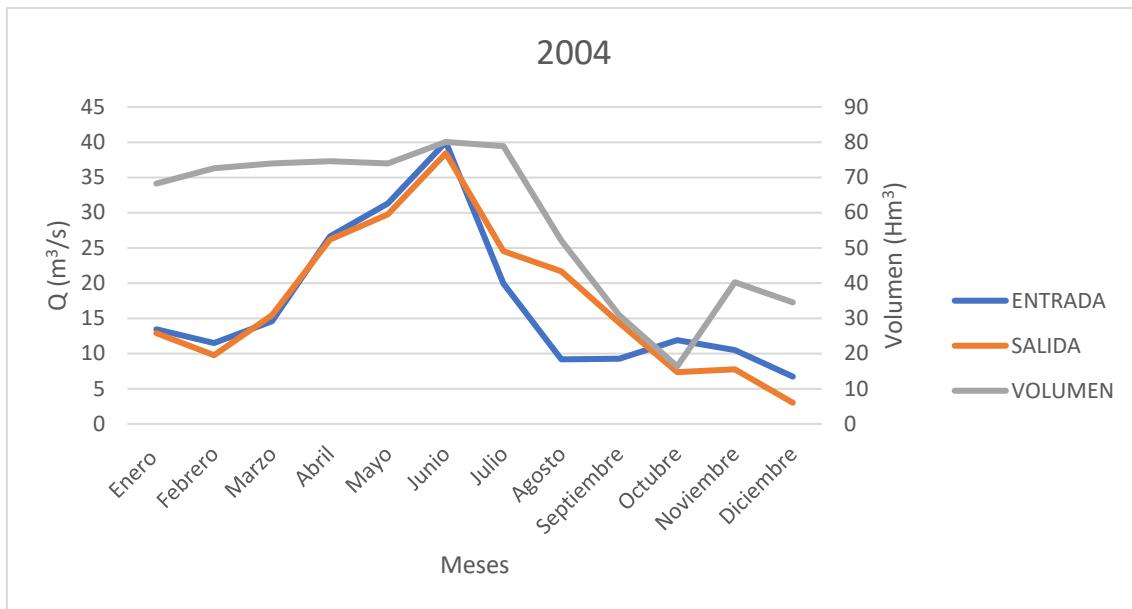


Figura 2. 106 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2004.

2.8 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2005

2.8.1 Cuenca

2.8.1.1 Aportaciones de la cuenca del embalse

2.8.1.1.1 Ésera

Como viene siendo habitual comenzamos por la evaluación de los datos obtenidos en la estación situada en Sahún.

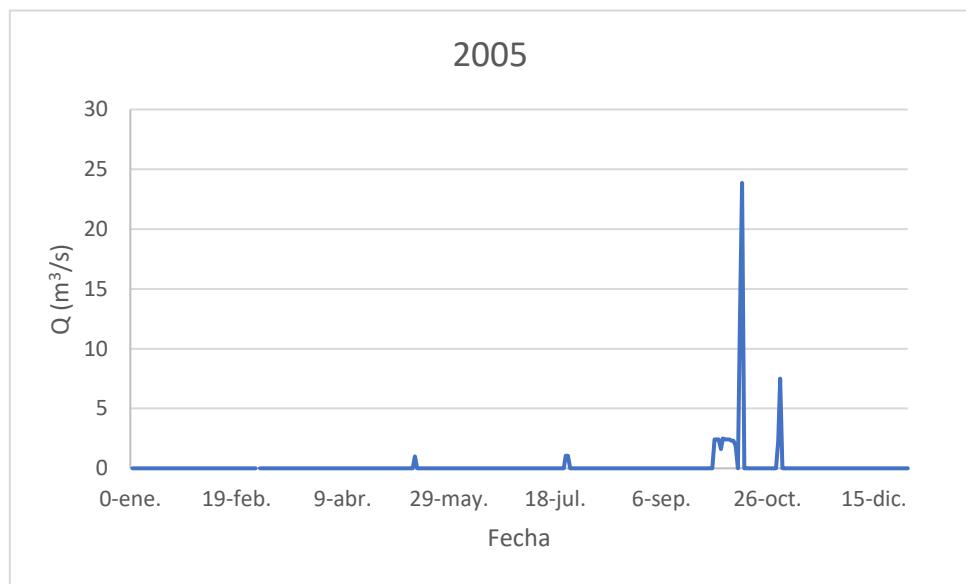


Figura 2. 107 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2005.

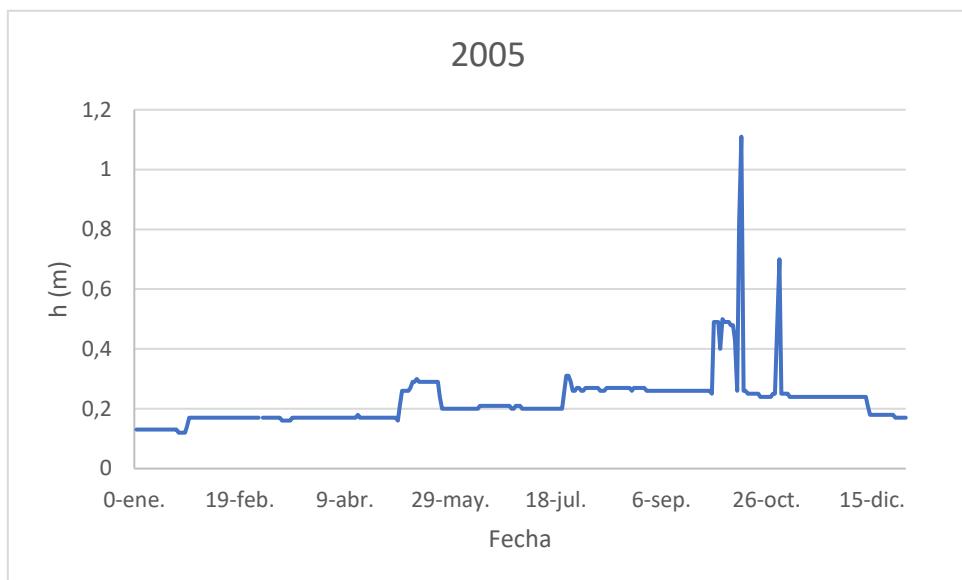


Figura 2. 108 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2005.

En las figuras 107 y 108, que muestran los valores de caudal y altura de agua registrados en esta estación de aforo, se aprecia que a diferencia de lo ocurrido en el año anterior, el máximo valor de caudal aparece durante el mes de octubre, cuando por la estación circularon 23,86 m³/s con una altura de 1,11 m.

La influencia del deshielo en esta primera estación se hace casi imperceptible, puesto que el caudal es de apenas 1 m³/s durante esta época y la altura de 0,29 m, correspondiendo a un aumento de tan solo 12 cm sobre el nivel habitual del río.

En la figura 109 este predominio del caudal aportado por las lluvias se hace mayor, aumentando el valor máximo hasta alcanzar los 59,115 m³/s. El segundo máximo también se recoge durante la misma época con un valor de 48,275 m³/s.

El caudal que circula durante los meses de mayo y junio ha aumentado llegando hasta los 41,5 m³/s de máximo durante dos jornadas, el 13 de mayo y el 29 de junio de este año.

La altura representada en la figura 110 muestra un aumento de apenas 2 cm el día del máximo anual, pasando de los 1,1 m recogidos en Eriste hasta el valor de 1,13 m en la estación de Campo.

Este aumento de la altura se hace más notable en los dos meses que hemos señalado. El aumento de altura durante mayo y junio es de aproximadamente 0,7m. El resto del año la altura en la estación de Campo es mucho más fluctuante que la recogida en Eriste, con una diferencia aproximada de 0,2 m entre ambas, durante los meses de menor caudal.

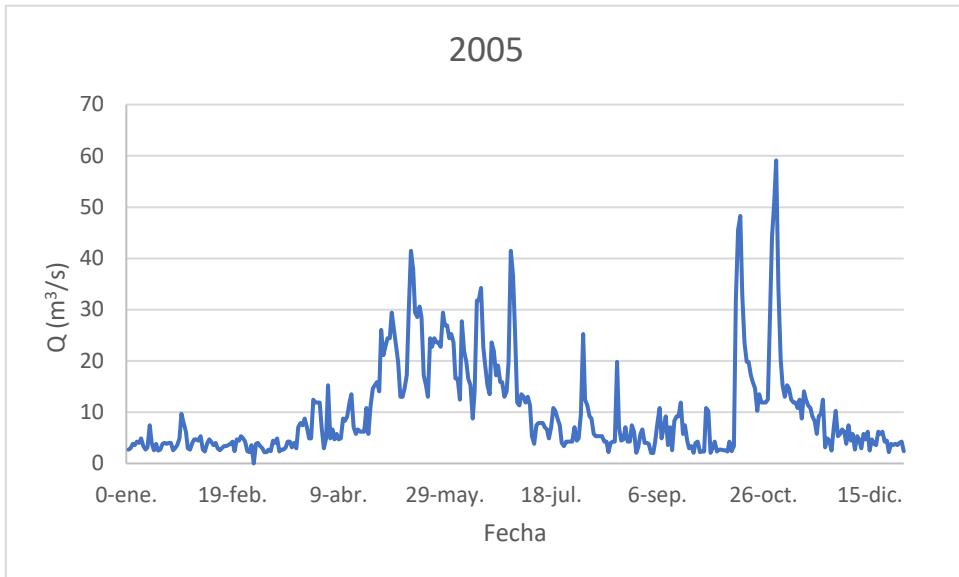


Figura 2. 109 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2005.

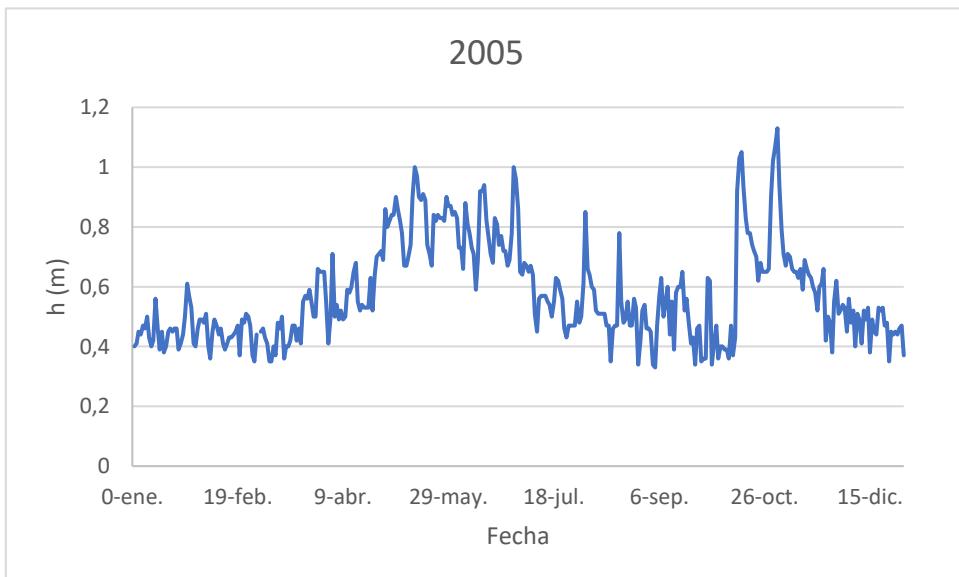


Figura 2. 110 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2005.

Para finalizar, en la estación de Graus, y como ya pasó el año anterior, se observa una disminución de los valores de caudal, en relación a los valores que acabamos de mostrar.

Este cambio se muestra en las figuras 111 y 112.

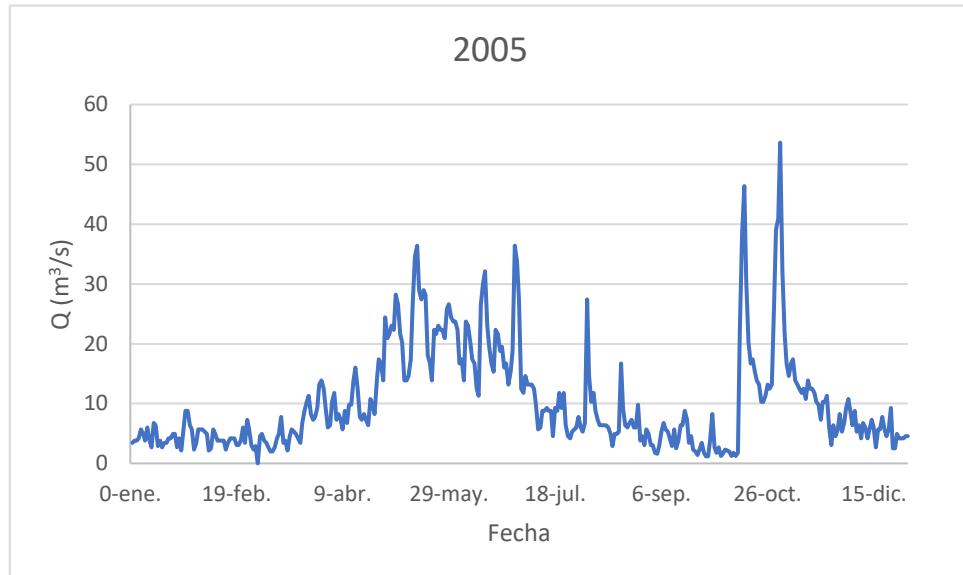


Figura 2. 111 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2005.

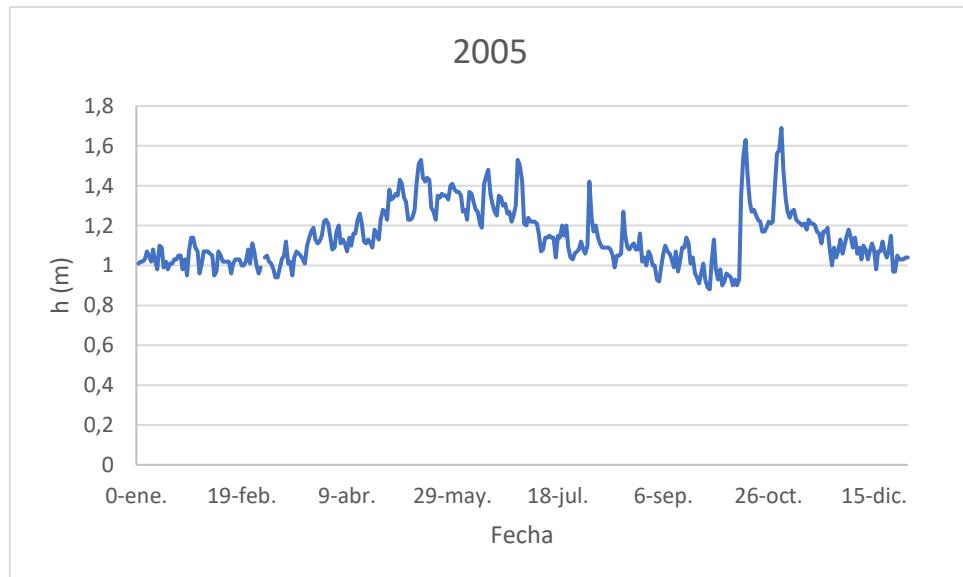


Figura 2. 112 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2005.

Esta disminución de los valores de caudal se hace más notable en los máximos anuales. Los dos valores señalados en la estación de Campo eran de $59,115 \text{ m}^3/\text{s}$ y $48,275 \text{ m}^3/\text{s}$. Por fenómenos que se desconocen, los valores recogidos en Graus referentes a los dos mismos días que los anteriores fueron de $53,635 \text{ m}^3/\text{s}$ y $46,345 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que supone una disminución de, aproximadamente, 5 y 2 m^3/s respectivamente.

Esta diminución también tuvo lugar durante el 13 de mayo y el 29 de junio. En dichos días el valor recogido fue de $34,6 \text{ m}^3/\text{s}$ y $7,9 \text{ m}^3/\text{s}$ menos que en la estación de Campo. Esta disminución de caudales no afecta a la altura puesto que experimenta un aumento de 0,57 m en los días señalados, llegando hasta los casi 1,70 m, pero no sabríamos decir a qué es debida.

Isábena

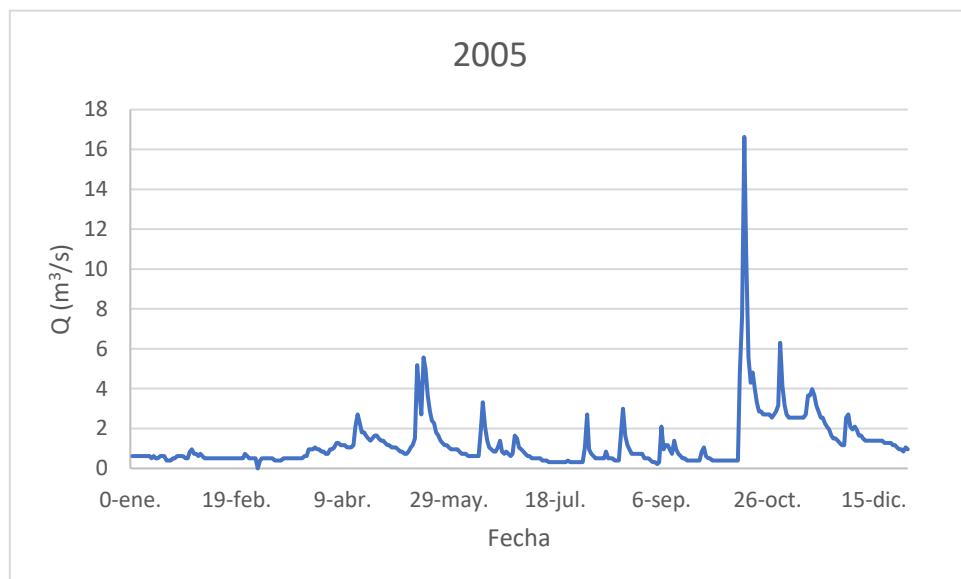


Figura 2. 113 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2005.

La representación anterior (Figura 113) nos muestra que el río Isábena, a su paso por Capella, sigue la misma tendencia observada durante el análisis anterior.

La época de mayor aportación es fruto de las lluvias durante el mes de octubre, obteniendo un valor de caudal de $16,628 \text{ m}^3/\text{s}$, muy superior al resto del año que ronda los $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Este pico de caudal tiene una repercusión en la altura de 0,82 m, muy por encima del nivel habitual que se sitúa en torno a los 0,2m. Todo esto queda reflejado en la siguiente representación (Figura 114).

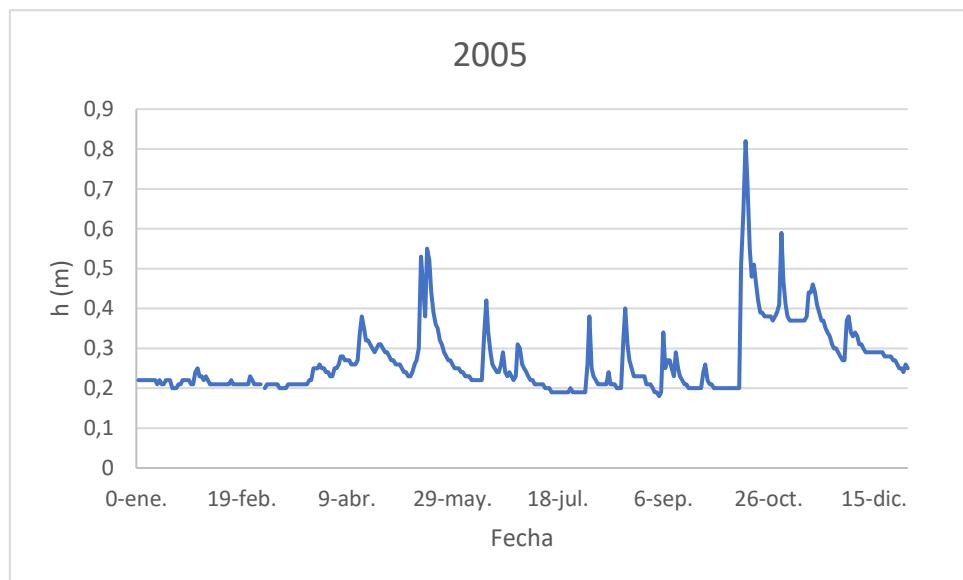


Figura 2. 114 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2005.

2.8.1.1.3 Confluencia

El máximo anual registrado es de $62,97 \text{ m}^3/\text{s}$, valor inferior a lo que viene siendo habitual en este apartado; a su vez durante la época de deshielo se alcanzó el valor de $41,58 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con esto podemos decir que fue un año pobre en cuanto a los caudales que circularon por ambos ríos y que conforman las entradas al pantano. Esto repercutirá en una disminución del aprovechamiento del agua, teniendo que cuidar de manera especial el caudal desembalsado para mantener un nivel aceptable de agua embalsada durante todo el año.

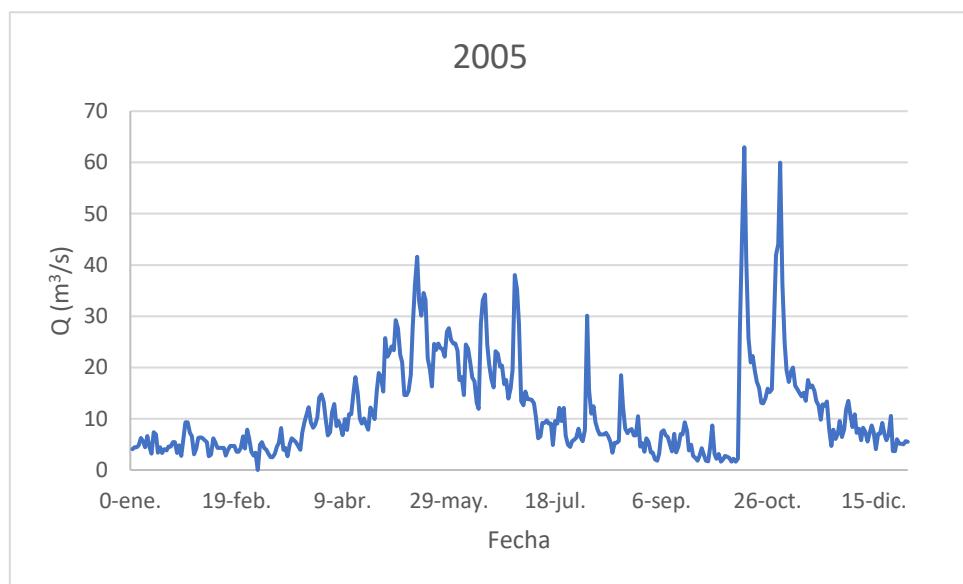


Figura 2. 115 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2005.

2.8.2 Embalse

Con los datos obtenidos de caudales y atura de ambos ríos durante el año 2005 comenzamos con el análisis de los datos el pantano para ver de qué manera se realizó la gestión del mismo durante un año de escaso caudal de entrada.

2.8.2.1 Temperatura y precipitación

En la figura 116, se representan las temperaturas y precipitaciones ocurridas en el pantano.

Como venimos señalando desde comienzos de este análisis el mes de octubre fue muy abundante en cuanto a precipitaciones se refiere, alcanzando un valor de 131,4 mm acumulados, con mucho, la mayor cantidad registrada durante el año. El segundo valor máximo se recogió durante el mes de mayo, con 64 mm, estas lluvias, caídas más al norte, contribuyeron al aumento de los valores de caudal que circularon por los ríos durante este mes.

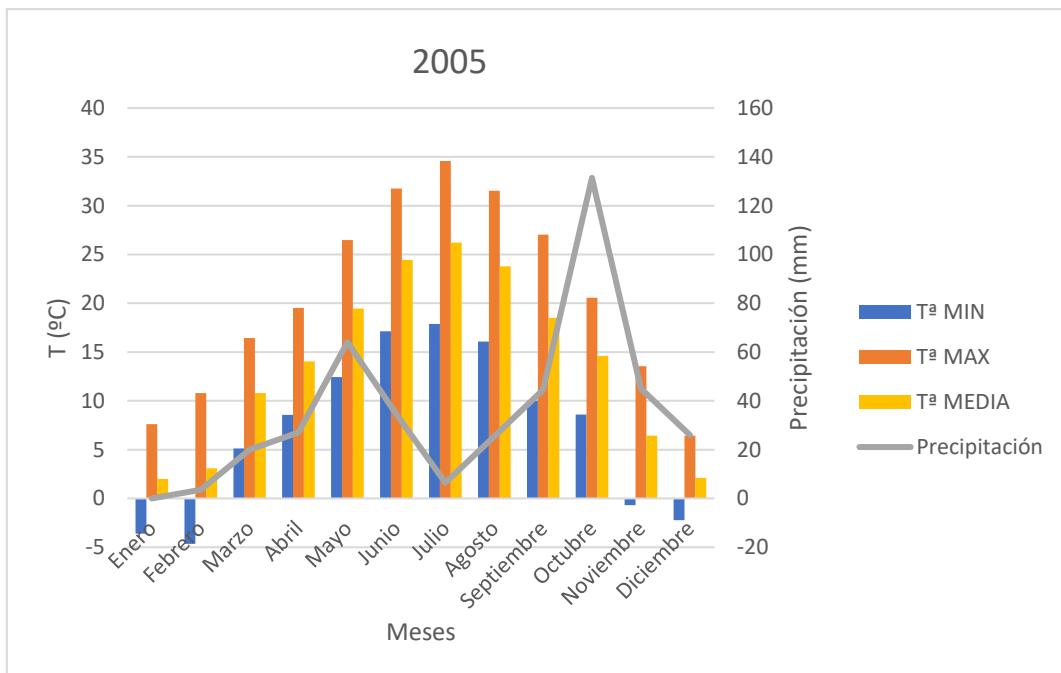


Figura 2. 116 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2005.

Las temperaturas mostradas nos reflejan un invierno frio, con temperaturas mínimas que no alcanzaron los valores positivos, y máximas que no superaron los 10ºC, por lo que estamos ante el invierno más duro estudiado hasta la fecha.

Durante el resto del año, estas mínimas no alcanzaron los 20ºC durante ningún mes, obteniendo el valor más alto en julio con 17,87ºC. Este mismo mes se alcanzaron a su vez las máximas registradas de 34,58ºC y las temperaturas medias se mantuvieron en torno a los 25ºC.

Con todo esto estamos ante un año en el que lo más destacable fue el invierno frío que, a pesar de las bajas temperaturas registradas, los valores medios no descendieron de los 0º en todo el periodo.

2.8.2.2 Entradas

Las entradas recogidas en el pantano se muestran en la figura 117. En ella, a pesar de lo que en un principio podía parecer, la máxima cantidad de agua aportada corresponde a los meses de mayo y junio, en los que se superaron los 600 m³/s. Los máximos no aparecían durante estos meses, pero el aumento progresivo de los caudales ha hecho que la suma de todos ellos conforme el periodo de máxima aportación.

En segundo lugar, aparecen los meses de octubre y noviembre que, además, presentan el valor máximo de pérdidas, circulando por el río 85 m³/s menos que las recogidas en la entrada del pantano durante el mes de octubre.

Aún con todo, las entradas son más pobres de lo habitual, como ya hemos señalado, y a continuación veremos la influencia que tiene sobre las salidas.

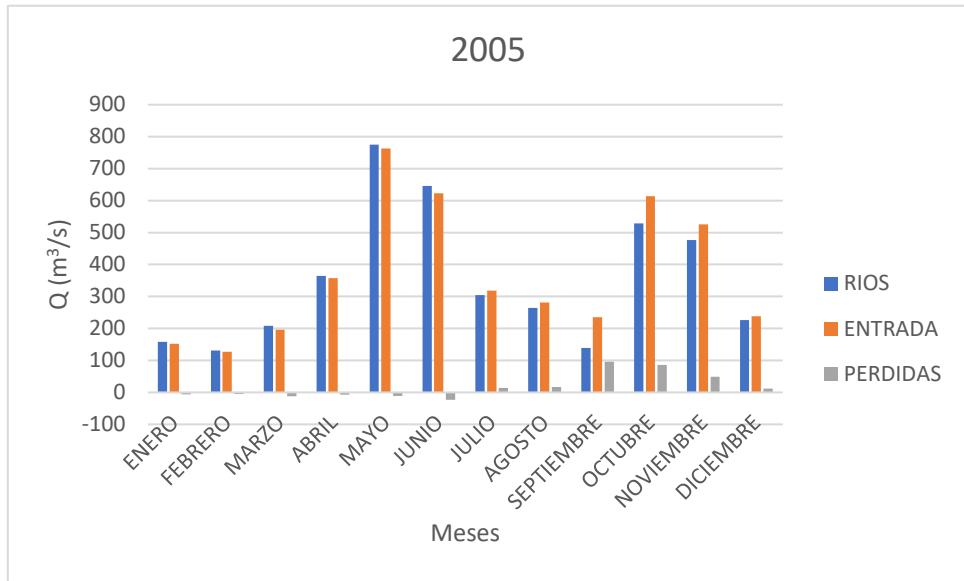


Figura 2. 117 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2005.

2.8.2.3 Demanda

Las salidas del pantano, como de costumbre, tienen como principal protagonista el caudal destinado a la central. Durante este año ha sido la única barra, de las mostradas en la figura 118, que ha superado los $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Al no haber tenido que hacer frente a grandes avenidas ni fenómenos similares, los aliviaderos se mantuvieron cerrados durante todo el año. Solamente la salida de fondo aparece en la representación durante la primera mitad del año.

A pesar de la importancia de la central, los valores de caudal que por ella circularon distan mucho del máximo aprovechamiento que se le puede dar, como se verá más adelante.

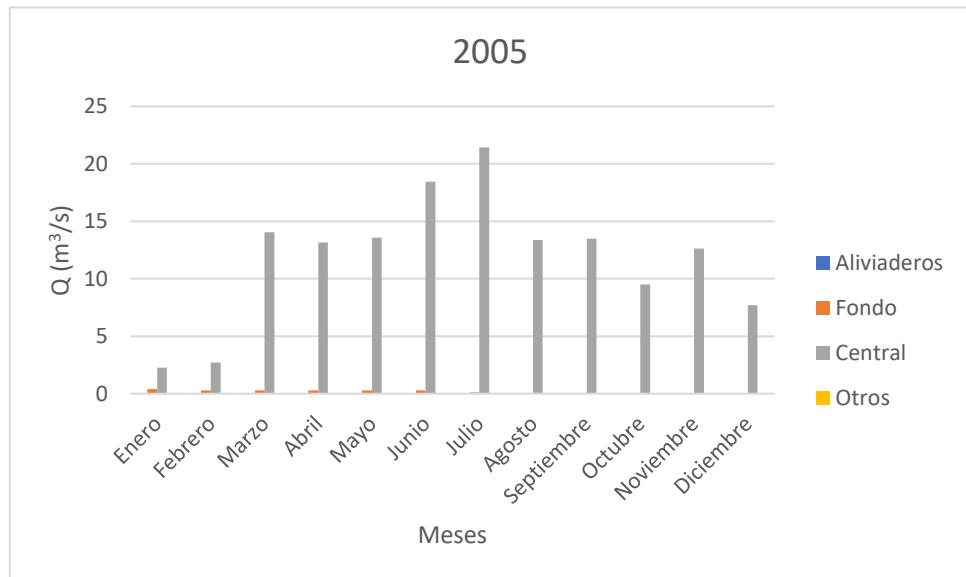


Figura 2. 118 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2005.

En la figura 119 se ve con más claridad este predominio del agua destinada a la central. Durante el año 2005 un 99% del agua que salió del pantano de Barasona fue aprovechada para la generación de energía hidroeléctrica, y solamente el 1% restante fluyó por los desagües de fondo.

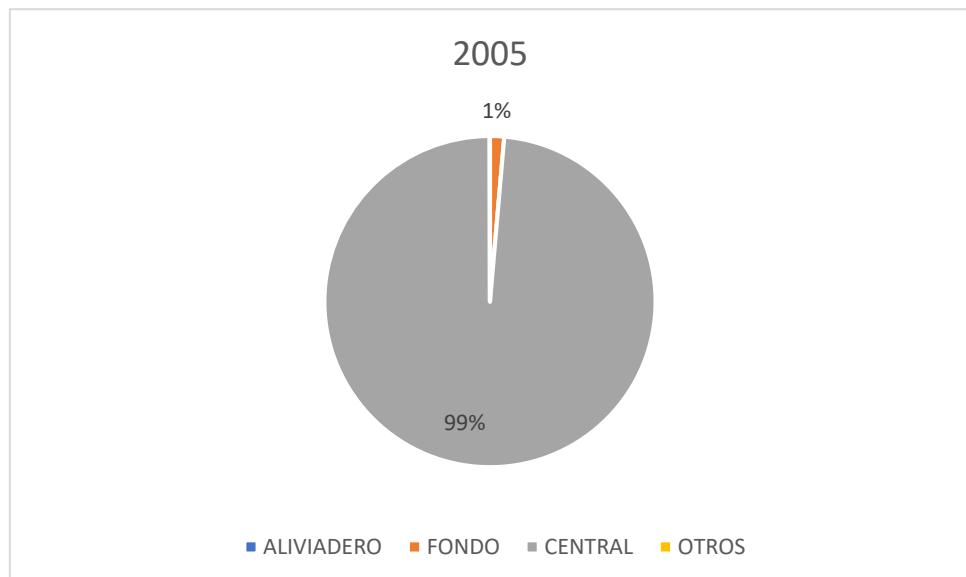


Figura 2. 119 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2005.

2.8.2.4 Canal/Río

Si nos centramos en la distinción que se realiza una vez generada la energía hidroeléctrica vemos un claro predominio del canal frente al río Ésera.

En la figura 120, se muestran los datos medios de caudal recogidos durante los distintos meses que circulan por el canal y por el río y que no han ido a parar a la producción de energía.

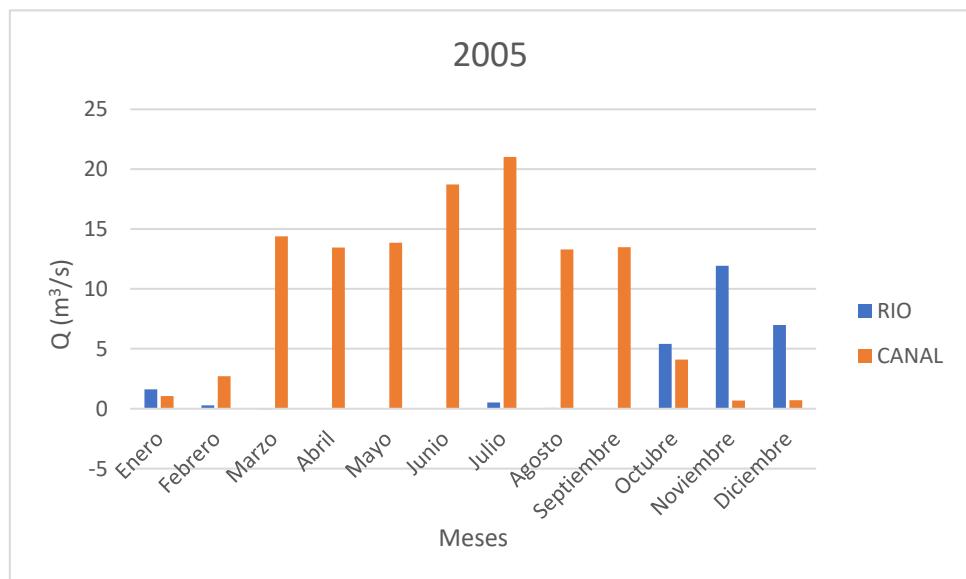


Figura 2. 120 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2005.

La mayor parte del agua desembalsada fue destinada al canal de Aragón y Cataluña durante los meses de febrero a septiembre para regadío. El caudal del río se mantuvo en el mínimo permitido para afrontar las demandas del canal. Una vez que los aportes de caudal aumentaron durante el mes de octubre se igualaron los valores destinados al canal y al río, e incluso, durante los meses finales del año, fue el río el que se llevó la mayor cantidad de agua.

Este predominio del canal es debido a la necesidad del agua para el cultivo y demás usos en un año tan seco como fue este 2005. Una vez llegaron los meses de invierno esta necesidad disminuyó pudiendo aportar más agua al cauce natural del río.

2.8.2.5 Producción hidroeléctrica

La producción de energía, como hemos comentado, representó el mayor consumo del caudal de agua desembalsado, pero aun así no se alcanzó ningún mes los $36 \text{ m}^3/\text{s}$, cifra que representa el máximo caudal que es capaz de turbinar la central.

El mes que más se acercó a este valor fue julio con $21,43 \text{ m}^3/\text{s}$, seguido de junio con $18,43 \text{ m}^3/\text{s}$. Durante el resto de meses, el caudal destinado no llegó a alcanzar ni la mitad del valor máximo. De hecho, ningún mes superó los $15 \text{ m}^3/\text{s}$ de media diarios.

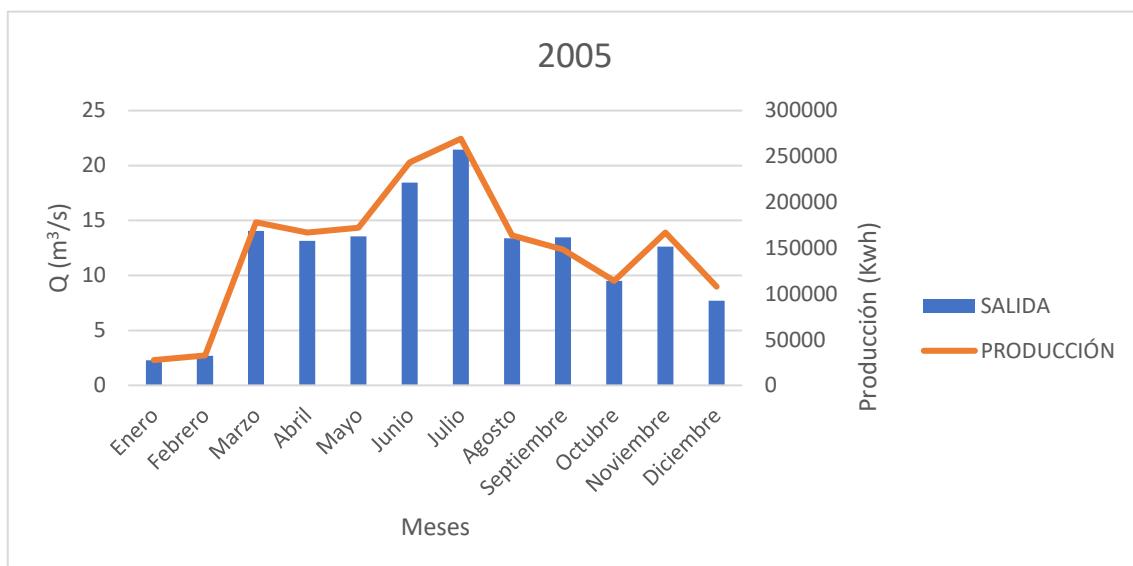


Figura 2. 121 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2005.

Con estos caudales destinados, la máxima energía generada fue de 269264,51 Kwh durante el mes de julio y la mínima de 27602,58 Kwh durante el mes de enero, ya que el caudal destinado a la producción fue de $2,27 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.8.2.6 Capacidad de almacenamiento

Por último, y fijándonos en la capacidad de almacenamiento, tenemos que el volumen contenido en el pantano varió mucho a lo largo del año ya que no logró mantener su valor

estable durante dos meses consecutivos, como sí ocurrió durante la primera mitad del año pasado.

El pantano solamente se acercó a su máxima capacidad durante el mes de junio al contener 68 Hm³ de agua. Sufrió dos descensos de volumen a lo largo del año, el primero en el mes de abril cuando el volumen contenido fue de 36 Hm³, y un segundo descenso, desde el máximo anual en el mes de junio hasta el mínimo en septiembre, con una diferencia de 48 Hm³ entre ambos.

Las entradas, como ya se ha visto, tuvieron sus máximos en las dos épocas que cabía esperar. Lo inusual es la irregularidad de las salidas, reflejadas en la figura 122, ya que en ningún periodo se adecúan a las entradas para intentar mantener un nivel estable.

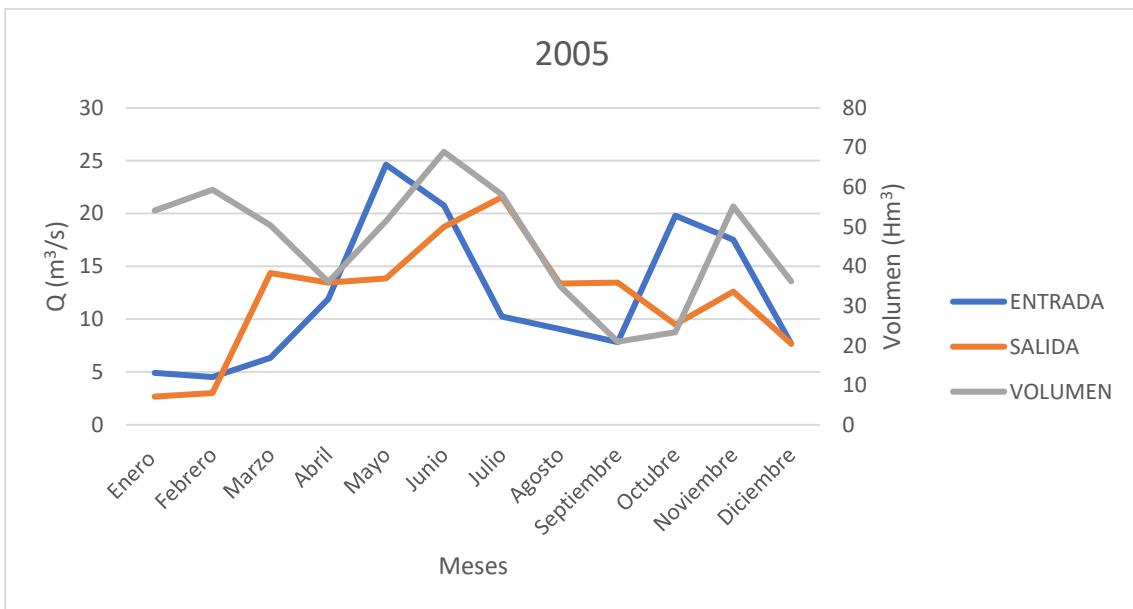


Figura 2. 122. Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2005.

2.9 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2006

2.9.1 Cuenca

2.9.1.1 Aportaciones de la cuenca del embalse

2.9.1.1.1 Ésera

Las figuras 123 Y 124 nos muestran el caudal y altura de agua registrada en el río Ésera en la estación de Eriste. Los valores máximos de caudal y altura respectivamente se obtienen durante los meses de septiembre y octubre con valores de $34,82 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1,33 \text{ m}$ o $31,67 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1,27 \text{ m}$. El resto el año, el nivel del río se mantuvo rondando los $0,15 \text{ m}$ lo que corresponde a un caudal próximo a cero, sin apreciar ni una mínima subida hasta el mes de septiembre.

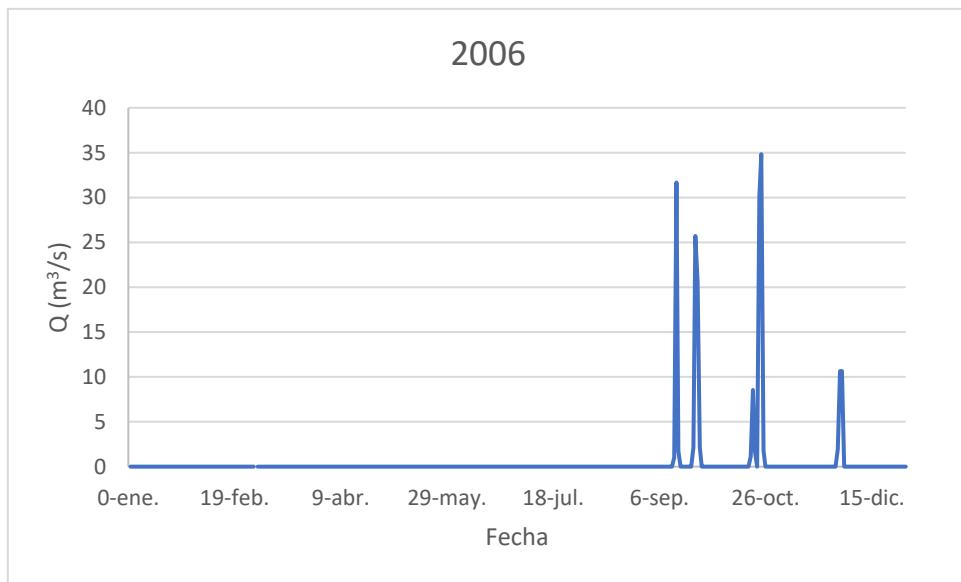


Figura 2. 123 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2006.

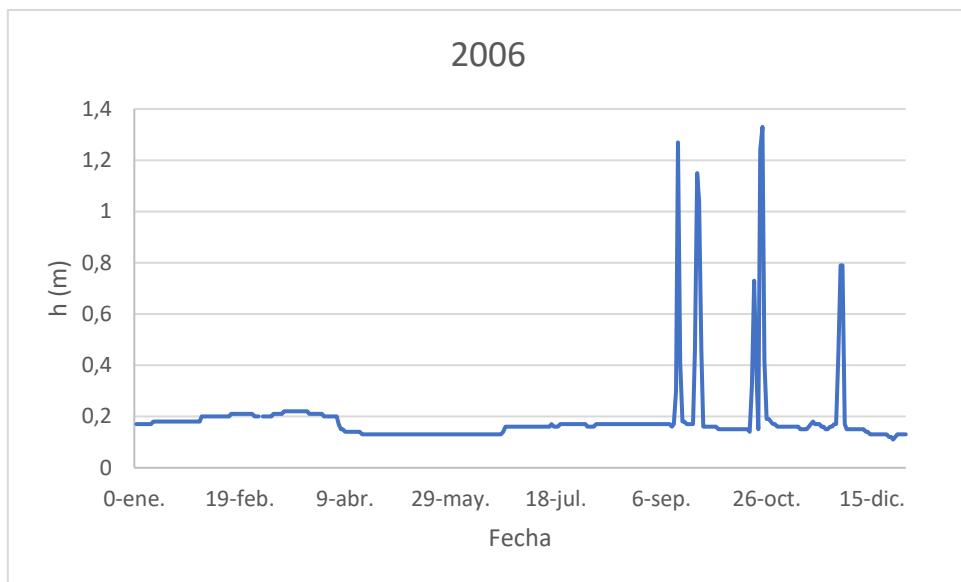


Figura 2. 124 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2006.

En la estación de Campo los valores de caudal aumentaron en comparación con las medidas anteriores. Los máximos siguen situándose en las mismas fechas, llegando hasta los 149,39 m³/s el 23 de octubre. La crecida del caudal que solía aparecer durante el mes de mayo se hace menos notoria este año 2006, alcanzando los 40,29 m³/s de máxima durante este periodo, dato que dista mucho del máximo señalado. Esto nos indica que la época en la que las aportaciones al pantano serán mayores estará situada a finales del año 2006.

La altura correspondiente a este máximo de 149,29m³/s es de 1,61m. A los 40,29 m³/s le corresponde a su vez un nivel de agua de 0,99m, teniendo así una diferencia de 62 cm entre los máximos de las épocas más representativas de este año 2006.

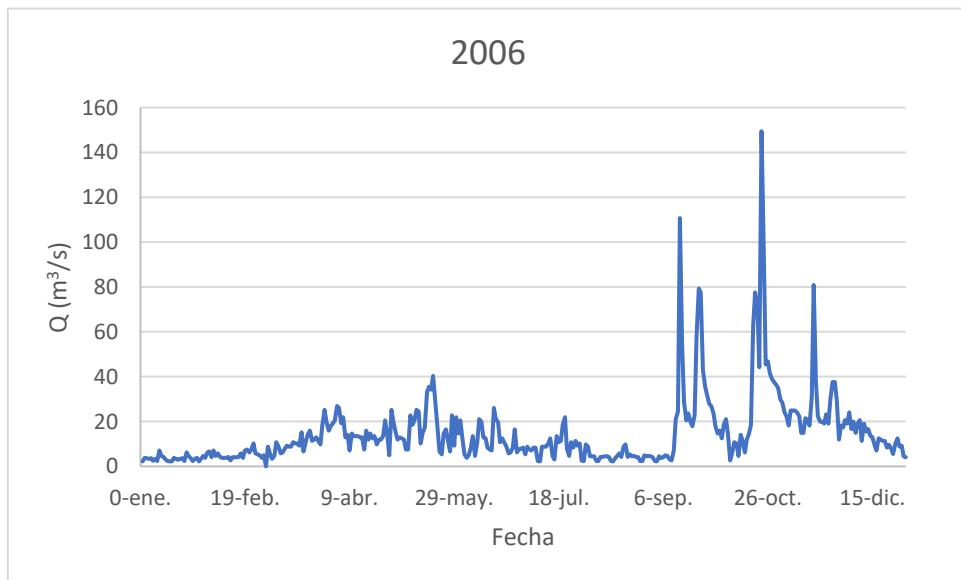


Figura 2. 125 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2006.

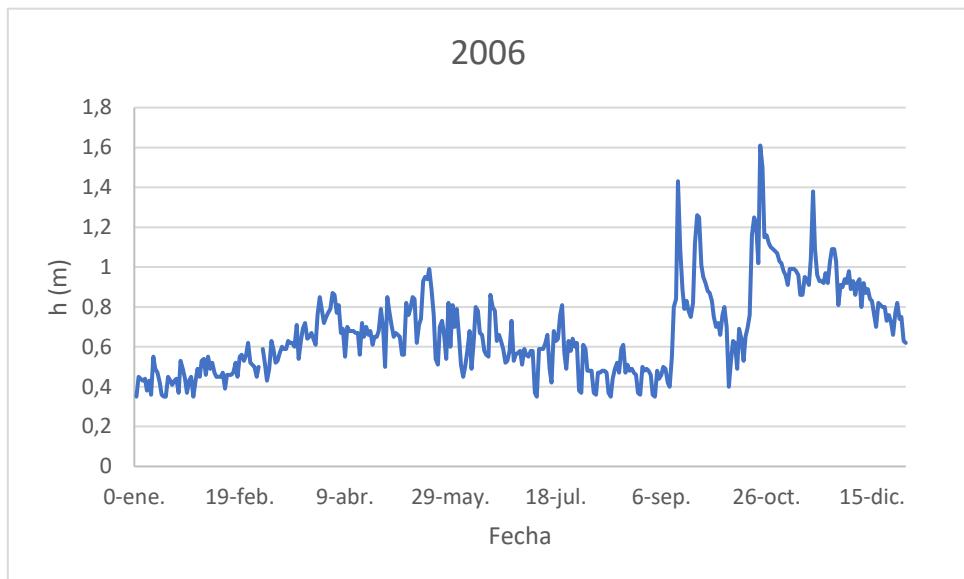


Figura 2. 126 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2006.

La última estación en la que se registran los valores de caudal y altura, antes de que el río ceda sus aguas al pantano, se encuentra en Graus. En ella, los valores nuevamente son ligeramente inferiores, teniendo $123,27 \text{ m}^3/\text{s}$ como máximo anual, y $114,10 \text{ m}^3/\text{s}$ en la misma época del año, es decir, durante el otoño. Estos valores de caudales máximos tienen unas alturas asociadas de 2,14 y 2,09 m respectivamente, por lo que una diferencia de $9 \text{ m}^3/\text{s}$, se corresponde con una crecida de 5 cm.

El resto del año los valores no superan los $40 \text{ m}^3/\text{s}$, obteniendo una escasa aportación, que nuevamente repercutirá en las salidas y el aprovechamiento del agua.

De la misma manera, los valores de altura apenas superan el metro y medio de altura hasta llegar al valor del segundo máximo anual con valores que rondan el nivel de 1,25m.

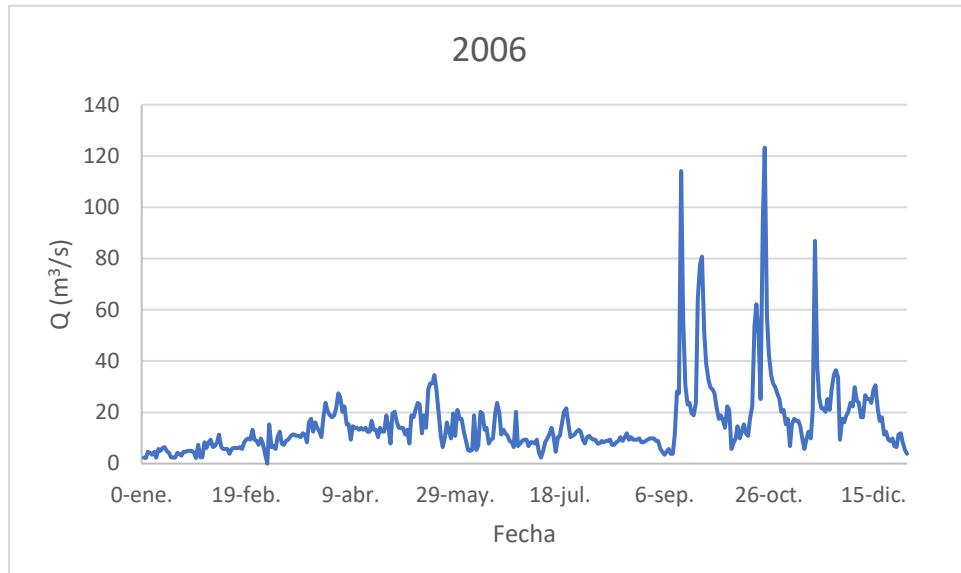


Figura 2. 127 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2006.

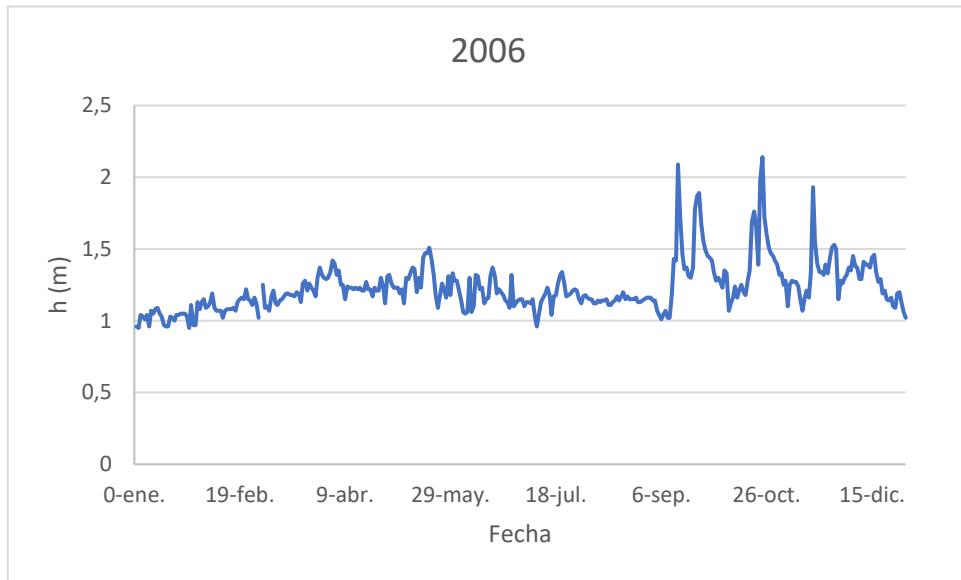


Figura 2. 128 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2006.

2.9.1.1.2 Isábena

El río Isábena sigue la misma tendencia que el Ésera y concentra sus máximos en las mismas fechas, siendo estos de: $36,31 \text{ m}^3/\text{s}$ y $33,81 \text{ m}^3/\text{s}$.

La aportación del deshielo es poco significativa, teniendo un máximo en la primera mitad del año de valor $9,61 \text{ m}^3/\text{s}$ alcanzado el 21 de marzo.

Estos máximos observados en los meses de septiembre, octubre y noviembre van decreciendo conforme avanza el año, y disminuyendo tanto sus medidas de caudal como de altura.

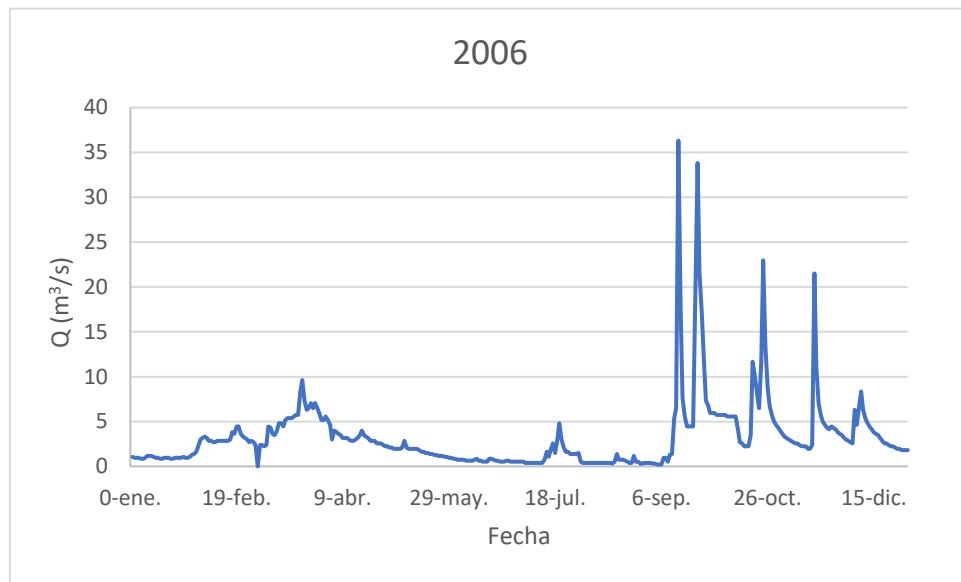


Figura 2. 129 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2006.

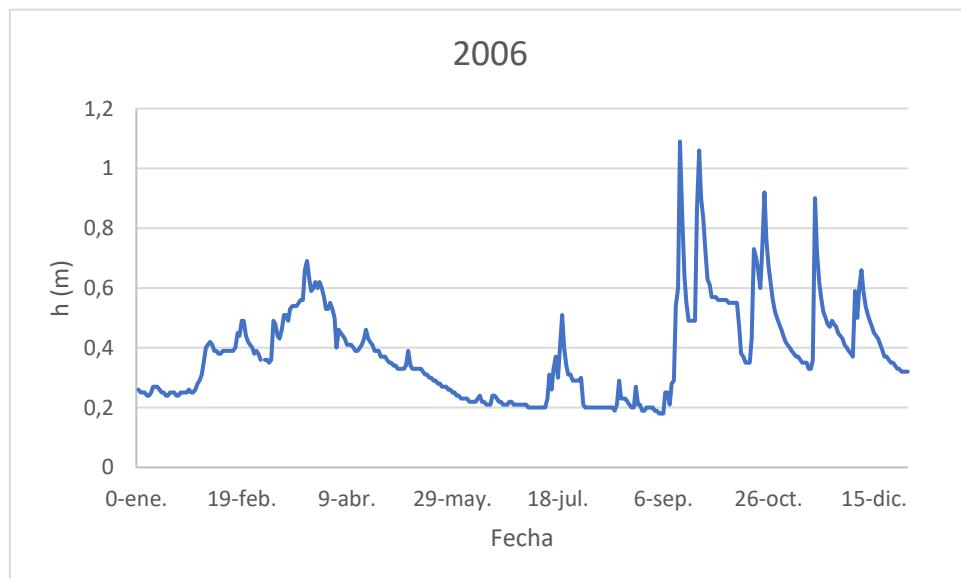


Figura 2. 130 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2006.

La figura anterior (nº 130) nos mostraba los valores de altura referentes al río Ésera durante el año 2006. El 21 de marzo se alcanzó el primer máximo anual con un valor de 0,66 m. Al llegar a finales de año este valor quedó desbancado por el 1,09 m registrado el 14 de septiembre.

2.9.1.1.3 Confluencia

En la figura 131, se representa el caudal debido a la suma de los caudales del Ésera e Isábena. En ella lo más significativo son los máximos observados en la parte final del año, ya que los valores alcanzados son muy elevados con respecto al resto del año, en el que el caudal no superó los $40\text{m}^3/\text{s}$.

De los cuatro máximos que se aprecian, nos centraremos solamente en uno de ellos, el que tuvo lugar el día 14 de septiembre, ya que corresponde el valor más alto de caudal registrado durante todo el año, y coincide con unas fechas en las que el nivel del pantano no está próximo a su valor máximo, como se verá más adelante.

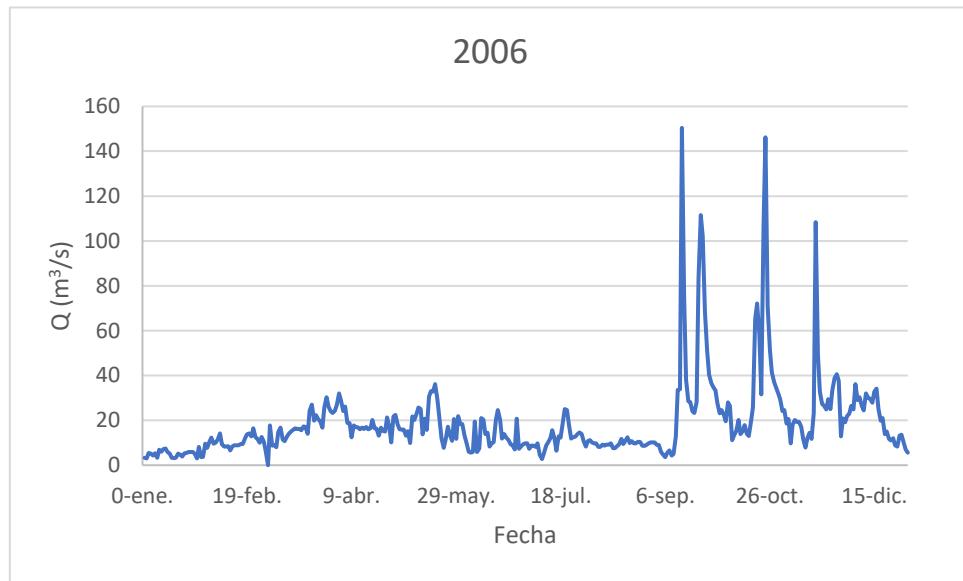


Figura 2. 131 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2006.

2.9.2 Embalse

2.9.2.1 Precipitación

Las precipitaciones recogidas en el año 2006 (Figura 132) nos muestran un año en el que la cantidad de lluvia acumulada tomó su máximo valor en el mes de septiembre, con 122 mm. El resto del año los valores se mantuvieron por debajo de los 80 mm.

Las temperaturas máximas alcanzaron los 35,5°C en verano, durante el mes de julio con mínimas de 17,16°C. El mes de diciembre fue el más frío, con una temperatura media de 3,56°C, fruto de las mínimas registradas cuyo valor fue de -1,03°C.

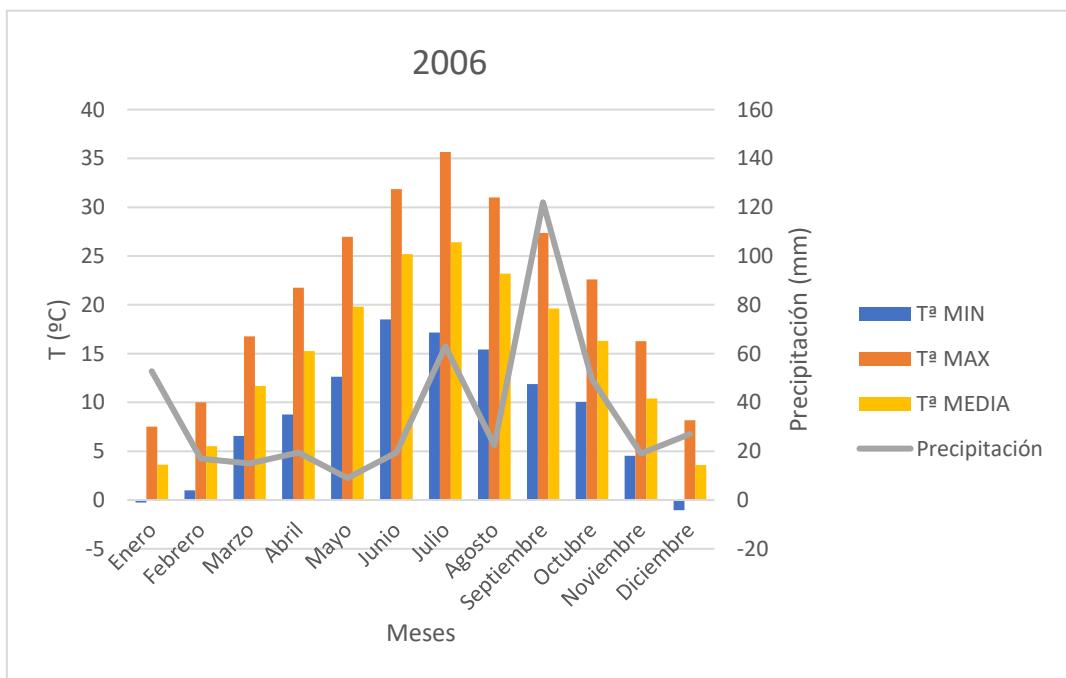


Figura 2. 132 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2006.

2.9.2.2 Entradas

Las entradas mayoritarias durante este año se concentran en los meses de octubre y noviembre; puesto que, como hemos visto, es en dichos meses en los que se concentran los máximos caudales que circulan por ambos ríos.

La máxima diferencia entre valores de caudales de entrada y salida registrados se da en el mes de diciembre. En dicho mes el caudal de ambos ríos fue 193 m³/s mayor que las entradas registradas, por lo que dicho valor es el que constituye el término de pérdidas, con signo negativo. El resto del año, ambas medidas fueron muy parecidas, exceptuando los meses de octubre, noviembre y el mencionado diciembre, que superaron el valor de 100 m³/s de pérdidas.

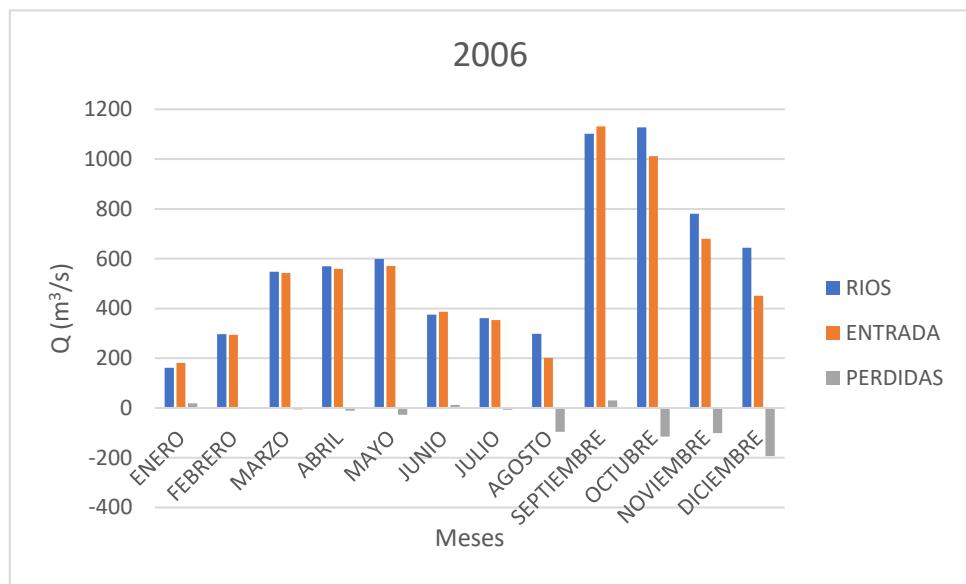


Figura 2. 133 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2006.

Este aumento de las entradas de caudal en septiembre y octubre tendrá una repercusión en las salidas del pantano, teniendo que hacer uso de los aliviaderos o desagües de fondo, como veremos a continuación

2.9.2.3 Demanda

El aprovechamiento de agua del pantano es, como viene siendo habitual en todos los análisis realizados hasta la fecha, prioritariamente para la generación de energía hidroeléctrica, hecho reflejado en la figura 134.

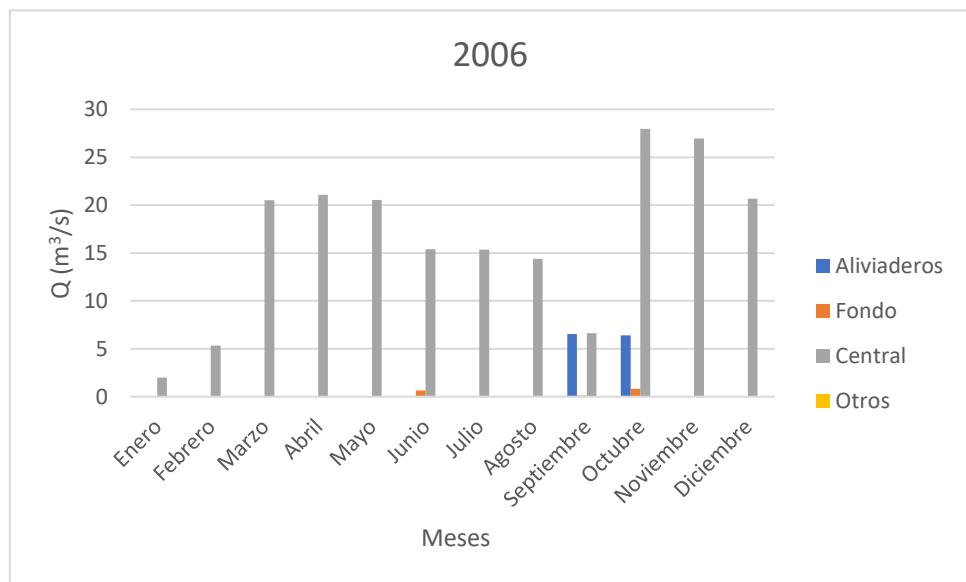


Figura 2. 134 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2006.

Durante el mes de septiembre, concretamente el día 14, tiene lugar el aporte máximo que se registró en la entrada del pantano. La peculiaridad de este hecho, a diferencia de los años anteriores en los que se ha estudiado el efecto de una avenida sobre las salidas del embalse, es que el volumen embalsado era escaso, y por lo tanto no existía la posibilidad de que se desbordara, es por ello que, durante la jornada del 14 de septiembre no se abren los aliviaderos, como venía siendo habitual para el desalojo del agua de una avenida, sino que esta crecida sirvió para aumentar el agua almacenada en el pantano. Solamente durante el día siguiente a la crecida las compuertas de fondo dejaron de circular la pequeña cantidad de 3,33 m^3/s .

Lo más inusual que nos muestra la figura 135 es que el caudal destinado a la central disminuyó hasta cerrar por completo dicha salida, no pudiendo aprovechar el agua para la generación de energía hidroeléctrica.

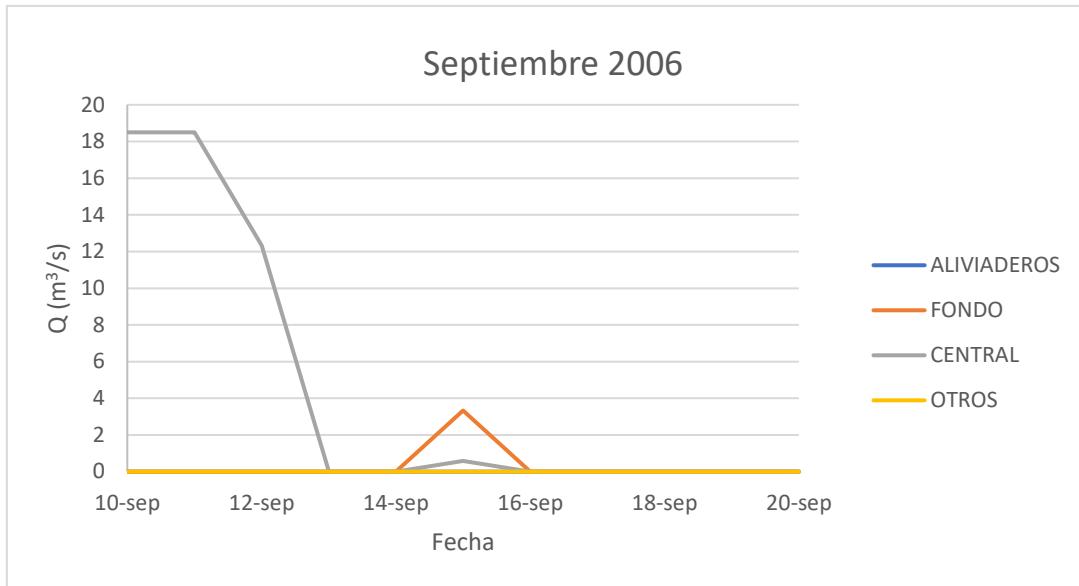


Figura 2. 135 Evolución de la salida de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del mes de septiembre del año 2006.

2.9.2.4 Canal/Río

El reparto de los caudales entre el río y el Canal de Aragón y Cataluña es el mostrado en la figura 136. En ella se ve que a partir del mes de marzo el caudal del canal es de aproximadamente $20 \text{ m}^3/\text{s}$, dejando al río con tan solo $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Durante el verano ambos desciden, en el caso del canal este descenso es de $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Es a partir del mes de octubre cuando el río supera los $25 \text{ m}^3/\text{s}$, superando al caudal que circula por el canal. El mínimo reparto se dio durante los meses de enero y febrero no superando los $5 \text{ m}^3/\text{s}$ por el canal ni por el río.

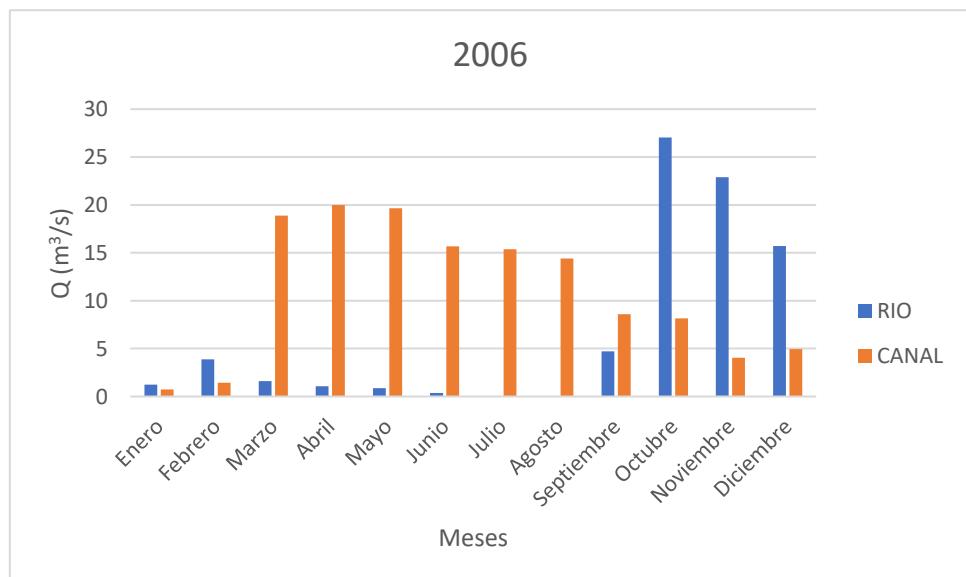


Figura 2. 136 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2006.

2.9.2.5 Producción hidroeléctrica

La producción de energía durante el año 2006 se muestra en la siguiente figura 137. En ella se diferencian tres épocas en las que la producción se mantiene constante. La primera desde marzo hasta mayo, cuando el caudal fue de 20 m³/s y la energía alrededor de los 30000 Kwh mensual. Los tres meses de verano, al descender el caudal, la energía generada descendió hasta los 20000 Kwh mensuales. Por último, y coincidiendo con la época de mayores aportaciones, la energía ascendió hasta los 38000 Kwh en el mes de octubre, debido a un caudal de 27,97 m³/s destinado a dicho fin.

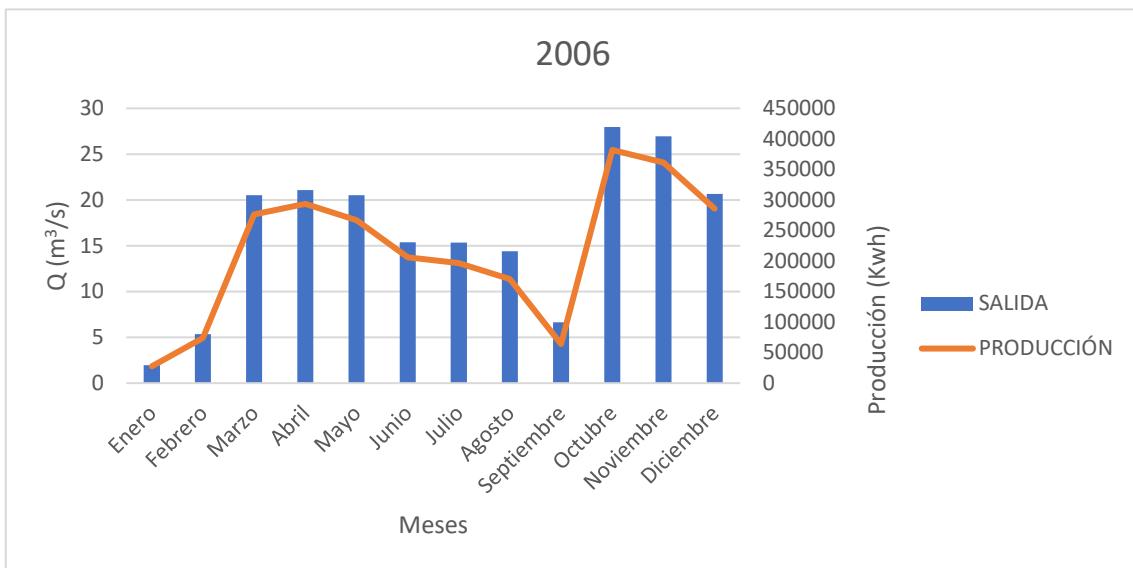


Figura 2. 137 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2006.

2.9.2.6 Capacidad de almacenamiento

Por último, la evolución de la capacidad de almacenamiento se refleja en la figura 138. El embalse comienza el año cerca de su capacidad máxima, pero debido a las escasas entradas de caudal, y que el valor de las salidas era superior a ellas, comienza a descender su nivel hasta situarse en torno a los 30 Hm³ en el mes de agosto.

A partir de dicho mes, el volumen de agua almacenada asciende y vuelve a situarse en valores que rondan los 70 Hm³. Esto ocurre gracias a la gestión de los picos de caudal que hemos comentado anteriormente. Como el pantano no se encontraba lleno, las avenidas pudieron aprovecharse para almacenar grandes cantidades de agua en poco tiempo, sin necesidad de

abrir los aliviaderos y poder almacenar toda esta cantidad de agua para ser aprovechada más adelante.

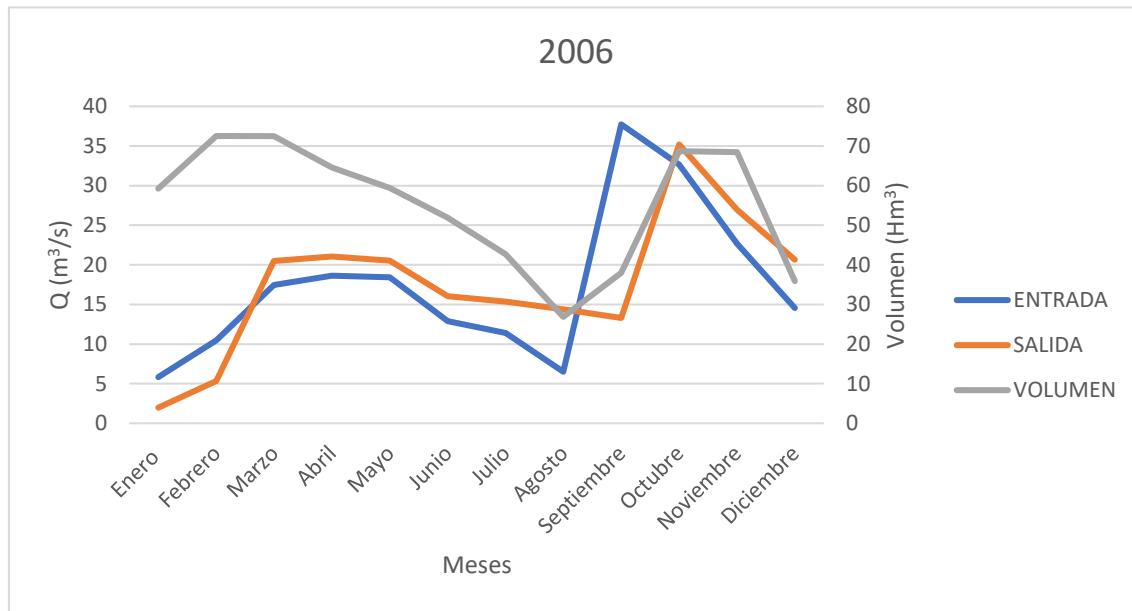


Figura 2. 138 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2006.

2.10 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2007

2.10.1 Cuenca

2.10.1.1 Aportaciones de la cuenca del embalse

2.10.1.1.1 Ésera

Al contrario que en los dos años anteriores, en este 2007 los datos de caudal y altura del río Ésera obtenidos en Eriste comienzan a mostrar la gran influencia del deshielo sobre el caudal de los ríos, así como la importancia de las lluvias ocurridas durante la primavera.

Es durante esta época cuando se registran los máximos caudales y alturas medidos en la estación. Estos corresponden al 14 de mayo, día en el que se registraron unos valores de 23,86 m^3/s y 1,11 m de altura. El siguiente día destacable fue el 19 del mismo mes cuando circuló un caudal de 19,26 m^3/s y 1,01 m de altura. El resto del año, como es habitual, el caudal registrado fue próximo a cero, y la altura en torno a los 20 cm.

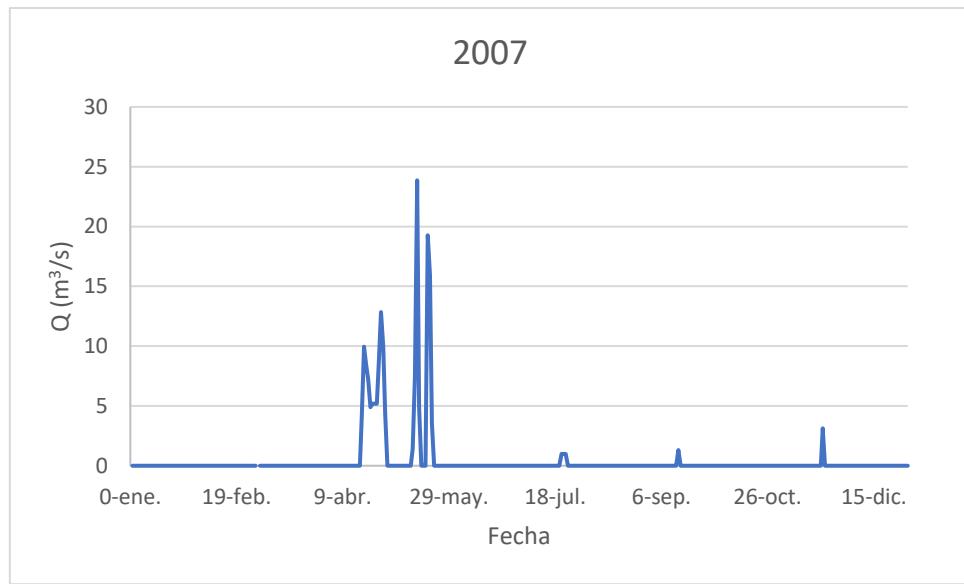


Figura 2. 139 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2007.

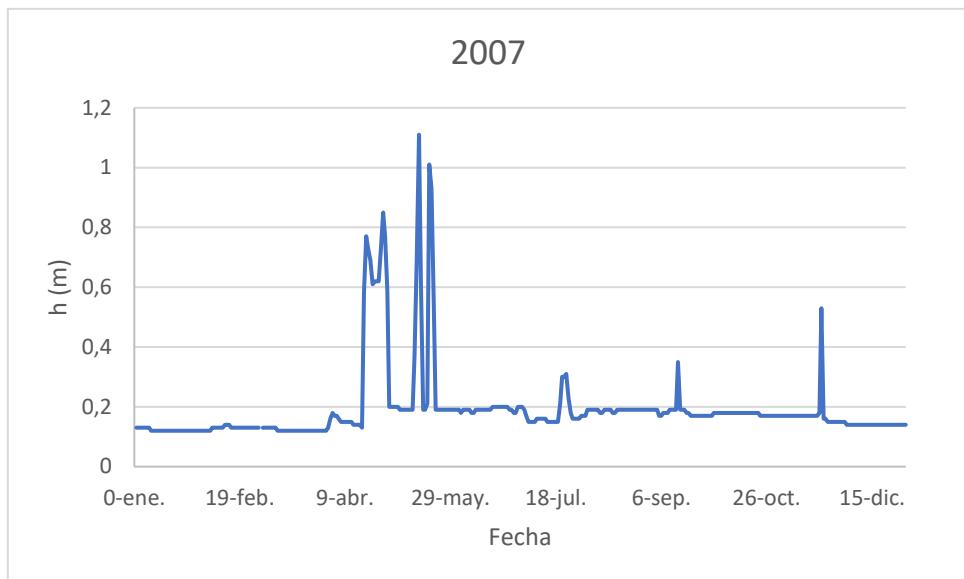


Figura 2. 140 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2007.

En la segunda estación de toma de datos la época en la que circula un mayor caudal sigue apareciendo durante la primavera. Por el contrario, a finales de año, se registran los mínimos anuales. El caudal ronda los 5 m³/s, exceptuando el día 21 de noviembre, cuando se experimentó una repentina crecida que llegó hasta los 49,38m³/s.

Los máximos recogidos corresponden a 58,4 m³/s y 49,38 m³/s; este último por partida doble los días 12 de febrero y, el ya mencionado, 21 de noviembre.

Además, durante este año, durante una semana entre el 11 y el 18 de junio no se recogieron datos de caudal ni de altura en esta estación; es por ello que en la gráfica 141 no aparecen datos.

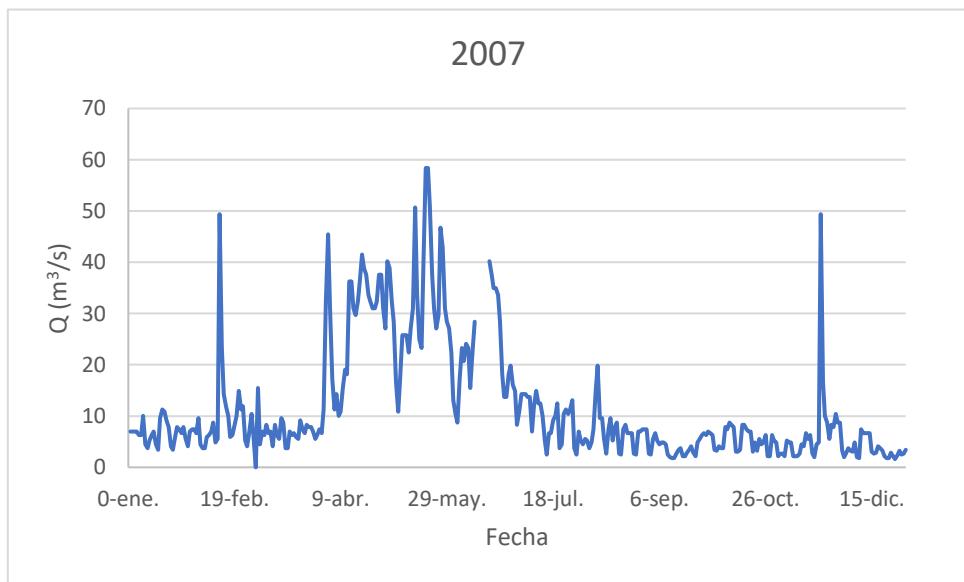


Figura 2. 141 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2007.

En la figura 142 se muestran las medidas de altura recogidas en Campo, de las cuales destacaremos el valor de los máximos. Las alturas fueron de 1,24 m y 1,18 m respectivamente. Este último, al igual que los máximos de caudal, recogido a principios y finales de año.

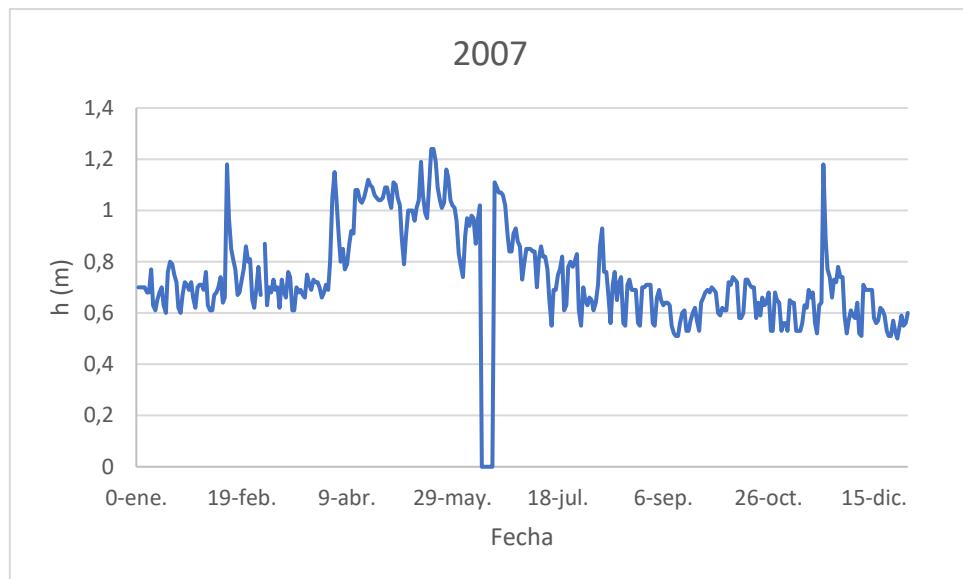


Figura 2. 142 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2007.

La última estación de toma de datos situada en el río Ésera ya contiene datos de todo el periodo anual completo, sin interrupción. Durante la semana en la que se interrumpieron las medidas en la estación de Campo circularon aproximadamente $30 \text{ m}^3/\text{s}$ con una altura de 1,30 m.

Los máximos en esta última representación han variado, situándose en los días 13 de abril y 20 de mayo con valores de $56,06 \text{ m}^3/\text{s}$ y $53,63 \text{ m}^3/\text{s}$.

Este aumento de caudal en torno al mes de abril se puede achacar, como veremos más delante en la figura 148, a un aumento de las precipitaciones registradas durante este mes en las instalaciones del pantano.

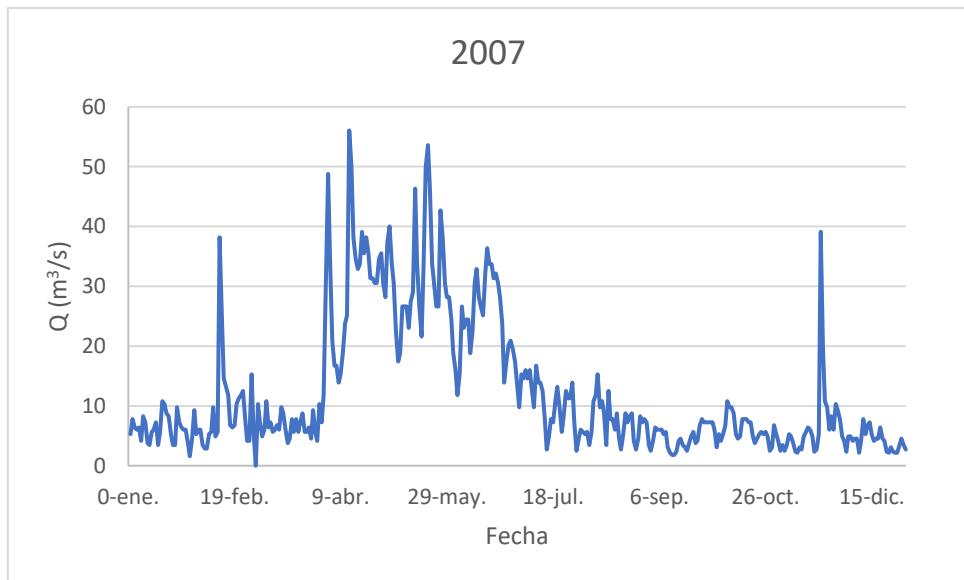


Figura 2. 143 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2007.

La altura representada en la figura 144 muestra un aumento del nivel de 40 cm, tanto a finales de año: cuando pasa de 0,6 m hasta una altura alrededor de 1m; como en los máximos obteniéndose el valor de 1,66 m el 14 de abril.

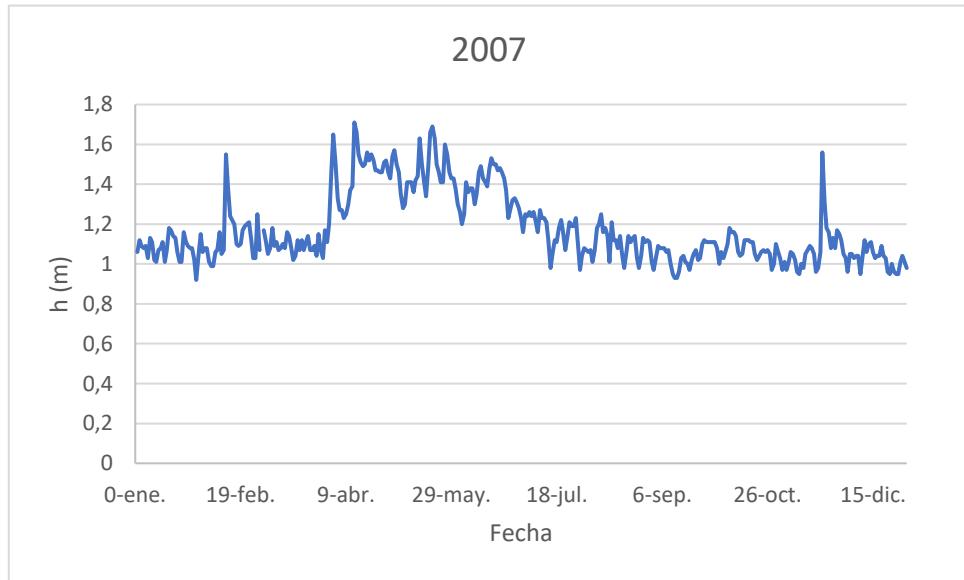


Figura 2. 144 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2007.

2.10.1.1.2 Isábena

Los datos reflejados en las dos siguientes representaciones (145 y 146) muestran que, al igual que ocurrió en el río Ésera, el caudal mayoritario fue aportado durante la primavera; en concreto, el 3 de abril en el que la altura registrada fue de 1,06 m y el caudal de 33,81 m³/s.

Nuevamente, a lo largo del tramo final del año, las aportaciones fueron muy escasas sin llegar a superar los 5 m³/s, ni el medio metro en el nivel del agua.

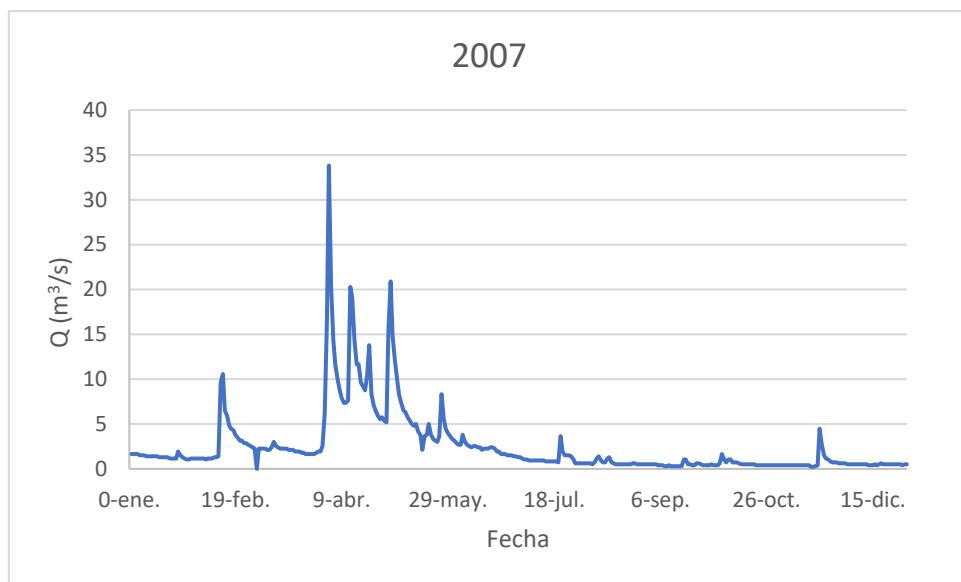


Figura 2. 145 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2007.

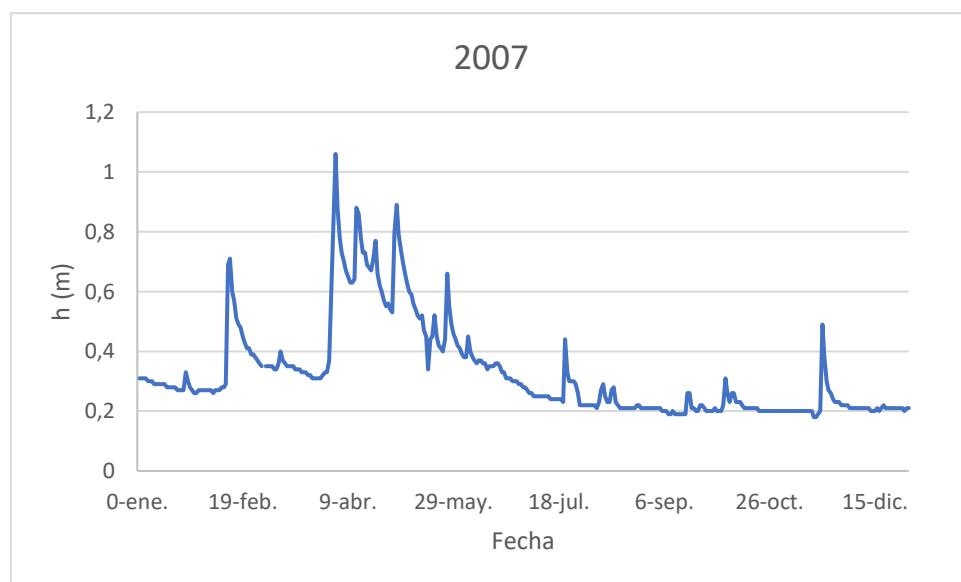


Figura 2. 146 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2007.

2.10.1.1.3 Confluencia

De los datos relacionados con el caudal suma de ambos ríos se obtiene la representación que muestra la figura 147.

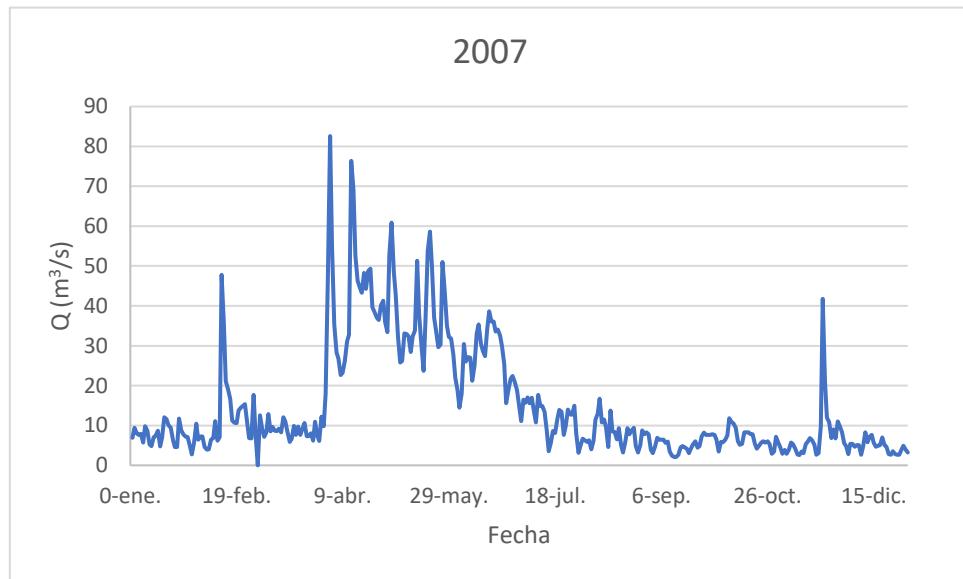


Figura 2. 147 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2007.

Como las épocas de mayor caudal, tanto en el Ésera como en el Isábena, ocurrieron durante la primavera, es en la figura 147 cuando este fenómeno se hace muy notable, siendo en este periodo cuando los valores superan los $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Fuera de esta estación dos días superan los $20 \text{ m}^3/\text{s}$, estos son los ya mencionados en la estación de Graus, y corresponden al 12 de febrero y el 21 de noviembre.

El año 2007 fue, en general, seco, exceptuando la época primaveral. Es por ello que se deberán controlar las salidas durante los meses de escasez y acumular el máximo volumen de agua en primavera en el embalse para hacer frente a estas condiciones adversas.

2.10.2 Embalse

2.10.2.1 Temperatura y precipitación

De la figura 148 destacaremos las abundantes precipitaciones que tuvieron lugar en el mes de abril llegando hasta los 156 mm, muy por encima del siguiente máximo que se sitúa en 42 mm. Este pico de precipitaciones coincide con la época de mayor caudal circulante por los ríos.

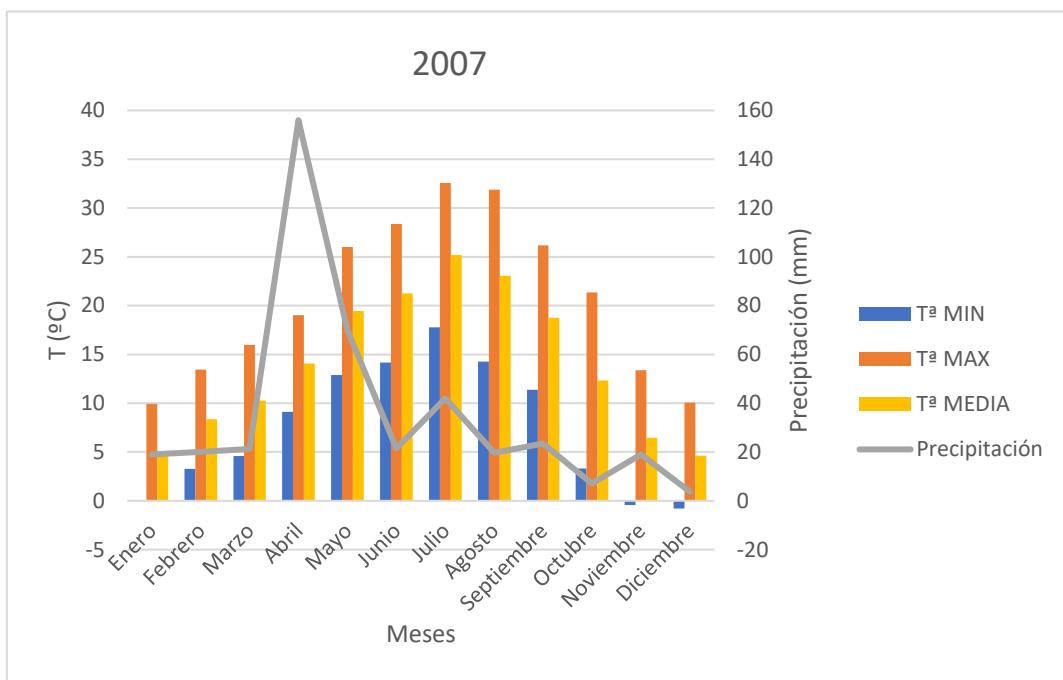


Figura 2. 148 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2007.

Las temperaturas varían de una forma natural, alcanzando los máximos en verano, sin sobrepasar los 35°C y con temperaturas mínimas de -1°C en el mes de diciembre.

Al igual que con el caudal, las precipitaciones fueron escasas a lo largo del año, y solamente tuvieron valores significativos en el mes de abril. El aumento de precipitaciones que solía ocurrir durante el otoño no tuvo lugar durante el 2007, situando el máximo de la estación en unos escasos 19 mm.

2.10.2.2 Entradas

Las entradas reflejan de manera muy clara lo que hemos comentado. El año 2007 fue muy escaso en cuanto al caudal de entrada al pantano, sin superar los 400 m³/s durante todo el mes, exceptuando los meses de abril, mayo y junio.

Durante estos tres meses el caudal total aportado fue superior al de todo el resto del año, lo que nos da una idea de la importancia que tendrá una buena gestión del agua acumulada durante estos meses.

El valor máximo se recogió en abril con 1200 m³/s, seguido por los 1100 y 750 m³/s obtenidos en mayo y junio.

Los valores de las pérdidas a lo largo del año fueron discretos sin llegar a superar los 75 m³/s de diferencia.

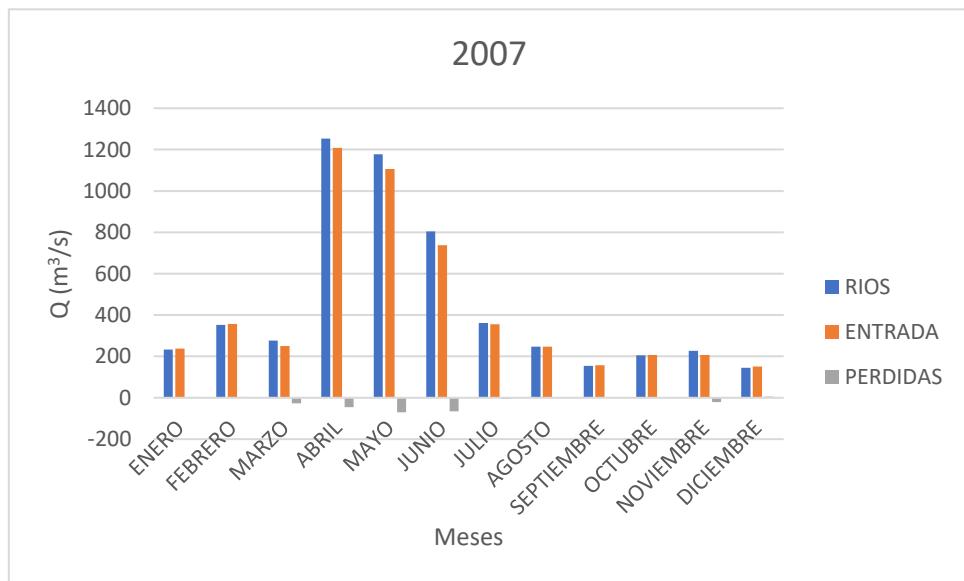


Figura 2. 149 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2007.

2.10.2.3 Demanda

La escasa entrada de caudal de agua al embalse representada en la figura anterior tiene su efecto sobre las salidas. Como se aprecia en la figura 150, solamente durante el mes de mayo el aprovechamiento del agua para la producción de energía hidroeléctrica se acerca a su valor máximo. Además, las salidas de los aliviaderos apenas se abren a lo largo del año evitando

desaprovechar el agua contenida; todo ello es fruto del periodo de sequía que se experimenta teniendo que disminuir los caudales hasta los $3,19 \text{ m}^3/\text{s}$, registrados en el mes de octubre; hasta que se vuelva a acumular un volumen de agua aceptable en el pantano las salidas no podrán aumentarse, teniendo que adecuarlas al escaso caudal de entrada.

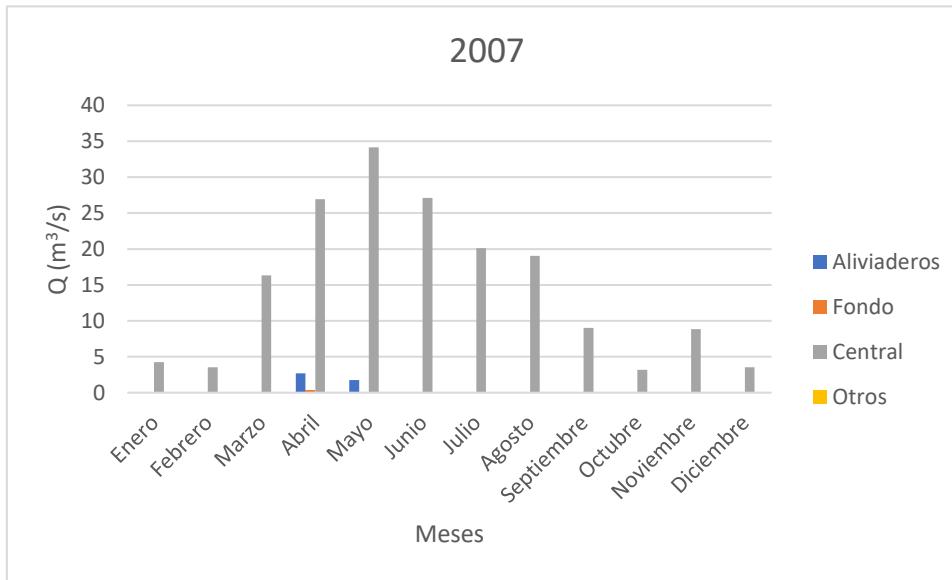


Figura 2. 150 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2007.

Esta escasa obertura de los aliviaderos se muestra en la siguiente figura, donde el porcentaje de salidas anuales es del 3%. Una vez más el protagonismo es para el caudal destinado a la central con un abrumador 97% del total desembalsado, dando el tercer valor más elevado hasta la fecha, por detrás del 2005 (99%) y 2002 (98%).

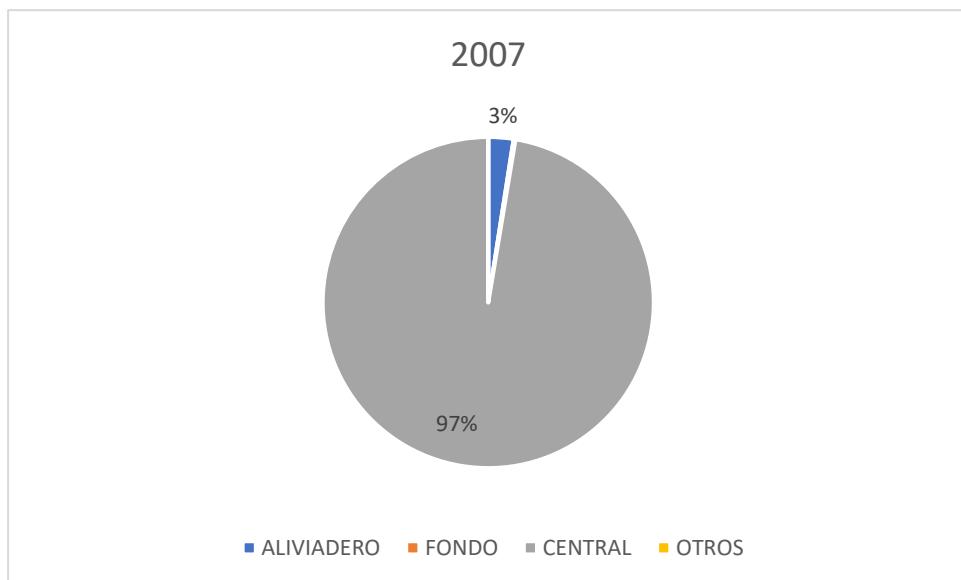


Figura 2. 151 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2007.

2.10.2.4 Canal/Río

El reparto de agua entre el canal y el río sufre las mismas consecuencias. Las escasas salidas repercuten en los caudales que circulan por ambos. Durante el año 2007 se le da prioridad a la circulación de agua por el canal, ya que, en todos los meses del año, exceptuando abril, este caudal es superior al del río. Durante abril, y aprovechando los aportes máximos de caudal, se destina al río una cantidad similar a la del canal, siendo incluso de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ superior.

La necesidad de agua en un año tan seco hace que se priorice el encauzamiento del caudal para destinarlo al Canal de Aragón y Cataluña, dejando al río en un segundo plano.

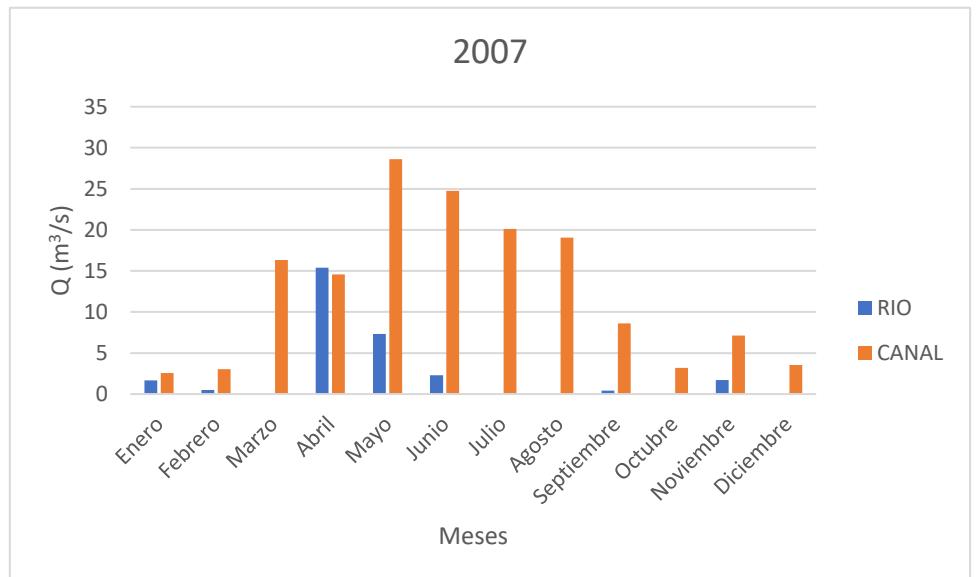


Figura 2. 152 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2007.

2.10.2.5 Producción hidroeléctrica

Una vez más, los caudales destinados a la producción de energía hidroeléctrica fueron más bien escasos, lo que tuvo una repercusión en la energía obtenida.

La máxima potencia se obtuvo en abril, al alcanzar los 468709 Kwh. Una vez pasado este mes se experimentó un descenso hasta los 30919 Kwh producidos en octubre. En noviembre se aumentó el valor de potencia volviendo a tener que ser disminuido en el mes de diciembre.

Todo esto se refleja en la figura 153, en la que se aprecian las consecuencias que tiene un año con un escaso caudal de entrada en cuanto a la producción de energía.

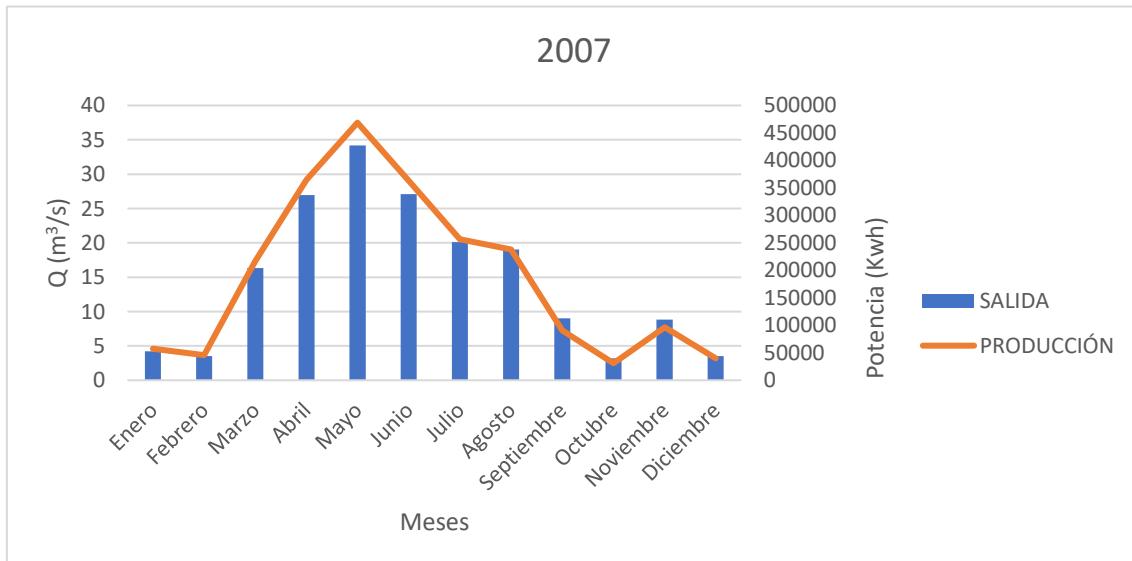


Figura 2. 153 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2007.

2.10.2.6 Capacidad de almacenamiento

Por último, se trata el tema del volumen almacenado y cómo éste tiene que adecuarse a las condiciones adversas. La máxima cantidad de agua almacenada se consigue durante el mes de mayo. Es a partir de este mes cuando se experimenta un descenso de los caudales de entrada. Para adecuarse a ello las salidas disminuyen pero de una forma menos severa.

Es a finales de verano cuando el nivel del pantano se encuentra en su mínimo anual, unos 12 Hm³. Al ver que no se experimenta un aumento de las entradas, los caudales de salidas descienden hasta los 3,19 m³/s para recuperar una pequeña cantidad volumen embalsado.

A finales de año el volumen es de 14,78Hm³, lo que supone una pérdida de 33 Hm³ a lo largo del año 2007.

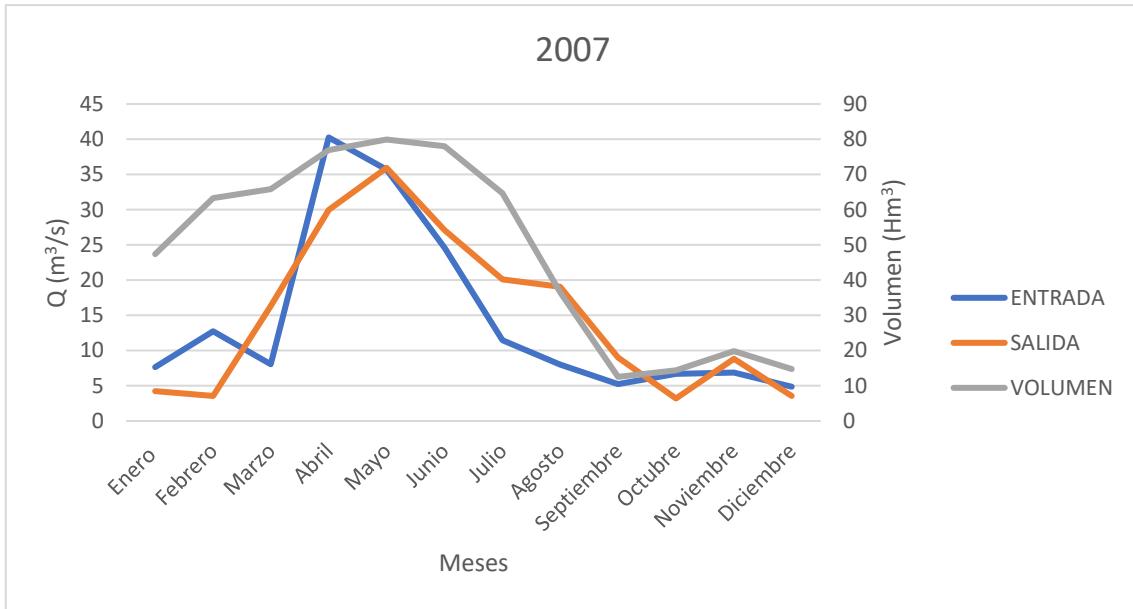


Figura 2. 154 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2007

2.11 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2009

Con este análisis referente a los datos recogidos durante el año 2009, llegamos el ecuador de este apartado.

2.11.1 Cuenca

2.11.1.1 Aportaciones de la cuenca del embalse

2.11.1.1.1 Ésera

Comenzando por la primera estación de aforo que nos encontramos en el transcurso del río obtenemos las representaciones de caudal y altura en función del tiempo que se reflejan en las figuras 155 y 156.

En la primera de ellas, la que nos muestra los niveles de caudal, el máximo anual se situó un 24 de mayo alcanzando los $29,86 \text{ m}^3/\text{s}$. El segundo máximo anual se situó en la misma época, con $24,94 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo la primavera la única época en la que el caudal registrado superó los $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

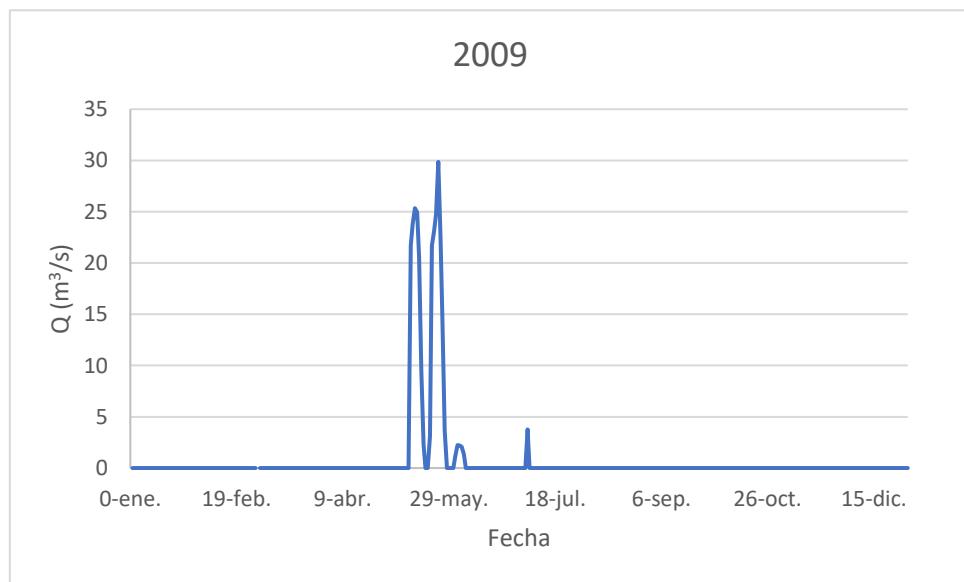


Figura 2. 155 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2009.

A lo largo del año, la mayoría de los días se registró una altura de 0,2 m. El nivel máximo que corresponde con el día de máximo caudal fue de 1,23 m, seguido por la segunda jornada anteriormente destacada, con una altura de 1,14 m.

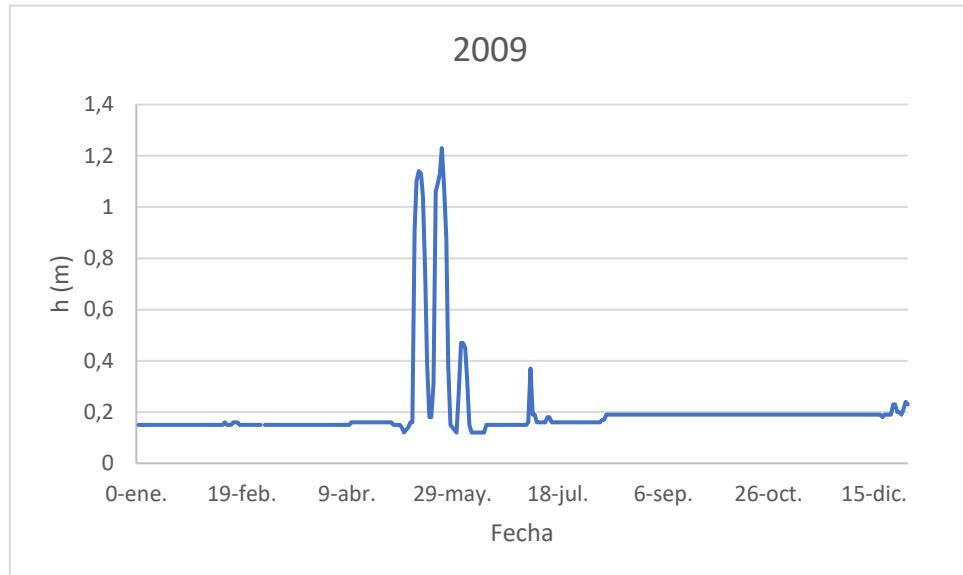


Figura 2. 156 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2009.

Más adelante, nos encontramos en el municipio de Campo, en el que los datos de caudal registrado del río Ésera se reflejan en la figura 157.

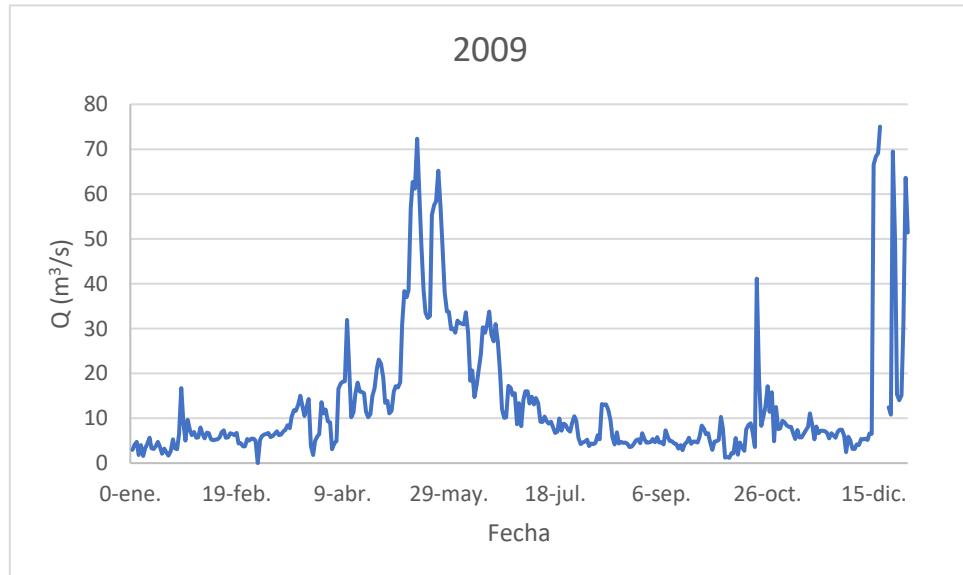


Figura 2. 157 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2009.

Los valores registrados durante el 14 y el 24 de mayo llegan a los 72,31 m³/s y 65,22 m³/s, lo que supone un aumento de más de 40 m³/s respecto al valor medio.

A pesar de esto, el valor máximo anual se obtuvo el 18 de diciembre con 75,03 m³/s. A partir de ese día se dejó de recoger datos en la estación hasta el 24 del mismo mes, con un registro de 69,49 m³/s, lo que nos hace pensar que ese espacio vacío tomo valores en torno a los 70 m³/s, convirtiéndose en la segunda época del año con un mayor caudal, después de la primavera.

Los datos de altura nos muestran un aumento de apenas 10 cm en los máximos anuales. Esta subida del nivel se hace más notable durante el resto del año, llegando a superar el valor de un metro de crecida, precisamente durante el mes de diciembre.

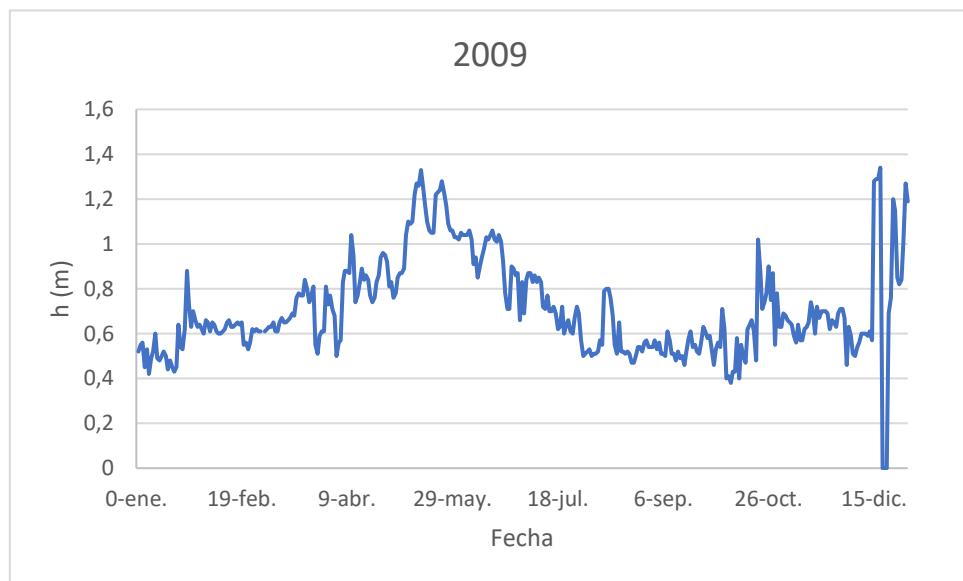


Figura 2. 158 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2009.

Las dos siguientes representaciones corresponden a los datos recogidos en la estación de aforo de Graus durante este año.

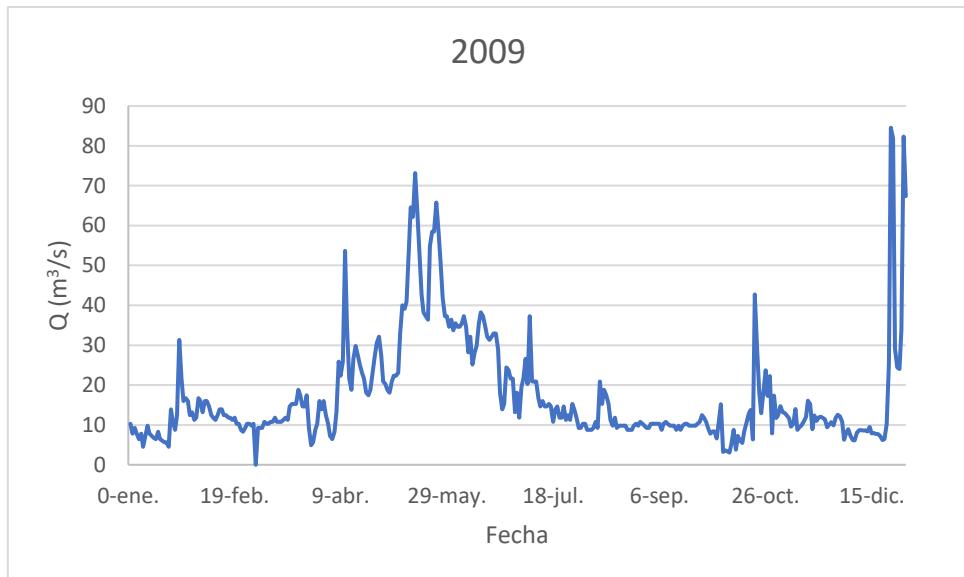


Figura 2. 159 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2009.



Figura 2. 160 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2009.

Fijándonos en los caudales, el aumento de los valores es poco relevante siendo este en torno a los $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Es a finales de diciembre, en las fechas ya señaladas, cuando más varia con respecto a la estación anterior. El nuevo máximo anual se sitúa en vísperas de Navidad, el 24 de diciembre con $84,54 \text{ m}^3/\text{s}$ desbancando a los $73,12 \text{ m}^3/\text{s}$ recogidos el 14 de mayo.

Las alturas de agua correspondientes a estos puntos fueron de 1,76 m y 1,84 m respectivamente, lo que nos muestra que el día 14, a pesar de ser la segunda jornada en cuanto a caudal máximo registrado, se obtuvo la mayor altura recogida en todo el año.

2.11.1.1.2 Isábena

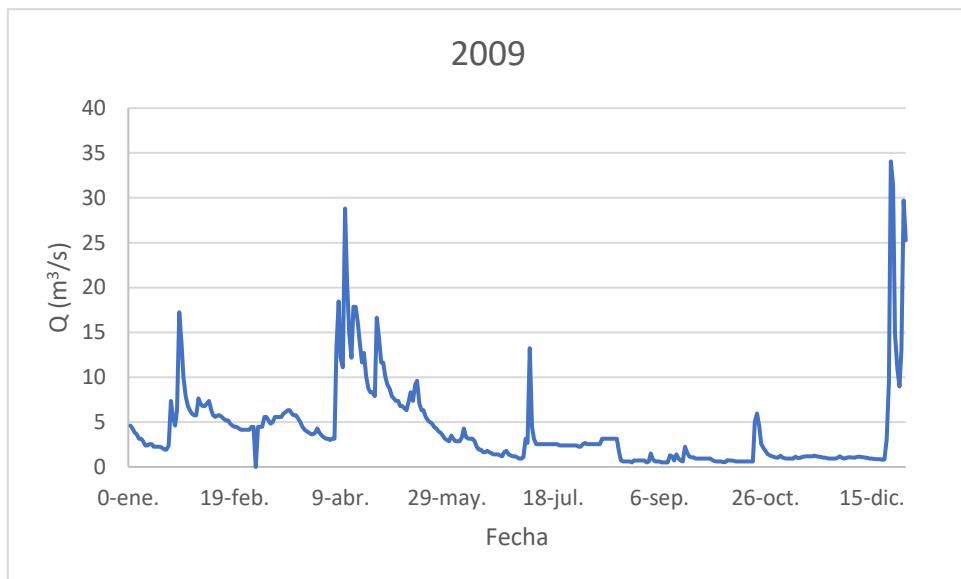


Figura 2. 161 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2009.

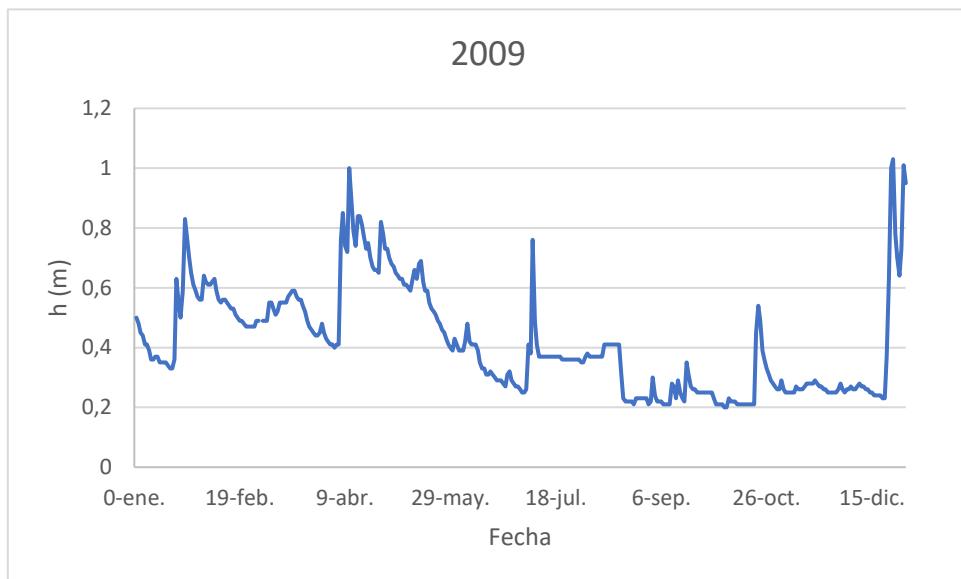


Figura 2. 162 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2009.

Durante el año 2009 en el río Isábena se registraron los valores mostrados en las dos figuras anteriores (161 y 162). Las alturas mínimas recogidas se asemejan a las de Eriste con valores de tan solo 20 cm, y el máximo se recogió el 25 de diciembre alcanzando los 1,03m.

El caudal máximo, al igual que en la estación de Graus, se registró el 24 de diciembre al alcanzar los $34,06 \text{ m}^3/\text{s}$. El segundo máximo ocurrió en el mes de abril, concretamente el día 11 con $28,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Con todo esto, la época de mayores aportaciones sigue siendo la época primaveral, a pesar del máximo localizado a finales de año, que aparece conjuntamente en

ambos ríos, y que es la primera vez que se aparece un máximo durante estas fechas, en todos los años que llevamos de estudio.

2.11.1.1.3 Confluencia

En ambos ríos, la época por la que circulaba una mayor cantidad de caudal fue la primavera, por lo que no es extraño que en la figura 163 este mismo periodo sea el de mayor aporte de agua al pantano. A pesar del máximo registrado a finales de año, la suma de los valores registrados durante los meses de abril y mayo nos da un mayor caudal, puesto que en diciembre los aportes fueron muy pobres a excepción de los máximos ya mencionados.

Todo esto es lo que muestra la siguiente representación, en la que el caudal comienza el año en valores en torno a los $20 \text{ m}^3/\text{s}$, para aumentar en la primavera hasta alcanzar los $82,30 \text{ m}^3/\text{s}$ y disminuir nuevamente conforme avanza el año, sin que la época de abundantes lluvias de finales de octubre refleje un aumento significativo.

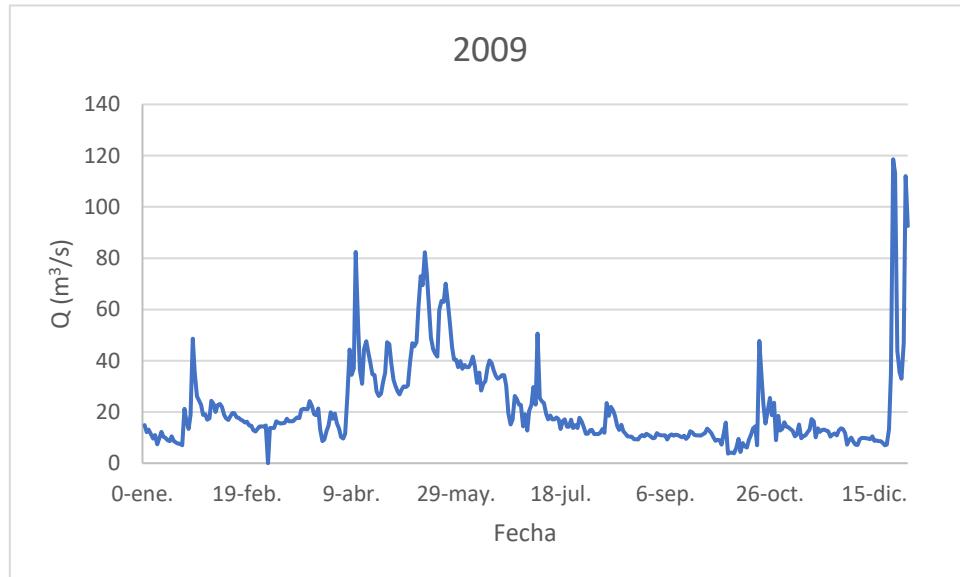


Figura 2. 163 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2009.

2.11.2 Embalse

2.11.2.1 Temperatura y precipitación

Las temperaturas y precipitaciones recogidas a lo largo del año de estudio nos muestran un año dentro de lo común. Comenzamos el año con unas temperaturas mínimas por debajo de los 0°C y máximas que no alcanzaron los 10°C, propias del invierno. Tanto las mínimas como las máximas van creciendo al llegar el verano hasta el mes de julio, cuyos valores alcanzan casi los 18°C de mínima y los 34°C de máxima, dejando a la media mensual en los 25,96°C.

Al finalizar el verano, la temperatura comienza a descender acabando el año con una temperatura media en el mes de diciembre que no supera los 5°C.

Además, las precipitaciones no fueron muy abundante durante el año 2009, solamente durante el mes de abril superaron los 100 mm de precipitación acumulada. A su vez, el mes más seco fue febrero con unos escasos 5 mm.

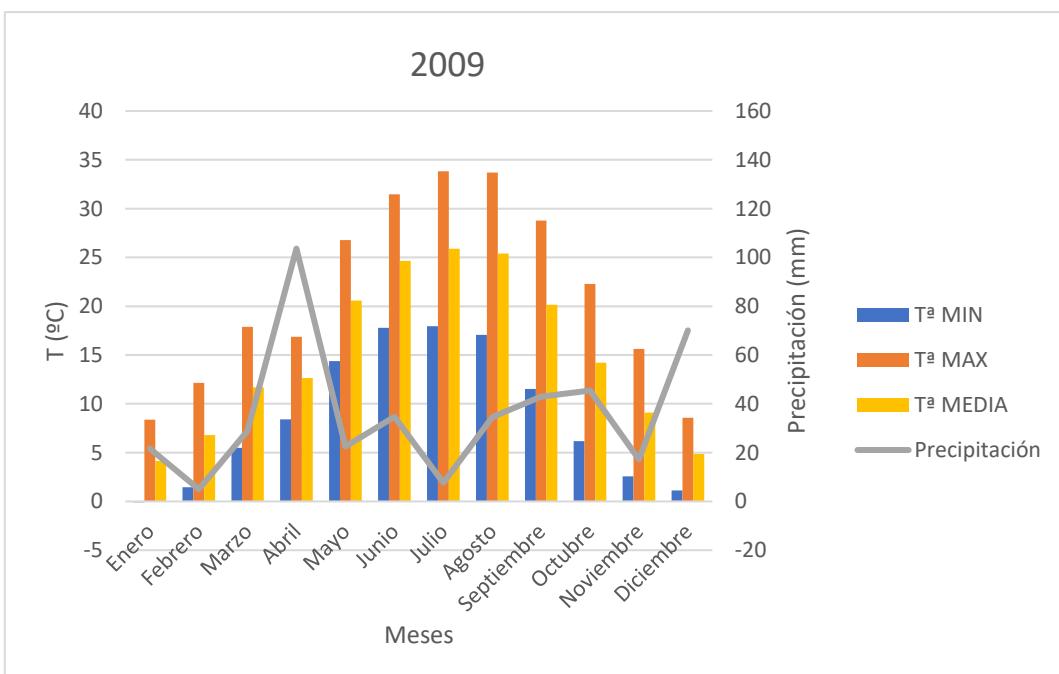


Figura 2. 164 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2009.

2.11.2.2 Entradas

Las entradas representadas en la figura 165 reflejan lo ya comentado en el análisis de los ríos. Durante el año 2009 el caudal de aporte durante la mayoría de los meses fue de unos 400 m³/s. Las mayores aportaciones se situaron durante la primavera, concretamente en el mes de mayo, al alcanzar los 1500 m³/s mensuales. En el mes de diciembre también se aprecia una crecida con respecto al resto del año. Esta es debida a los días finales del mes en los que se concentró un aumento de caudal repentino.

El término de pérdidas durante este año de estudio es casi siempre negativo, lo que nos indica que las medidas de caudal realizadas en el río fueron superiores al caudal registrado a la entrada del pantano.

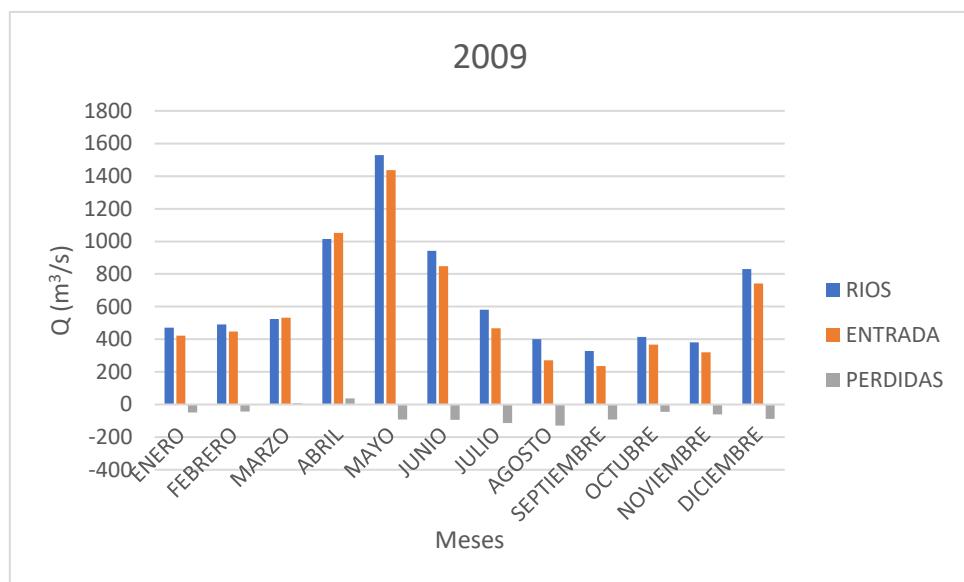


Figura 2. 165 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2009.

2.11.2.3 Demanda

Las demandas se adecúan a los aportes aprovechando al máximo el agua para la producción de energía, como muestra la figura 166. En esta figura solamente se aprecia, durante el mes de mayo, otra salida con un caudal relevante. Durante este mes el caudal medio diario por los aliviaderos fue de 11,37 m³/s, fruto, una vez más, del gran aporte durante la época primaveral.

Con anterioridad, si esta obertura, tanto de los aliviaderos como de los desagües de fondo, era producida por una avenida significativa, evaluábamos este fenómeno con más detenimiento. En este caso, no fue a causa de una crecida repentina sino de la continua entrada de agua en una época en la que el pantano se encontraba casi lleno, como veremos en el apartado final.

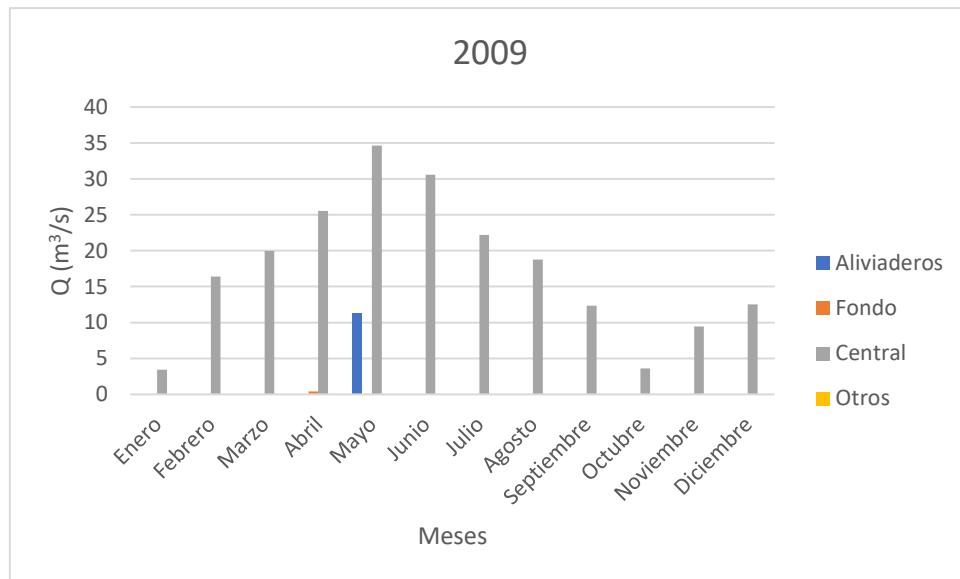


Figura 2. 166 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2009.

En la figura 167 aparece el reparto de caudales que abandonaron el embalse durante el año 2009. Vemos que el 95% de las salidas fluyeron directamente hacia la central para la generación de energía y tan solo el 5% restante fluyó por los aliviaderos. Además, como ya hemos comentado, la totalidad de esta salida se concentró durante el mes de mayo, coincidiendo con las máximas aportaciones que recibió el pantano.

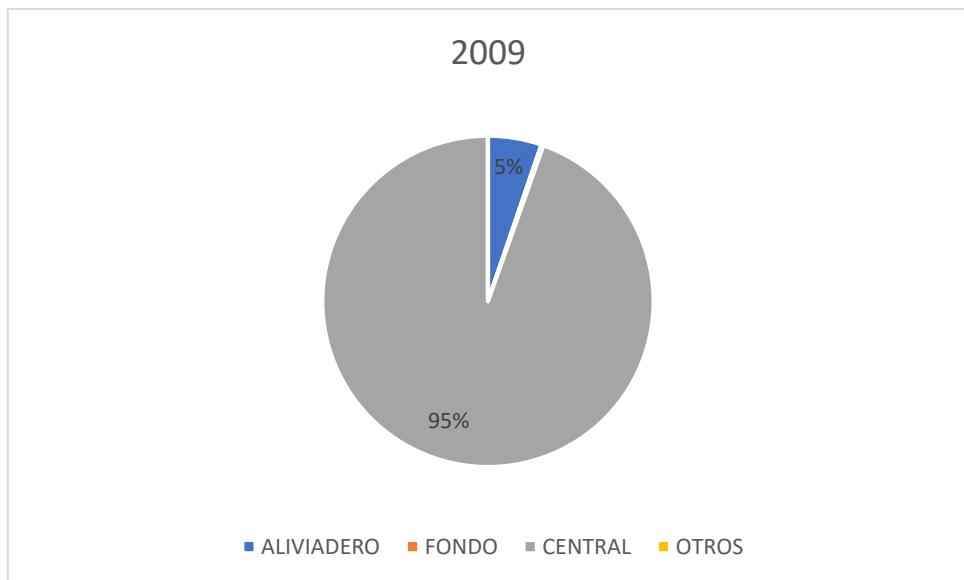


Figura 2. 167 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2009.

2.11.2.4 Canal/Río

La segunda distinción de caudales entre el destinado al río y el encauzado por el Canal de Aragón y Cataluña refleja dos épocas. Una primera que va desde marzo hasta septiembre, en la que el caudal destinado al Canal supera los $10 \text{ m}^3/\text{s}$; con la excepción del mes de abril, cuando los caudales fueron de $17,07 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Ésera y $8,9 \text{ m}^3/\text{s}$ para el canal. El resto del año, el caudal del río es superior al del canal y solamente con valores por debajo de los $5 \text{ m}^3/\text{s}$ durante enero. Por último, el elevado caudal registrado en el mes de mayo es debido a laertura de los aliviaderos ya señalada.

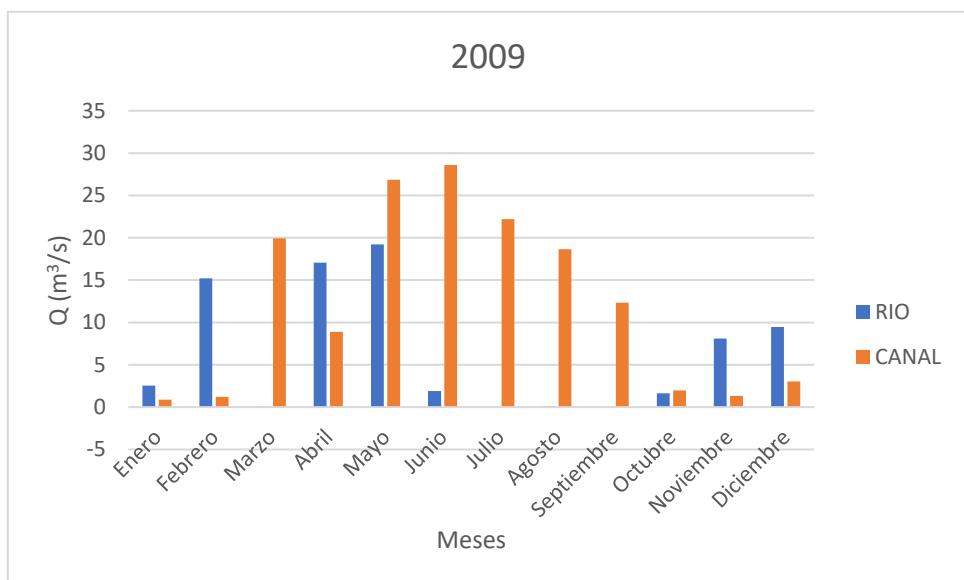


Figura 2. 168 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2009.

2.11.2.5 Producción hidroeléctrica

La producción de energía eléctrica sigue el camino indicado en las salidas. Comienza el año con una producción de apenas 44000 Kwh y crece hasta alcanzar los 485141 Kwh en mayo. A continuación vuelve a descender hasta los 66916 Kwh en octubre. Sigue la tendencia marcada por el caudal destinado a la central, e incluso durante el mes de octubre, se aprecia un mejor aprovechamiento del caudal, estando la línea roja por encima de la barra de caudal.

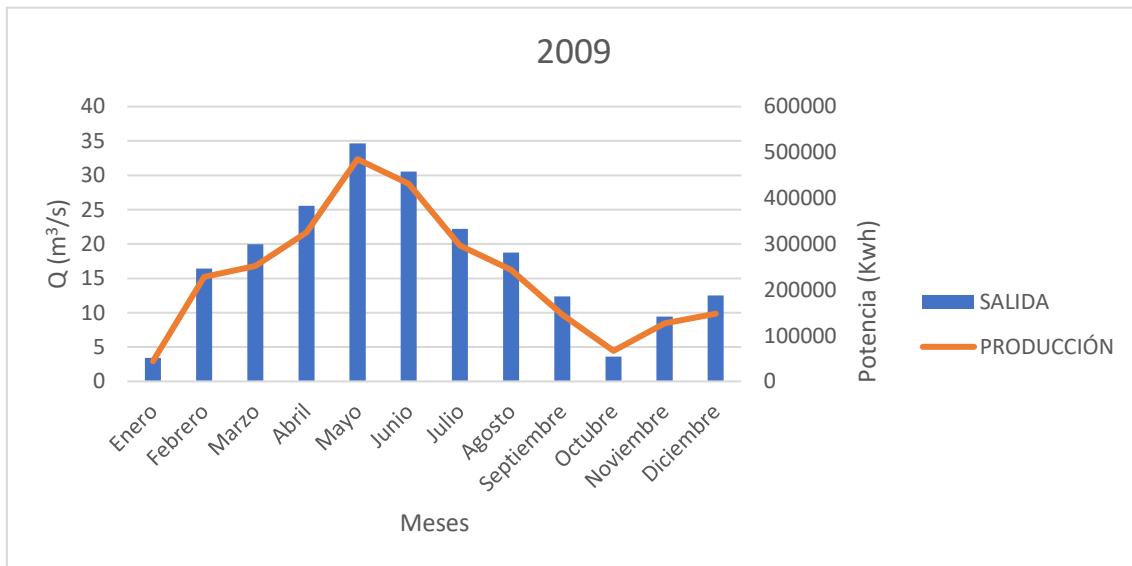


Figura 2. 169 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2009.

2.11.2.6 Capacidad de almacenamiento

Para finalizar este capítulo destinado al año 2009 se representa a continuación el volumen de agua almacenado en el pantano junto a las entradas y salidas del mismo.

Como ya hemos apuntado, durante el mes de mayo hubo una crecida de los caudales de entrada y por consiguiente unaertura de los aliviaderos para adecuar las salidas, puesto que el volumen contenido en ese momento era crítico. Debido a la gran cantidad de agua acumulada, en los meses siguientes las salidas pudieron estar por encima del caudal de entrada, rebajando el nivel para anteponerse a la siguiente época de aumento de caudal de entrada. Al no suceder esto, las salidas tuvieron que descender por debajo de los 5 m³/s, para

conseguir acumular un cierto volumen de agua y tener más reservas con las que comenzar el año siguiente.

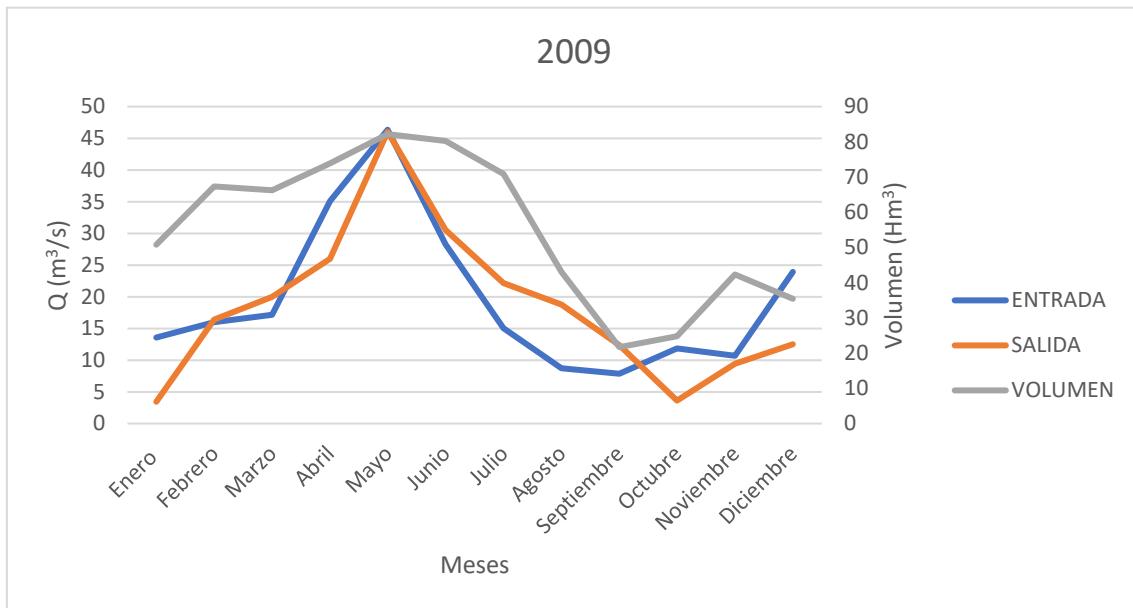


Figura 2. 170 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2009.

2.12 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2010.

Para la realización de este análisis de los datos recogidos durante el año 2010, comenzaremos por la evaluación de la cuenca, y más tarde, del pantano. Todo ello, siguiendo los pasos mostrados con anterioridad tanto en el ejemplo, como en la introducción a este apartado.

2.12.1 Cuenca

2.12.1.1 Aportaciones de la cuenca al embalse

2.12.1.1.1 Ésera

En la figura 171 se encuentra representado el caudal que circula por el río Ésera a su paso por la estación de aforo situada en Eriste. En ella, como viene siendo habitual, el máximo valor de caudal aparece durante la época de primavera, concretamente el día 10 de mayo cuando se registró un caudal de $88,43 \text{ m}^3/\text{s}$.

Este aumento repentino del caudal tiene su efecto en el nivel del agua, alcanzando un valor de 2,15 m, muy superior a los 20 centímetros que representan la altura normal del río durante la mayor parte del año.

El segundo máximo anual, aparece en la misma época, 9 días antes, es decir el 1 de junio. El valor de este segundo máximo dista mucho del primero, pero aun así representa un valor muy superior al que acostumbra a circular por la estación. El caudal registrado en dicho día fue de $28,3 \text{ m}^3/\text{s}$, con una altura de 1,2 m.

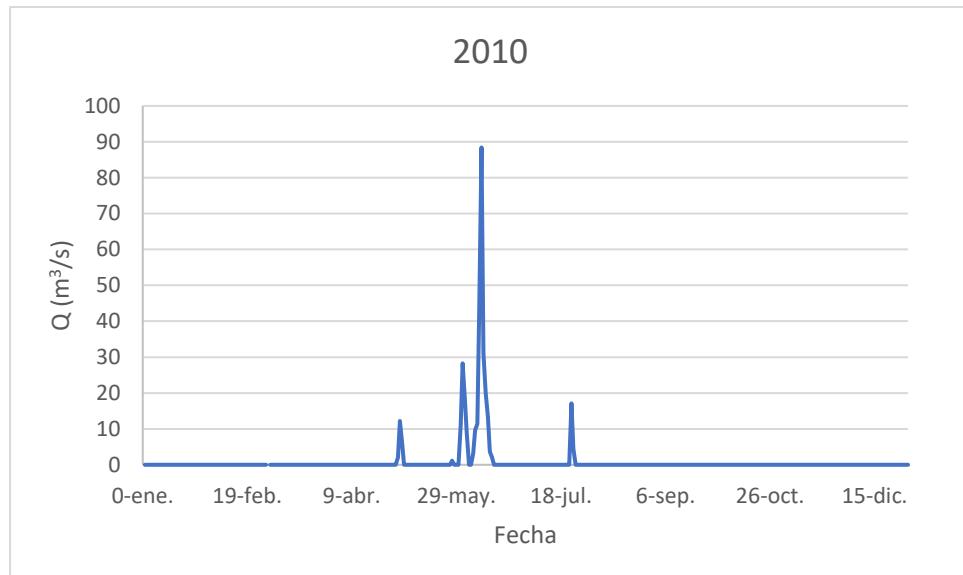


Figura 2. 171 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2010.

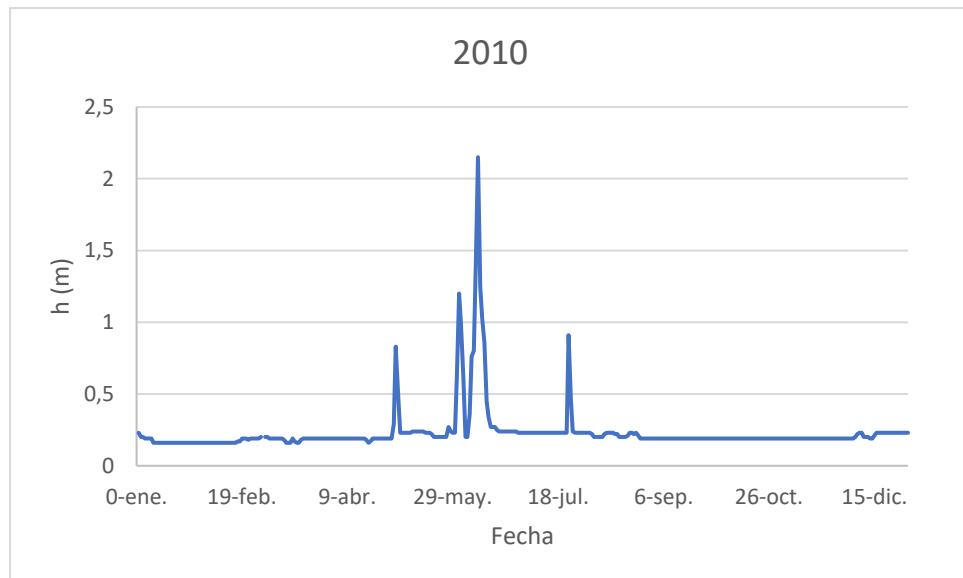


Figura 2. 172 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2010.

La segunda estación de aforo que nos encontramos en el transcurso del río recoge los valores de caudales y alturas durante el año 2010 que se representan en las dos siguientes figuras.

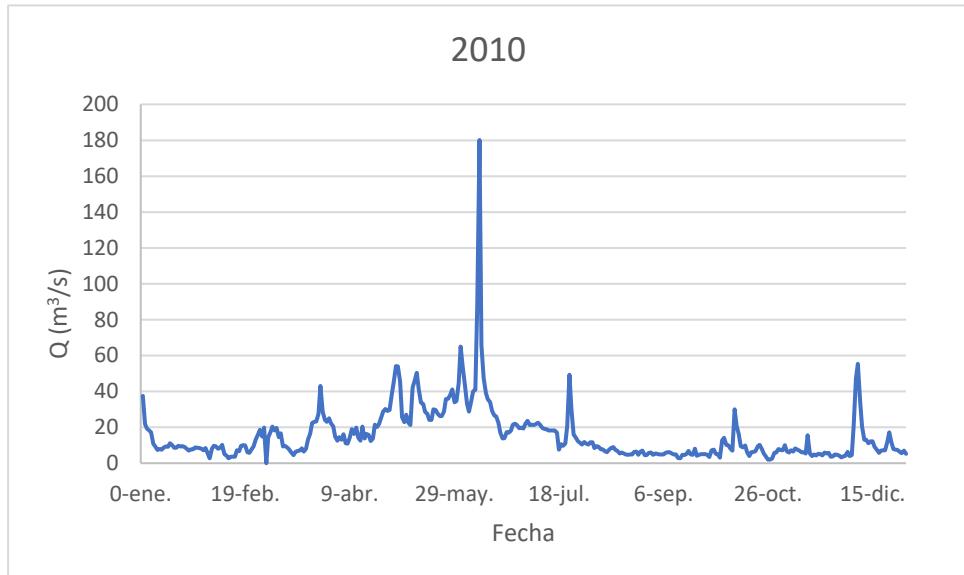


Figura 2. 173 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2010.

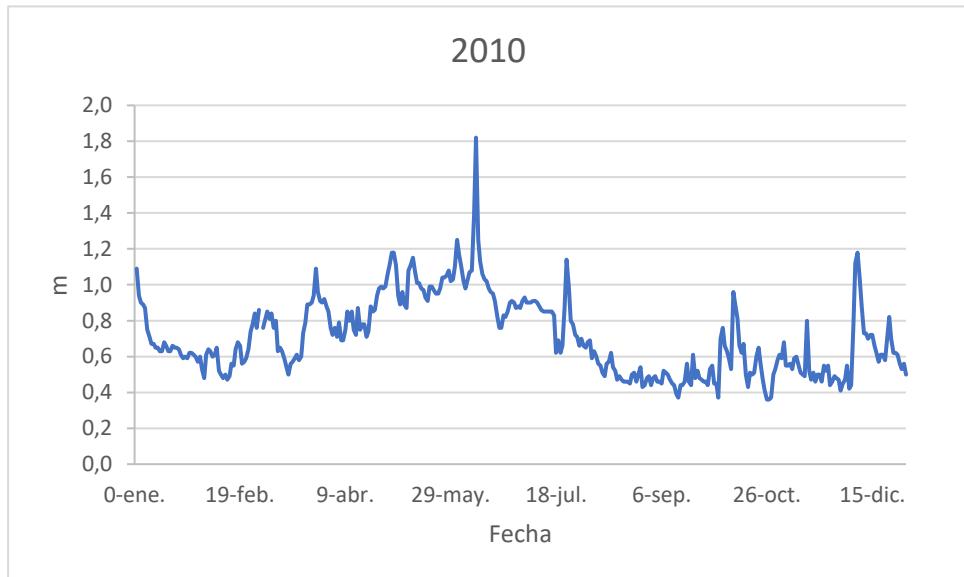


Figura 2. 174 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2010.

En las gráficas anteriores se aprecia que el máximo sigue apareciendo el día 10 de junio, y el valor de caudal recogido es de $180,14 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que supone un aumento de casi $100 \text{ m}^3/\text{s}$ entre ambas estaciones de aforo. De la misma manera, la altura registrada alcanzó los $1,82 \text{ m}$, valor inferior al registrado en Eriste. La segunda jornada destacada, el 1 de junio, también representa el segundo máximo anual, con un caudal de $65 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1,25 \text{ m}$ de altura asociada al caudal.

Por último, los datos recogidos en Graus se muestran en las figuras 175 y 176.

El caudal registrado durante el 10 de junio sigue aumentando, llegando a alcanzar los 187,85 m^3/s , valor que conforma el máximo anual, también en altura registrada con 2,49 m.

Lo curioso de las figuras es que, en la representación del caudal, hubo dos periodos a lo largo del año 2010, en los que se interrumpió la toma de datos, estos fueron los comprendidos entre el 8 y el 11 de julio, y el segundo, mucho más extenso, del 1 al 29 de septiembre. En la toma de datos de alturas, las medidas solamente se interrumpieron durante el primer periodo señalado, siendo de 1,25 m el valor recogido durante el mes de septiembre. Con esto podemos deducir que, al haberse mantenido la altura tan constante, el caudal tuvo un comportamiento similar, y el valor tuvo que rondar los 20 m^3/s .

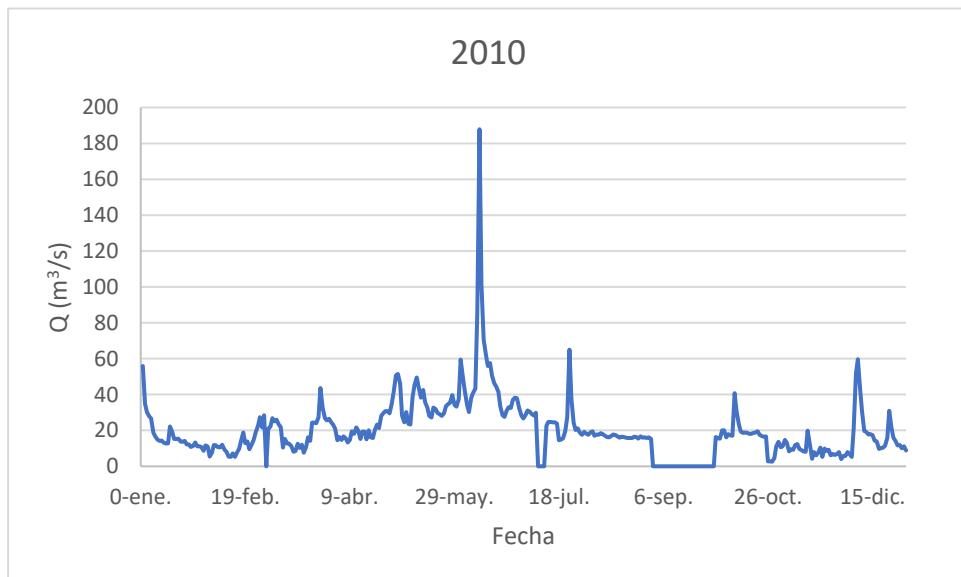


Figura 2. 175 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2010.

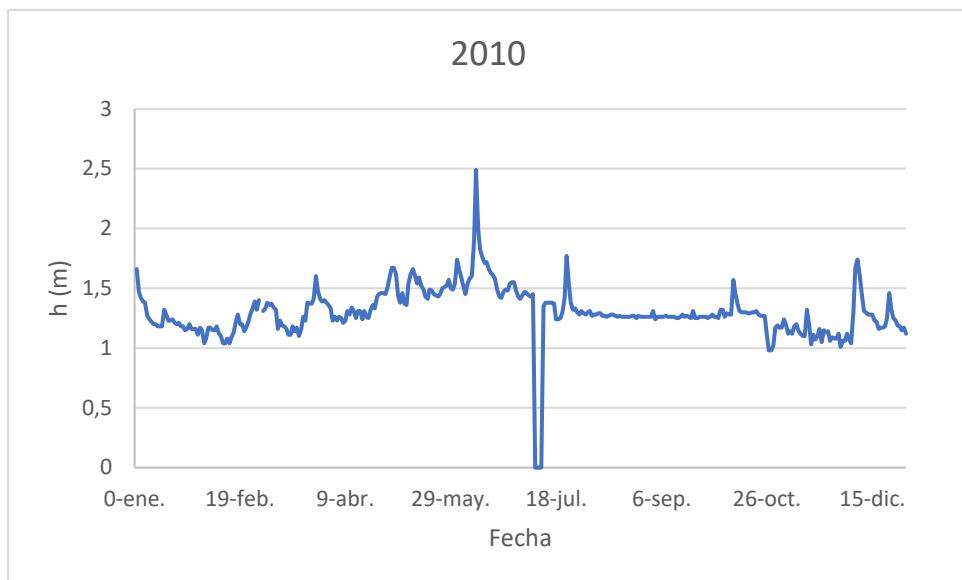


Figura 2. 176 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2010.

2.12.1.1.2 Isábena

En los datos recogidos en Capella, referentes a la altura y el caudal del río Isábena, el máximo aparece también durante el día 10 de junio, superando los $40 \text{ m}^3/\text{s}$ y más de un metro de altura. Ese día, como veremos más adelante, en el aparato de confluencia, representará el máximo anual.

Los valores mínimos de caudal y altura se tomaron durante el mes de septiembre, al circular poco más de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, con una altura de apenas 20 cm.

A diferencia de la estación de Graus, la toma de datos en el río Isábena no se vio interrumpida durante ningún día a lo largo del 2010.

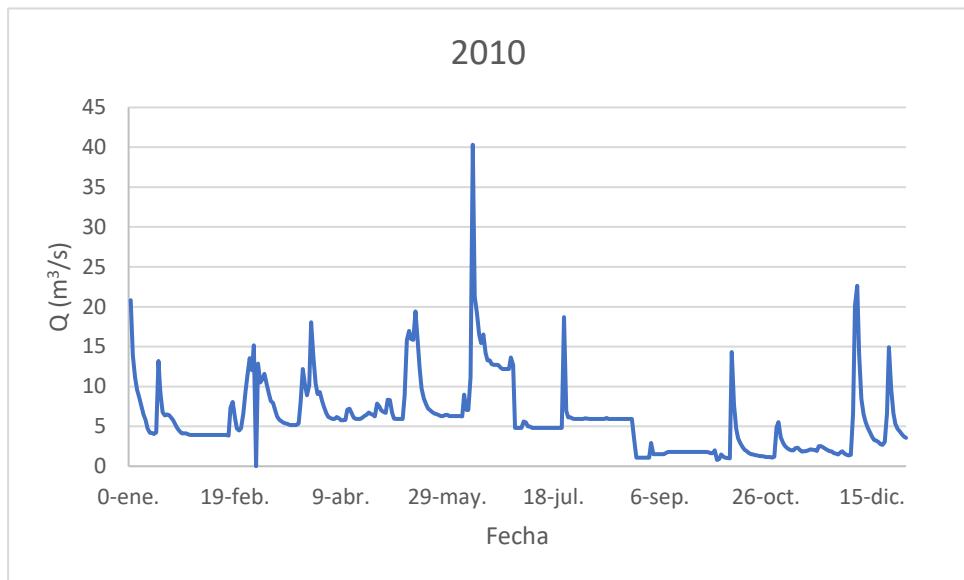


Figura 2. 177 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2010.

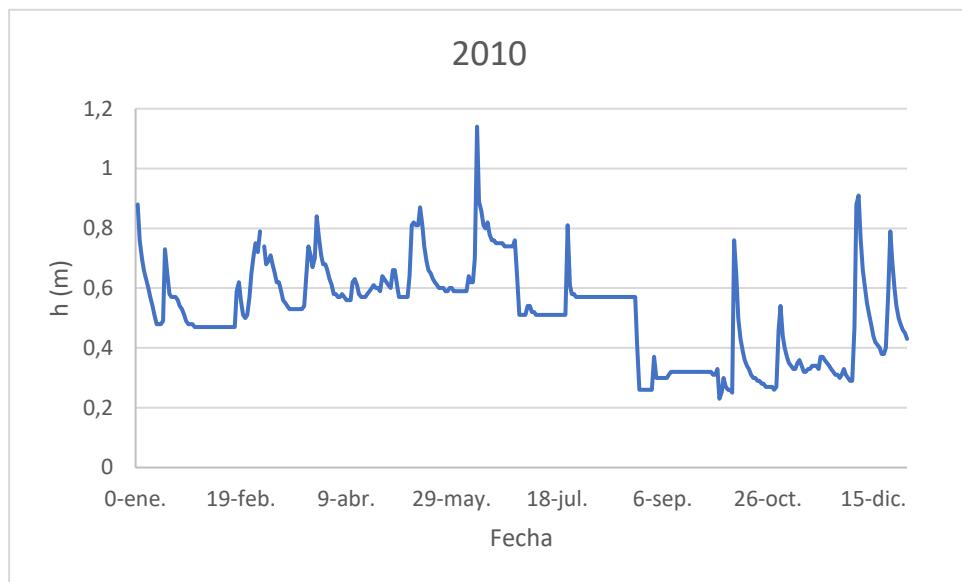


Figura 2. 178 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2010.

2.12.1.1.3 Confluencia

En este apartado de confluencia, se evalúan la suma de los registros de caudal de ambos ríos, y se representan en la figura 179.

En ella, el máximo anual, con mucha diferencia, aparece el día 10 de junio, alcanzando los 228,17 m^3/s de caudal. Este valor será tratado como una avenida, y más adelante se analizará el procedimiento que se siguió en dicha jornada.

El mínimo anual que se muestra en la figura 179 aparece durante el mes de septiembre, fruto de la interrupción en la toma de datos de caudales que tuvo lugar en la estación de aforo de Graus, por lo que en dichos días, la representación solamente muestra los valores recogidos en Capella, pertenecientes al río Isábena.

Durante el resto del año los valores oscilan entre los 25 y los 50 m³/s. Finalmente, cabe destacar que la época de abundantes lluvias, que solía aparecer a finales de la primavera no se hace muy notable durante este año 2010.

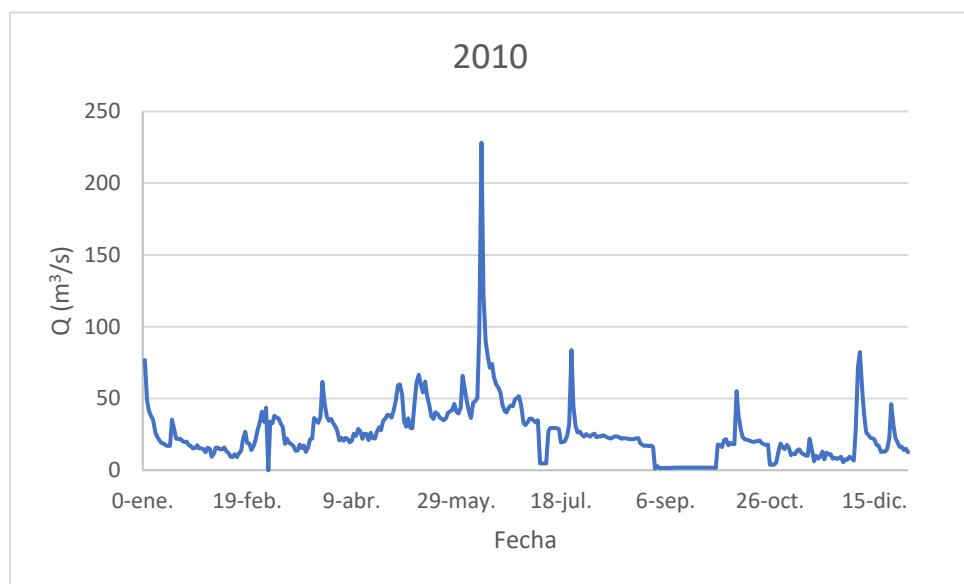


Figura 2. 179 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2010.

2.12.2 Embalse

2.12.2.1 Temperatura y precipitación

Las temperaturas recogidas durante el año 2010 toman su valor máximo durante el mes de julio, llegando hasta los 34,48°C de máxima y 17,96°C de mínima. El mes más frío fue diciembre, en el que las temperaturas bajaron de los 0°C, y las máximas no superaron los 10°C.

Las temperaturas medias durante todo el año de estudio se mantuvieron en valores positivos, llegando a superar los 25°C en verano. Este fue el periodo más caluroso y, además, durante esta época fue cuando se recogieron los menores valores de precipitación acumulada, en concreto, durante el mes de julio el valor fue de apenas 2 mm durante todo el mes.

En cambio, en la época primaveral alcanzaron los máximos anuales de precipitaciones, el valor fue de 69,4 mm, lo que representa un año más bien escaso en cuanto a precipitaciones se refiere.

Estos valores, junto con el resto de los valores del resto de meses, se muestran en la figura 180.

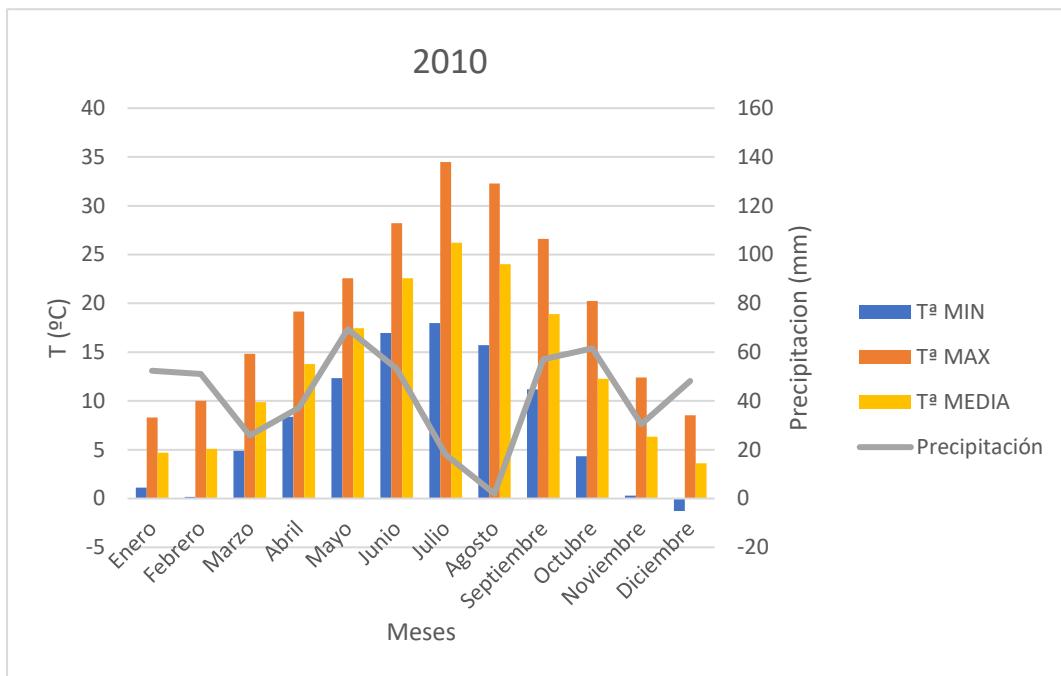


Figura 2. 180 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2010.

2.12.2.2 Entradas

El valor de las entradas registradas en el embalse fue acorde con el del caudal que circulaba por ambos ríos durante la primera mitad del año. Al llegar el mes de junio existe una diferencia de 193,68 m³/s, que puede ser achacada a la gran avenida que tuvo lugar durante este mes. Los otros dos meses en los que se registraron las mayores diferencias fueron agosto y septiembre, este último fruto de la falta de datos en la estación de Graus, la cual ya hemos comentado con anterioridad.

El caudal máximo que conformó la entrada de agua al embalse se registró en junio, con un caudal acumulado de casi 1700 m³/s. Por contra, durante el mes de septiembre éste fue tan solo de 243 m³/s, lo que supone un valor 7 veces inferior al máximo anual registrado.

La escasa influencia de la época de lluvias otoñales se refleja en estas entradas, ya que, durante esta estación, las entradas no superaron los $500 \text{ m}^3/\text{s}$, hasta llegar al mes de diciembre, para acabar el año con $738 \text{ m}^3/\text{s}$, un valor muy similar al de comienzo del mismo, que fue de $743 \text{ m}^3/\text{s}$.

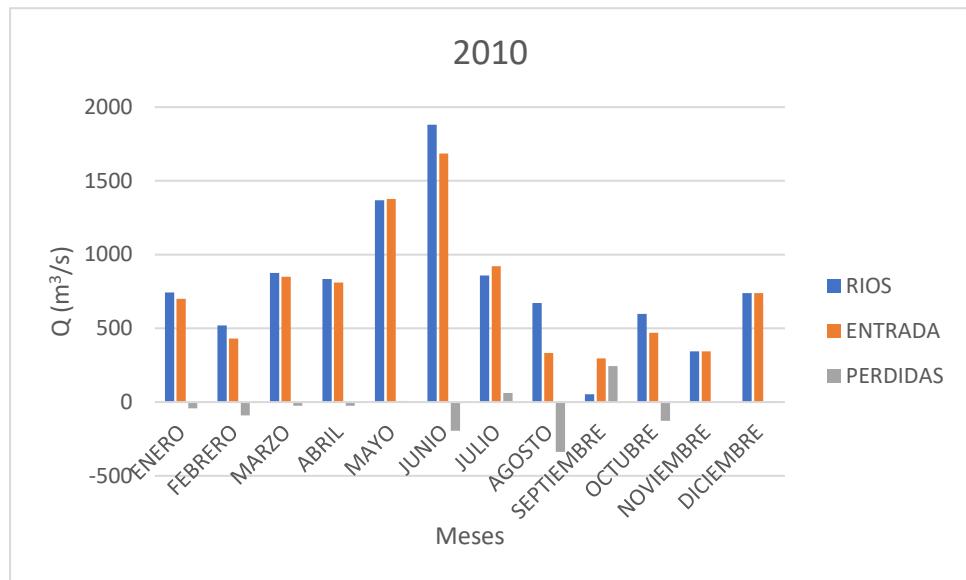


Figura 2. 181 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2010.

2.12.2.3 Demanda

La demanda mayoritaria de agua fue, como es habitual, la destinada a la central, para la producción de energía hidroeléctrica, estando muy cerca de su máximo durante los meses de primavera, coincidiendo con la época de mayores aportaciones y en la que los valores de las salidas, tanto de fondo, como los aliviaderos alcanzaron los valores máximos anuales, para hacer frente a la avenida del día 10 de junio, como veremos a continuación en la figura 183.

En la figura 182 se muestra este reparto del caudal de salida. Solamente durante el mes de octubre por el conducto de la central circuló un caudal menor de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Por los aliviaderos, el único mes en el que se superó esta cantidad fue en junio.

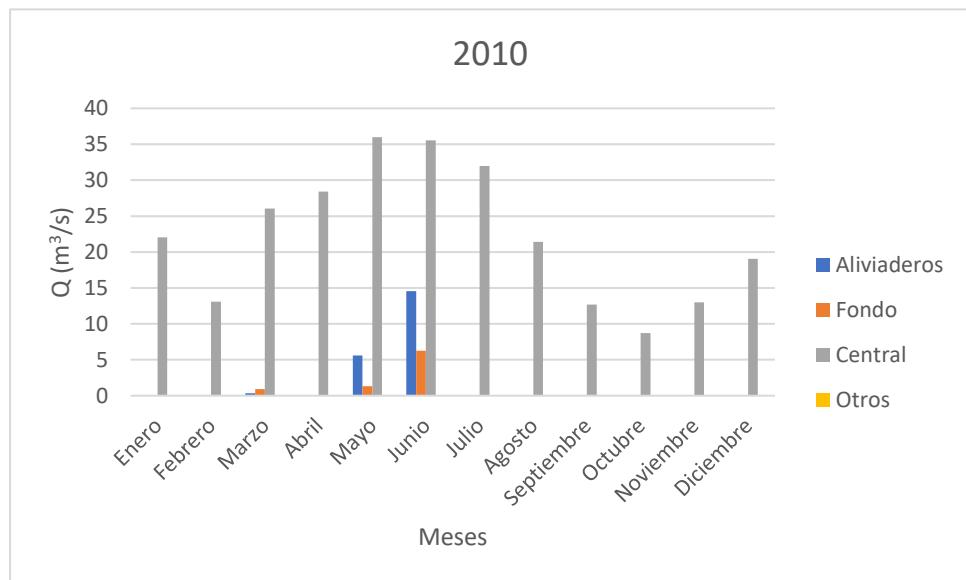


Figura 2. 182 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2010.

La gestión de las salidas de agua durante la avenida de principios de junio se realizó como muestra la figura 183. En ella se detalla el caudal que circuló por las distintas salidas de la presa durante los días cercanos a la fecha señalada.

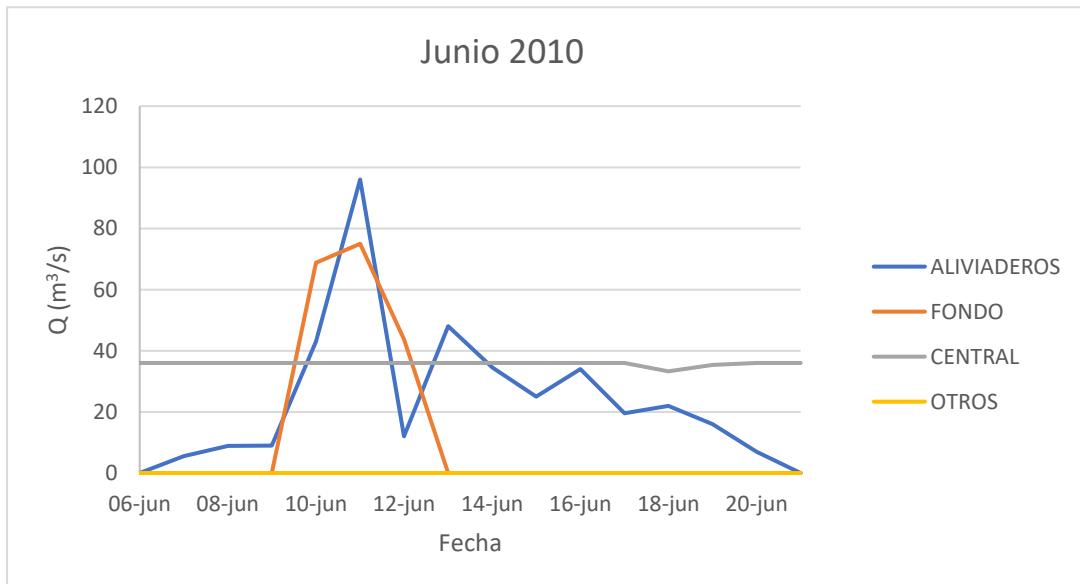


Figura 2. 183 Evolución de la salida de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del mes de junio del año 2010.

El día crítico en el que se registró un caudal de entrada superior a los 200 m³/s ocurrió el día 10 de junio. Se aprecia como en dicho día las salidas de fondo y los aliviaderos crecen hasta

circular unos caudales de $68,75 \text{ m}^3/\text{s}$ y $43 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente, para desalojar la gran cantidad de agua entrante. La suma de estos valores es todavía muy inferior a los $200 \text{ m}^3/\text{s}$ entrantes, por lo que al día siguiente las salidas no solo se tuvieron que mantener, sino que se incrementaron hasta los $75 \text{ m}^3/\text{s}$ para las de fondo y $96 \text{ m}^3/\text{s}$ por los aliviaderos.

Aunque la avenida significativa tuvo lugar el día 10, por los aliviaderos siguieron fluyendo unos valores superiores a $20 \text{ m}^3/\text{s}$ debido a la necesidad de desalojo de una mayor cantidad de agua, puesto por la salida de la central ya estaban circulando los $36 \text{ m}^3/\text{s}$ que conforman el máximo permitido en cuanto al aprovechamiento de agua para la generación de energía.

2.12.2.4 Canal/Río

La tónica general, que se viene repitiendo a lo largo de los años, es la que se aprecia también en la figura 184. En ella vemos que, a partir de la época primaveral, los valores de caudal registrados en el canal van creciendo mes a mes, para luego volver a descender en otoño, época en la que progresivamente aumenta el caudal del río, hasta que éste disminuye nuevamente al llegar la primavera.

Durante el mes de junio, el caudal que circuló por el río Ésera, aguas abajo de la presa, fue el máximo registrado con un valor de $28,26 \text{ m}^3/\text{s}$, debido a la gran cantidad de agua desembalsada por los aliviaderos, fruto de la gestión de avenidas. Al mes siguiente, este valor descendió drásticamente hasta los $2,43 \text{ m}^3/\text{s}$, puesto que la mayor parte del agua fue destinada al canal, casi $30 \text{ m}^3/\text{s}$, siguiendo el ciclo explicado.

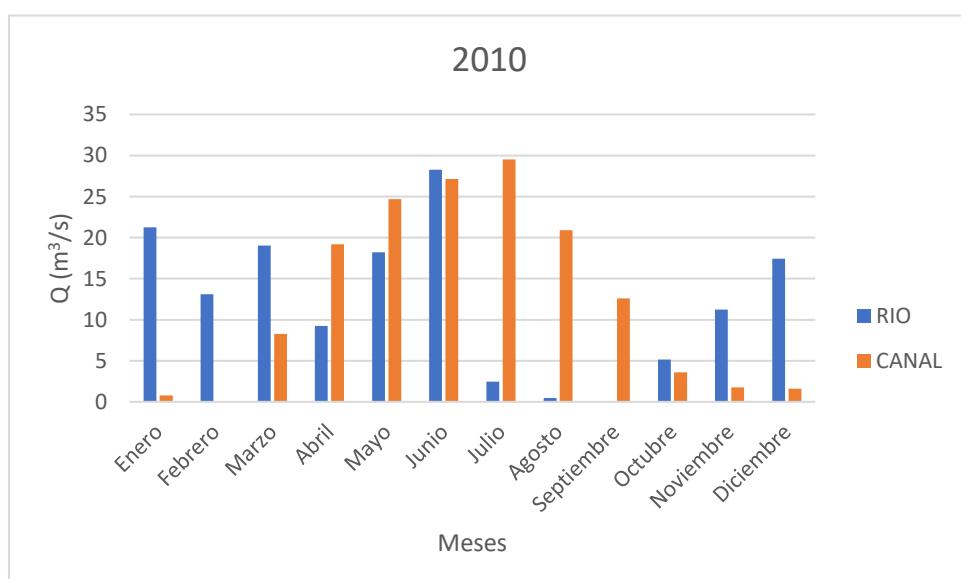


Figura 2. 184 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2010.

2.12.2.5 Producción hidroeléctrica

La producción de energía en la central sigue un camino paralelo a las salidas registradas en el pantano. Esta se hace máxima durante los meses de junio y julio, con cerca de los 36 m³/s máximos que se pueden turbinar y la potencia obtenida fue de 495209,67 Kwh. Al comenzar la época de otoño los valores de caudal destinados a la central descienden, y con ello la potencia generada, hasta el mínimo anual registrado en octubre, con una potencia de 116690,32 Kwh a partir de un caudal de 8,72 m³/s. Los valores de caudal vuelven a ascender hasta el mes de diciembre cuando alcanzaron casi los 20 m³/s.

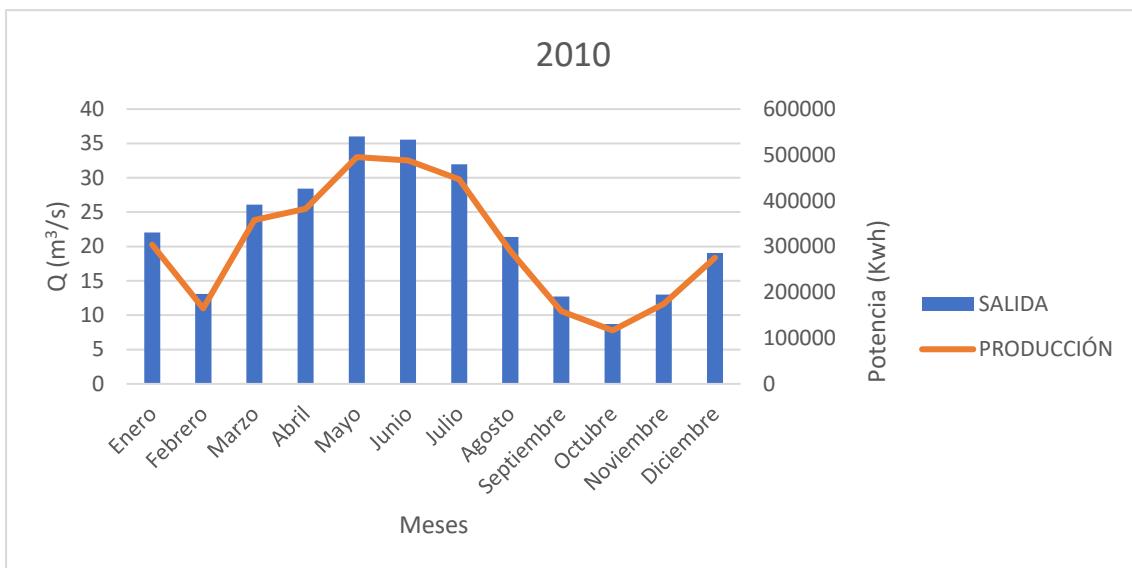


Figura 2. 185 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2010.

2.12.2.6 Capacidad de almacenamiento

Por último, si analizamos el agua contenida en el embalse, la figura 186 nos muestra que el volumen embalsado fue superior a los 70 Hm³ durante los primeros siete meses del año. El pantano estuvo cerca de su valor máximo durante este periodo y no disminuyó la cantidad de agua ya que en todo momento las salidas se adecuaron a las entradas.

Esto fue así hasta el mes de agosto, cuando los caudales de salida superaron a las entradas haciendo que el volumen contenido en el pantano descendiera de los 70 Hm³ por primera vez

en el año 2010. En septiembre se registró un mínimo anual con $41,66 \text{ Hm}^3$, para acabar el año con poco más de 50 Hm^3 .

Con todo esto se puede decir que el año 2010 fue un buen año, puesto que el embalse logró mantener el valor de volumen estable y cerca de su máximo durante la mayor parte del año, sin excesivas oscilaciones, adecuando para ello los caudales de salida y entrada.

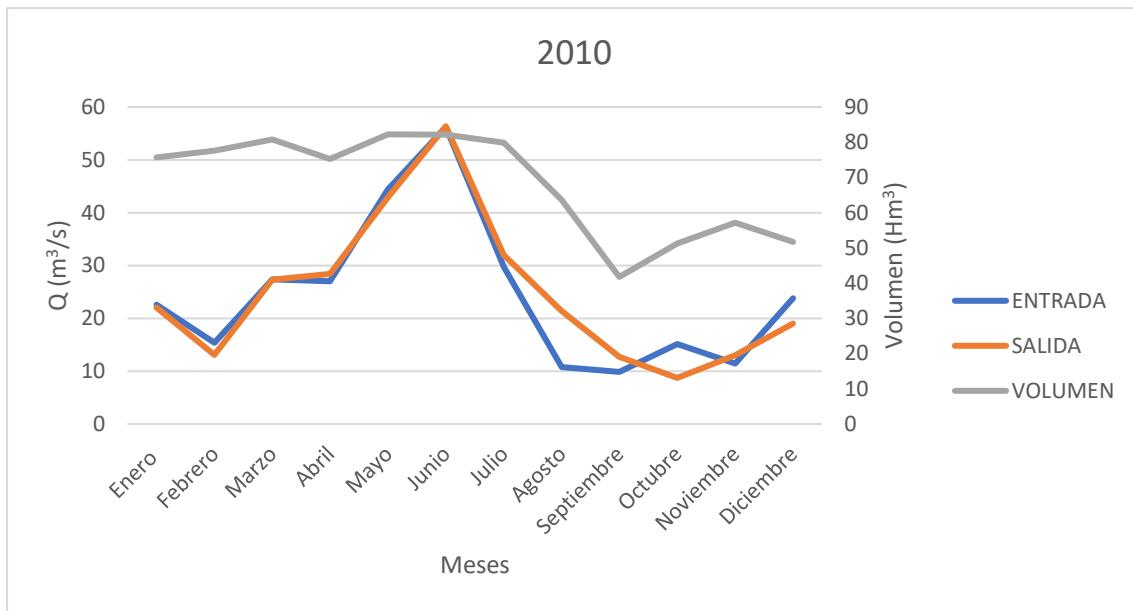


Figura 2. 186 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2010.

2.13 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2011.

2.13.1 Cuenca

2.13.1.1 Aportaciones de la cuenca al embalse

2.13.1.1.1 Ésera

Los datos registrados en la estación de aforo de Eriste se muestran en las figuras 187 y 188.

En ellas destacan los dos máximos anuales, uno a principios de mayo fruto del deshielo nival, y el segundo a finales de octubre a causa de las abundantes precipitaciones que se dan en la época otoñal. Los valores de ambos máximos superan los $25 \text{ m}^3/\text{s}$, en concreto el 8 de mayo se recogió un valor de $27,54 \text{ m}^3/\text{s}$ y una altura de 1,07 m. En el segundo máximo el caudal fue de $30,96 \text{ m}^3/\text{s}$, y la altura asociada a éste de 0,99 m, lo que nos da un caudal superior, pero una altura menor.

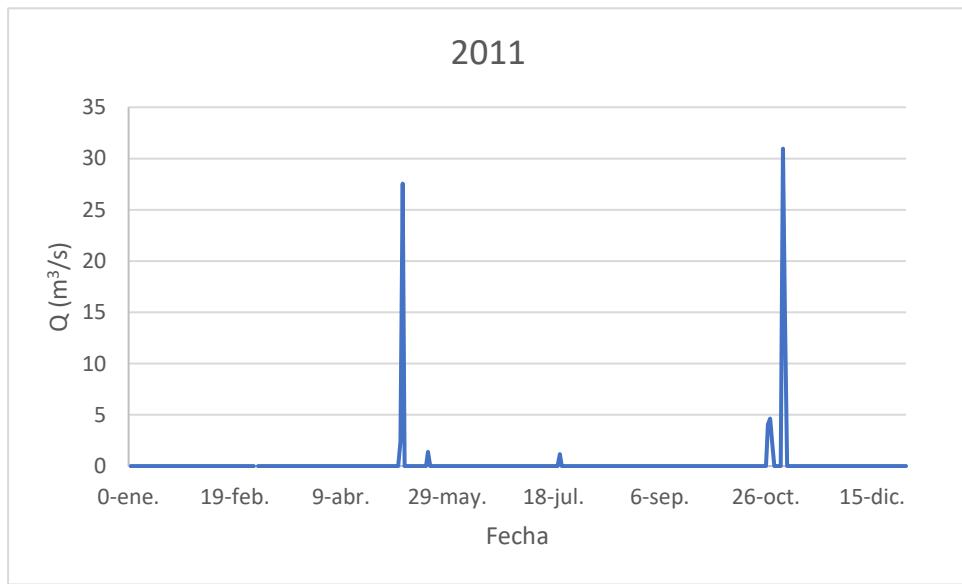


Figura 2. 187 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2011.



Figura 2. 188 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2011.

En la segunda estación de aforo los valores de caudal que circulan por el río durante la mayor parte del año han ascendido hasta situarse en torno a los $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Además, se comienza a notar con mayor influencia la primera época de crecida del río, aumentando el máximo situado en ella hasta los $60,64 \text{ m}^3/\text{s}$.

En la segunda época de mayor caudal, solamente se aprecia una crecida significativa del máximo señalado anteriormente, llegando a alcanzar los $90,39 \text{ m}^3/\text{s}$, pero a diferencia de la época anterior, éste se encuentra muy aislado.

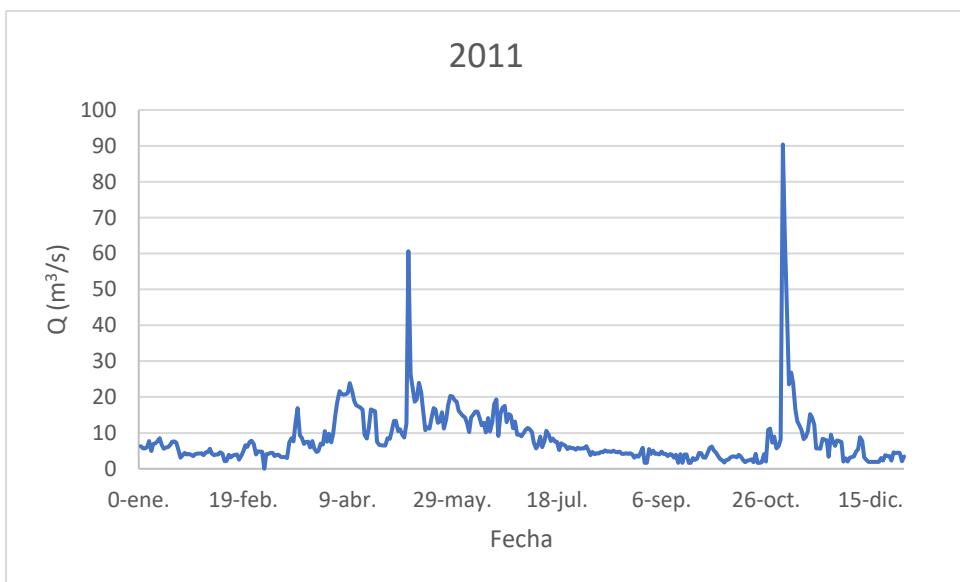


Figura 2. 189 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2011.

Las medidas del nivel del río recogidas en Campo nos muestran que la medida mínima se situó en septiembre, cuando la altura fue de apenas 0,3 m, en cambio en los máximos señalados, tomó valores por encima de 1 metro. Se aprecia también una gran oscilación del nivel de agua, y el crecimiento del río a causa del deshielo que le hace crecer medio metro con respecto a las medidas tomadas en Eriste.

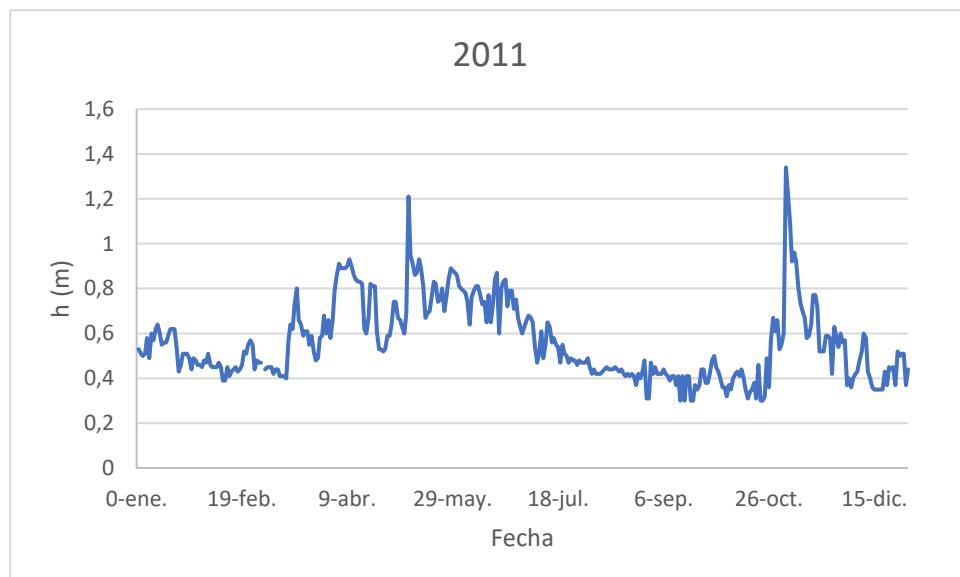


Figura 2. 190 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2011.

La última estación de aforo que recoge los datos del río Ésera y se encuentra en Graus recoge las medidas que se representan en las figuras 191 y 192:

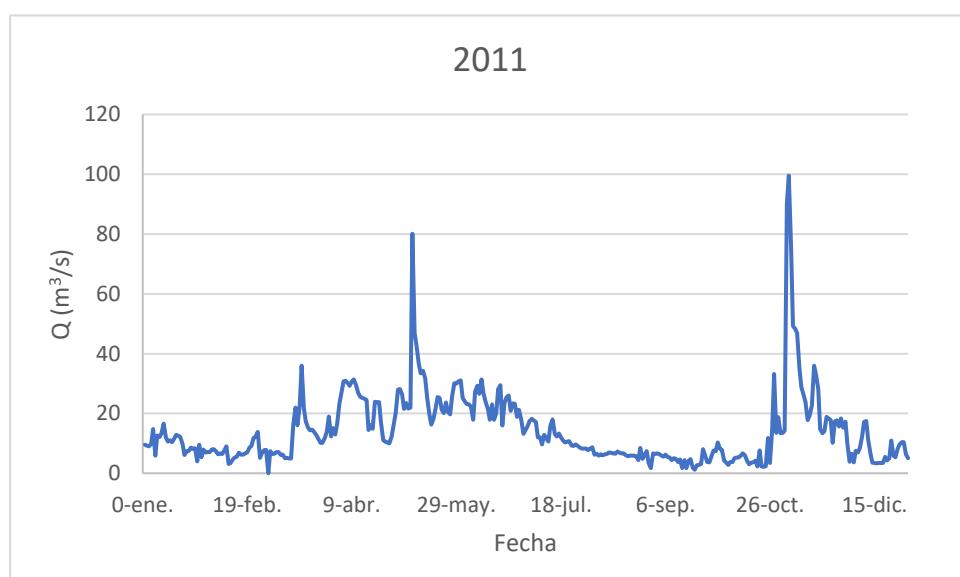


Figura 2. 191 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2011.



Figura 2. 192 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2011.

Tanto el caudal como la altura de agua han crecido en el transcurso entre ambas estaciones. Los nuevos máximos recogidos cerca del pantano se sitúan en $80,07 \text{ m}^3/\text{s}$ y $99,54 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que supone un aumento de 20 y 10 m^3/s con respecto a las medidas recogidas en Campo. La altura creció también hasta los 1,87 m y 1,92 m, creciendo más de 50 cm, con respecto a las anteriores medidas.

El resto del año, el caudal mínimo se mantuvo en valores similares a los anteriormente citados, pero la altura sí que experimentó una crecida de en torno a 0,5 m, similar a las dos jornadas de máximos niveles registrados.

En cuanto a la gestión de avenidas que estamos evaluando, el dato recogido a principios de noviembre se sitúa por debajo de los $100 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el río Isábena será quien concluya si se trata dicho caudal como una avenida.

2.13.1.1.2 Isábena

Los caudales recogidos en Capella nos muestran al igual que en el río Ésera, que el máximo anual se da a comienzos de noviembre con un caudal de $28,11 \text{ m}^3/\text{s}$ y una altura de 0,99 m. El segundo máximo anual se traslada en esta ocasión a mediados de marzo, concretamente al día 16 cuando el caudal registrado fue de $18,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Al igual que en el Ésera, el de mediados de

noviembre es fruto de las abundantes precipitaciones y en cambio el que aparece en el mes de marzo es fruto del deshielo nival.

Los mínimos registrados se dieron a finales de septiembre, cuando apenas circularon $0,47 \text{ m}^3/\text{s}$ por el río con una altura correspondiente de 0,21 m.

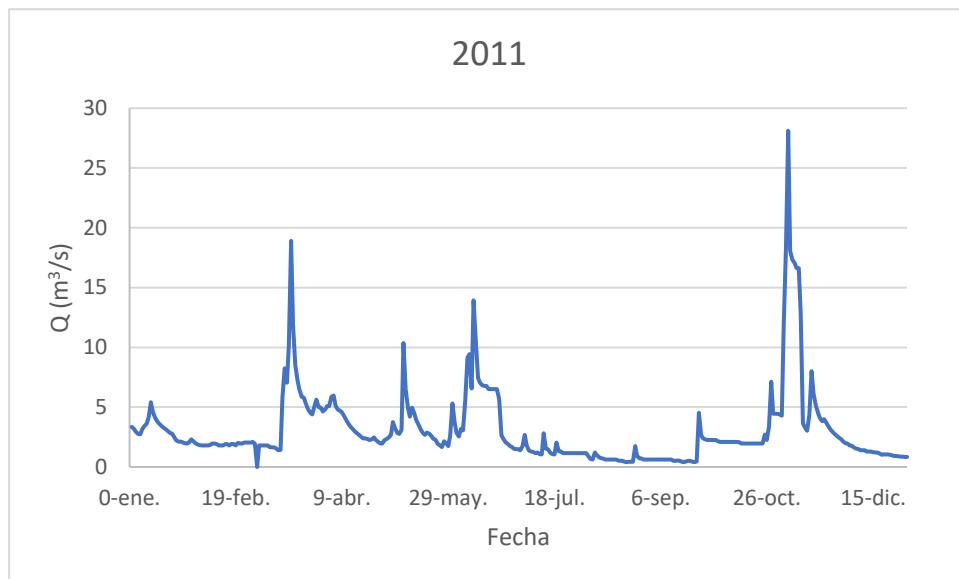


Figura 2. 193 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2011.

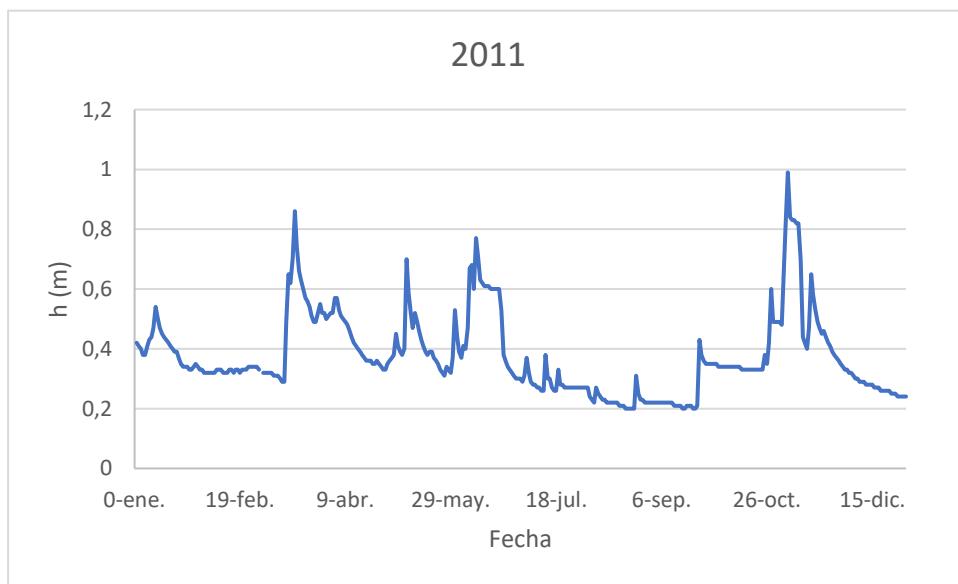


Figura 2. 194 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2011.

2.13.1.1.3 Confluencia

Una vez analizados los ríos, pasamos a calcular el total de agua que circula por ambos, obteniendo como resultado la figura 195.

En ella vemos claramente las dos épocas de mayores aportaciones. En la primera, el máximo se situó en $90,43 \text{ m}^3/\text{s}$ el día 8 de mayo. Al llegar el verano el caudal disminuye por debajo de los $5 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta que en primavera se registra el máximo anual de $117,88 \text{ m}^3/\text{s}$.

Aunque este dato de caudal es mucho mayor que el resto de los recogidos, no lo consideraremos como una avenida puesto que, como veremos más adelante, tanto las salidas de fondo como los aliviaderos tomaron valores normales de caudales en el mes de noviembre.

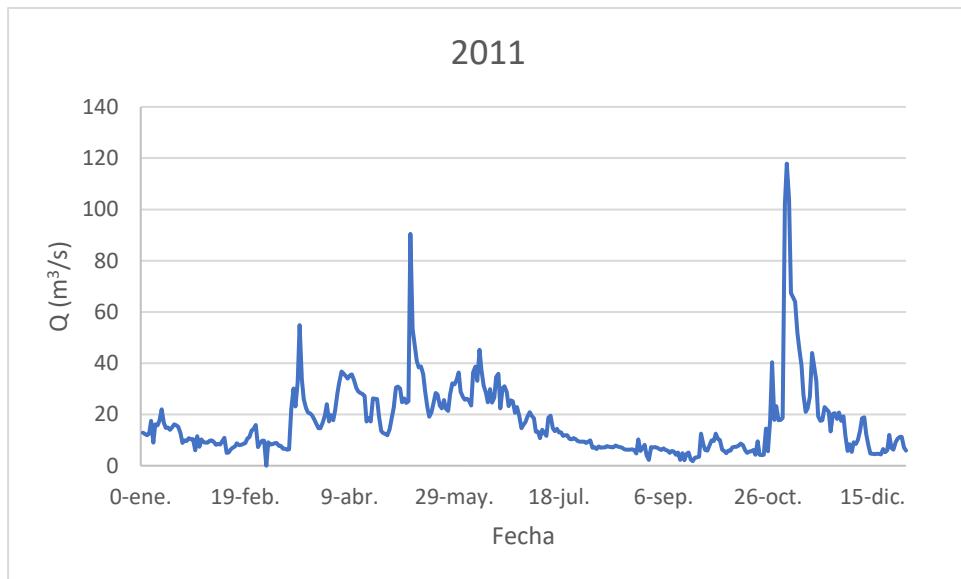


Figura 2. 195 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2011.

2.13.2 Embalse

2.13.2.1 Temperatura y precipitación

Las temperaturas, así como las precipitaciones recogidas en las instalaciones del embalse se muestran en la figura 196.

Si comenzamos analizando las temperaturas, tenemos que el año 2011 fue un año con un verano cálido: en agosto se superaron los 35ºC de máxima. Además, las temperaturas medias estuvieron por encima de los 20ºC desde el mes de mayo hasta septiembre a causa de las máximas registradas que superaron los 30ºC y mínimas de no más de 10ºC.

En cambio, en los meses de invierno, concretamente en enero y diciembre, las temperaturas mínimas descendieron por debajo de los 0ºC, y las máximas no superaron los 10ºC, dando unas temperaturas medias en ambos meses menores a los 5ºC.

En cuanto a las precipitaciones, tenemos un año en el que en ningún mes se superó la barrera de los 80 mm acumulados. En junio se recogieron las máximas, con un valor de 74,4 mm y agosto conformó el mes más seco del 2011 con tan solo 11,1 mm.

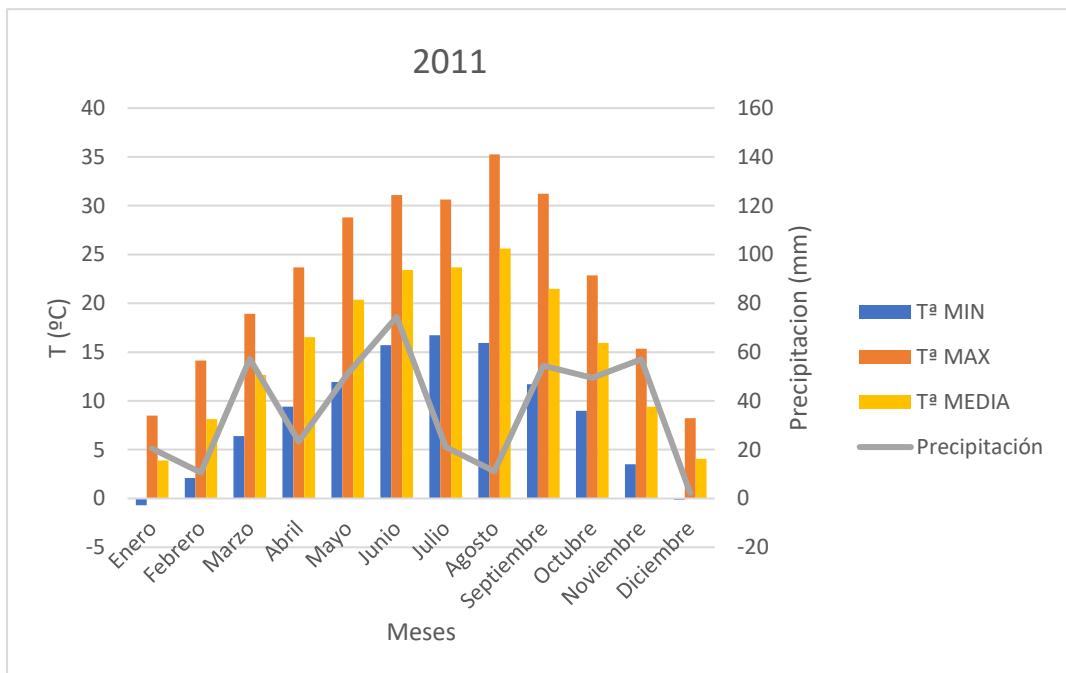


Figura 2. 196 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2011.

2.13.2.2 Entradas

La tónica general durante este año fue que las entradas registradas en el pantano fueron menores que las medidas obtenidas en los ríos, como se muestra en la figura 197, al tener la mayoría de las pérdidas mensuales valores negativos.

El mes de noviembre fue en el que más cantidad de agua se recogió y, además, en el que las pérdidas fueron mayores hasta llegar a los 300 m³/s de diferencia.

El segundo mes de mayores aportaciones fue mayo con un valor de 841,09 m³/s registrados en el pantano y, curiosamente, fue también el segundo mes en el que las pérdidas fueron mayores. El caudal que circuló por los ríos en dicho mes fue de 981,81 m³/s, lo que nos da un valor de pérdidas de -144,72 m³/s.

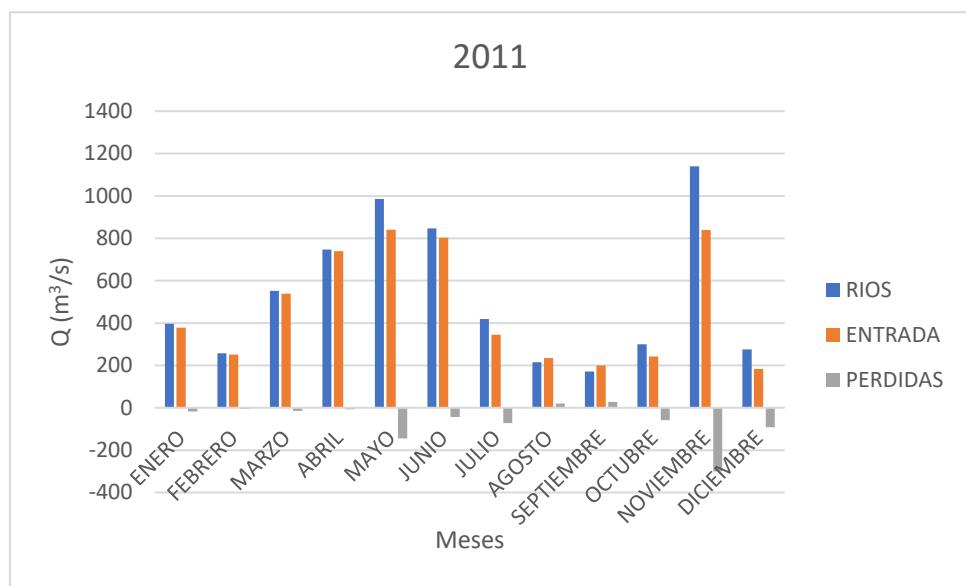


Figura 2. 197 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2011.

2.13.2.3 Demanda

La demanda de agua tomó un camino similar a las entradas. La mayor parte del agua desembalsada fue destinada a la producción de energía, como muestra el gráfico circular de la figura 199, en el que el 98% del caudal que abandonó el pantano tuvo esa finalidad. El 2% restante se repartió en partes iguales entre los aliviaderos y otros gastos, como fugas o el caudal ecológico. El mes de octubre fue el de menor aprovechamiento. El caudal destinado a la central no superó los 2 m³/s, e incluso el valor de las pérdidas estuvo cerca de superarlo ya que éste fue de 1,76 m³/s.

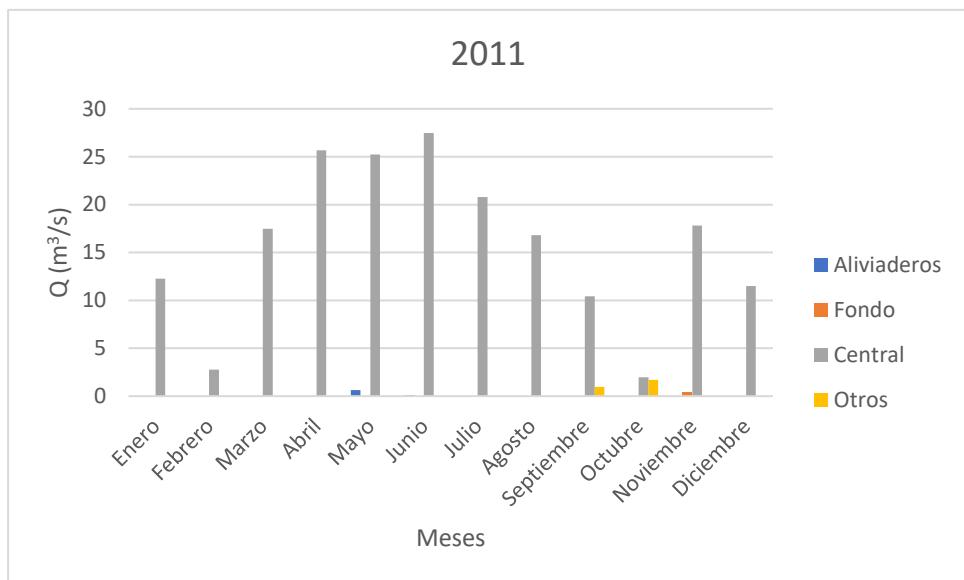


Figura 2. 198 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2011.

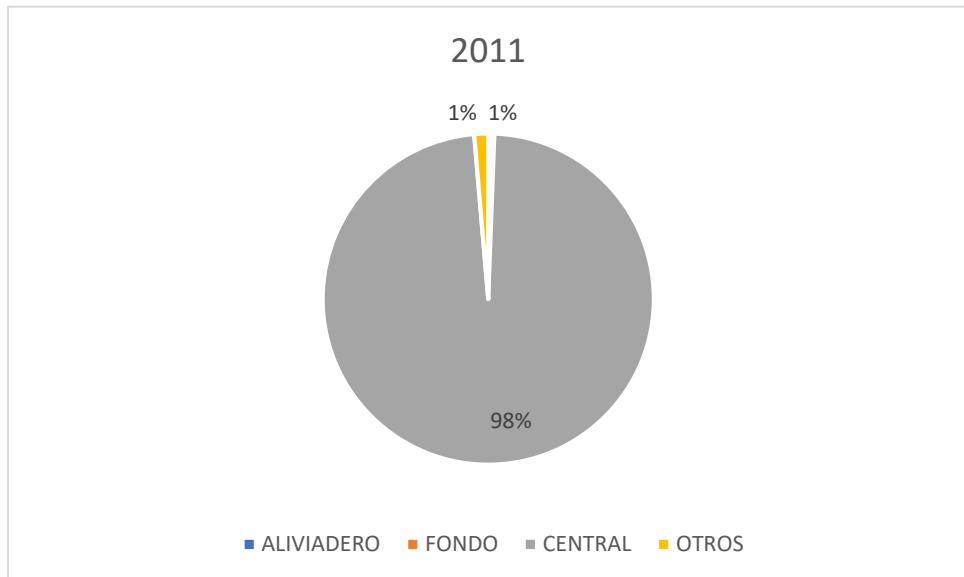


Figura 2. 199 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2011.

2.13.2.4 Canal/Río

La segunda distinción que se realiza a los caudales que salen del pantano se muestra en la figura 200. En ella se aprecia que, durante los meses de marzo a octubre, el caudal destinado al canal de Aragón Y Cataluña es mucho mayor que el que circula por el pantano, llegando a tomar valores por encima de los 20 m³/s, durante los cuatro meses de abril a julio. El resto del

año se deja circular una mayor cantidad de agua por el río disminuyendo el caudal destinado al canal.

En el mes de noviembre fue cuando una mayor cantidad de agua se dejó fluir por el río, llegando a superar los $15 \text{ m}^3/\text{s}$, seguido por el mes de diciembre con apenas $10 \text{ m}^3/\text{s}$, para acabar el año con unos niveles tanto por el canal como el río similares a los del mes de enero cuando se daba comienzo al año 2011.

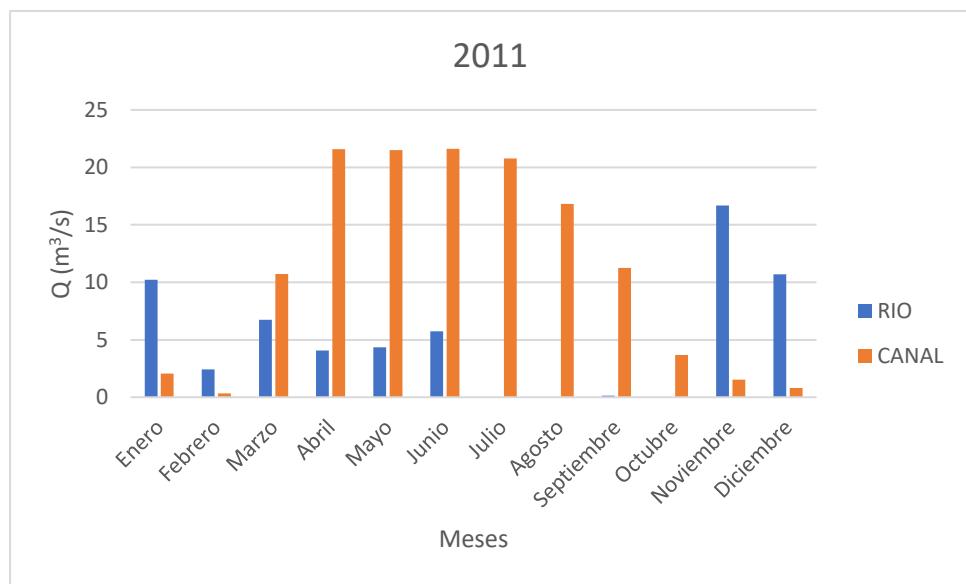


Figura 2. 200 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2011.

2.13.2.5 Producción hidroeléctrica

Lo destacable de la producción de energía del año 2011 es la disminución que tuvo lugar entre los meses de junio y octubre, cuando el caudal, así como la potencia generada, pasaron del máximo anual de $27,47 \text{ m}^3/\text{s}$ y $376136,66 \text{ Kwh}$, hasta el mínimo registrado de $14964,51 \text{ Kwh}$ y $1,97 \text{ m}^3/\text{s}$. Esto fue debido a la disminución de los caudales de entrada durante dicho periodo, lo que repercutió en las salidas. Al mes siguiente, en noviembre, un nuevo aumento de las entradas causó un nuevo ascenso de la producción hasta los 240960 Kwh , a causa de un caudal de $17,79 \text{ m}^3/\text{s}$.

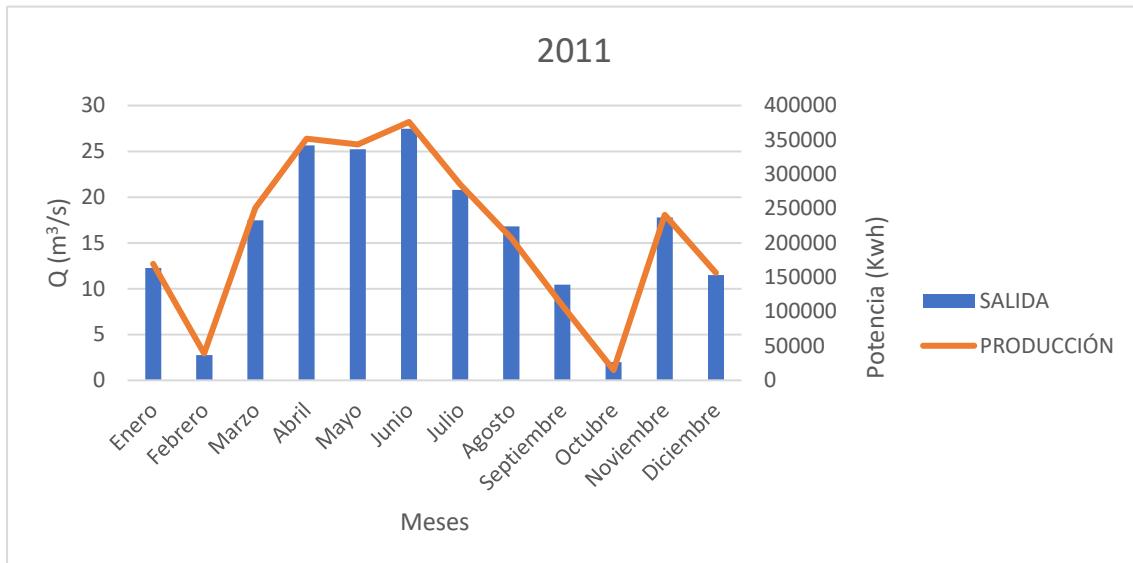


Figura 2. 201. Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2011.

2.13.2.6 Capacidad de almacenamiento

El volumen de agua contenido en el pantano durante el año 2011 se mantuvo estable en torno a un valor de 75 Hm³ hasta el mes de junio, a causa de la buena adecuación de las salidas en relación con las entradas, que no fueron para nada escasas, a excepción del mes de febrero.

A partir de junio las entradas descendieron, pero las salidas se mantuvieron en valores superiores hasta el mes de octubre, lo que hizo que el volumen descendiera hasta los 16,04 Hm³ en dicho mes. El repunte de las entradas sufrido durante noviembre causó un aumento del agua contenida, aunque la nueva recaída sufrida en el último mes del año dejó el pantano con un escaso volumen de 26,25 Hm³.

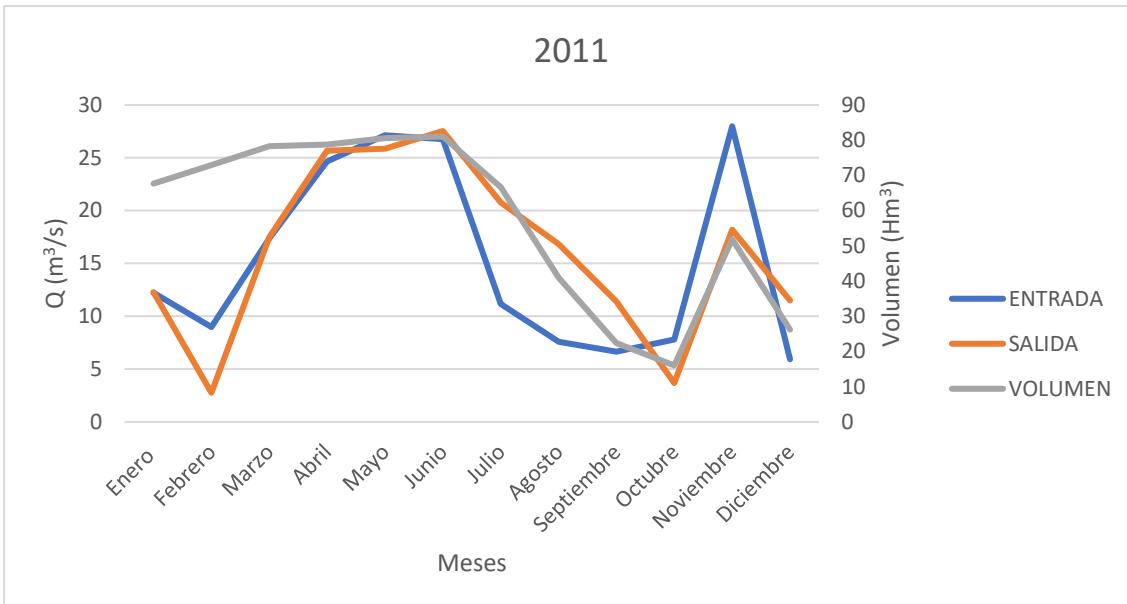


Figura 2. 202 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2011.

2.14 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2012.

2.14.1 Cuenca

2.14.1.1 Aportaciones de la cuenca al embalse

2.14.1.1.1 Ésera

Atendiendo a los datos mostrados en las figuras 203 y 204 que representan los valores de caudal y altura recogidos en la estación de aforo de Eriste durante el año 2012, vemos que el máximo se encuentra localizado a finales de octubre. En particular, los datos recogidos durante el día 22 indican un caudal de 113,1 m^3/s y una altura de 2,38 m. Estos valores son muy superiores a los que habitualmente se recogen en la central, pues el segundo máximo anual es de tan solo 15,46 m^3/s , y durante el resto del año, el caudal que circula es próximo a cero. De la misma forma, la altura que predomina durante la mayor parte del año está rondando los 20 cm, valor muy por debajo de los 2,38 m que conforman el máximo anual.

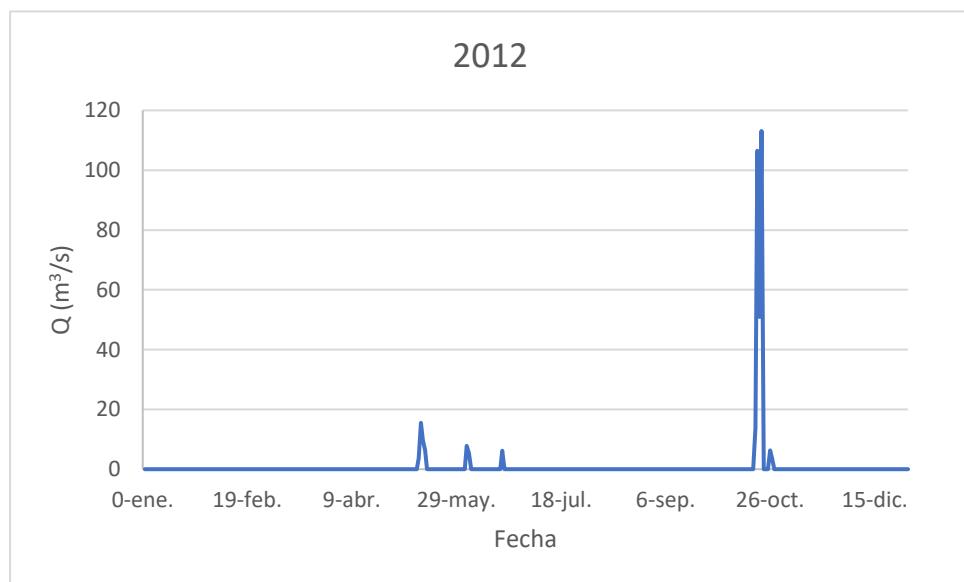


Figura 2. 203. Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2012.

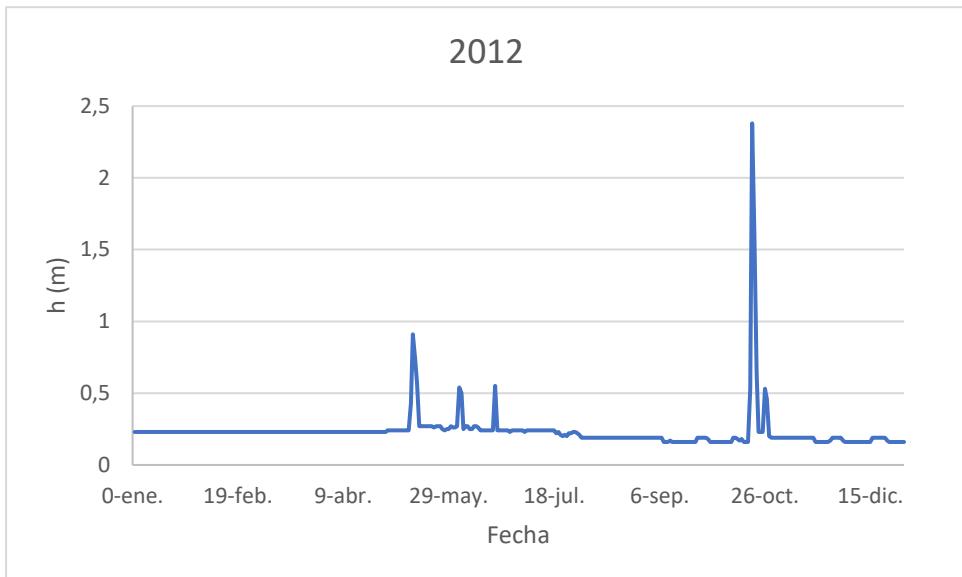


Figura 2. 204 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2012.

En la segunda estación de toma de datos del río Ésera, el día destacado sigue perteneciendo al mes de octubre, pero se ha adelantado dos días. En la figura 205 vemos que el caudal recogido el día 20 de octubre fue de 160,04 m³/s, lo que supone un aumento cercano a los 50 m³/s, en comparación con el máximo de la estación anterior. El resto del año también sufrió un aumento de caudal, aunque éste se hizo más significativo en la época primaveral, cuando los valores recogidos estuvieron alrededor de los 15 m³/s.

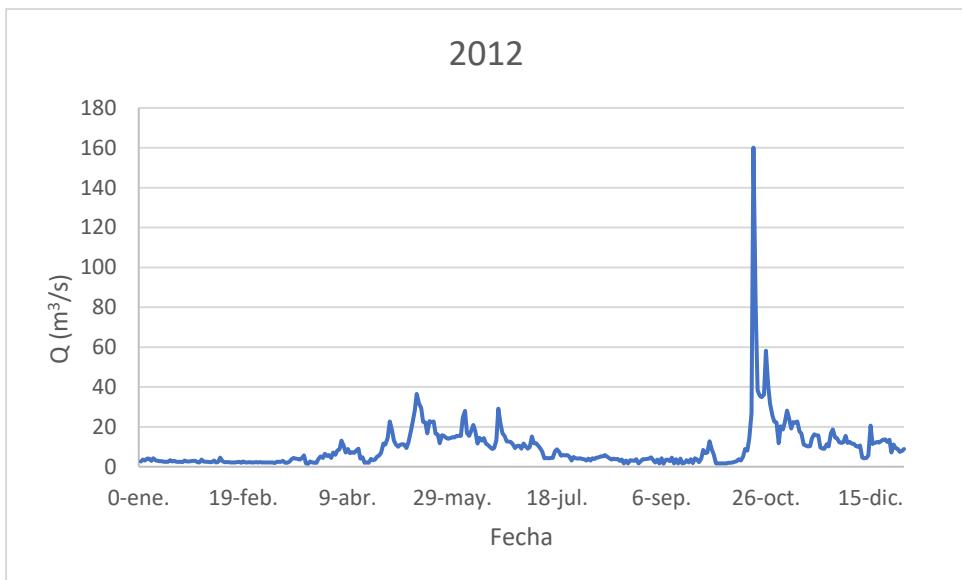


Figura 2. 205 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2012.

La altura a su vez también aumentó en la mayor parte del año, tomando valores entre 0,3 y 0,4 m. Este aumento de la altura fue muy significativo en primavera, cuando en esta segunda estación se recogieron valores cercanos a los 80 cm, en comparación con los 0,3 m que se recogieron en Eriste. El máximo anual se desplazó de la misma manera que hemos visto en los datos de caudal y, además, el valor de altura disminuyó en la estación de Campo hasta situarse en los 1,74 m.

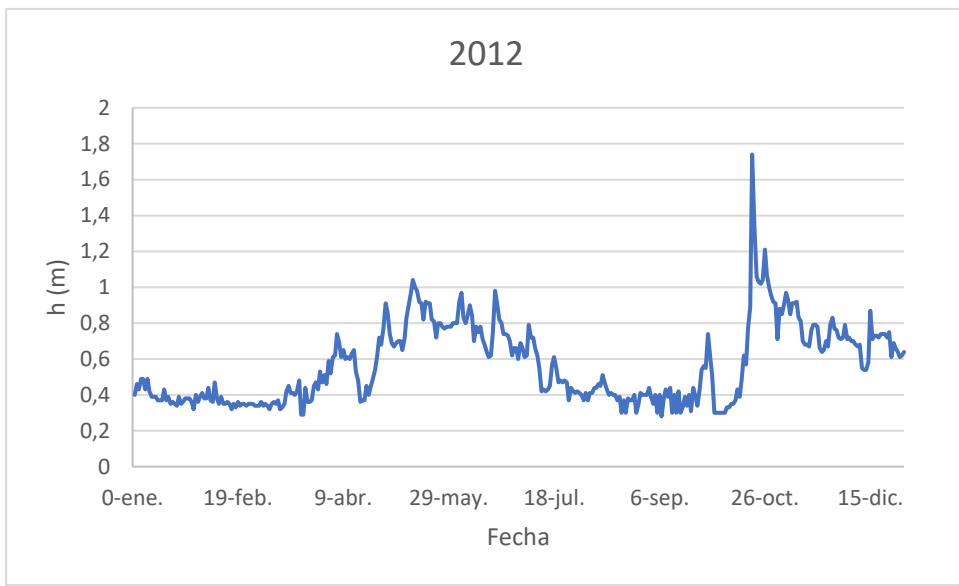


Figura 2. 206 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2012.

Los valores del caudal medido a lo largo del año 2012 en Graus se muestran en la figura 207. En ella el máximo anual sigue apareciendo el día 20 de octubre. El valor recogido fue muy similar al de la estación de Campo, en concreto el caudal que circuló dicho día fue de 158,58 m³/s, por lo que no experimentó ningún aumento con respecto al valor anterior.

En la época primaveral, los valores estuvieron entre los 20 m³/s y los 54,27 m³/s, que fue la medida máxima recogida durante dicho periodo.

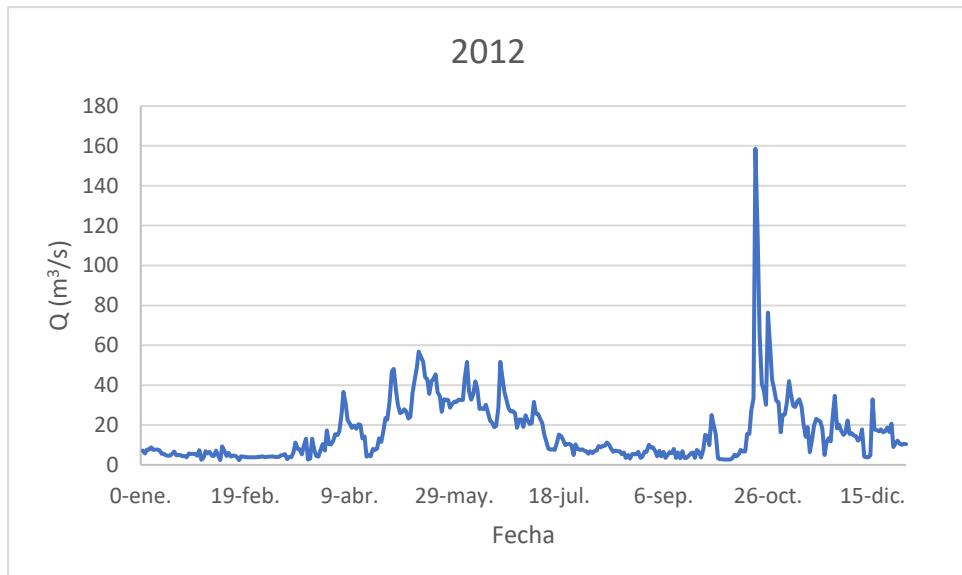


Figura 2. 207 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2012.

El nivel del río a su paso por Graus apenas bajó de 1 m durante todo el año 2012. El máximo situado el día 20 de octubre alcanzó un valor de 2,3 m, creciendo así más de 50 cm con respecto a la estación de aforo anterior. Una vez más, durante la primavera los valores máximos obtenidos fueron de 1,57 m.

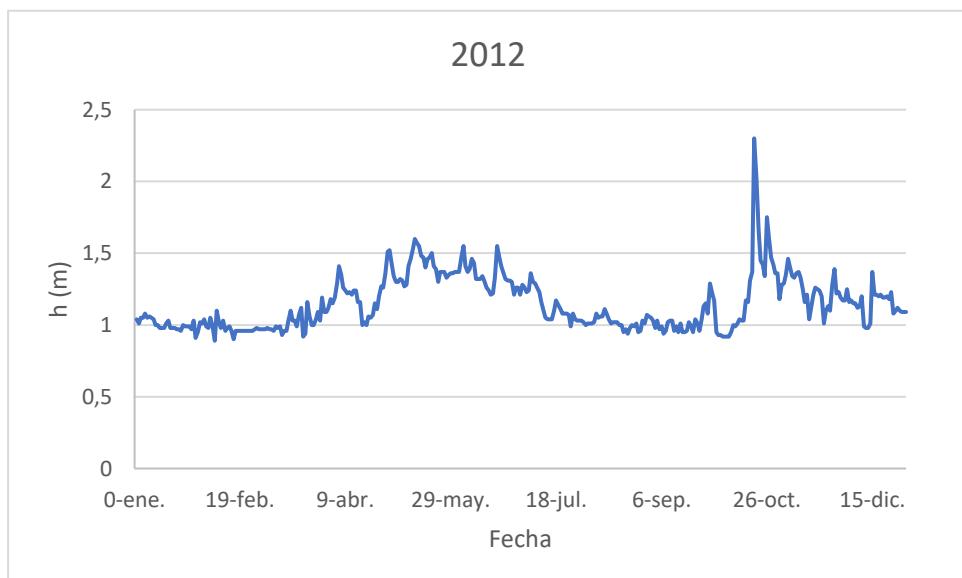


Figura 2. 208 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2012.

2.14.1.1.2 Isábena

Por otro lado, en la estación de Capella, se recogieron los siguientes datos de caudal y altura del río Isábena a lo largo del año 2012.

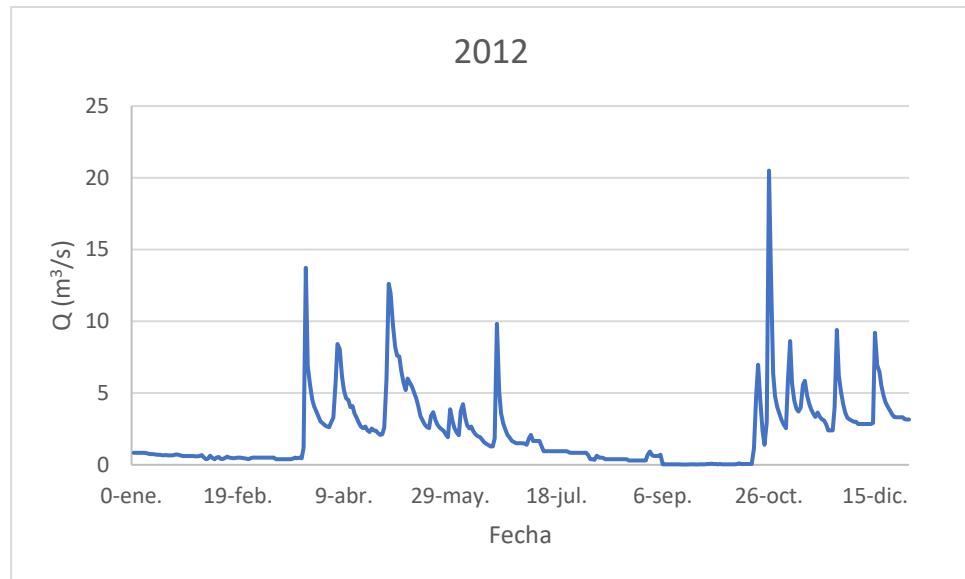


Figura 2. 209 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2012.

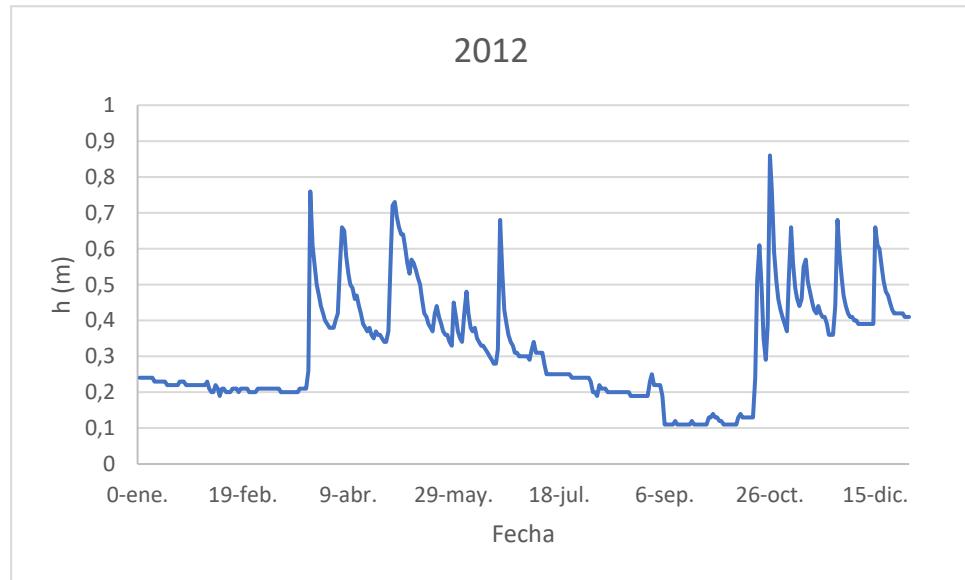


Figura 2. 210 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2012.

En la figura 209, que nos muestra los valores de altura, se nota mucho más la influencia de los valores recogidos durante la primavera, bien es cierto que el máximo sigue recogiéndose a

finales de octubre, pero la diferencia no es tan significativa como en el caso de Ésera. El valor máximo fue de $20,05 \text{ m}^3/\text{s}$, seguido por $13,72 \text{ m}^3/\text{s}$, el 22 de marzo. El primer máximo nombrado, a diferencia de las estaciones anteriores, no se recogió el día 20 de octubre, sino que en este caso fue el día 26 de ese mismo mes. Los valores de altura asociados a dichas fechas fueron de 0,86 m y 0,76 m respectivamente, por lo que la diferencia en estas medidas es aún menor.

2.14.1.1.3 Confluencia

Los datos de caudal recogidos en ambos ríos se representan en la figura 211.

En ella, el máximo anual se encuentra situado a finales de octubre, como ya hemos visto en las representaciones pertenecientes al río Ésera con un valor de $163,44 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que supone casi $100 \text{ m}^3/\text{s}$ más que los valores recogidos durante la primavera. El segundo máximo se da el 26 de octubre, fruto en este caso, del máximo observado en el río Isábena cuyo valor fue de $96,94 \text{ m}^3/\text{s}$. Más adelante veremos la influencia de estas dos jornadas de abundantes caudales.

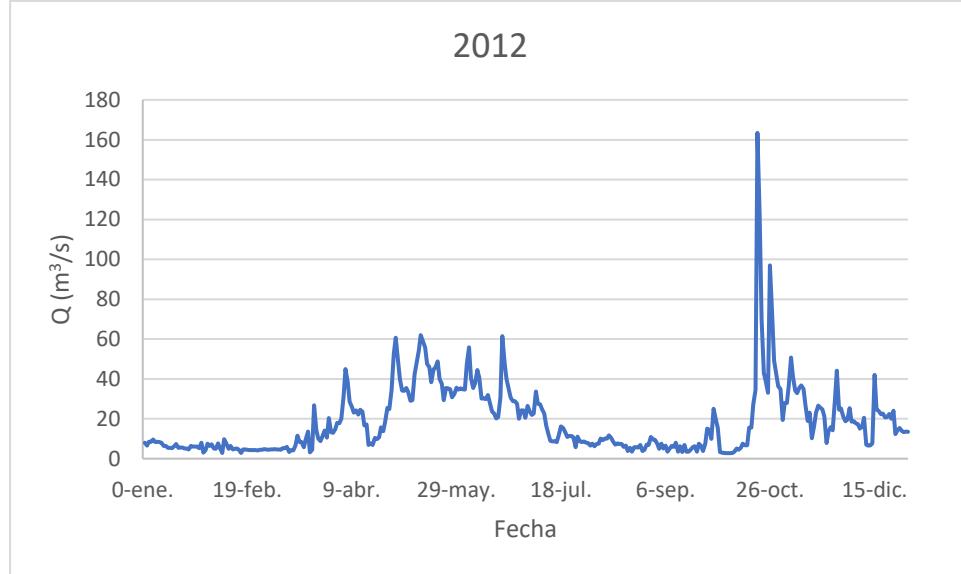


Figura 2. 211 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2012.

2.14.2 Embalse

2.14.2.1 Temperatura y precipitación

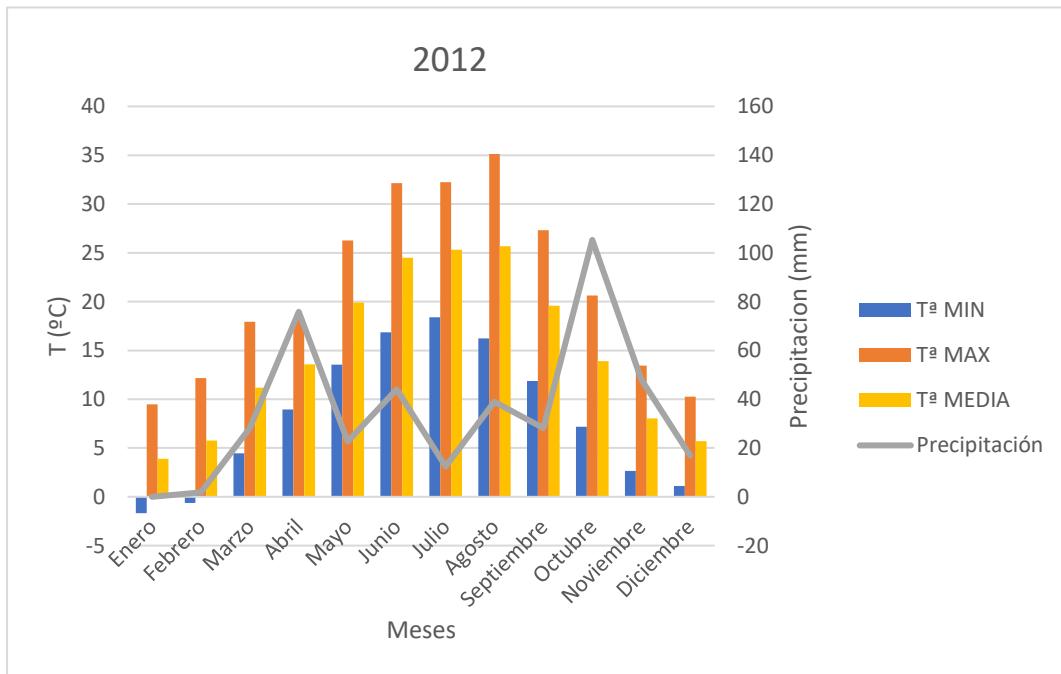


Figura 2.212: Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2012.

Las temperaturas recogidas en las instalaciones del embalse nos indican que los meses más fríos fueron enero y febrero, cuando las temperaturas mínimas descendieron por debajo de los 0°C. En cambio, durante el verano, las temperaturas máximas se situaron por encima de los 30°C, y las mínimas fueron, a su vez, superiores a los 15°C, lo que produjo unas temperaturas medias de alrededor de los 25°C.

Las precipitaciones obtenidas fueron muy abundantes en el mes de octubre llegando a los 105,3 mm acumulados. Este fenómeno explicaría que los máximos caudales recogidos estuvieran situados en el mes de octubre, ya que estaría relacionado con las abundantes precipitaciones que se recogieron durante dicho mes.

2.14.2.2 Entradas

Las entradas al pantano, así como el caudal que circuló por ambos ríos se muestran en la figura 213. En ella vemos que a lo largo de todos los meses las pérdidas tuvieron un signo negativo, por lo que los valores recogidos a la entrada del pantano fueron menores que el caudal que circuló por los ríos. Esta diferencia se hace muy notable en el mes de mayo ya que llega a alcanzar el valor de $-350 \text{ m}^3/\text{s}$. El mes de octubre, a pesar de contar con los dos máximos anuales registrados, no fue el de mayores aportaciones, sino que se situó en segundo lugar, por detrás del ya mencionado mayo.

La segunda mayor diferencia entre ambas tomas de datos se dio en el mes de junio, cuando estas llegaron hasta los $-315 \text{ m}^3/\text{s}$.

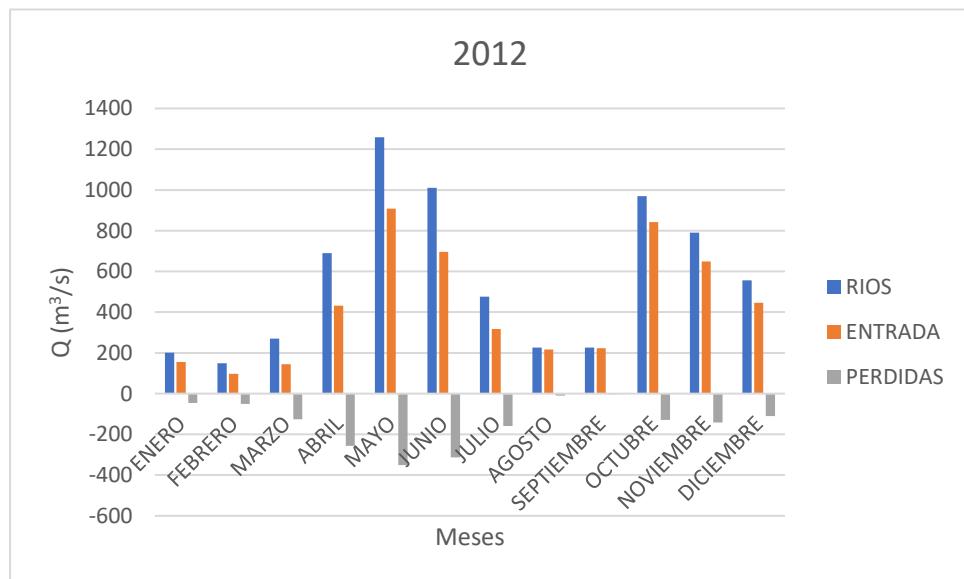


Figura 2. 213 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2012.

2.14.2.3 Demanda

En la figura 214, vemos que la demanda mayoritaria de agua que se abasteció fue la destinada a la producción de energía hidroeléctrica. Esto queda mucho más claro si vemos los porcentajes de caudales por los distintos conductos, expresados en la imagen 215. En ella, después del redondeo, aparece que el 100% del agua que abandonó el embalse en el año 2012 lo hizo por el conducto de la central. Los meses de mayores salidas fueron junio y noviembre con $23,22 \text{ m}^3/\text{s}$ y $22,28 \text{ m}^3/\text{s}$ diarios respectivamente.

Los dos primeros meses del año, enero y febrero, fueron en los que se desembalsó una menor cantidad de agua, no llegando ni a $5 \text{ m}^3/\text{s}$ diarios.

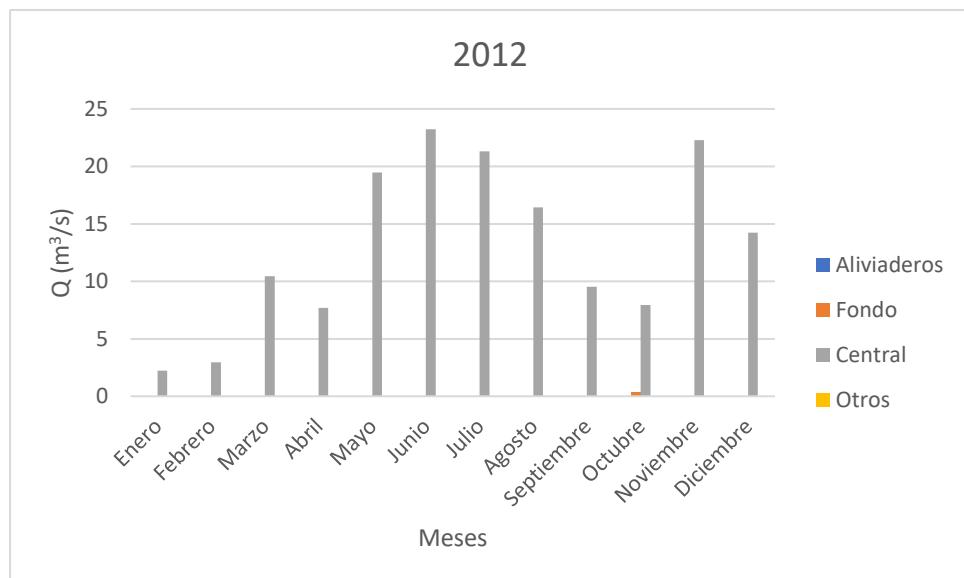


Figura 2. 214 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2012.

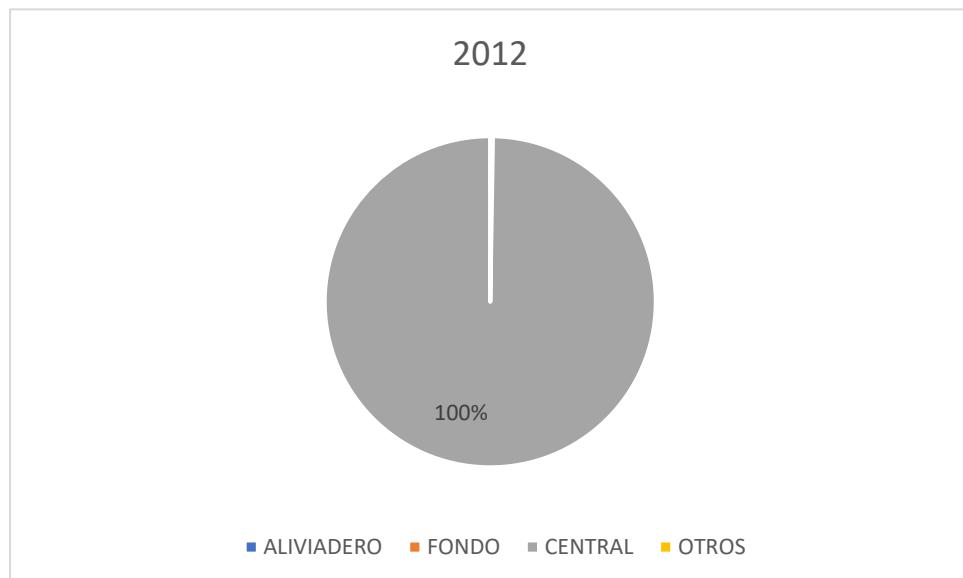


Figura 2. 215 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2012.

La cuestión por la que no se ha mostrado el gráfico detallado del comportamiento ante la avenida del 20 de octubre es porque, como se verá más delante, en esas fechas, el volumen de agua contenida en el pantano era más bien escaso, por lo que esta cantidad extraordinaria de agua se utilizó para aumentar las reservas, sin necesidad de tener que desalojar grandes cantidades de agua por los aliviaderos ni los desagües de fondo.

2.14.2.4 Canal/Río

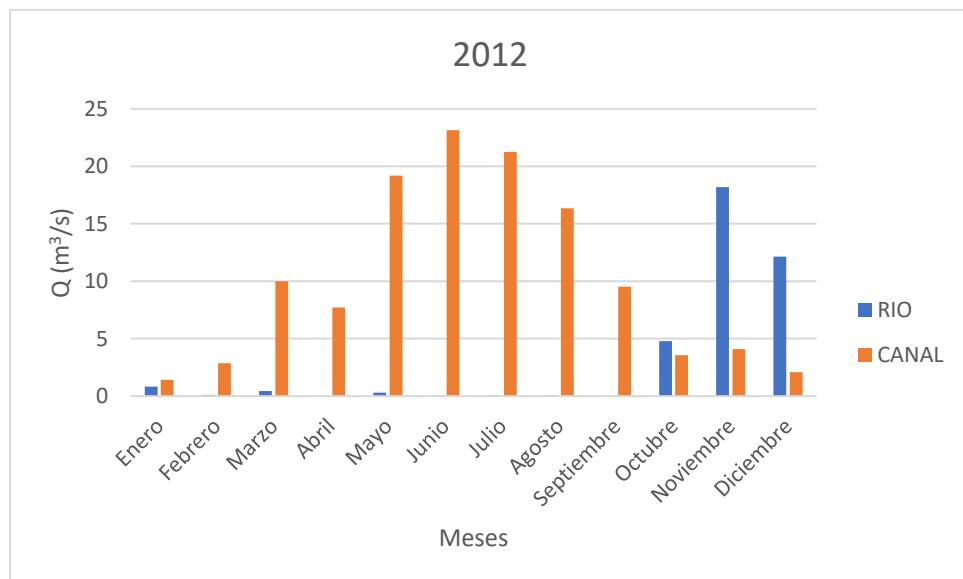


Figura 2. 216 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2012.

En el reparto de agua entre el Canal de Aragón y Cataluña y el río Ésera se aprecia que, hasta el mes de octubre, es decir, durante los primeros 9 meses del año 2012, el caudal destinado al canal fue superior al que circuló por el río, llegando a hasta los $23,15 \text{ m}^3/\text{s}$ para el canal y menos de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ para el río.

A partir de octubre se le da la vuelta a esta situación dejando circular casi $20 \text{ m}^3/\text{s}$ por el río en el mes de septiembre. Es raro que en los primeros meses del año el caudal del río sea inferior, pero este fenómeno aparece durante este año 2012, ya que las salidas durante los meses de enero y febrero fueron las menores registradas durante todo el periodo, teniendo que priorizar el caudal destinado al canal.

2.14.2.5 Producción hidroeléctrica

La producción de energía hidroeléctrica comenzó en el año con su mínimo anual, debido al ya comentado escaso caudal de salida. La potencia generada durante los dos primeros meses fue de 34503,22 Kwh y 40617,24 Kwh, respectivamente. Al llegar la primavera se alcanzaron los máximos caudales destinados a la central de $23,22 \text{ m}^3/\text{s}$, muy lejos aun así del máximo permitido, con lo que se logró generar una potencia de 329450 Kwh.

Antes de llegar al segundo máximo de producción anual, ésta tuvo una recaída durante los meses de septiembre y octubre sin superar los 100000 Kwh generados.

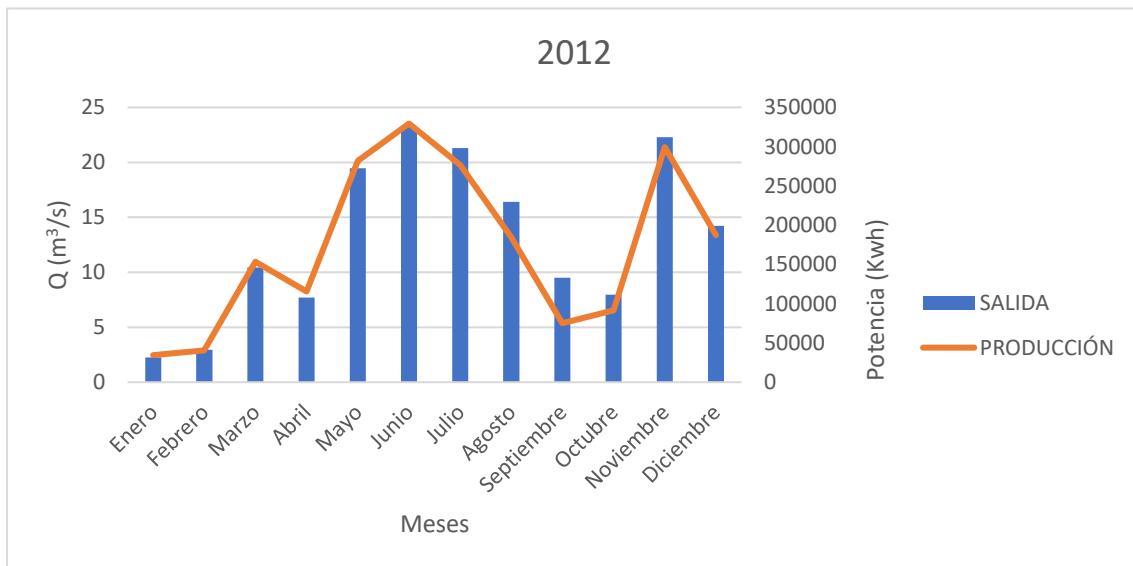


Figura 2. 217 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2012.

2.14.2.6 Capacidad de almacenamiento

Para finalizar, en la figura 218 se muestra el volumen de agua contenido en el pantano, que fue muy oscilante durante el año 2012. Comenzó en torno a los 45 Hm³, manteniéndose hasta llegar la primavera, cuando al aumentar las entradas ascendió el volumen contenido. Al pasar el verano, en el mes de septiembre el pantano llegó a contener la menor cantidad de agua en todo el año, 13,52 Hm³. Gracias a las abundantes aportaciones del mes de octubre se pudo recuperar sin tener que desperdiciar el agua, como ya hemos comentado anteriormente. Con todo esto, el pantano logró acabar el año con 43,81 Hm³.

Otra cosa destacable es el poco paralelismo que tienen las salidas con respecto a las entradas, puesto que en pocos meses siguen caminos parecidos adecuándose unas a otras, fruto de esto es la gran oscilación del volumen que hemos comentado.

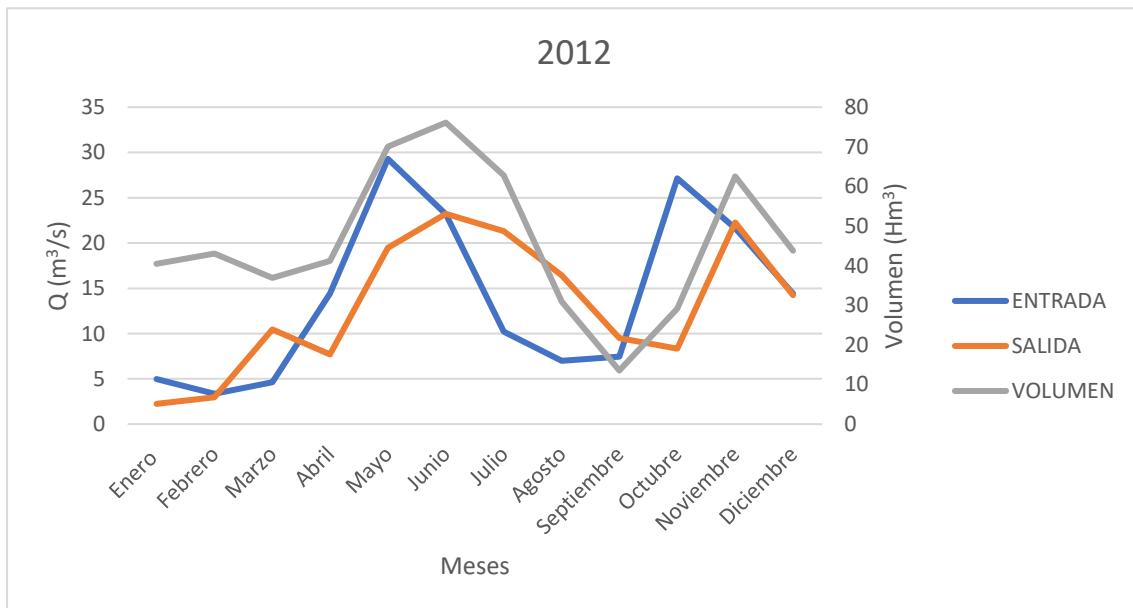


Figura 2. 218 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2012.

2.15 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2013.

2.15.1 Cuenca

2.15.1.1 Aportaciones de la cuenca al embalse

2.15.1.1.1 Ésera

Los datos recogidos en la primera estación de aforo del río Ésera nos muestran que, durante el año 2013, el máximo anual se dio en el mes de julio. Durante el día 18 de dicho mes el valor de caudal recogido fue de 85,09 m³/s y la altura de 3,23 m. No es la primera vez que nos encontramos con unos datos de caudal tan elevados, puesto que, en el año 2010, se recogieron valores parecidos, lo que sí es novedad es el elevado nivel de agua que se alcanzó, superando los 3 m, fenómeno que no había ocurrido, ni de lejos, hasta la fecha.

Aparte de este máximo tan señalado, el día 10 de junio ocurrió el segundo máximo anual, con unos valores de caudal y altura más acordes con lo que estamos acostumbrados a ver, en concreto el nivel ascendió hasta los 97 cm, y el caudal fue de 14,6 m³/s.

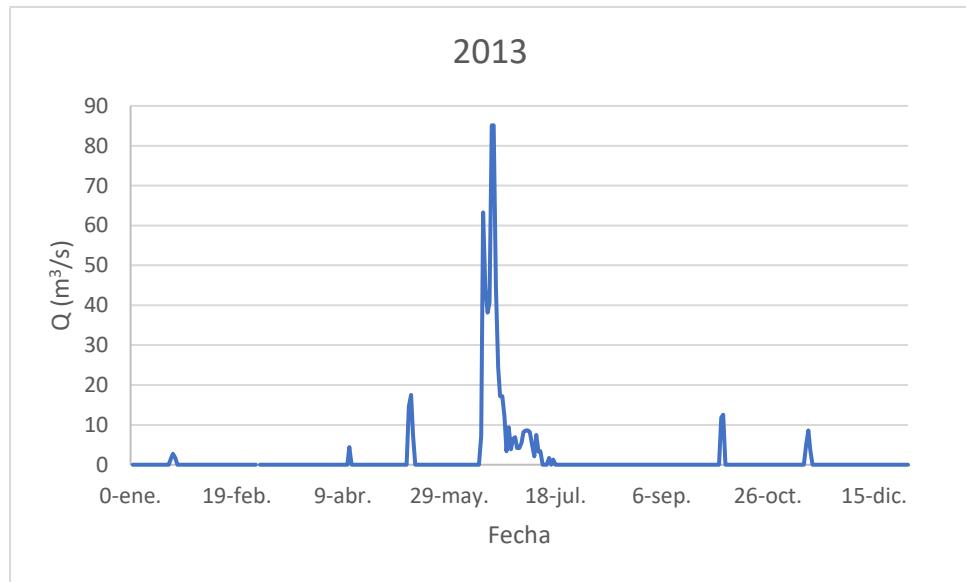


Figura 2. 219 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2013.

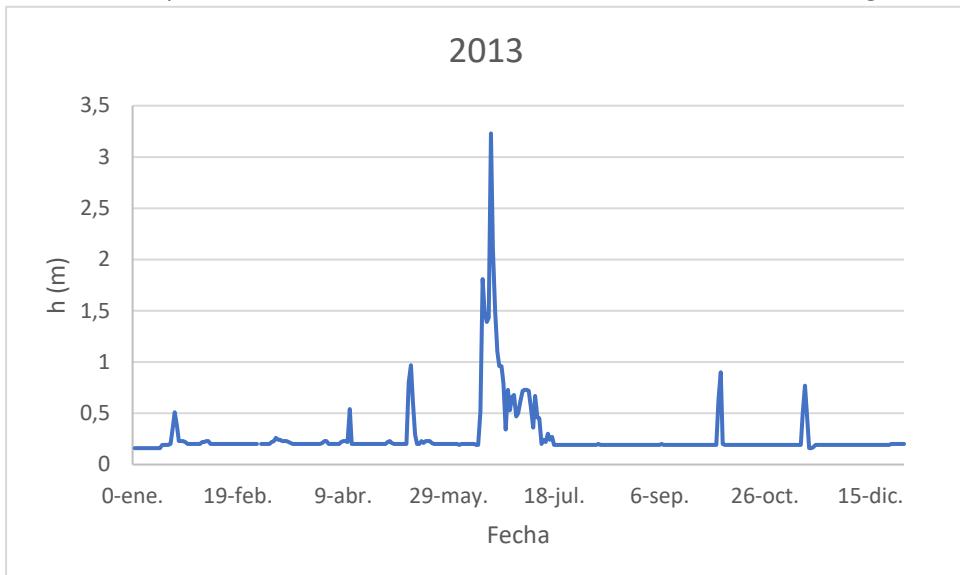


Figura 2. 220 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2013.

En la segunda estación de recogida de datos del Ésera, el máximo sigue apareciendo el día 18, dado el elevado valor de corriente que viene transportando desde casi su nacimiento. En esta segunda estación el valor registrado fue de 261,23 m³/s. Este es un valor que, como podemos ver en la figura 221, destaca en relación al resto del año, ya que el resto de valores, sin contar el ocurrido el 15 de junio, no superan los 50 m³/s.

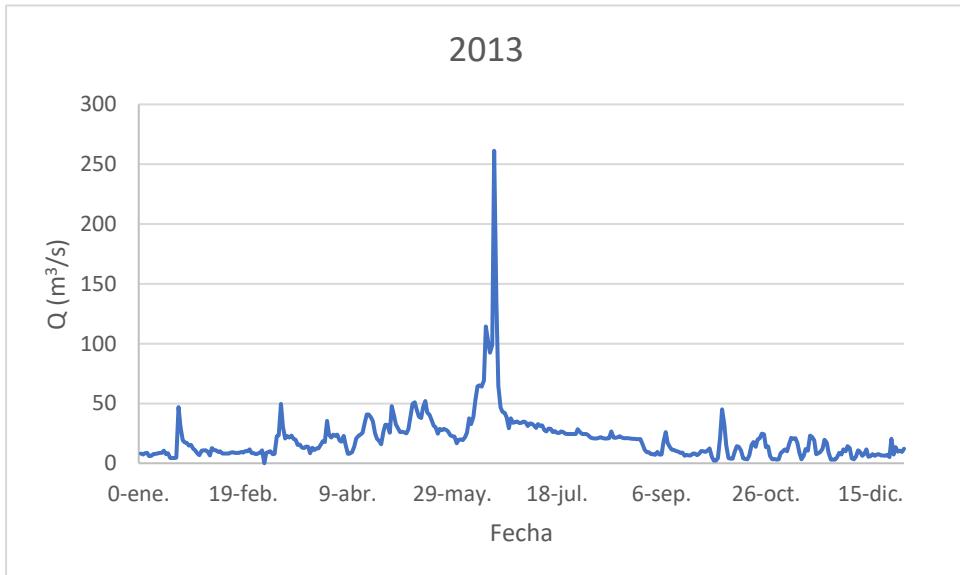


Figura 2. 221 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2013.

La altura registrada durante la jornada señalada disminuyó con respecto al valor medido en Eriste. En Campo, el nivel de agua llegó a alcanzar los 2,07 m. De todas formas, sigue siendo un valor muy superior, ya que, si nos fijamos en la época en la que se recogieron los menores niveles, éstos se situaron en torno a los 25 cm.

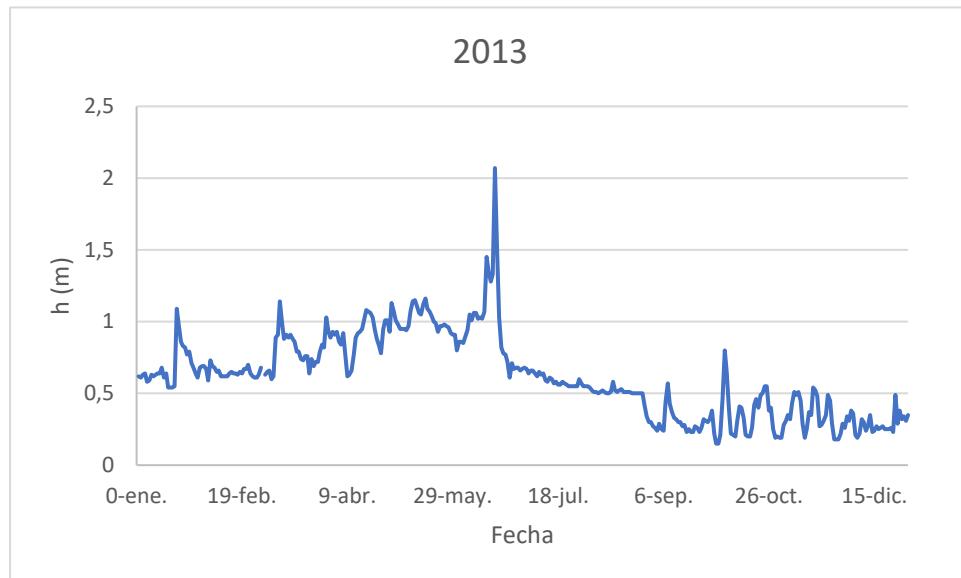


Figura 2. 222 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2013.

En la estación de Graus, al igual que en las dos anteriores, el máximo se registró el día 18 de junio con un valor de caudal de 239,27 m³/s y una altura de 2,65 m.

Vemos también que la influencia de las lluvias otoñales es menor que en otros años estudiados, en ella solamente aparece un valor destacado de caudal, el recogido el 5 de octubre con 68,75 m³/s.

Durante la época primaveral sí que aparecen cuatro jornadas de caudales destacados, pero al igual que antes, ninguno superó los 70 m³/s, ni el nivel de 1,70 m de altura.

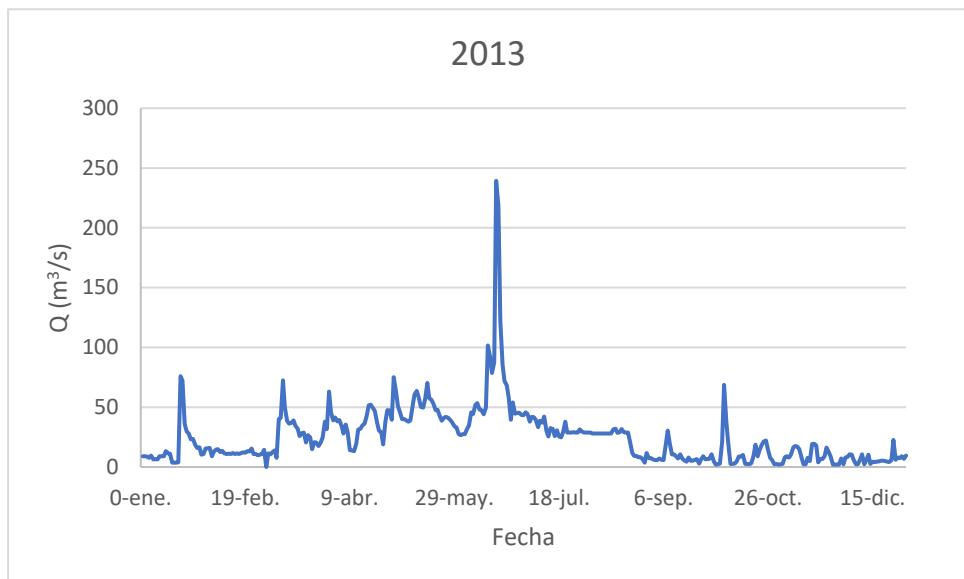


Figura 2. 223 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2013.

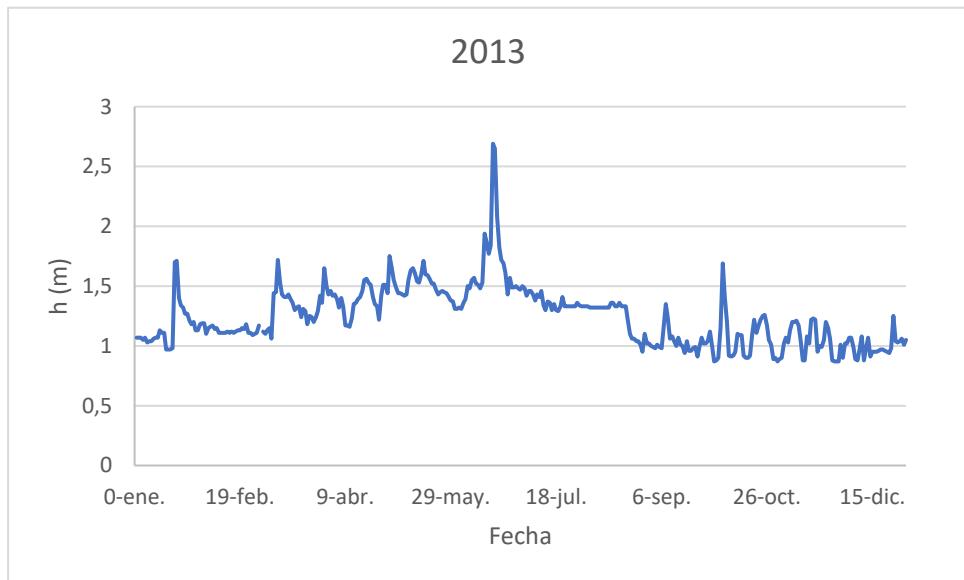


Figura 2. 224 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2013.

2.15.1.1.2 Isábena

En la estación situada en el río Isábena, los datos recogidos, tanto de caudal como de nivel de altura, durante el año 2013 se muestran en las figuras 225 y 226.

A diferencia de los datos recogidos en el río Ésera, los máximos valores recogidos en este caso se dan a principio del año, y van disminuyendo conforme éste avanza. En concreto, el día 20 de enero se recogió un caudal de 42,12 m^3/s y una altura 1,15m. El último máximo apareció el 19

de junio, un día más tarde que los analizados anteriormente, con unos valores de 25,65 m³/s y 0,95 m de altura. A partir de esta fecha los niveles tanto de caudal como de altura no superaron los 10 m³/s ni los 0,65 m hasta finales del año 2013.

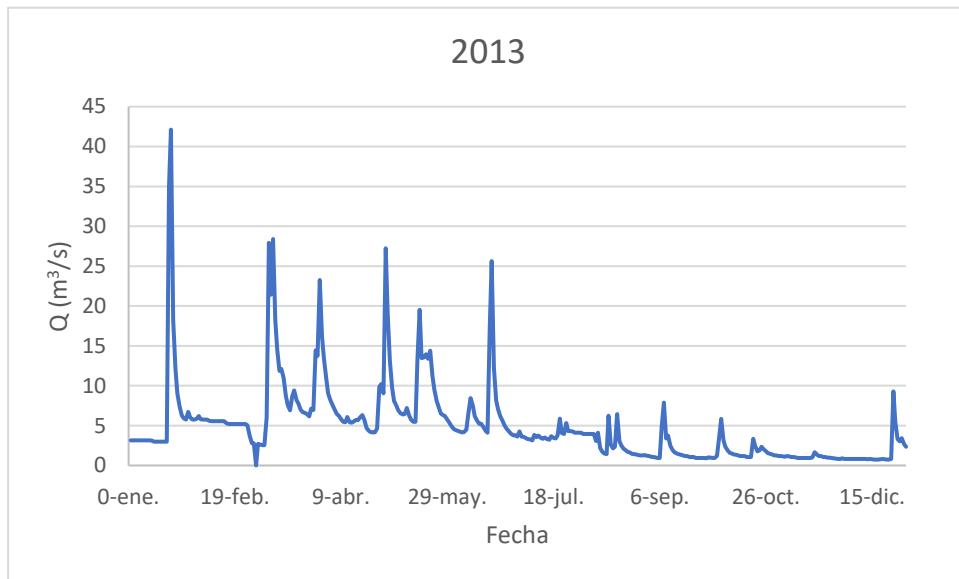


Figura 2. 225 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2013.

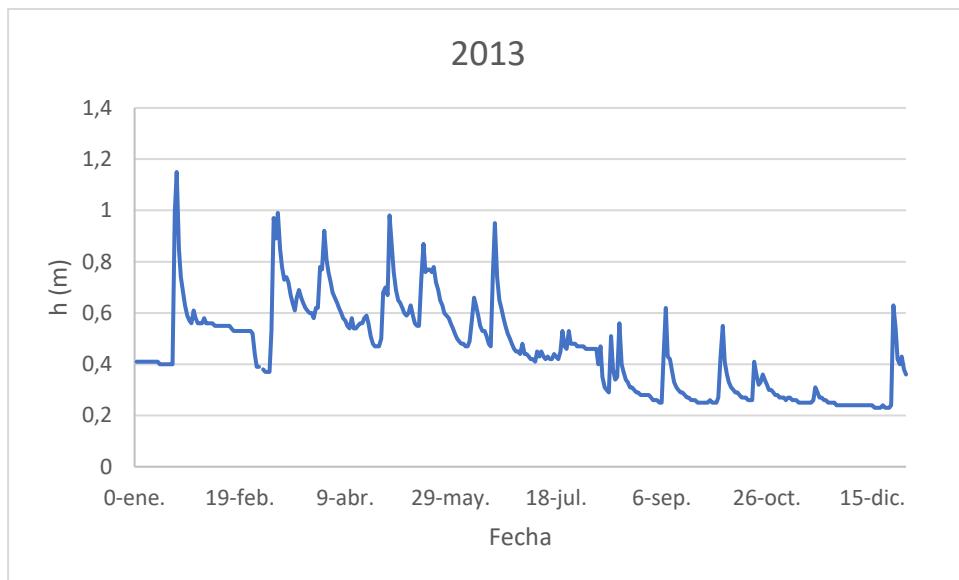


Figura 2. 226 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2013.

2.15.1.1.3 Confluencia

En la confluencia de ambos ríos el valor destacado de caudal es el que ocurrió el día 18 de junio cuando se recogieron 257,57 m³/s. Este fenómeno será analizado en el apartado de demandas para ver la respuesta que se dio ante esta avenida.

El resto del año el caudal se mantuvo dentro de los valores normales, se superaron los 100 m³/s a principios de año el 20 de enero, en una fecha en la que es inusual que se recojan estos valores tan elevados de caudal.

En la época primaveral también se registró un máximo, como es habitual, ya que es donde se concentran las mayores aportaciones anuales llegando a superar en algún caso los 100 m³/s. Y finalmente es en la época otoñal cuando se echan en falta los máximos que usualmente aparecían el resto de los años de estudio, debido a las elevadas precipitaciones ocurridas durante esta estación.

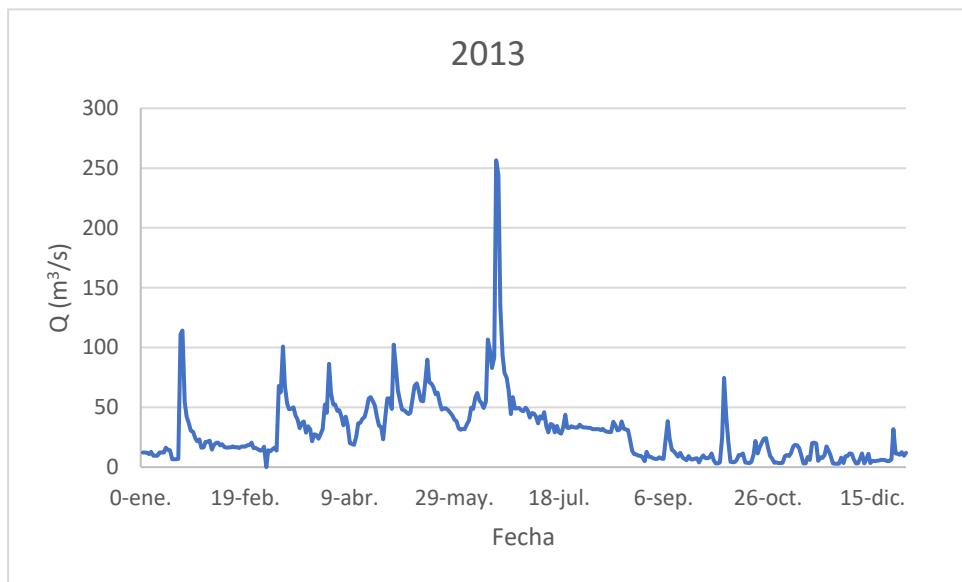


Figura 2. 227 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2013.

2.15.2 Embalse

2.15.2.1 Temperatura y precipitación

Las temperaturas durante el año 2013 solamente superaron los 30ºC en los meses de julio y agosto, tal y como refleja la figura 228.

Las temperaturas medias estuvieron por encima de los 5ºC, exceptuando el mes de diciembre, cuando, a pesar de ser el único mes de invierno en el que las mínimas no descendieron por debajo de los 0ºC, las medias bajaron hasta los 4,5ºC.

Por otro lado, las precipitaciones tomaron su máximo valor en el mes de marzo, cuando alcanzaron los 105,3 mm acumulados. A partir de dicho mes comenzaron a descender, hasta que en el mes de noviembre tan solo llegaron a los 21,7 mm. El mínimo anual, en cuanto a precipitación acumulada, se recogió en el mes de febrero con tan solo 6,8 mm.

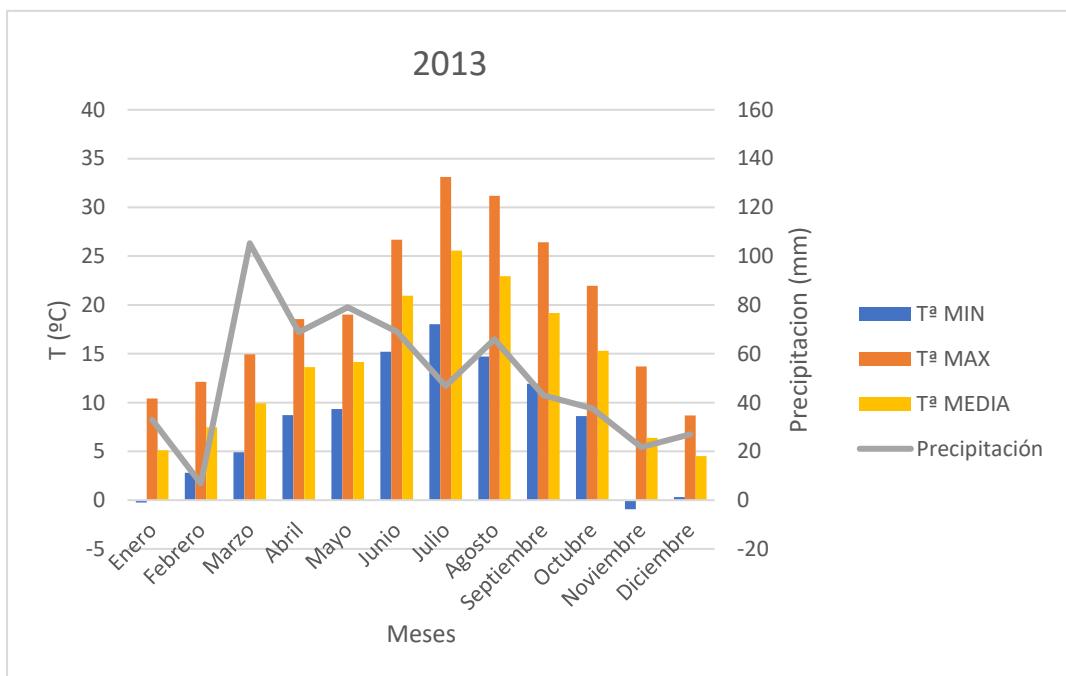


Figura 2.228 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2013.

2.15.2.2 Entradas

Las entradas registradas en el embalse, con respecto a las medidas tomadas en ambos ríos, hacen que las pérdidas durante los primeros ocho meses del año tomen valores negativos. Al pasar el mes de agosto este fenómeno cambia y pasan a tener signo positivo. La mayor diferencia se recoge durante el mes de abril al alcanzar el valor de $-400 \text{ m}^3/\text{s}$.

El mes en el que se aportó una mayor cantidad de agua al embalse fue en junio, cuando a la entrada de éste se recogió un valor de $1874,45 \text{ m}^3/\text{s}$, debido al abundante caudal registrado el día 18 en la confluencia de ambos ríos, el cual llegó a ser cercano a los $260 \text{ m}^3/\text{s}$.

Las aportaciones en la época otoñal, como ya hemos comentado, fueron más bien escasas ya que en ninguno de los meses se superaron los $500 \text{ m}^3/\text{s}$.

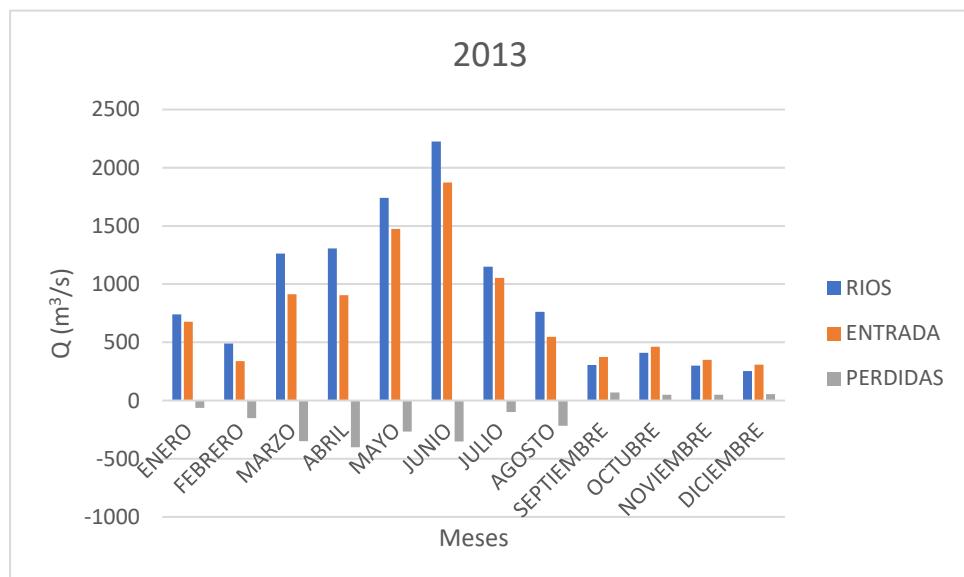


Figura 2. 229 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2013.

2.15.2.3 Demanda

La demanda de agua sigue el guion habitual analizado hasta el momento. La mayor parte del agua que abandona el pantano lo hace por la salida dedicada a la central. Es en los meses de mayo y junio cuando, en la figura 230, aparece una segunda salida por la que fluye una cantidad significativa de agua.

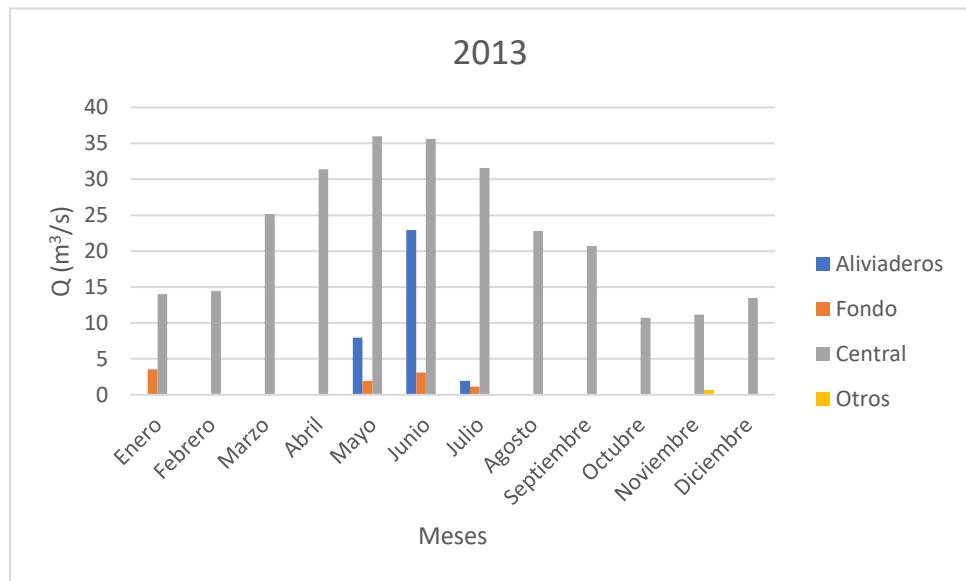


Figura 2. 230 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2013.

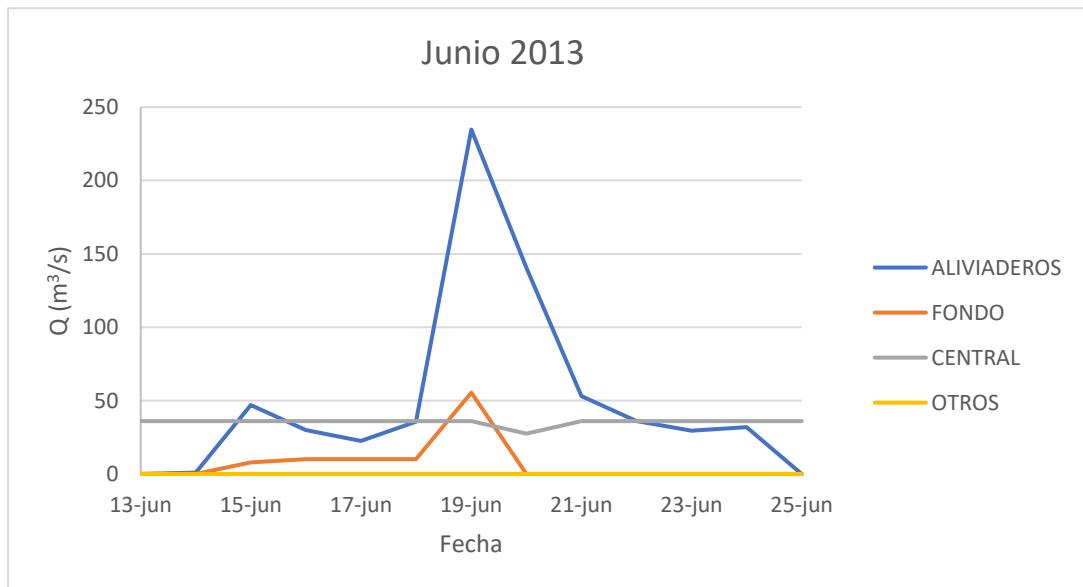


Figura 2. 231 Evolución de la salida de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del mes de junio del año 2013.

En la figura 231 se ha analizado la respuesta que se tomó para hacer frente a la gran cantidad de agua que se incorporó al pantano durante el mes de junio. En ella vemos que, durante todo el periodo analizado, por la salida de la central está circulando el máximo caudal permitido de $36 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que se tuvieron que abrir otras salidas para extraerlos caudales entrantes.

El día 19 de junio, por la salida de los aliviaderos fluyó un caudal de $234,75 \text{ m}^3/\text{s}$, una cifra muy cercana al aporte realizado el día anterior. Esta gran cantidad de agua tuvo que ser desembalsada porque, como veremos más adelante, el pantano se encontraba próximo a su capacidad máxima, y fue imposible retener el agua sobrante para ser aprovechada más tarde. Ese mismo día, por las salidas de fondo también fluyeron $55,41 \text{ m}^3/\text{s}$, dando un total de $290,16 \text{ m}^3/\text{s}$. Pero las salidas por los aliviaderos no acabaron ahí, sino que, durante los días posteriores tuvo que seguir dejándose escapar una gran cantidad de agua para poder hacer frente a más fenómenos de la misma naturaleza.

2.15.2.4 Canal/Río

El reparto de agua entre el Canal de Aragón y Cataluña y el río Ésera, sigue el patrón habitual que venimos comentando.

Durante los primeros meses de año, es el río el que se lleva la mayor cantidad de agua que abandona el barranco. Pasado el mes de abril comienza a tomar más importancia el canal, hasta el mes de octubre cuando la situación vuelve a ser la misma con la que empezamos el año.

En la figura 232, vemos que, durante los meses de mayo y junio, por el río circulan caudales mayores que por el canal. Esto es fruto del agua desembalsada por los aliviaderos, ya que una vez abandona la presa por dichas salidas, ésta es incorporada directamente al río. Es por ello que, durante estos dos meses se rompe el patrón habitual anteriormente comentado.

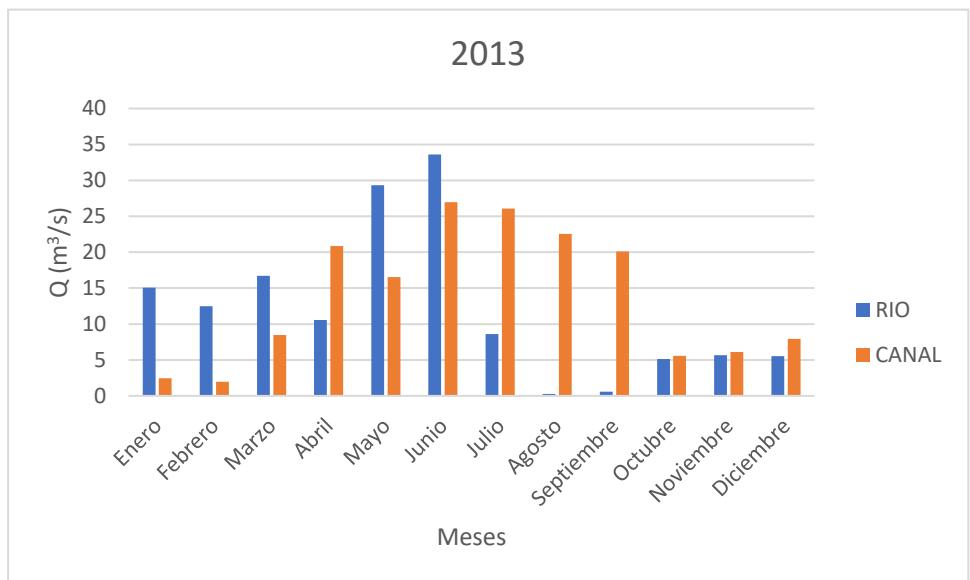


Figura 2. 232 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2013.

2.15.2.5 Producción hidroeléctrica

La producción de energía que se dio lugar durante el año 2013 se detalla, mes a mes, en la figura 233. En ella vemos que, durante la primera mitad del año, sigue una tendencia creciente, comenzando en enero con la generación de 186083,87 Kwh, hasta llegar a mayo con una potencia de 501664,51 Kwh. A partir de dicho mes comienza a disminuir paulatinamente, hasta que en el mes de octubre se recoge la mínima potencia generada, que es de 135325,54 Kwh. De octubre a finales de año, vuelve a aumentar, pero apenas crece 30000 Kwh.

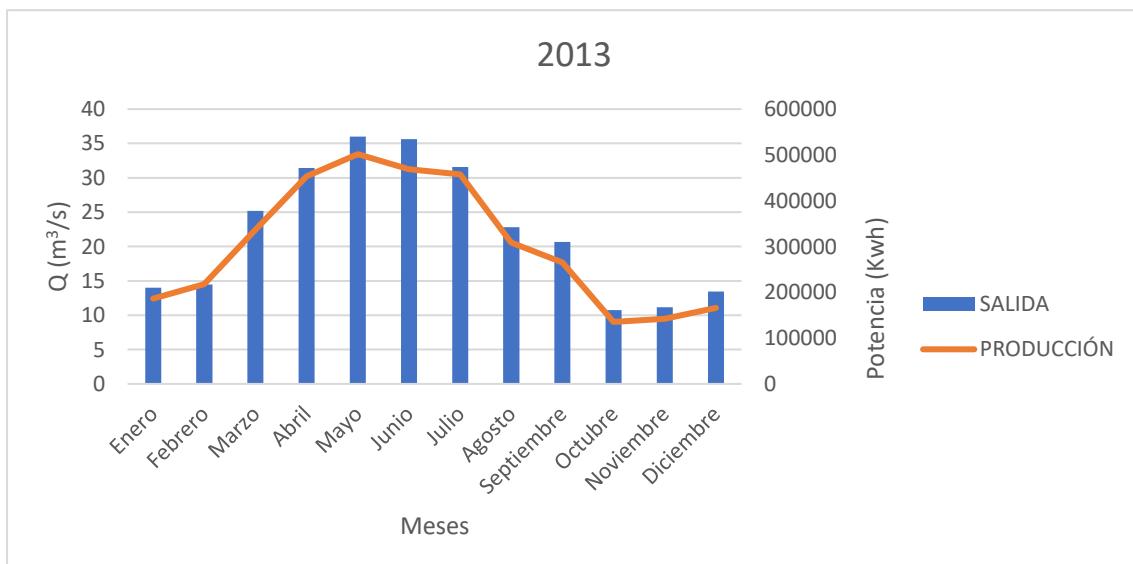


Figura 2. 233 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2013.

2.15.2.6 Capacidad de almacenamiento

Para finalizar este análisis de los datos recogidos durante el año 2013, lo haremos con la figura 234.

En ella se aprecia que el volumen del pantano se mantuvo cerca de su máximo durante más de la primera mitad del año. Adecuando en todo momento las salidas con las entradas para mantenerlo lleno. Es a partir de del mes de agosto, cuando, al descender los caudales de entrada y no hacer lo propio, en la misma medida, con las salidas, el pantano comienza a vaciarse. No será hasta el mes de octubre cuando vuelve a recuperar en cierta medida su capacidad, al disminuir las salidas por debajo de las entradas. Finalmente, en el mes de diciembre el pantano acaba con un volumen de agua contenido de $33,21 \text{ Hm}^3$, muy por debajo de los 67 Hm^3 con los que comenzó el año 2013.

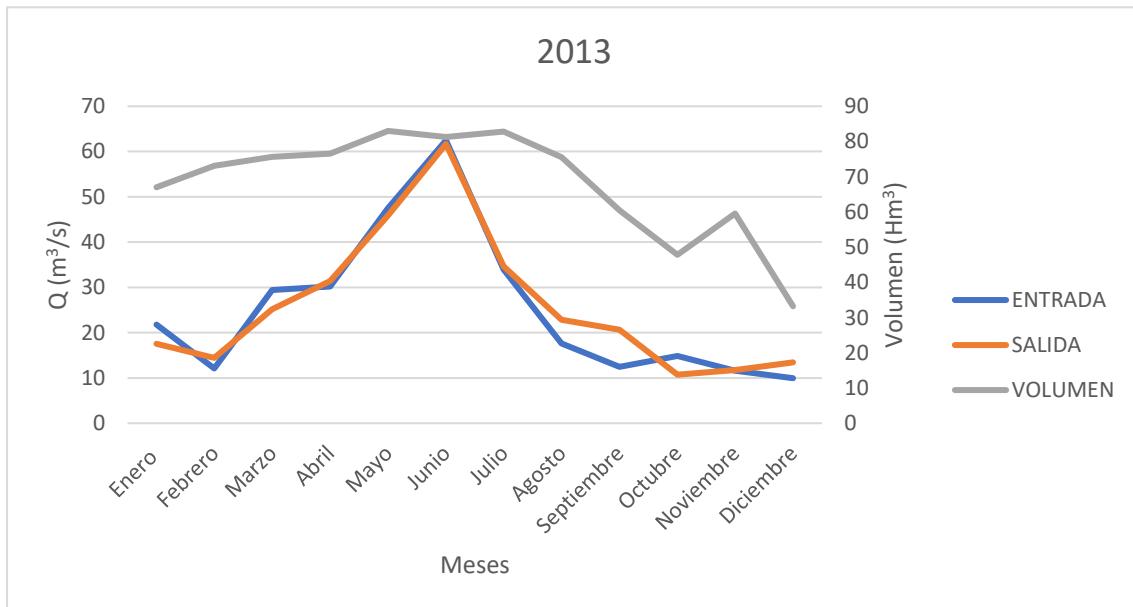


Figura 2. 234 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2013.

2.16 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2014.

2.16.1 Cuenca

Comenzamos con el análisis de los datos referentes a la cuenca recogidos durante el año 2014. Este será el último año del estudio en el cual se incluirá este apartado ya que, en los datos obtenidos por medio del CEDEX, a partir del 2014 ya no se tienen datos de todo el periodo al completo.

2.16.1.1 Aportaciones de la cuenca al embalse

2.16.1.1.1 Ésera

En los datos recogidos en el río Ésera destaca el caudal del día 9 de abril que, a su paso por Eriste, fue de $20,47 \text{ m}^3/\text{s}$. Este se sitúa en la primavera y, como es habitual durante estas fechas, la causa de este aumento de caudal es la fusión de la nieve en las cordilleras del Pirineo. El segundo máximo anual se localiza a principios del verano y toma un valor de $15,86 \text{ m}^3/\text{s}$.

Las alturas que toman los dos puntos anteriormente citados se pueden observar en la figura 236. Estos valores son de 1,17 y 1,03 m respectivamente, lo que supone un aumento de 80 cm, con respecto al nivel habitual del río.

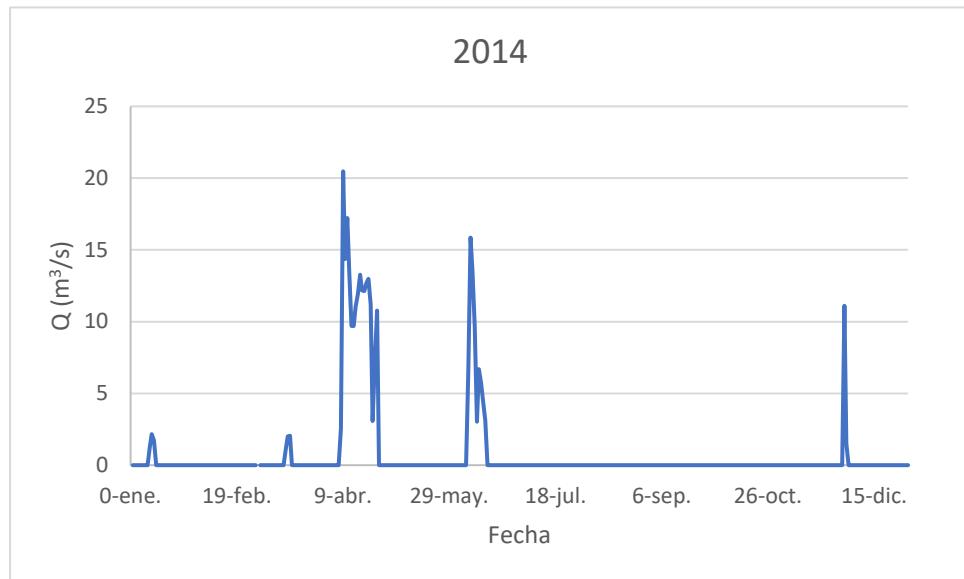


Figura 2. 235 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2014.

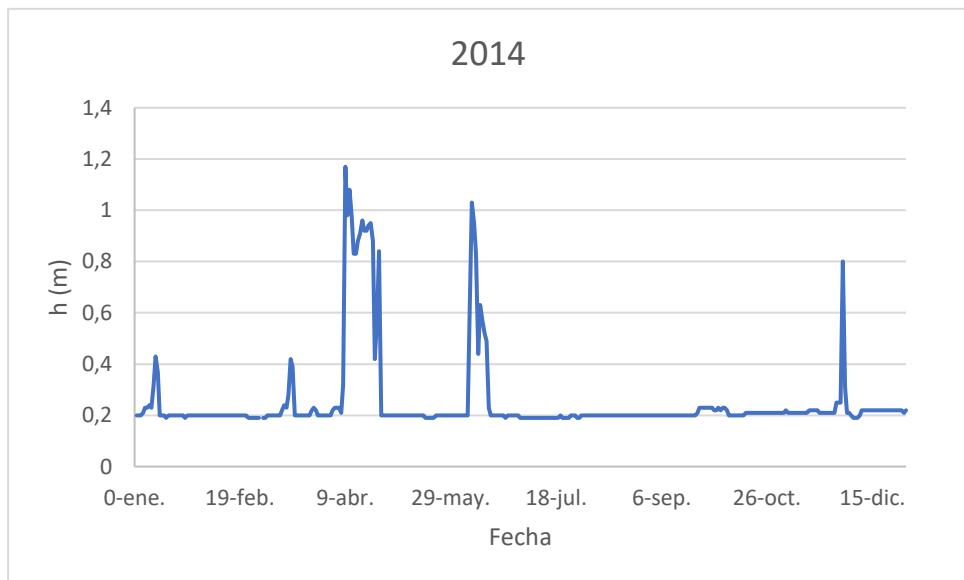


Figura 2. 236 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del año 2014.

A su paso por la estación de Campo, los datos de altura y caudal que se recogieron se muestran en las representaciones de las figuras 237 y 238.

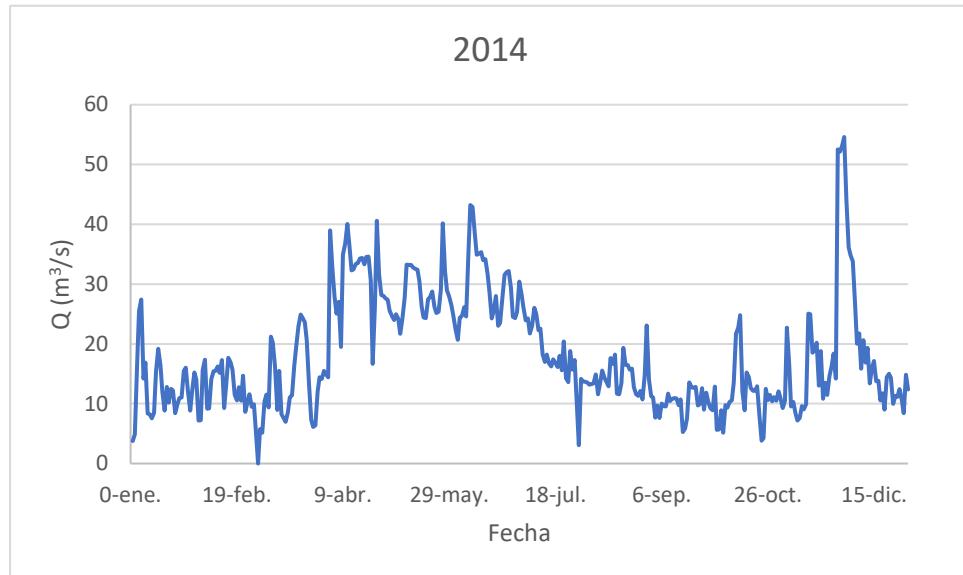


Figura 2. 237 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2014.

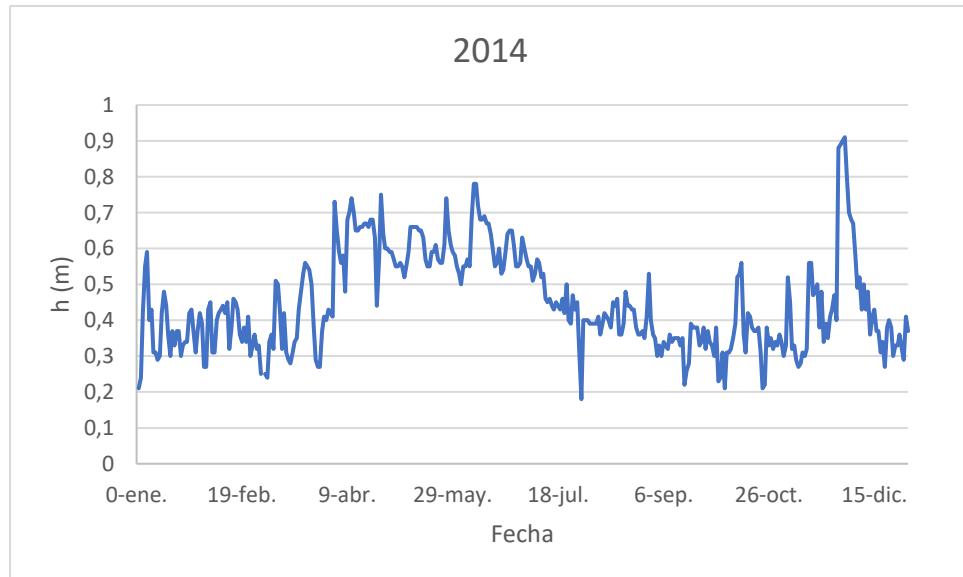


Figura 2. 238 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del año 2014.

En ellas se muestra una crecida uniforme en la época primaveral, con valores que oscilan entre los 15 y los 40 m^3/s . En el verano, el caudal como de costumbre desciende para volver a aumentar en el tramo final del año.

Es en esta época cuando se recoge el máximo anual registrado en esta segunda estación, cuyo valor es de 54,6 m^3/s y una altura cercana al metro, concretamente el nivel del agua se situó en los 91cm.

Finalmente, nos encontramos con los datos recogidos en la estación de aforo de Graus. En ellos vemos que el año comienza con un caudal más bien escaso, sin contar el pico del día 4 de enero en el que se alcanzaron los $40 \text{ m}^3/\text{s}$. No se supera el valor de $21 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta llegar a la primavera.

Al igual que en Campo, esta es la época en la que se aprecian unos caudales con mucha oscilación, incluso más que los recogidos en la anterior estación. Nuevamente, los caudales vuelven a disminuir durante el verano para aumentar en la parte final del año.

Es entonces cuando se registra el máximo caudal, esta vez situado el día 28 de noviembre y cuyo valor fue de $94,22 \text{ m}^3/\text{s}$.

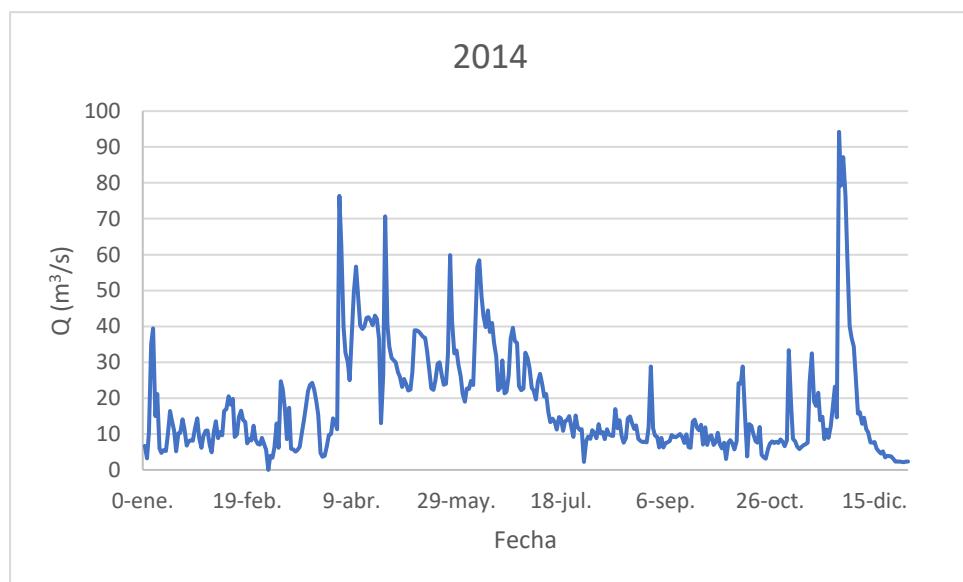


Figura 2. 239 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2014.

Los niveles de altura siguen una senda paralela a lo comentado con los caudales. Estos se mantuvieron durante todo el año por encima de los 80 cm y el valor máximo registrado fue de 1,84 m, por lo que la variación total del nivel fue menor de un metro entre los dos valores más distantes.

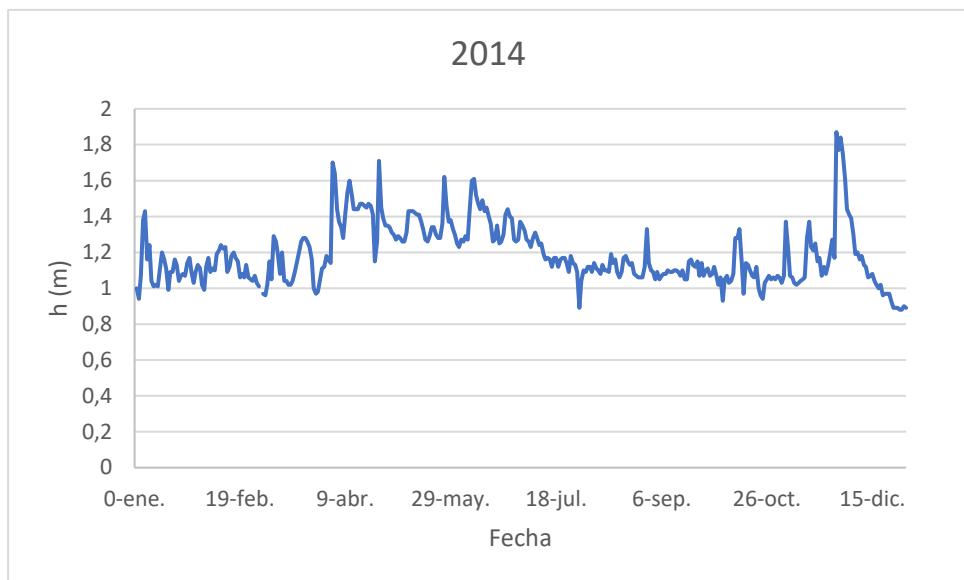


Figura 2. 240 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del año 2014.

2.16.1.1.2 Isábena

Las medidas recogidas en el municipio de Capella muestran un año en el que los caudales que circularon por el río Isábena apenas superaron los $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Solamente en el día 3 de abril y el 30 de noviembre se superó esta cifra. En dichos días los caudales fueron de $43,87 \text{ m}^3/\text{s}$ y $48,27 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Las alturas, por su parte, no superaron los 75 cm, excepto en las dos jornadas citadas cuando el nivel ascendió hasta los valores de 1,1 m y 1,23 m.

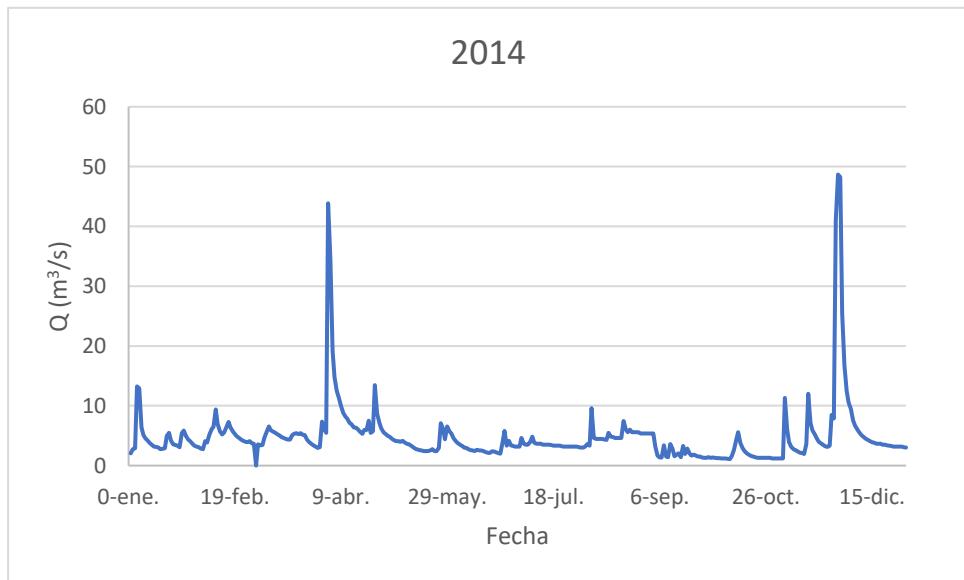


Figura 2. 241 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2014.

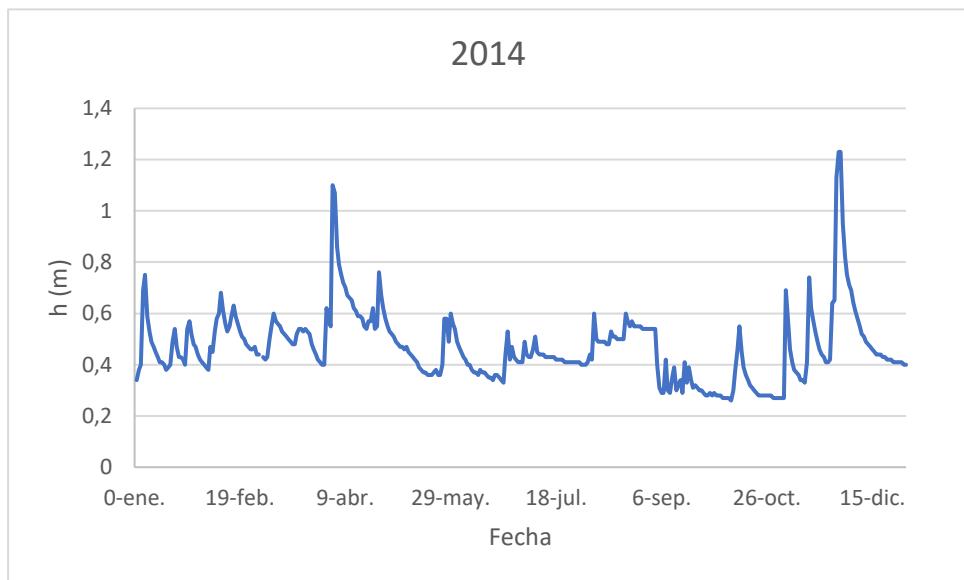


Figura 2. 242 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del año 2014.

2.16.1.1.3 Confluencia

Los datos de caudal de ambos ríos conjuntamente comienzan el año con valores escasos de caudal. En la época primaveral, es cuando este crece hasta alcanzar los $120,28 \text{ m}^3/\text{s}$ el día 3 de abril. Es además en esta época, como veremos más adelante, cuando se produce un mayor aporte de agua para el abastecimiento del pantano.

A finales de año se logra el máximo anual con un caudal de $135,47 \text{ m}^3/\text{s}$. Por el contrario, los mínimos se registran justo antes de que este ocurra, es decir, a principios de octubre, con valores menores a los $5 \text{ m}^3/\text{s}$, dos meses antes del máximo indicado.

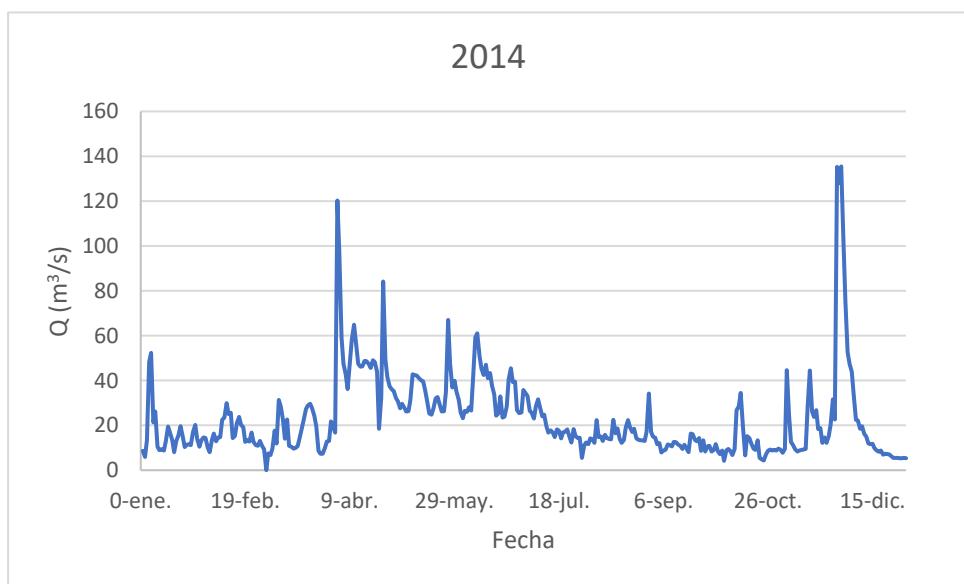


Figura 2. 243 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del año 2014.

2.16.2 Embalse

2.16.2.1 Temperatura y precipitación

Del apartado de temperaturas y precipitaciones, comenzamos comentando las elevadas temperaturas máximas que se registraron durante los meses de verano, donde todas ellas superaron los 30ºC.

Las temperaturas mínimas, por su parte, no descendieron hasta tomar valores negativos durante ningún mes del año 2014. El resultado fueron unas temperaturas medias que no descendieron de los 10ºC.

En el año 2014 se recogieron unos elevados niveles de precipitaciones, puesto que en tres meses se superó la barrera de los 80 mm acumulados. Estos fueron los meses de abril, con 88,7 mm; septiembre, cuando las medidas se situaron en 93,3 mm; y finalmente, en el mes de noviembre, cuando el valor llegó hasta los 154,1 mm, causa por la cual, el máximo anual se situó en dichas fechas.

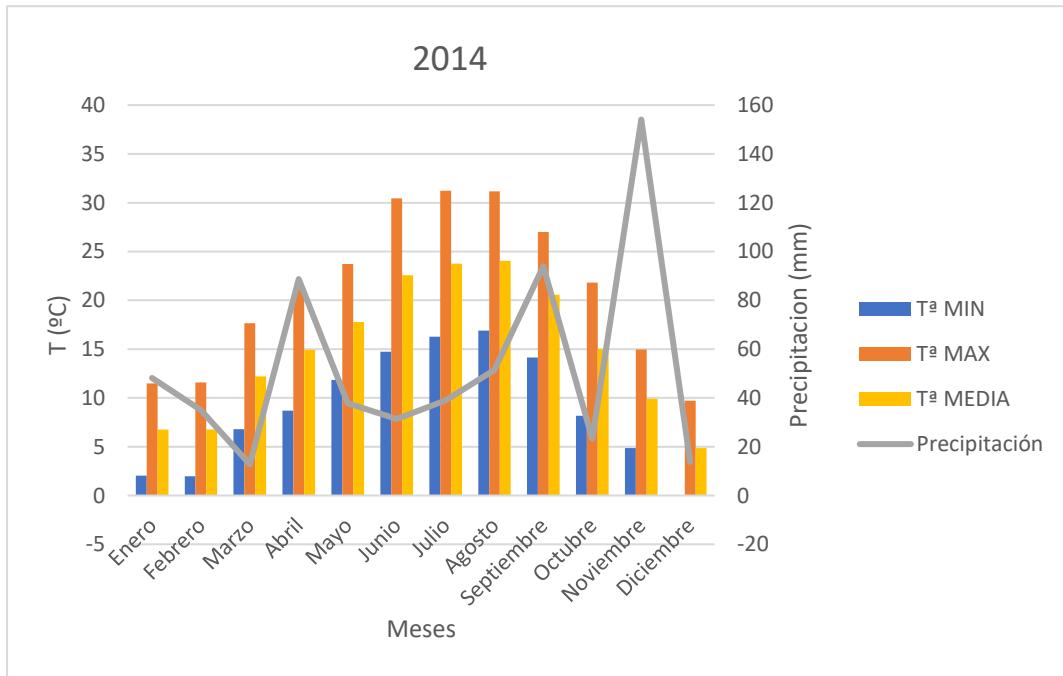


Figura 2. 244 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2014.

2.16.2.2 Entradas

Las entradas registradas en el año 2014 se caracterizan por la gran suma de agua recogida en el mes de abril. El año había comenzado con valores de aportaciones de alrededor de los 500 m³/s. Es en dicho mes cuando se recoge una crecida repentina de estas entradas hasta llegar a los 1500 m³/s, triplicando los valores con los que comenzó el año, y todo esto sin seguir cierta tendencia. En el resto de los meses sí que se aprecia esta tendencia usual, en la que los aportes disminuyen durante la época estival y vuelven a crecer a finales de año.

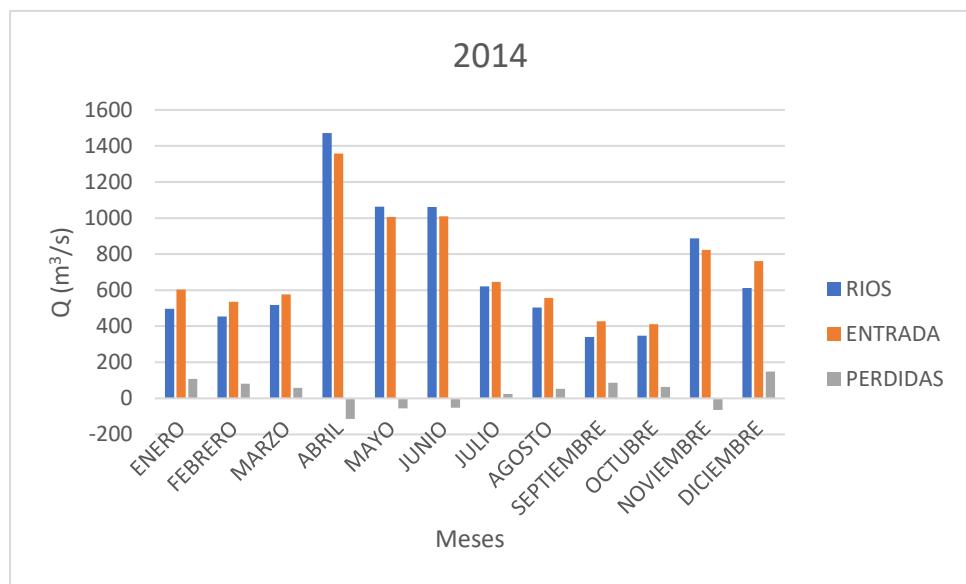


Figura 2. 245 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2014.

2.16.2.3 Demanda

Las demandas de agua por los diferentes conductos se muestran en la figura 246. En ella sí que se aprecia cierta tendencia, con un primer aumento paulatino de las salidas al llegar la primavera, y el descenso de éstas durante el verano.

En abril, a pesar de ser el mes en el que se registraron unos mayores caudales de entrada, no es en el que se registraron unas mayores salidas destinadas a la central. Estas se dieron al mes siguiente, en mayo, cuando alcanzaron los 34,60 m³/s, cerca del límite permitido.

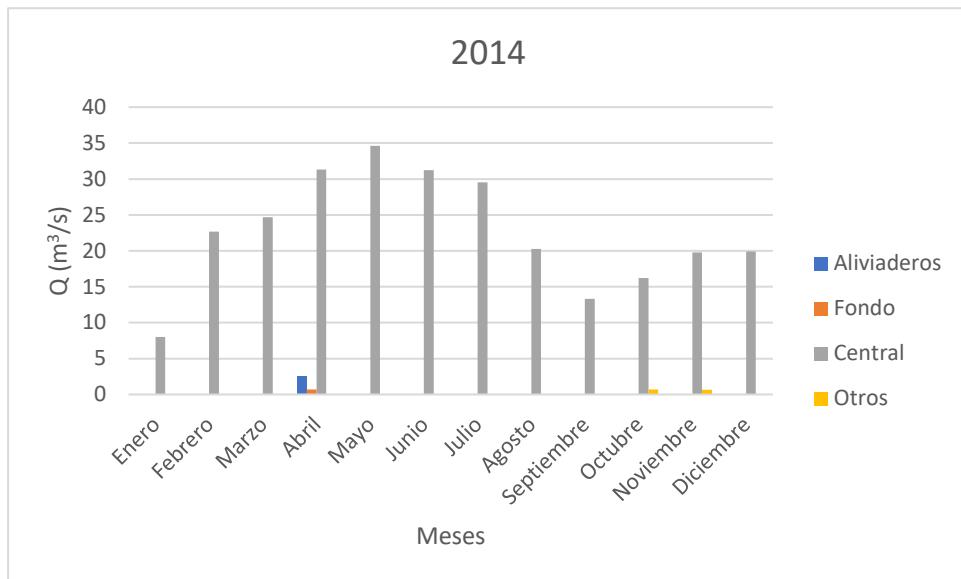


Figura 2. 246 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2014.

La salida por la que más agua fluyó es la destinada a la central, copando el 98% de las salidas totales. El mes de enero fue en el que se desembalsó una menor cantidad de agua, apenas 8 m^3/s diarios, seguido de septiembre con 13,33 m^3/s , todo ellos destinados a la producción de energía hidroeléctrica, como veremos más adelante.

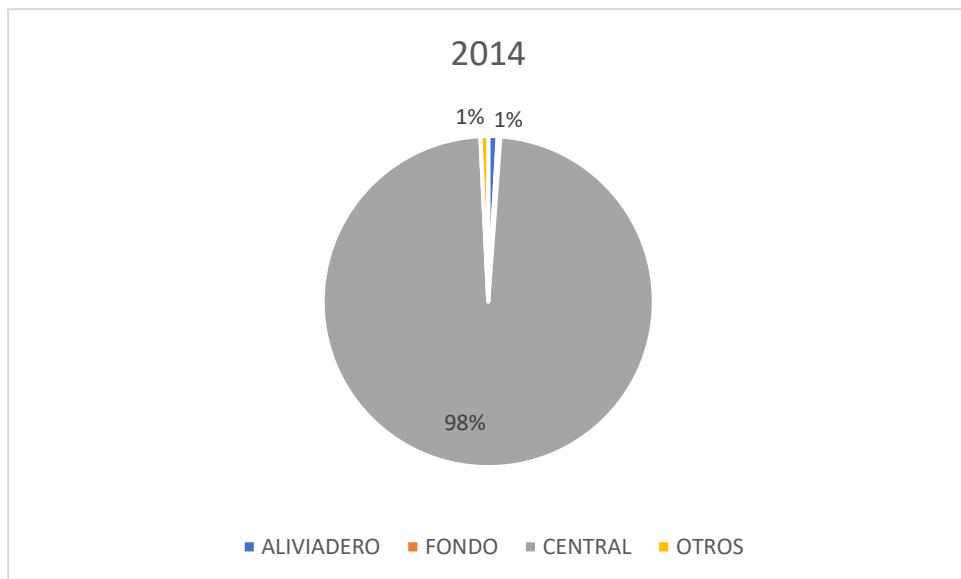


Figura 2. 247 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2014.

2.16.2.4 Canal/Río

El año 2014 comenzó con unos escasos caudales circundantes tanto por el río como por el canal, sin llegar a superar ninguno de ellos los 5 m³/s. Al mes siguiente, en febrero, el río experimentó una crecida significativa, debido a los casi 22 m³/s diarios que se vertieron en él. Al llegar el mes de marzo hasta septiembre, la mayor parte del caudal que abandonó el embalse fue direccionado al Canal de Aragón y Cataluña, superando los 19 m³/s diarios, a excepción del último mes cuando se registró un caudal de 11,72 m³/s. El año finalizó con ambos caudales muy parejos en torno a los 10 m³/s.

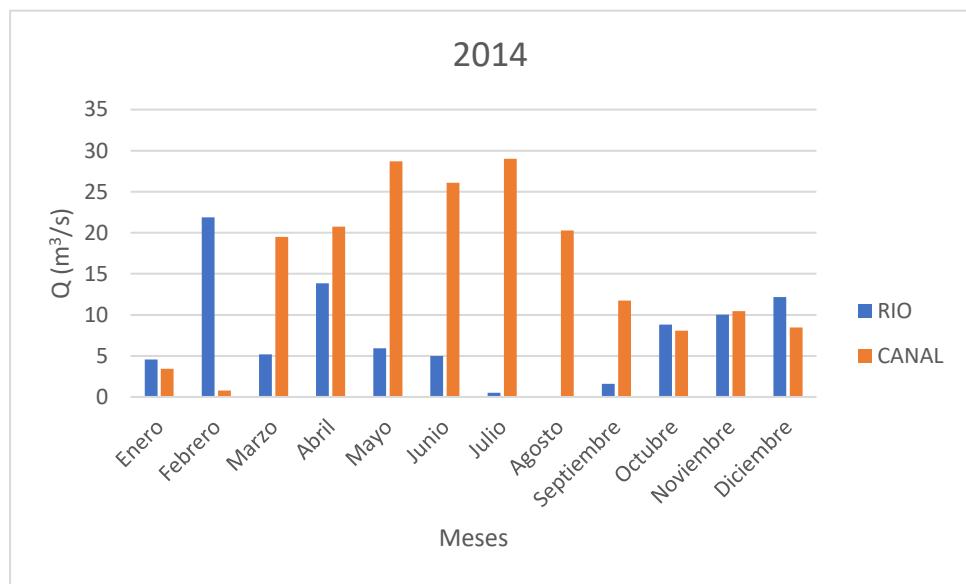


Figura 2. 248 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2014.

2.16.2.5 Producción hidroeléctrica

Debido a las escasas salidas del mes de enero, el año comenzó con la mínima potencia generada en todo el periodo, esta fue de 98035,48 Kwh. Conforme se acercaba la época primaveral ésta fue ascendiendo. En los meses de abril, mayo y junio, el caudal dedicado a la central superó los 30 m³/s. Fue en mayo cuando siendo de 34,60 m³/s diarios, valor cercano a los 36 m³/s de máxima, se logró la mayor potencia mensual generada. Esta fue de 463893,54 m³/s. Pasado este máximo fue descendiendo hasta que, en septiembre, cuando el valor fue de

138251,23 Kwh volvió a ascender, para terminar el año con casi 20 m³/s dedicados a la producción, los cuales generaron una potencia superior a los 270000 Kwh.

Todos estos datos de producción de energía hidroeléctrica, así como de caudales, quedan reflejados en la figura 249.

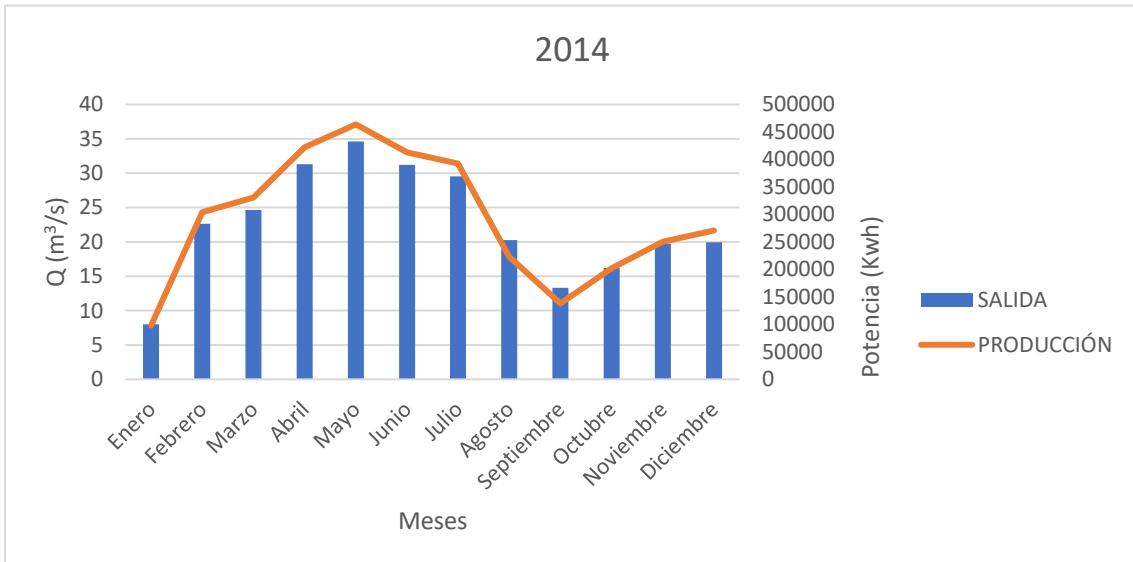


Figura 2. 249 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2014.

2.16.2.6 Capacidad de almacenamiento

El volumen contenido en el embalse durante el año 2014 tuvo bastantes variaciones. Comenzó el año alrededor de los 60 Hm³, las entradas, como ya hemos nombrado, se mantuvieron constantes durante los tres primeros meses. Debido a las escasas salidas con las que se comenzó el año se lograron almacenar 12 Hm³, hasta alcanzar los 72 Hm³ en el mes de febrero. Un aumento de las salidas en el mes de marzo hizo que se perdiera la cantidad acumulada hasta la fecha, volviendo a dejar el volumen en torno a los 60 Hm³. El repunte del caudal de entrada en abril volvió a ascender el nivel del pantano hasta contener cerca de los 80 Hm³, con los que se mantuvo hasta mediados de verano, cuando, como de costumbre, al descender las entradas, el volumen contenido hizo lo propio. A finales de año, el volumen se situó en los 50,68 Hm³, por lo que realizando un cómputo global la pérdida anual se situó alrededor de los 10 Hm³.

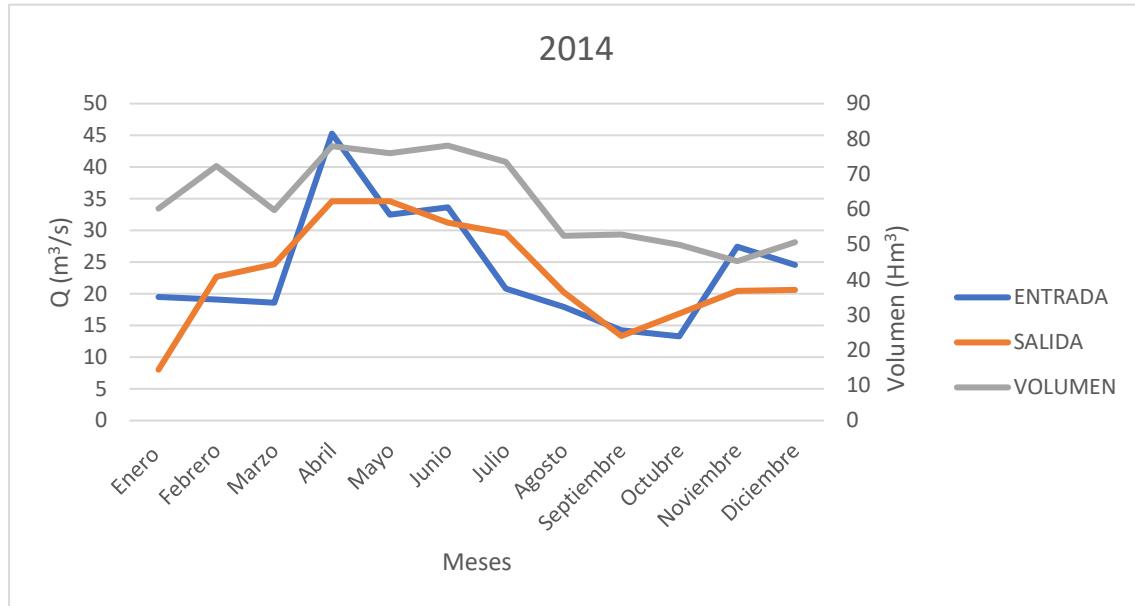


Figura 2. 250 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2014.

2.17 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2015.

2.17.1 Cuenca

A partir de este año 2015, por falta de datos, ya no se realizarán más análisis de la cuenca, por lo que nos centraremos solamente en los datos recogidos en el pantano de Barasona.

2.17.2 Embalse de Barasona

2.17.2.1 Temperatura y precipitación

Las temperaturas mínimas recogidas en el embalse varían desde los valores negativos en el mes de enero hasta los 18,73°C alcanzados en julio. Por su parte las máximas, exceptuando el mes de enero como en el caso anterior, se sitúan por encima de los 10°C. En el mes de julio se llegaron a registrar máximas de casi 34°C, por lo que este fue el mes más caluroso del año, como indican también los 36,36°C de temperatura media. El resto de los meses siguieron la tendencia habitual, desde enero hasta el mencionado julio fueron creciendo los valores tanto de temperaturas mínimas como máximas, para, una vez alcanzado ese máximo volver a descender hasta finalizar el año con unos valores entre 1°C y 12,7°C

Las precipitaciones tuvieron muchos altibajos, alternando meses de abundantes precipitaciones como junio o agosto, cuando se recogieron 85,2 mm y 110,1 mm, respectivamente, y entre ellos en el mes de agosto apenas 30,5mm. El mínimo anual se situó en diciembre con un escaso valor de 1,3 mm acumulados durante todo el mes.

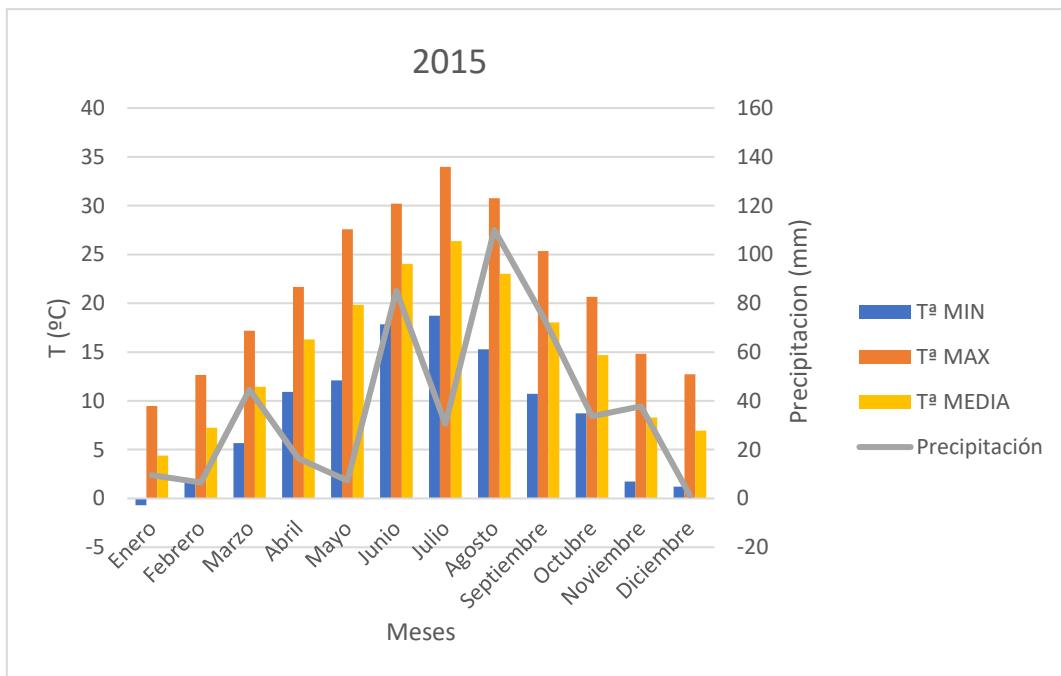


Figura 2. 251 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2015.

2.17.2.2 Entradas

Las entradas registradas en el pantano tomaron su máximo valor en el mes de junio cuando se superaron los 900 m³/s. Hasta este mes los caudales habían seguido una tendencia ascendente, pero en el mes de julio se desplomaron hasta los 465 m³/s mensuales. En los dos meses siguientes, agosto y septiembre, se mantuvieron estables en torno a los 600 m³/s para volver a caer hasta los 353,3 m³/s en octubre.

Con todo esto podemos dividir el año en dos partes muy diferenciadas. La primera abarcaría desde el mes de enero hasta junio, en los que el caudal se mantuvo con una tendencia ascendente. Una vez alcanzó el máximo, en la segunda mitad del año, los valores oscilaron entre los 350 m³/s y 600 m³/s, sin seguir una tendencia clara, alternando meses de subidas y bajadas.

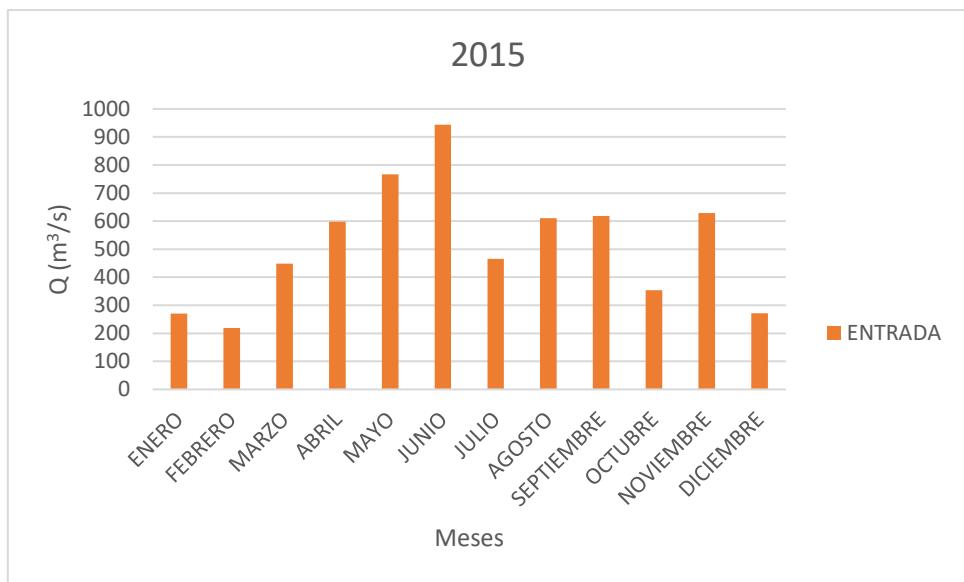


Figura 2. 252 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2015.

2.17.2.3 Demanda

En las demandas derivadas del año 2015 los mayores caudales de agua son aprovechados en la central, pero siempre 10 m^3/s por debajo del límite máximo que imponen los grupos de bombeo. En los meses de mayo y junio, en los que los valores de caudal fueron máximos, estos se mantuvieron en los 26 m^3/s , de ahí la diferencia, en comparación con el máximo.

El mes de febrero fue en el que una menor cantidad de agua abandonó el embalse, ya que los valores diarios no superaron los 5 m^3/s .

En la figura 254 se muestra que el 95% de los caudales salientes fueron destinados a la central y el 5% restante fue englobado en el concepto “otros”. Esto pudo ser causa de unas fugas continuadas durante todo el año 2015, o fruto de que durante este año se le dio una mayor importancia al río Ésera, aguas abajo, dejando circular una mayor cantidad de agua destinada al caudal ecológico del río.

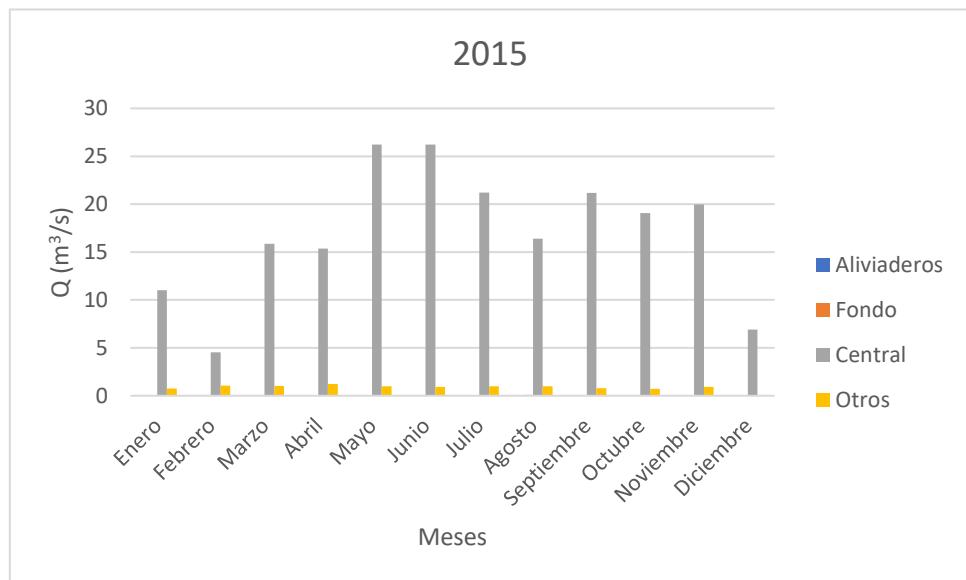


Figura 2. 253 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2015.

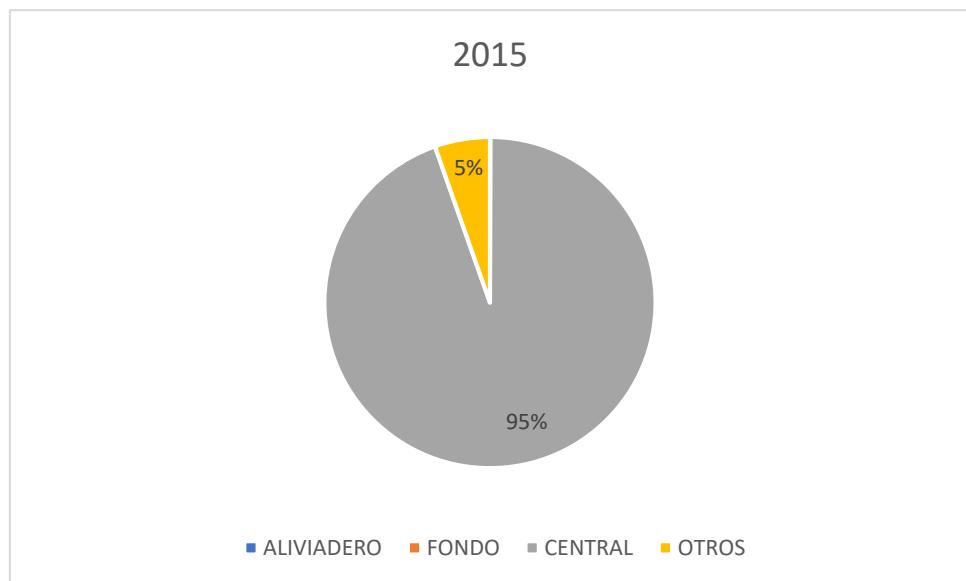


Figura 2. 254 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2015.

2.17.2.4 Canal/Río

En el segundo reparto de agua aparece el esquema habitual, en el que el año comienza con un predominio del agua que fluye por el pantano. Conforme avanza el año, esta va disminuyendo para encauzar un mayor caudal hacia el canal. Este caudal destinado al canal fue mayor de 15 m³/s, desde abril hasta septiembre.

Durante este año, se aprecia que el caudal que circuló por el río, los meses en los que predominaba el encauzamiento de agua para el canal, fueron de magnitud superior a los vistos hasta la fecha. La razón de esto es, como acabamos de ver en el apartado de salidas, que el concepto “otros” estuvo presente en mayor medida durante este 2015. Aún con todo, no podemos determinar si se trató de fugas o del aumento del caudal ecológico, puesto que ambos caudales, en esta segunda distinción, se miden conjuntamente dentro del caudal que circula por el río, al verterse directamente desde la presa a este mismo.

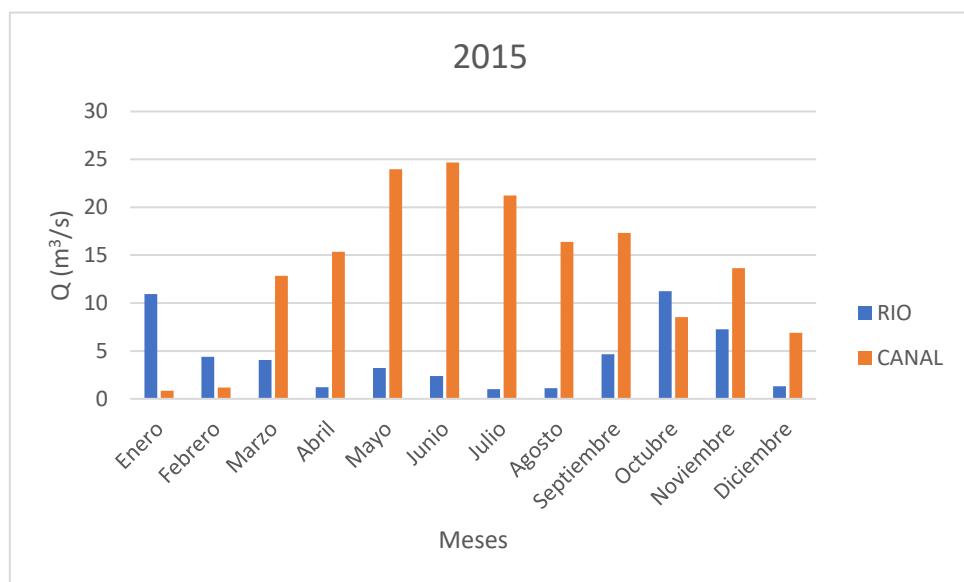


Figura 2. 255 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2015.

2.17.2.5 Producción hidroeléctrica

La producción de energía hidroeléctrica durante el año 2015 se muestra en la figura 256. El año comienza con una producción de 157787,09 Kwh. En el mes de febrero desciende hasta su valor mínimo a causa de las escasas salidas registradas en dicho mes. A partir de ahí comienza a crecer, hasta que en el mes de mayo alcanza su máxima producción anual, a causa de los 26 m^3/s que circulan por la central. La potencia generada fue de 337300 Kwh, aunque se podría haber generado una mayor cantidad, ya que como hemos comentado, el valor del caudal se encuentra lejos del máximo permitido por las instalaciones de la central.

A finales de agosto la producción descendió por debajo de los 200000 Kwh, para volver a ascender al mes siguiente. Finalmente, acabó el año con el segundo menor valor recogido durante el 2015, este fue concretamente de 97309,67 Kwh.

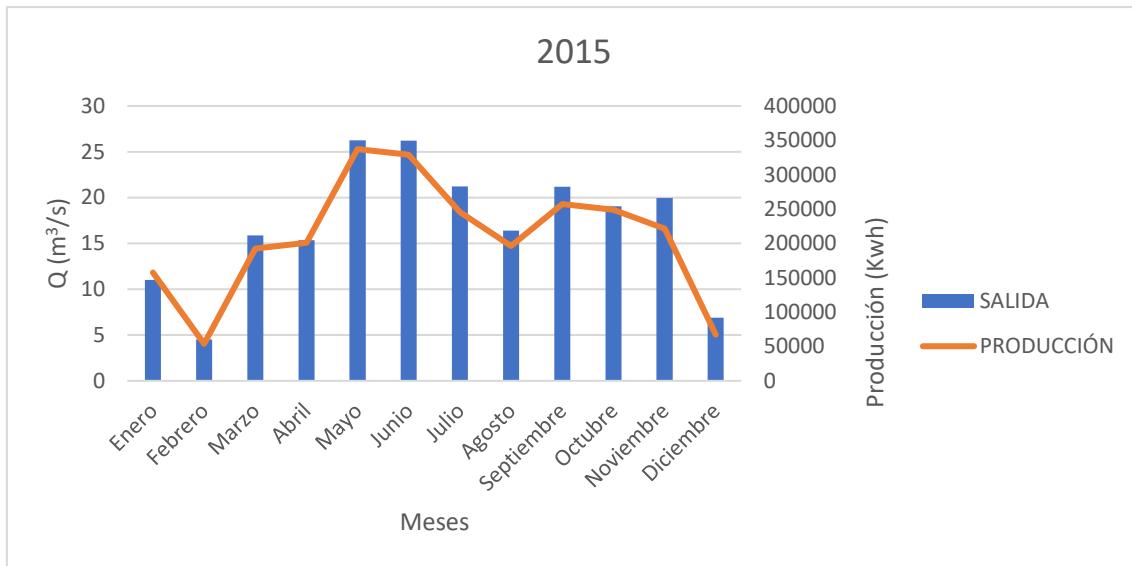


Figura 2. 256 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2015.

2.17.2.6 Capacidad de almacenamiento

De la gráfica realizada en la figura 257 comenzamos por comentar la poca concordancia que existe entre las entradas y salidas de caudal, ya que solamente en los dos últimos meses del año éstas toman valores parecidos. Mientras que las entradas, pasado el mes de febrero, comienzan a subir con un ritmo casi constante, las salidas van creciendo o disminuyendo alrededor de éstas sin seguir una pauta clara. En la segunda mitad del año, cuando los caudales de entrada se vuelven más irregulares, las salidas todavía se adecuan peor a ellos, perdiendo el volumen contenido en el pantano que hasta la fecha se había mantenido alrededor de los 70 Hm³, llegando incluso hasta los 75 Hm³.

La mayor variación se produce entre el mes de septiembre y el de octubre, cuando la pérdida de volumen es de 22 Hm³, pasando de los 66 Hm³ a los 44 Hm³.

Al finalizar el año, el volumen contenido en el pantano registra su mínimo anual, situándolo en 25,54 Hm³.

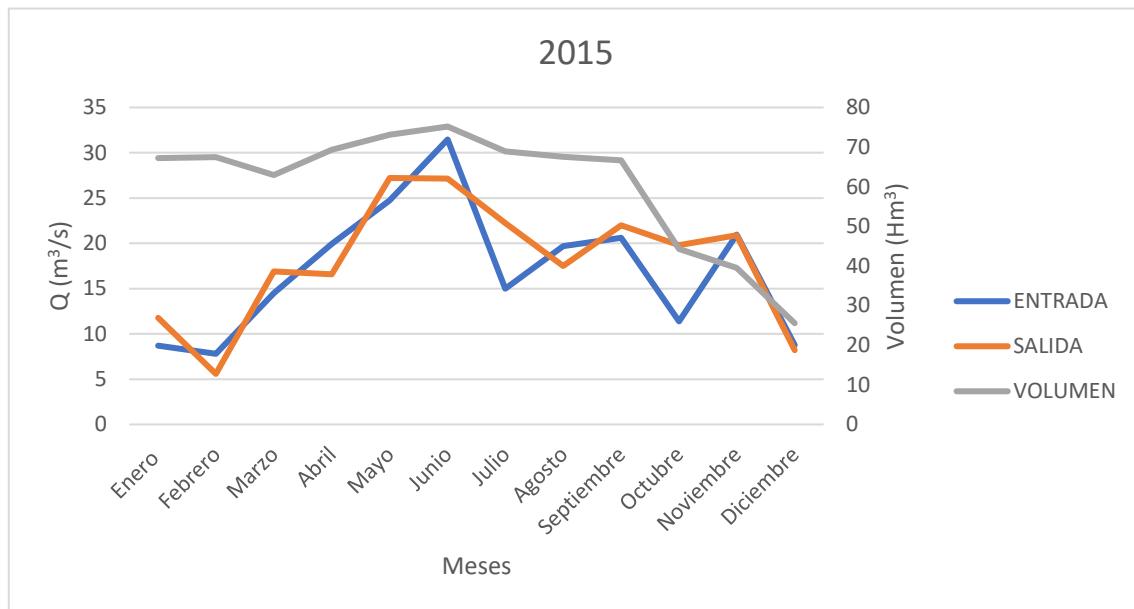


Figura 2. 257 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2015.

2.18 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2016.

2.18.1 Embalse de Barasona

2.18.1.1 Temperatura y precipitación

Las precipitaciones mostradas en la figura 258 muestran que durante el verano no se llegó a superar el valor de 5mm acumulados en ninguno de los meses, por lo que podemos hablar de un verano muy seco. A comienzos de año, estas precipitaciones alcanzaron los 74,4 mm en abril, valor considerable, pero que dista mucho del máximo recogido, el cual ocurrió en el mes de noviembre, cuando el valor alcanzó los 122,3 mm, dando un mes de abundantes precipitaciones que, como veremos a continuación, repercutió en las entradas registradas.

Las temperaturas llegaron a alcanzar los 34,5°C durante el mes de julio, y no bajaron de los 30°C en todo el verano. Las mínimas tampoco tomaron valores negativos durante todo el año, lo que hizo que las temperaturas medias calculadas no descendieran de los 5°C.

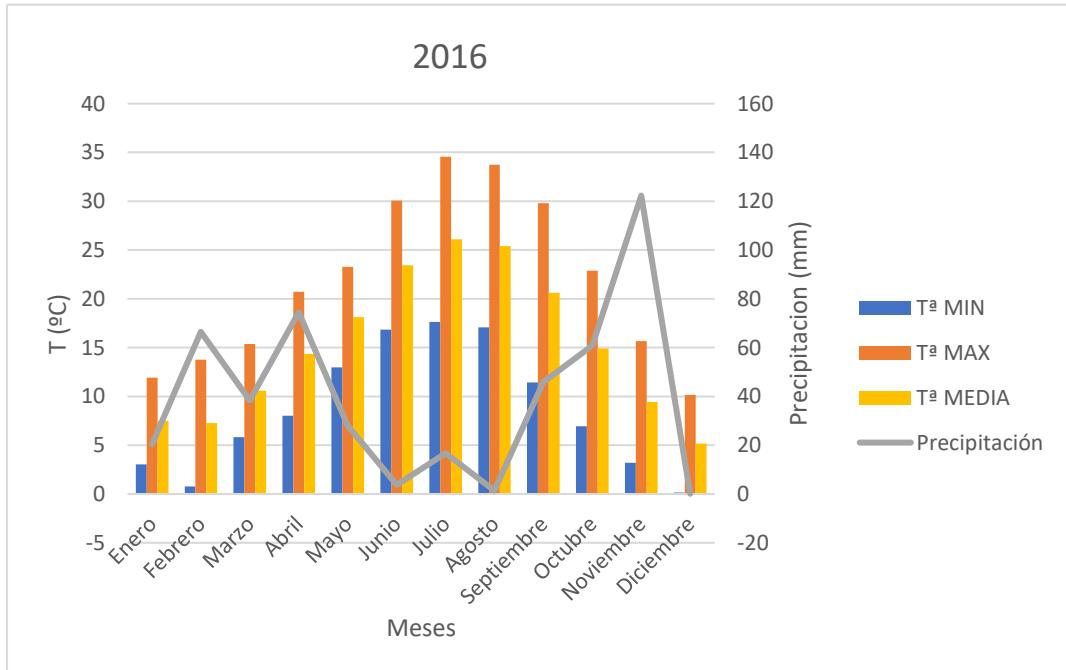


Figura 2. 258 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2016.

2.18.1.2 Entradas

Las entradas registradas en el pantano comenzaron el año con valores en torno a los 400 m³/s durante los tres primeros meses del año. Estos ascendieron por encima de los 800 m³/s en el mes de abril llegando a registrarse un caudal de entrada durante el mes de mayo de 1156,23 m³/s. A partir de este mes comenzaron a descender hasta valores por debajo de los 400 m³/s en el mes de septiembre. Con la llegada de noviembre, y las abundantes lluvias registradas en dicho mes, el caudal creció repentinamente hasta alcanzar el valor de 987,26 m³/s, lo que supone una diferencia de más de 700 m³/s con el mes anterior y de 600 m³/s con el posterior.

El año terminó con un caudal de 382,66 m³/s en el mes de diciembre, valor similar a los que se recogieron a comienzos del año.

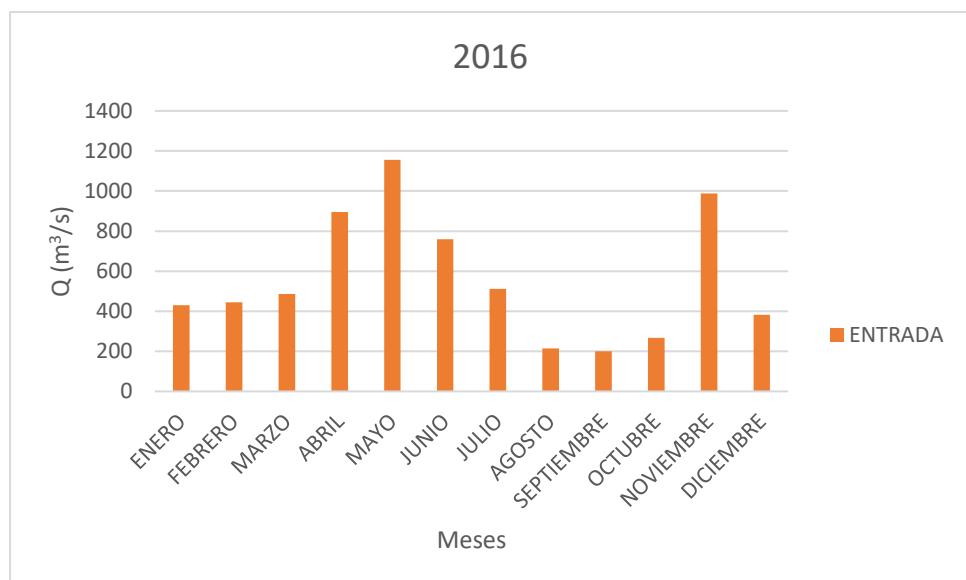


Figura 2. 259 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2016.

2.18.1.3 Demanda

Si nos fijamos en las salidas mostradas en la figura 260, el año comenzó con un aprovechamiento nulo del caudal de salida, puesto que apenas circuló caudal por la salida de la central, fenómeno que no había aparecido hasta la fecha. En cambio, durante el mes de mayo, éste fue de $33,46 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que supone un aprovechamiento cercano al máximo permitido.

En el mes de noviembre, a pesar del abundante caudal que se incorporó al pantano, el aprovechamiento para la generación de energía hidroeléctrica fue escaso, ya que como veremos a continuación, este aumento del caudal se dio a finales de mes. En cambio, por la salida de los aliviaderos circuló un mayor promedio de agua diaria.

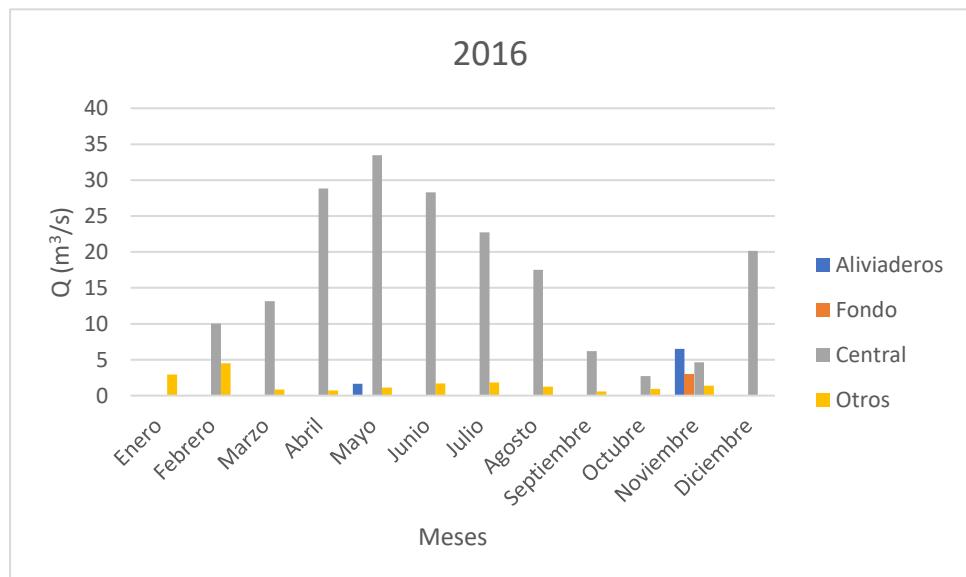


Figura 2. 260 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2016.

En la siguiente representación se muestra la evacuación del agua que llegó al pantano en forma de avenida a finales del mes de noviembre.

Como hemos resaltado anteriormente, vemos que, por la salida de la central el caudal que circulaba era nulo, hasta que comenzó a ascender y en dos días alcanzó los $36 \text{ m}^3/\text{s}$ máximos permitidos. Además, durante los días 24 y 25, por la salida de los aliviaderos y los desagües de

fondo se desembalsó un caudal cercano a los 100 m³/s diarios, para hacer frente a la avenida. Fue por esta razón por la que justo después se pudo dar salida a una mayor cantidad de agua para ser aprovechada en la generación de energía.

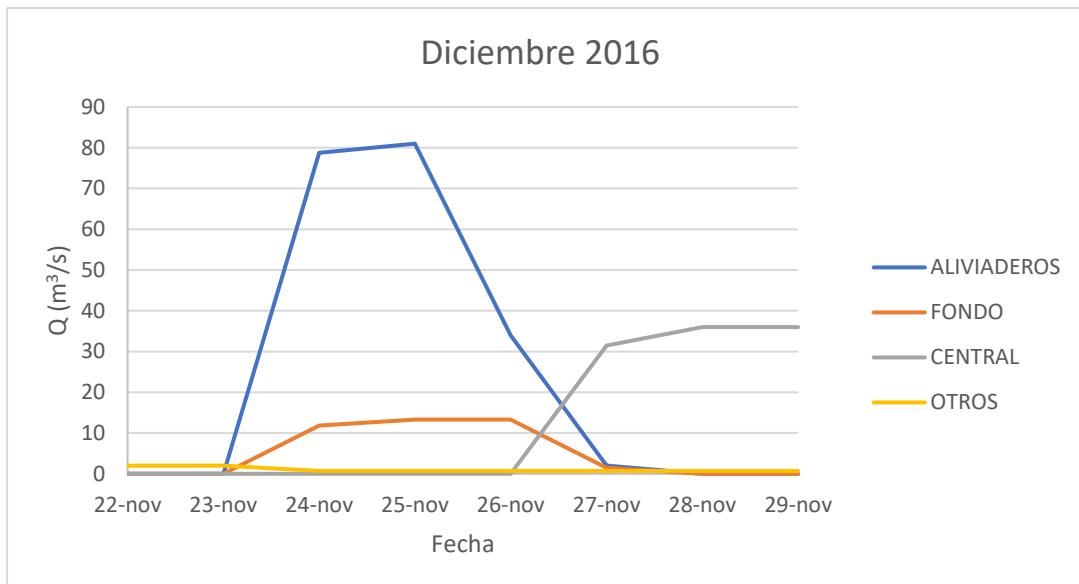


Figura 2. 261 Evolución de la salida de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del mes de junio del año 2016.

2.18.1.4 Canal/Río

El reparto de caudal entre el río Ésera y el Canal de Aragón y Cataluña se indica en la figura 262. En ella vemos que el año comenzó con un escaso caudal para ambos, debido a las escasas salidas. Al mes siguiente, el caudal destinado al canal aumentó hasta los 13 m³/s pero el máximo se dio durante el mes de junio con el valor de 26,85 m³/s. Durante los meses de verano por el río apenas circularon 2 m³/s diarios, fenómeno que cambió al llegar noviembre, y fruto de las avenidas, el caudal ascendió hasta 10,39 m³/s. El año finalizó con unos caudales de 7,33 m³/s y 13,52 m³/s, destinados al río y al canal respectivamente.

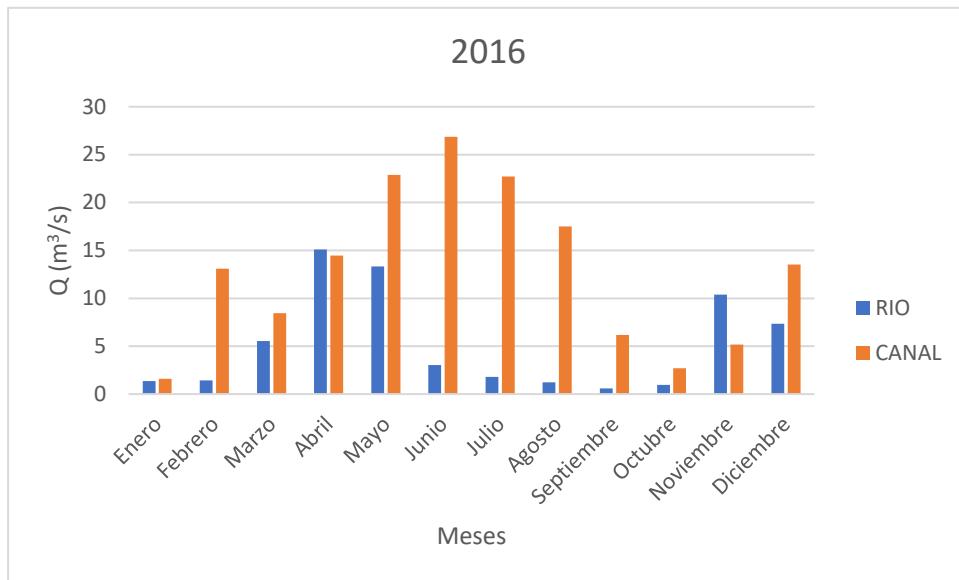


Figura 2. 262 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2016.

2.18.1.5 Producción hidroeléctrica

El año comenzó con 0 Kwh generados en el mes de enero, cifra que no se había dado hasta la fecha, lo que significa que, durante todo este mes, no se dedicó ni 1 m^3/s para la generación, reservando al máximo el agua que entraba al pantano. En cambio, durante mayo, y con un caudal próximo al máximo permitido, se superaron los 400000 Kwh de potencia.

Exceptuando el mes de enero, el mínimo caudal destinado a la central fue durante octubre con apenas 2,70 m^3/s , lo que generó una potencia de 20549,93 Kwh. El año finalizó con 20,15 m^3/s dedicados a la generación y una producción de 232857,22 Kwh.

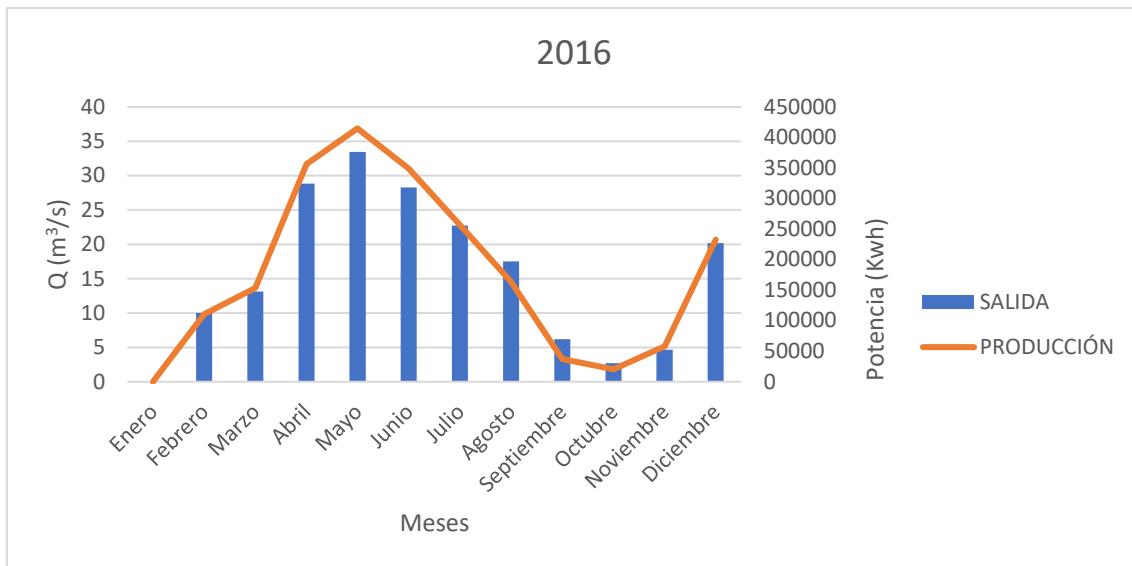


Figura 2. 263 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2016.

2.18.1.6 Capacidad de almacenamiento

El volumen embalsado al comenzar el año se situó en los 55,56 Hm³, debido a los escasos caudales que abandonaron el embalse durante el mes de enero. Este valor de volumen ascendió hasta situarse cerca de los 80 Hm³ durante los meses de mayo y junio, a la vez que se aprovechaban los grandes caudales de entrada para realizar un gran aprovechamiento del agua. Con el descenso de las entradas, el volumen comenzó a bajar hasta que en el mes de octubre el agua contenida en el pantano fue de 12,82 Hm³. Nuevamente, y aprovechando la elevada cantidad de agua entrante durante el mes de noviembre, el volumen pasó de los 14,18 Hm³ registrados en el mes de octubre hasta los 52,81 Hm³ en noviembre, lo que supuso una subida de casi 40 Hm³, para finalizar el año con un volumen contenido de 49,29 Hm³.

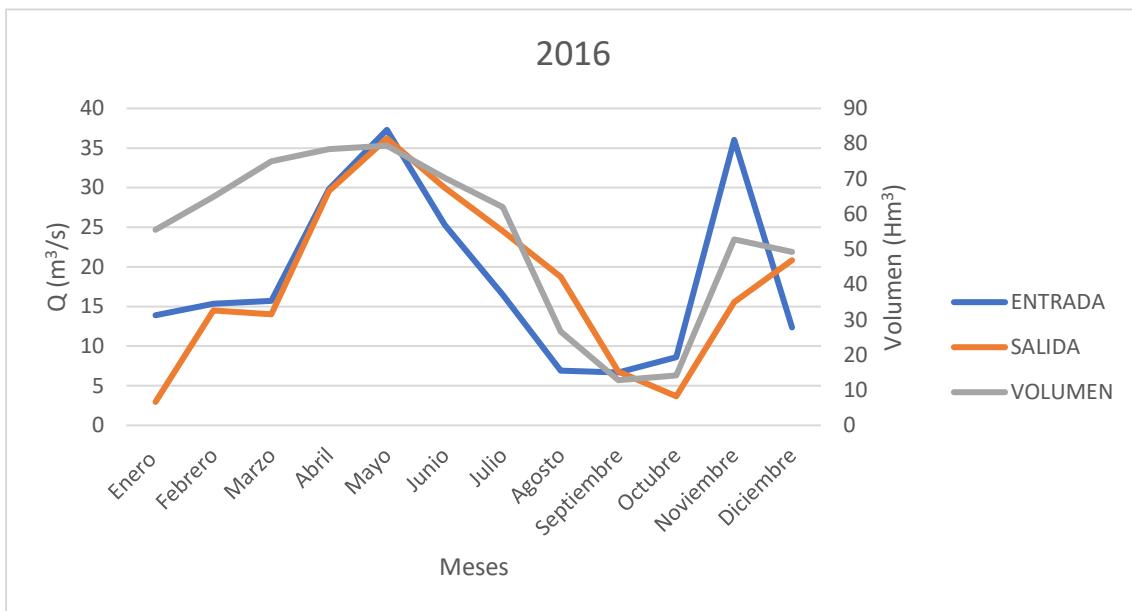


Figura 2. 264 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2016.

2.19 Análisis hidrológico de los datos referentes al año 2017.

Este será el último análisis individual que se va a realizar, puesto que no contamos con los datos del año 2018 completo. En él se muestran los valores recogidos solamente en las instalaciones del pantano, ya que, como indicamos un par de años atrás no se ha podido obtener acceso a los datos de las estaciones de aforo situadas en la cuenca.

2.19.1 Embalse

2.19.1.1 Temperatura y precipitación

Comenzando con las precipitaciones obtenidas, el año comenzó con un valor de 20,6 mm recogido en enero, para poco después alcanzar el máximo anual situado en 116,3 mm. Posteriormente el valor de precipitaciones tuvo dos fuertes recaídas, en julio y noviembre. En este último mes el valor fue de 3,3 mm.

Las temperaturas medidas superaron los 30ºC durante los meses de verano, situando las temperaturas medias por encima de los 25ºC en julio. Las temperaturas mínimas registradas se dieron durante el invierno cuando los valores estuvieron por debajo de los 0ºC desde noviembre hasta enero, registrando mínimas de -1,25ºC en dicho mes.

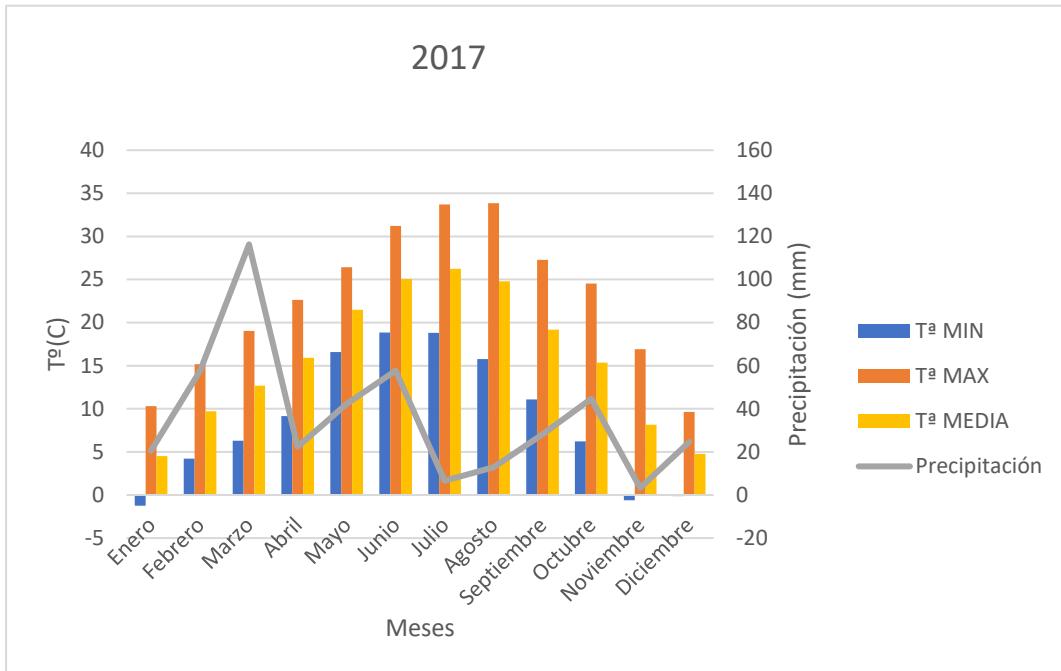


Figura 2. 265 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída mensuales en el embalse de Barasona durante el año 2017.

2.19.1.2 Entradas

Los caudales que se incorporaron al pantano durante los meses del año 2017 fueron mayores durante la primera mitad del año, a causa del deshielo nival, y las abundantes precipitaciones que hemos observado anteriormente.

El año comienza con 191,61 m³/s en el mes de enero, para pronto, en febrero, superar los 700 m³/s. Hasta pasado el mes de junio los caudales no descenderían de dicho valor, llegando a situar el máximo durante el mes de mayo, cuando el caudal registrado fue de 1057,35 m³/s.

En la parte final del año, a partir del mes de agosto, los caudales no superaron los 250 m³/s mensuales, por lo que estuvimos antes un segundo tramo del año seco, factor que repercutirá en el aprovechamiento del agua, como veremos a continuación.

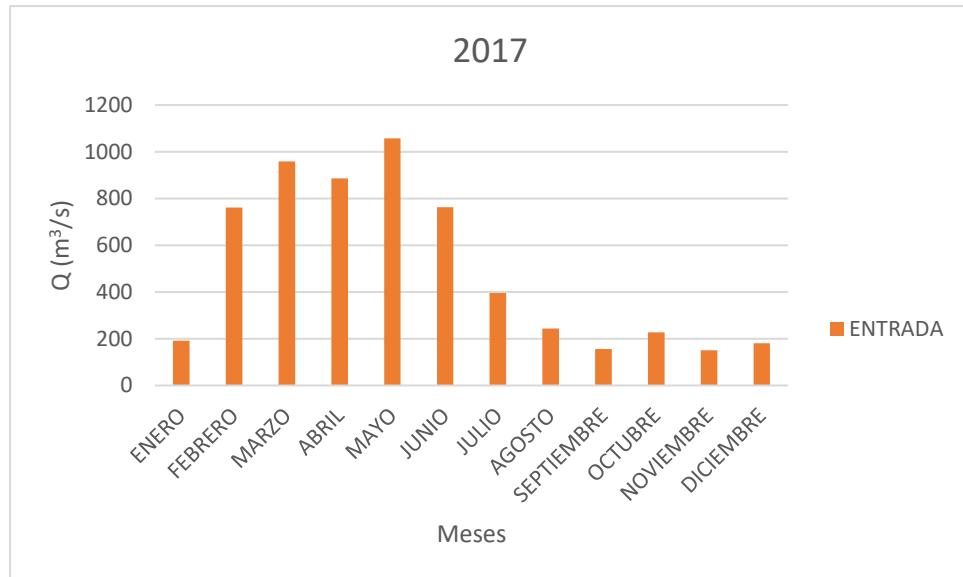


Figura 2. 266 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos mensualmente en el embalse de Barasona en el año 2017.

2.19.1.3 Demanda

Al igual que en las entradas, el año comenzó con unos caudales de salidas que fueron aumentando hasta llegar el mes de mayo cuando comenzó su declive.

La mayor parte del agua que abandonó el pantano lo hizo en dirección a la central, tal y como se muestra en el gráfico circular de la figura 268. Esta salida constituyó el 94% de las salidas totales registradas en el pantano.

En el tramo final del año 2017 por ninguno de los orificios de salidas se registraron unos caudales mayores a los $5 m^3/s$ diarios. Como hemos dicho anteriormente, los escasos caudales de agua registrados en dicha época repercutieron en las salidas, teniendo que limitar al máximo éstas para mantener un cierto volumen de agua en el pantano. El caso contrario se aprecia en el mes de mayo, en la figura 267, se ve que, junto con abril, fueron los meses en los que una mayor cantidad de agua salió del pantano, cuyo objetivo principal fue, en ambos casos, la generación de energía hidroeléctrica.

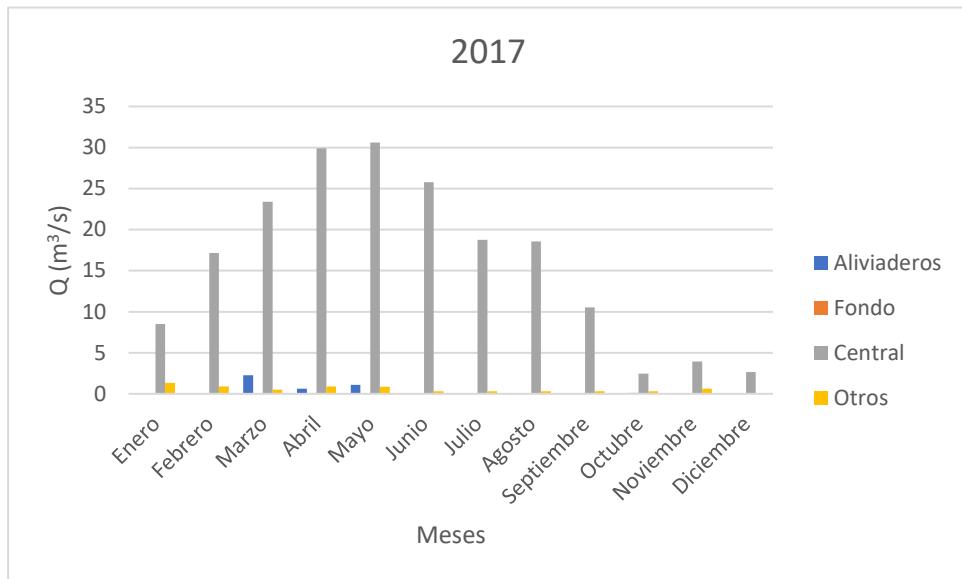


Figura 2. 267 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año 2017.

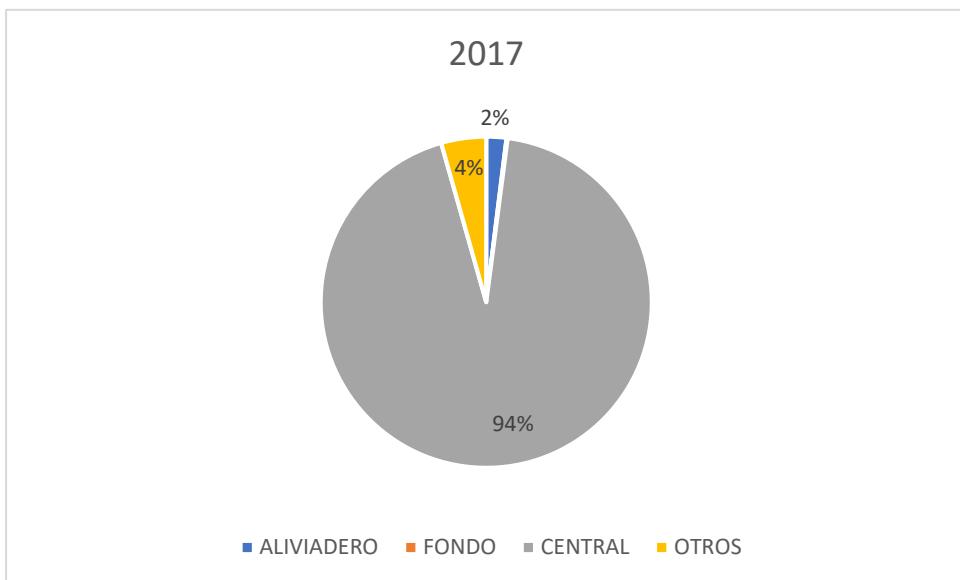


Figura 2. 268 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse en el año 2017.

2.19.1.4 Canal/Río

El reparto del agua entre el Canal de Aragón y Cataluña se realizó según se muestra en la figura 269.

El año comenzó con una gran variación de los caudales entre los dos primeros meses, en enero fue el canal quien se llevó más caudal, pero al llegar febrero, el predominio fue por parte del río, como venía siendo habitual durante los primeros meses. Conforme pasaron los meses, el

caudal encauzado hacia el canal fue aumentando, mientras que el que circulaba por el río iba disminuyendo. En los meses comprendidos entre mayo y septiembre ambos tomaron sus mayores diferencias.

En los meses de finales del año los caudales se igualaron y tomaron valores inferiores a los 5 m³/s diarios, fruto de las escasas salidas.

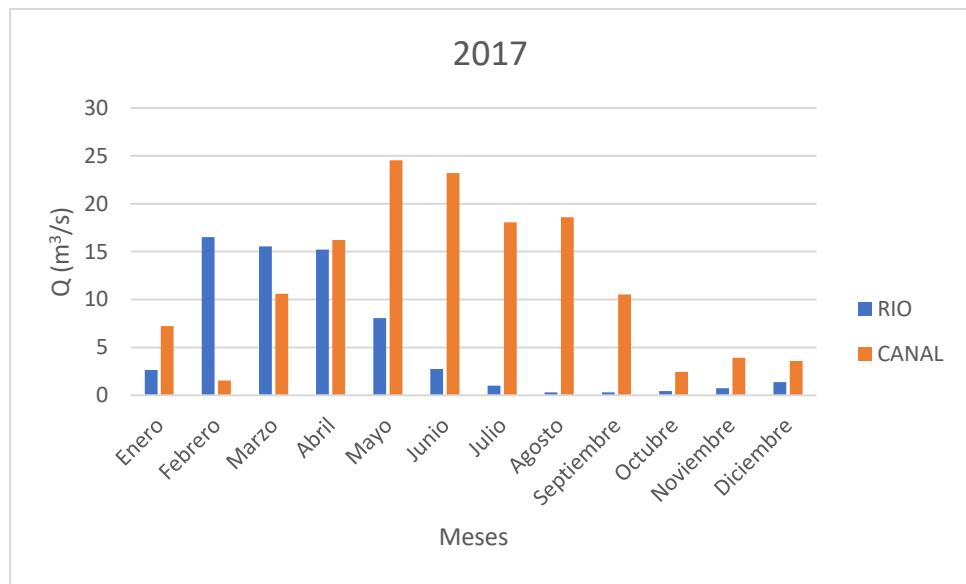


Figura 2. 269 Evolución del caudal mensual que circula por el río y el canal a lo largo del año 2017.

2.19.1.5 Producción hidroeléctrica

La producción de energía generada a lo largo del año 2017 que se detalla en la figura 27 comienza con 99986.80 Kwh en el mes de enero. Este valor comienza a ascender hasta que, en mayo, aprovechando los elevados caudales entrantes, y el aumento de las salidas que este hecho conlleva, el caudal destinado a la central fue de 30,62 m³/s, lo que generó una potencia de 389361,16 Kwh. A partir de dicho mes los caudales disminuyeron hasta que en octubre fueron de apenas 2,44 m³/s, generando 22059 Kwh, lo que supone una diferencia de más de 350000 Kwh, con respecto al mes de mayor producción, es decir mayo.

El año terminó con valores similares a los comentados en octubre. La potencia generada fue de 26811 Kwh, fruto, una vez más, de las escasas entradas registradas durante la segunda mitad del año.

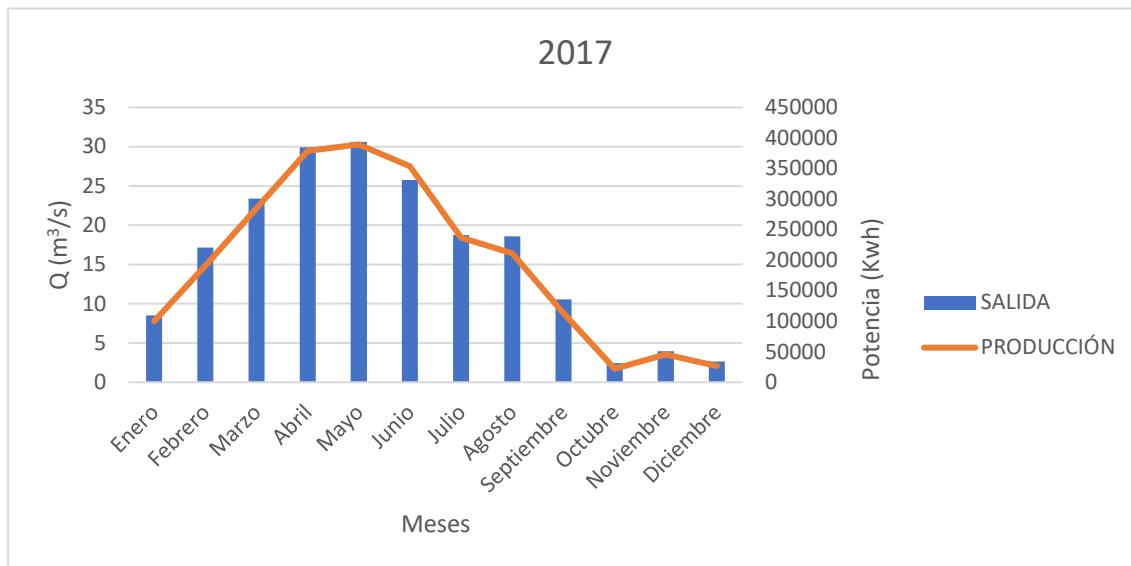


Figura 2.270 Evolución del caudal mensual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del año 2017.

2.19.1.6 Capacidad de almacenamiento

Para finalizar, el volumen almacenado durante el año 2017 sufrió pocas oscilaciones, ya que siguió la senda observada con anterioridad en años pasados. El volumen contenido a comienzos de año se situó en 46,03 Hm³, con el aumento de las entradas éste aumentó hasta rondar la cifra de 80 Hm³ durante buena parte de la época primaveral. Con los elevados caudales de entrada fruto del deshielo nival, el nivel del pantano comenzó a ascender, hasta alcanzar la cifra de 80,65 Hm³ en el mes de junio. Con la llegada del invierno y el cese de este aporte el volumen descendió hasta que en el mes de octubre se registró el valor mínimo, con un volumen de 21,75 Hm³. Fue en este mes cuando las salidas tomaron valores inferiores a las entradas, para recuperar cierta cantidad de agua, y aumentar el nivel.

A pesar de esta disminución de las salidas, la falta del aumento de caudal que se solía dar a finales de octubre, a raíz de las elevadas precipitaciones, fue un impedimento para lograr almacenar una cantidad significativa de agua, es por ello que el volumen contenido en el pantano a finales de año fue de 24,73 Hm³/s, lo que supuso una pérdida de en torno a 20 Hm³ en el cómputo global del año 2017.

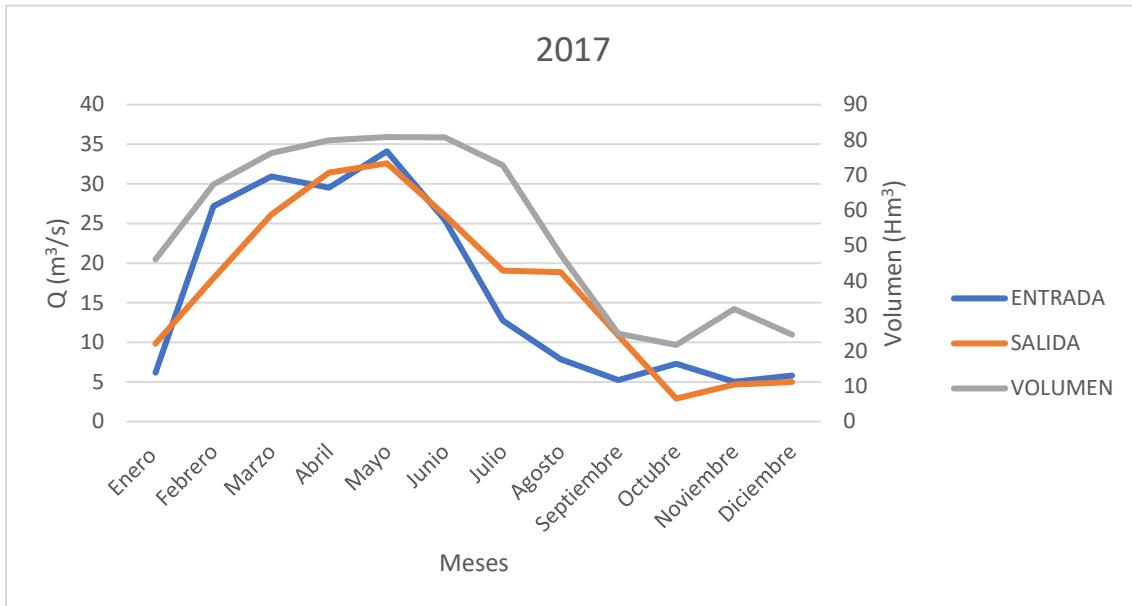


Figura 2. 271 Evolución temporal mensual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del año 2017.

2.20 Cómputo global de años

En este documento se van a presentar las conclusiones obtenidas después de haber realizado los análisis de los datos individualmente para cada año. En él se presentarán las representaciones del cómputo global de los años y sobre ellas se apoyarán las conclusiones obtenidas. El guion a seguir será el empleado hasta el momento, comenzando por la evaluación de la cuenca y más tarde de los datos recogidos en el pantano.

2.20.1 Cuenca

2.20.1.1 Aportaciones de la cuenca al embalse

2.20.1.1.1 Ésera

Comenzando una vez más por la estación de Eriste, en la figura 272 se muestra la media anual de caudales recogidos en la estación de aforo. Si bien estos valores no son superiores a los 2 m³/s, ya se comienza a ver una diferencia significativa entre años en los que el aporte de agua es escaso, como es el caso del año 2002; y otros como el año 2013 en los que el caudal diario toma mayores valores. También se aprecia cierta fluctuación entre los distintos años, y no se aprecia un patrón claro de comportamiento. Más adelante veremos si los datos recogidos en esta estación pueden ser considerados como una buena manera de prever como se comportarán las aportaciones en los años próximos. De ser así esto sería de gran ayuda a la hora de anteponerse a diversos fenómenos ya que estos ocurrirán cierto tiempo antes de ser observados en el pantano.

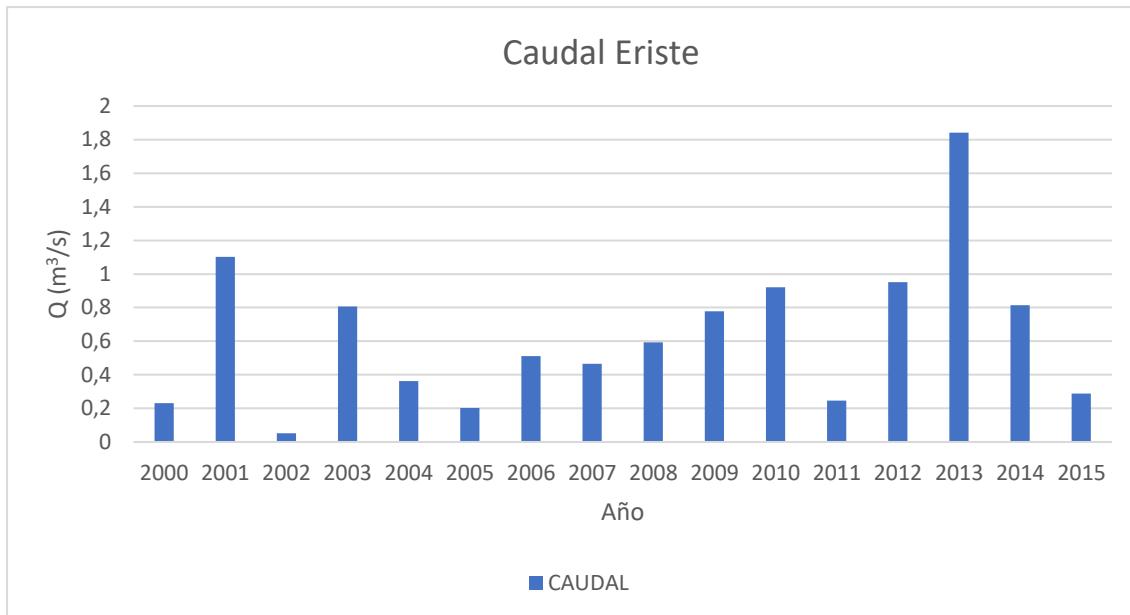


Figura 2. 272 Caudal registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del periodo de estudio.

Las alturas mostradas en la figura 273, a diferencia de los caudales medidos, no muestran tanta irregularidad puesto que los valores están comprendidos entre los 0,13 m y los 0,26 m. Si que es cierto que, en los años en los que el caudal fue menor, como puede ser el citado año 2002, la altura media también tomó menores valores, pero esta diferencia se hace menos perceptible que en el caso de los caudales, por lo que estas medidas de nivel del agua no serían de tanta utilidad.

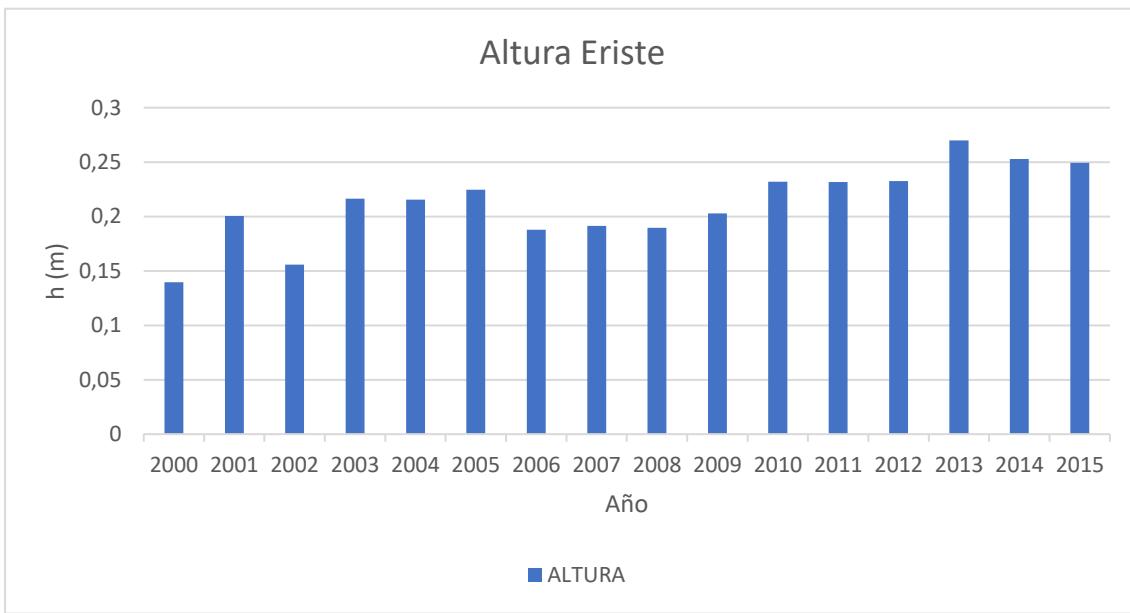


Figura 2. 273 Nivel de agua registrado en la estación de aforo de Eriste a lo largo del periodo de estudio.

En la estación de aforo de Campo se recogieron durante el periodo de estudio los siguientes datos de caudal y altura medios y mostrados en las figuras 274 y 275.

Los valores de caudales han aumentado a causa de la madurez del río. Al igual que los valores obtenidos en Eriste, no se aprecia una tendencia dada la irregularidad de los valores, estos van desde los $8,44 \text{ m}^3/\text{s}$ diarios, obtenidos en el año 2011 hasta los más de $25 \text{ m}^3/\text{s}$ del 2003. Los valores máximos y mínimos han variado, y ya no corresponden a los años 2013 y 2002 respectivamente, sino que se han trasladado al 2011 y 2003. Esto nos muestra que en la estación de Eriste a pesar de la gran diferencia entre valores, ésta está situada muy cercana a su nacimiento y los valores finales con los que se tendrá que trabajar en las instalaciones del pantano distan mucho de los recogidos en dicha estación; en cambio estos valores de caudal en Campo ya tienen más relación con los valores finales observados a la entrada del pantano. Esto es fruto de la etapa en la que está el río, aunque también será un inconveniente a la hora de la anticipación de acontecimientos.

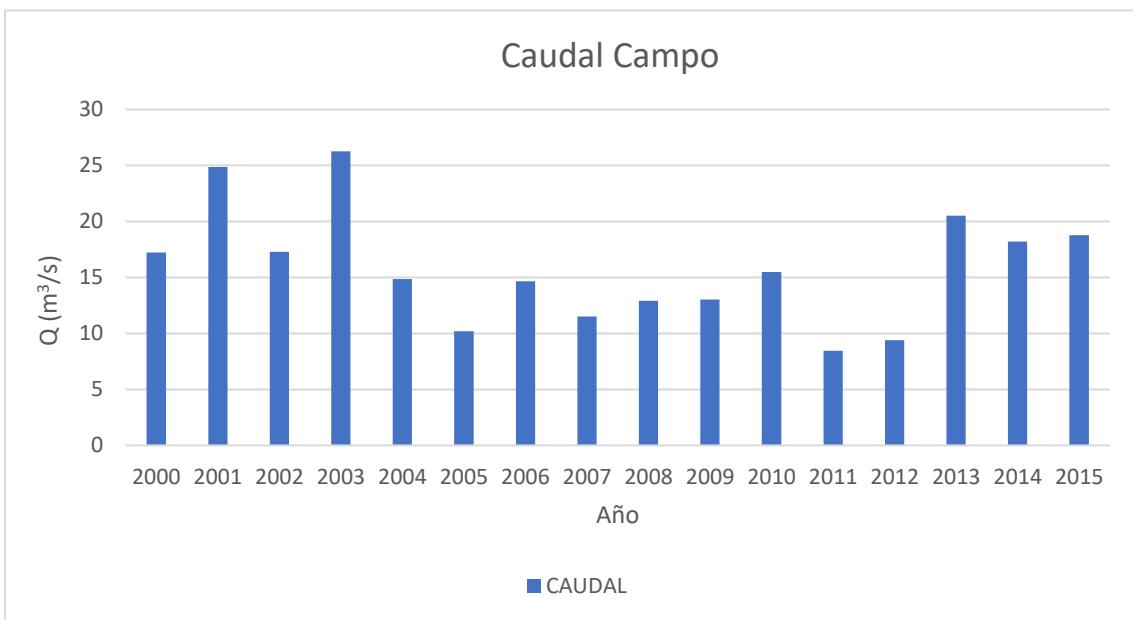


Figura 2. 274 Caudal registrado en la estación de aforo de Campo a lo largo del periodo de estudio.

Las medidas de altura guardan cierta relación con los caudales evaluados, aunque como pasaba con los valores obtenidos en Eriste, la utilización de éstos para predecir un posible comportamiento de los caudales no sería una buena práctica. La oscilación que acabamos de observar en los caudales se hace menos visible en estas medidas de nivel y años en los que se

han señalado unas bajas medidas de caudal no corresponden con estos niveles de altura mínimos.

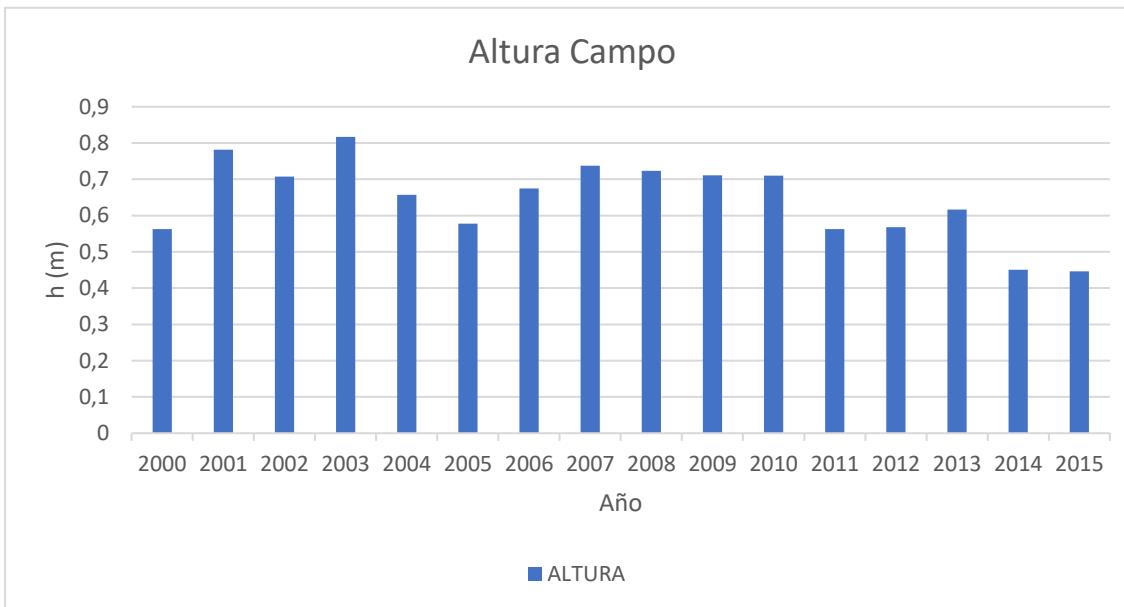


Figura 2. 275 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Campo a lo largo del periodo de estudio.

Finalmente, en la estación de aforo situada en Graus se recogen los caudales que más se asemejan a los registrados en la entrada del pantano. Estos valores de caudal son los mostrados en la figura 276. En ellos, una vez más, se aprecia cierta irregularidad en los valores obtenidos y no siguen un tendencia o periodicidad clara. Si comparamos estos valores con los obtenidos en las dos estaciones anteriores vemos que, con respecto a la estación de Campo, los valores se asemejan, por lo que los valores recogidos en Campo podrían tomarse como válidos a la hora de realizar una previsión. El inconveniente es la cercanía entre ambas estaciones la cual limita el tiempo de anticipación. En cambio, los valores medios obtenidos en Eriste son muy distantes a los finalmente medidos en Graus. Por otro lado, como se ha visto en los análisis anuales, si en la estación de Eriste se recoge un caudal desmesurado durante una jornada, este, muy probablemente, tendrá que ser tenido en cuenta a la hora de gestionar las salidas.

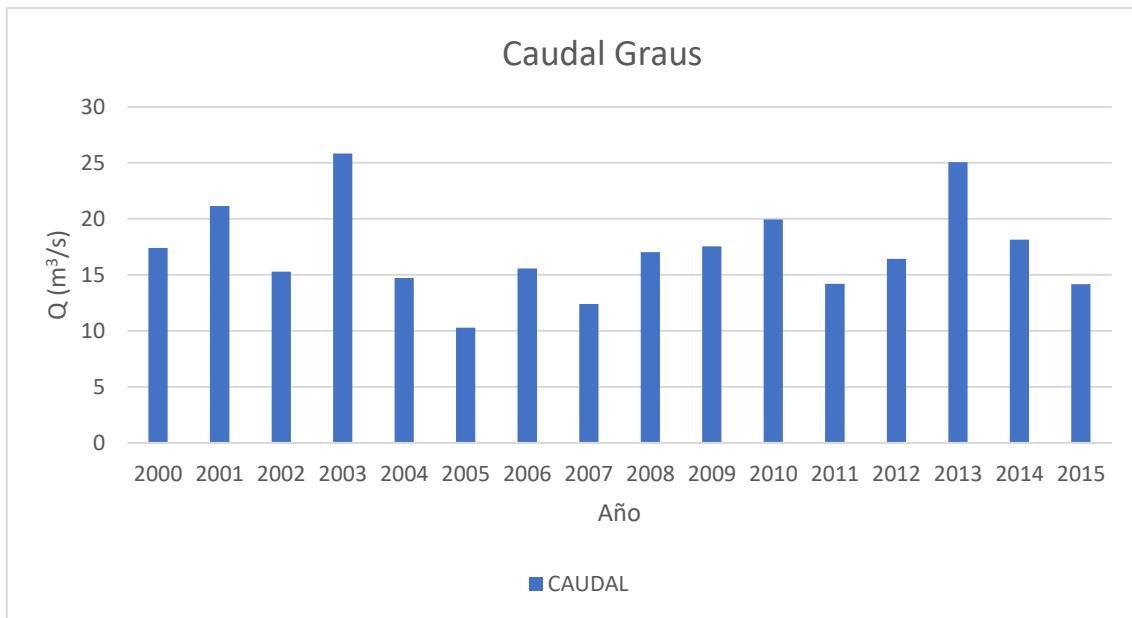


Figura 2. 276 Caudal registrado en la estación de aforo de Graus a lo largo del periodo de estudio.

Los niveles de altura recogidos en Graus, al igual que en las dos estaciones anteriores, son muy parejos a lo largo de los años. Los valores medios diarios van desde 1,15 m hasta 1,35 m, por lo que la máxima variación entre los años de menores y mayores caudales registrados es de apenas 20 cm. Con esto obtenemos que en la figura 277 la irregularidad que se aprecia es más bien escasa y aunque sí que es cierto que la concordancia entre los años de mayores caudales y los niveles registrados es mayor que la observada en las anteriores estaciones, no se podría considerar un buen método a la hora de la evaluación del caudal.

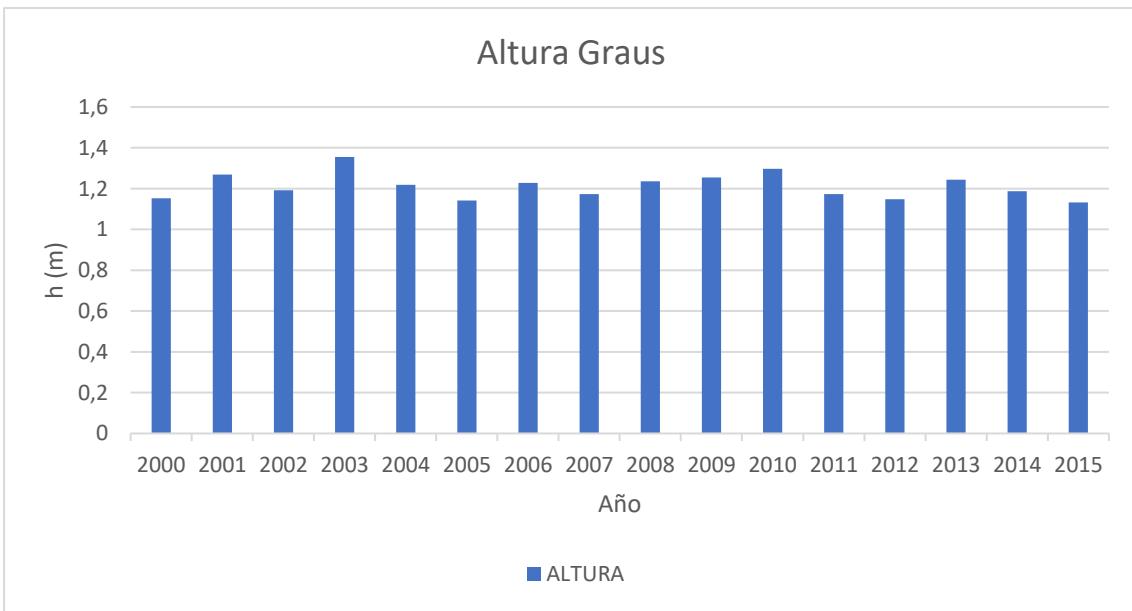


Figura 2. 277 Altura del nivel de agua registrada en la estación de aforo de Graus a lo largo del periodo de estudio.

De estas dos últimas representaciones se puede afirmar que la altura del río Ésera, a la entrada del embalse, es superior a un metro u que el caudal que circula por el río, a pesar de las oscilaciones toma valores medios que están entre los $10 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que correspondería a un año seco, y los $25 \text{ m}^3/\text{s}$ para un año en el que los caudales de entrada son abundantes

2.20.1.1.2 Isábena

Las medidas de caudales diarios en la estación de Capella toman valores mucho menores que los del río Ésera a su paso por Graus; es por ello que la influencia de este río en el cómputo global de entradas registradas al pantano sea menos influyente.

Al igual que los valores registrados en el río Ésera, y salvando las distancias de la magnitud, se aprecia que, los valores de la figura 278 tienen cierta concordancia con los analizados en la estación de Graus. Esto es a causa de que ambos ríos poseen la misma naturaleza y puesto que están situados en la misma cuenca geográfica, los aportes de los cuales son similares.

En esta estación los caudales van desde los $1,26 \text{ m}^3/\text{s}$ diarios, de media en un año seco, hasta los cerca de $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

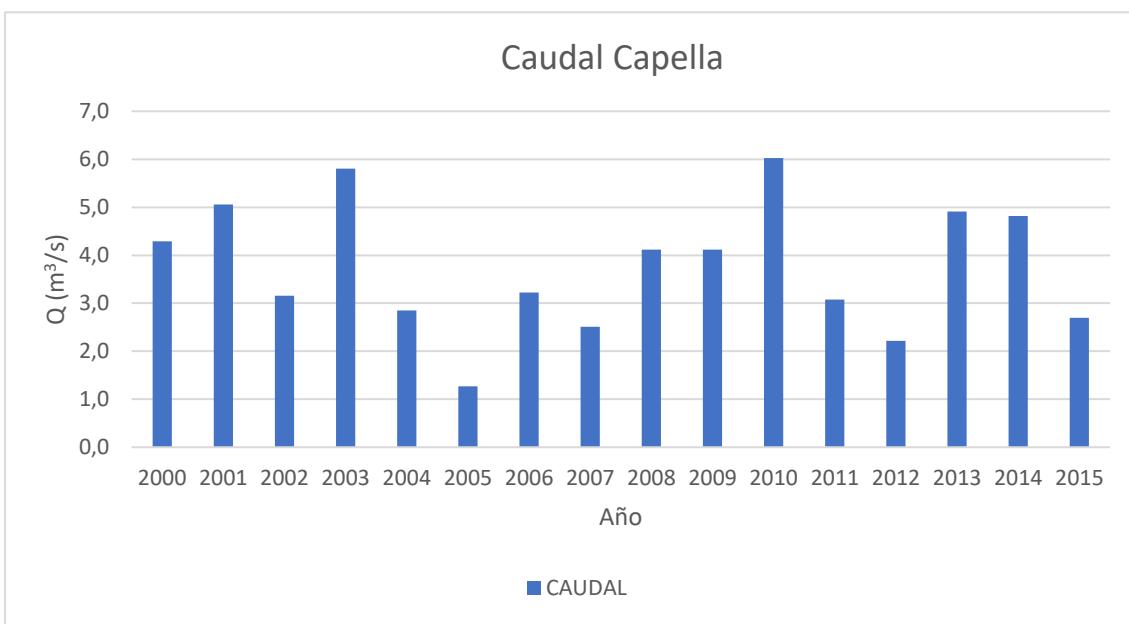


Figura 2. 278 Caudal registrado en la estación de aforo de Capella a lo largo del periodo de estudio.

En la figura 279 sí que se aprecia una mayor irregularidad de los datos de nivel de agua, puesto que oscilan entre los 0,26 m y los 0,51 m.

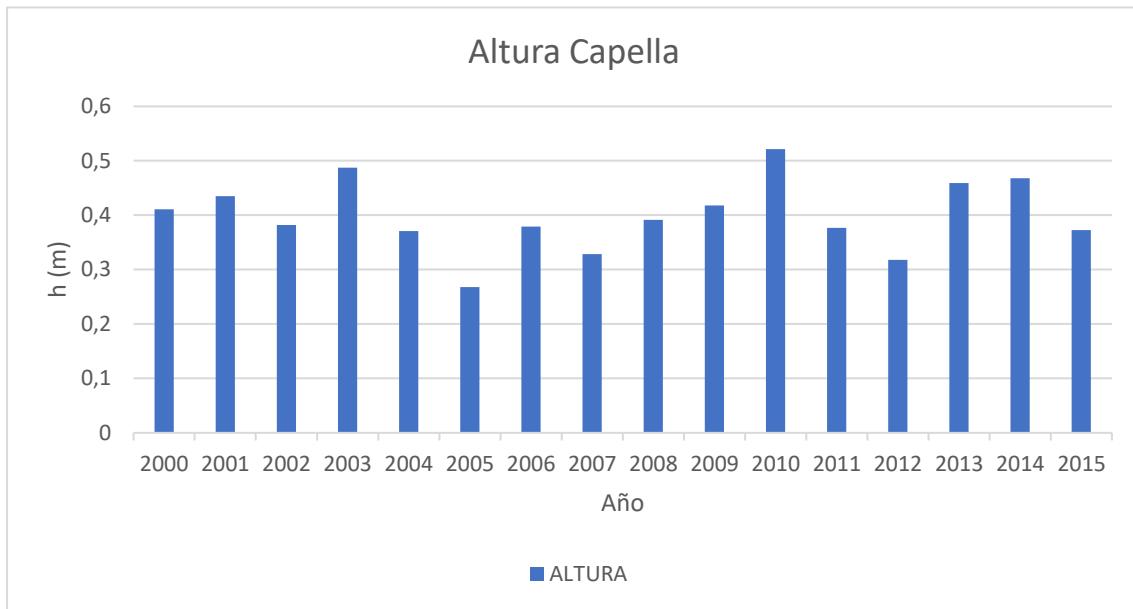


Figura 2. 279 Nivel de altura de agua registrada en la estación de aforo de Capella a lo largo del periodo de estudio.

2.20.1.1.3 Confluencia

Aquí se analiza el caudal medio diario conjunto de ambos ríos como aporte principal al embalse.

En la figura 280 se aprecian las diferencias entre años de poco aporte (2005) y años de mayor aporte (2003 o 2013). Esta diferencia va desde los 11,56 m³/s tomados durante el año 2005, hasta los más de 30 m³/s en el año 2003.

La variación entre los diferentes años condiciona el funcionamiento del pantano, así como las acciones que se deberán tomar para realizar una mejor gestión posible del agua disponible.

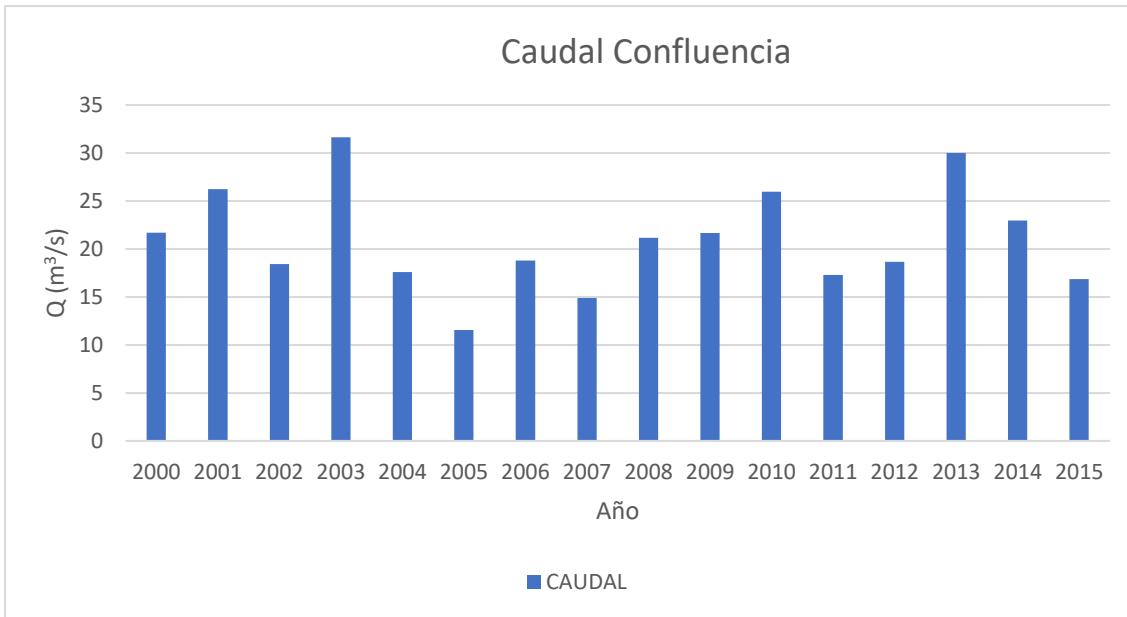


Figura 2. 280 Caudal registrado en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena a lo largo del periodo de estudio.

2.20.2 Embalse

2.20.2.1 Temperatura y precipitación

Las temperaturas medias anuales registradas en las instalaciones del pantano se muestran en la figura 281. En ella aparece que la temperatura máxima registrada corresponde al año 2017, así como las medias y mínimas más altas desde comienzos de siglo. Una causa de este aumento de la temperatura es el calentamiento global, fenómeno que no sólo influiría en las temperaturas sino también en las precipitaciones. El aumento de la temperatura se aprecia desde el año 2013. También es cierto que el segundo año más caluroso fue el 2011, justo antes del comienzo de este aumento que acabamos de nombrar, es por ello que para dirimir unas conclusiones caras, el estudio debería abarcar un mayor espacio temporal y así poder tener una visión más amplia de los cambios.

Las precipitaciones varían en mayor medida que las temperaturas. En ellas podemos observar años realmente húmedos como el 2003 o 2008 y otros más secos como 2004, 2005 y 2006. Los años húmedos se dan en menor medida, puesto que el valor de 600 mm solamente se ha superado en 4 años, desde el 2000. Por el contrario, abundan los años con precipitaciones en torno a los 500mm, encontrados en 10 de los 18 años analizados.

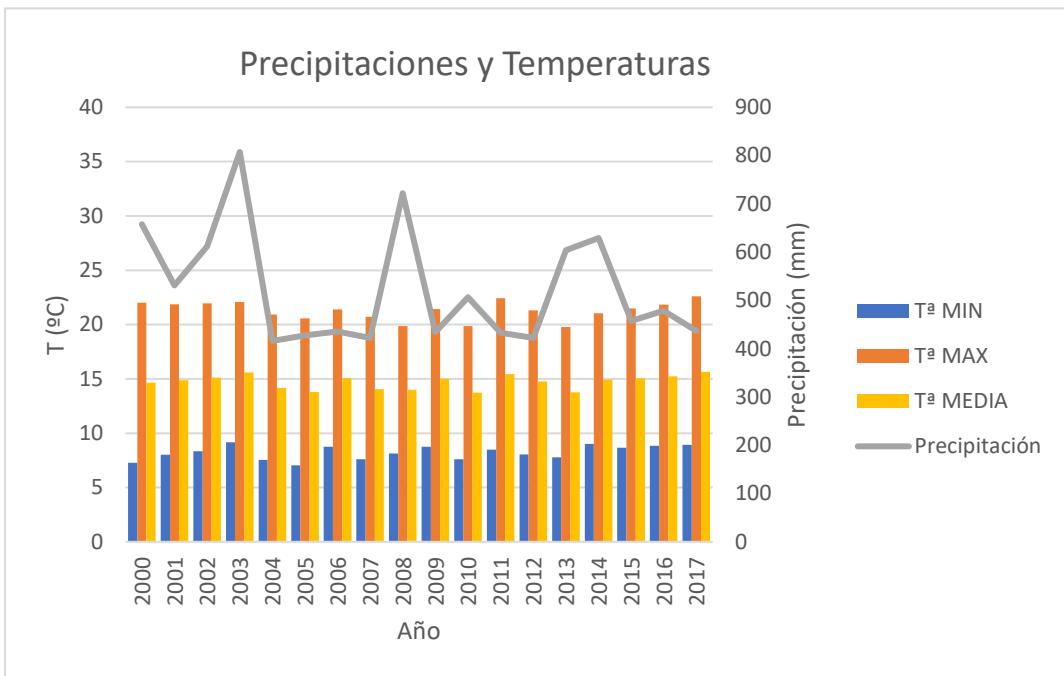


Figura 2.281 Evolución de las temperaturas mínima, media y máxima y precipitación caída anualmente en el embalse de Barasona durante el periodo de estudio.

2.20.2.2 Entradas

Las entradas registradas en el pantano, así como el aporte de ambos ríos se representan en la figura 282. En ella se ve el caudal total aportado al embalse en cada uno de los años de estudio. Los valores mostrados son bastante irregulares ya que se encadenan años de elevados caudales, seguidos por años de escasas aportaciones. Estas entradas de caudal anuales poseen dos máximos, como se ha comentado anteriormente. El año de máximas aportaciones fue el 2003, con más de 10000 m³/s anuales; y el de menores, el 2005 cuando los valores estuvieron por debajo de los 500 m³/s.

Además de mostrar ambos caudales anuales, también están representadas las diferencias entre ambos. Estas toman valores negativos a lo largo de la mayoría de los años de estudio. Esto querrá decir que el caudal que circuló por los ríos fue mayor que el registrado a la entrada del pantano, produciéndose las pérdidas citadas en los análisis anuales individuales.

Además de las elevadas aportaciones, es importante destacar la época del año en la que éstas ocurren y el volumen contenido en el pantano en ese momento. Estos factores son muy importantes a la hora de realizar la gestión de las avenidas, y la apertura o no de los distintos desagües para la rápida evacuación de los caudales entrantes. En los tres años finales se ha obviado el término de pérdidas ya que no se cuenta con los datos de aportación de los ríos.

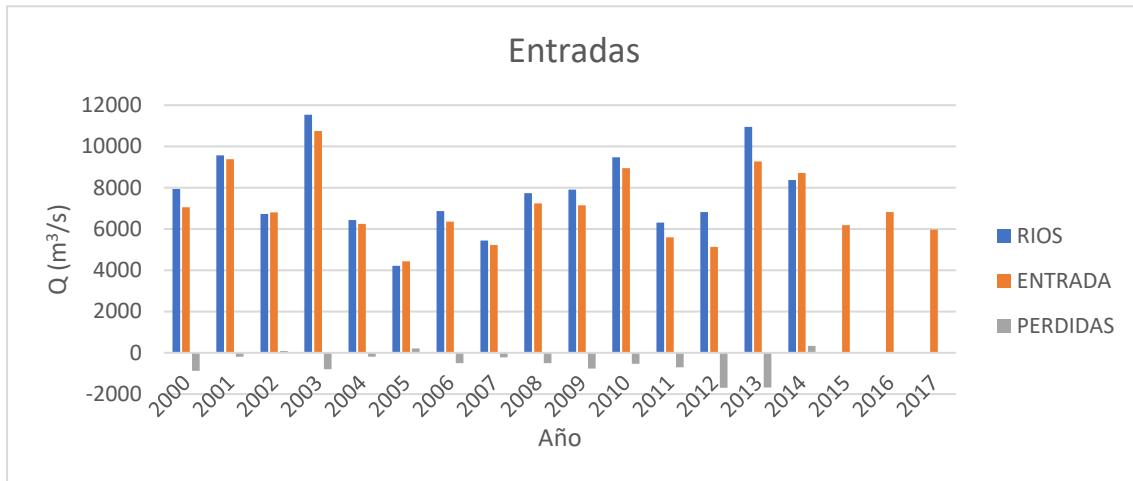


Figura 2. 282 Evolución de la aportación de agua al embalse y diferencia entre valores registrados y obtenidos anualmente en el embalse de Barasona durante el periodo de estudio.

2.20.2.3 Demanda

La salida mayoritaria de agua del embalse es la dedicada a la producción de energía hidroeléctrica, como aparece en la figura 284, con un 92 % del total de salidas registradas. La segunda salida con más peso es la de los aliviaderos para desalojar los caudales de agua sobrantes, cuando se han producido avenidas.

En los años de menores aportaciones, la dedicación de los recursos a la generación de energía se hace mayor, puesto que se tiene un menor margen de maniobra y hay que realizar un mayor aprovechamiento de los caudales que abandonan el pantano, lo cual perjudica entre otros al caudal ecológico.

También hay que destacar que estas salidas se asemejan mucho a las entradas registradas, puesto que una gran diferencia entre entradas y salidas hace que el volumen contenido varíe en exceso a finales de año, cuando lo esperado es realizar el mayor aprovechamiento del agua y acabar el año con un volumen similar al que se tenía a comienzos del mismo.

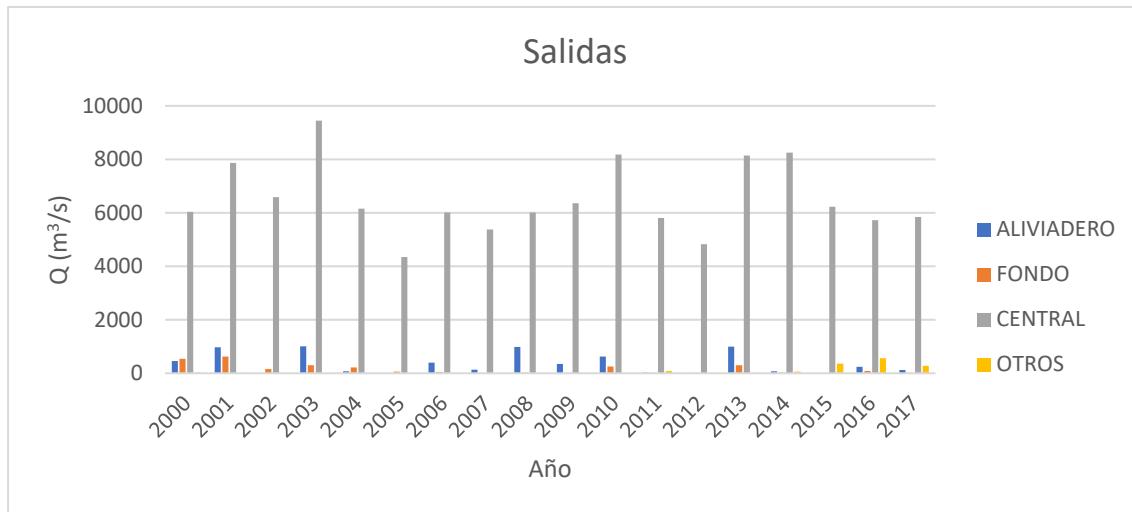


Figura 2. 283 Evolución de la salida mensual de caudal del embalse por diferentes conductos a lo largo del año periodo de estudio.

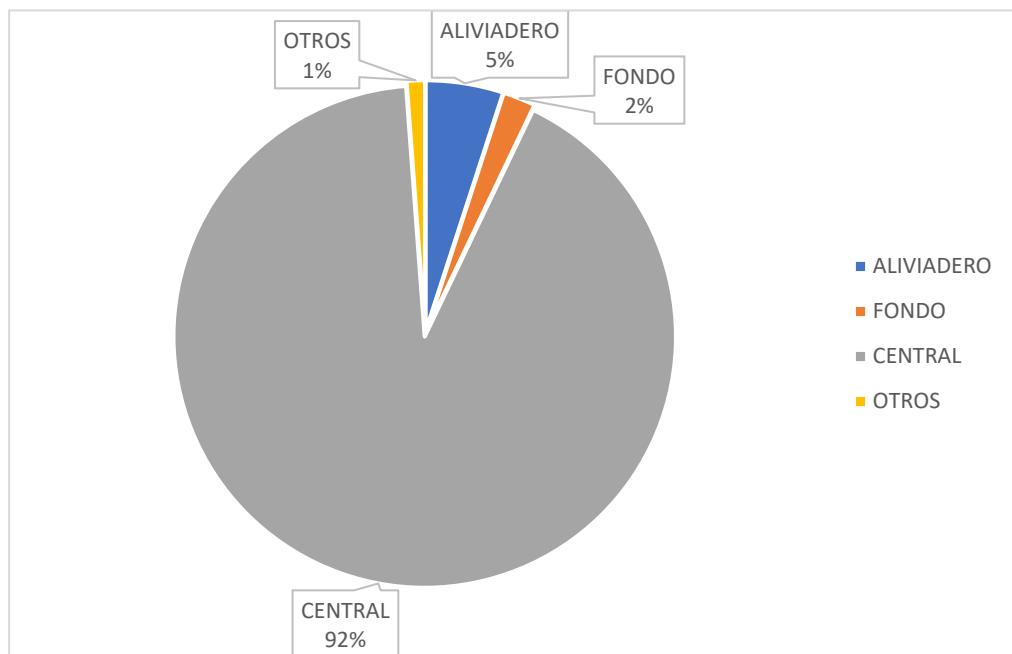


Figura 2. 284 Reparto de salida anual de caudal por diferentes conductos del embalse durante el periodo de estudio.

2.20.2.4 Canal/Río

En el reparto de agua entre en Canal de Aragón y Cataluña y el río Ésera se da una mayor importancia al caudal que circula por el canal. Esto se puede ver en los años en los que los caudales que abandonaron el pantano fueron menores, por ejemplo, el 2005. En dicho año, la diferencia entre ambos caudales fue de casi $3000 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta diferencia se hace menor en los años en los que los aportes fueron mayores, puesto que toda el agua desalojada por los aliviaderos o desagües de fondo, debido al exceso de caudal, es incorporada directamente al río, haciendo que el caudal que circula por éste crezca.

El comportamiento que se ha observado es que con la llegada de finales de la primavera se comienza a dar una mayor prioridad al canal, y esta se acentúa durante el verano. Una vez concluida dicha época, el encauzamiento disminuye, dejando fluir una mayor cantidad de agua, para acabar el año con valores similares a los de inicio.

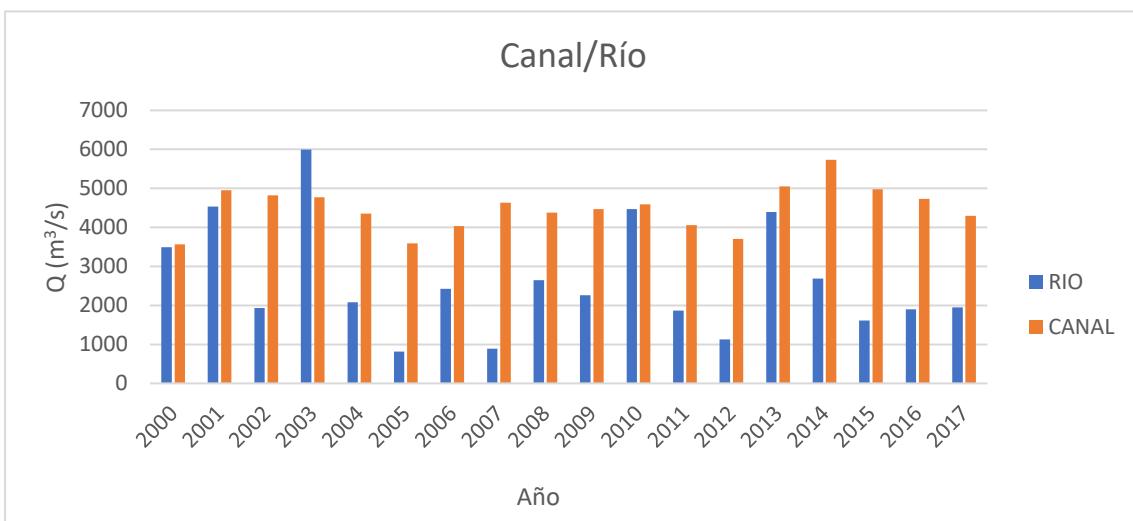


Figura 2. 285 Evolución del caudal anual que circula por el río y el canal a lo largo del periodo de estudio.

2.20.2.5 Producción hidroeléctrica

La salida de la central es, como hemos visto, la que toma una mayor importancia a la hora de gestionar las salidas. A pesar de ser la salida a la que se le da una mayor prioridad, está muy ligada a las entradas y depende en gran medida de ellas. Los años de menores aportes son, a su vez, los de menor potencia generada; y, al contrario, los años en los que los caudales de entrada son abundantes son en los que se obtiene mayor potencia.

El máximo de todo el periodo estudiado se dió durante el año 2003, cuando la potencia total fue de 128951434 Kwh, muy superior al año de menor generación. La diferencia es de más de 74 millones de Kwh, lo que supone una gran pérdida. Es por ello que la gestión de las salidas es un tema que posee una gran importancia. La climatología no es un factor que se pueda controlar, pero sí que está en nuestras manos aprovechar al máximo el agua contenida en el pantano, para conseguir minimizar, en la medida de lo posible, las consecuencias derivadas de unos escasos aportes.

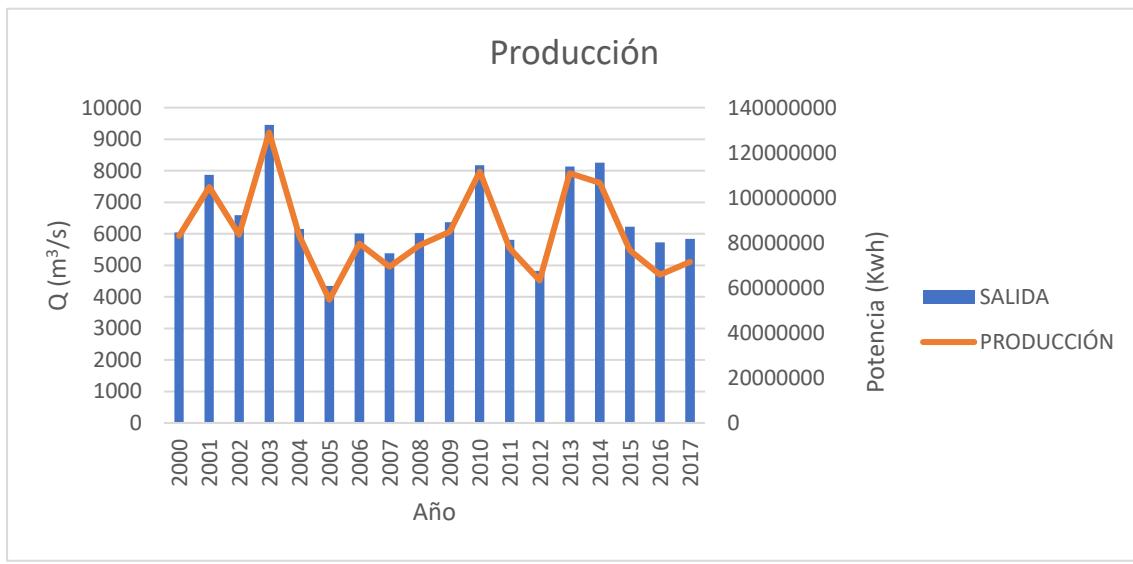


Figura 2. 286 Evolución del caudal anual de salida del embalse y producción de energía hidroeléctrica a lo largo del periodo de estudio.

2.20.2.6 Capacidad de almacenamiento

En esta última representación (figura 287) se muestran conjuntamente el valor medio de las entradas y salidas al embalse junto al volumen almacenado en el mismo para cada año del periodo 2000-2018.

Se observa que las salidas se adecúan en todo momento a las entradas para mantener el nivel. Los años en los que el volumen aumentó fue debido a que las salidas globales fueron menores que las entradas; y al contrario en los años en los que se aprecia un descenso del agua contenida.

Este último punto es muy importante a la hora del procedimiento a seguir en el caso de una avenida; ya que como hemos comentado, si el volumen contenido en el pantano está cercana a su máximo se tendrá que proceder abriendo otras salidas para la rápida evacuación del agua.

Se aprecia que en los años en los que los caudales de entrada fueron mayores, el volumen medio del pantano fue más elevado que en los que estos fueron más escasos. Se aprecia también una cierta concordancia entre los valores de entradas y salidas, como acabamos de comentar, y a su vez, ambos, guardan cierta similitud con el volumen contenido, lo que hace también que éste, no siga un patrón definido, como podría ser el de mantenerse cercano a un cierto valor de capacidad.

El comportamiento general observado a lo largo de los años es el aumento de volumen aprovechando la primera época de máximos, para ser utilizado más tarde durante el verano, cuando los caudales disminuyen. Al pasar la época estival, y con un escaso volumen contenido, se aprovecha la segunda época de mayores aportaciones para volver a almacenar un volumen de agua similar al que se tenía a comienzos de año.

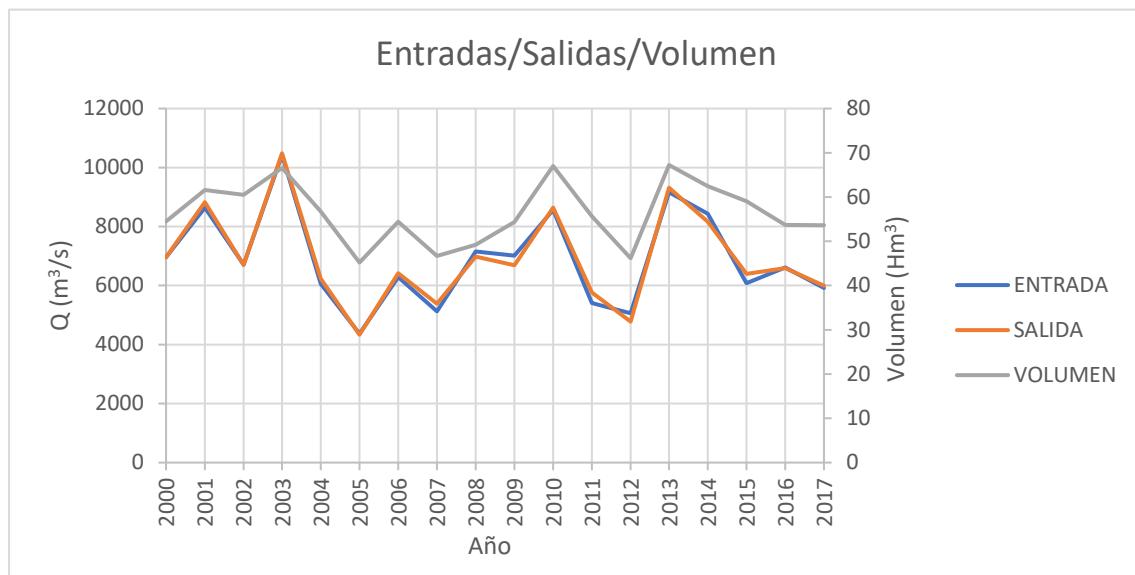


Figura 2. 287 Evolución temporal anual de caudales de entrada y salida y volumen de agua almacenada en el embalse a lo largo del periodo de estudio.

Anexo III. Cálculo de parámetros relevantes

Anexo III Cálculo de parámetros relevantes

Una vez realizado el análisis individual hidrológico del embalse, así como haber evaluado la tendencia del comportamiento del embalse en el periodo de estudio (2000-2018) se ha procedido a realizar el cálculo de alguno parámetros específicos de caracterización de un embalse relacionado con el déficit, la garantía volumétrica de capacidad de almacenamiento así como el índice de escasez en épocas de sequía; por ser estos periodos los de consecuencias más graves y los que podrían producirse en un contexto de Cambio Global.

Déficit

Comenzaremos analizando el déficit de agua y dentro del contexto de este TFG, hablaremos de déficit cuando la demanda sea superior a las aportaciones. La fórmula general para calcular el déficit mensual será la siguiente:

$$d_i = D_i - A_i$$

- d_i = Déficit del mes i
- D_i = Demandas en el mes i
- A_i = Aportaciones del mes i

Con los datos relativos a las aportaciones y demandas de cada uno de los meses de cada año, podremos confeccionar una tabla, que nos muestre el déficit (Véase Anexo IV: Tabla de resultados). La única modificación realizada sobre los datos de partida ha consistido en calcular el total, tanto de aportaciones como de demandas, para cada uno de los meses, y mostrarlo en Hm^3 . En la figura 3.1 se recoge la evolución temporal por meses del déficit, basándose en los datos calculados en el Anexo IV.

Se aprecian intervalos de tiempo en los que los aportes superan a las demandas, dando valores de déficit que se encuentran por debajo del eje de abscisas. En cambio, los valores que se encuentran por encima de dicho eje, y toman valores positivos, corresponden a los periodos de tiempo en los cuales las demandas no pudieron ser satisfechas con las aportaciones recogidas por el embalse en dicho mes.

Este conjunto de meses en los que no se pudo satisfacer la necesidad de agua, son los que consideraremos de sequía, siguiendo la definición de Yavjevich (1967), según el cual, dada una serie cronológica que representa la oferta de agua y otra la demanda, una sucesión de periodos en los que la oferta no satisface la demanda puede considerarse como una sequía.

Para facilitar la detección de estos periodos de sequía se realiza una modificación en la ecuación anteriormente presentada, por lo que la nueva ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$d_i = \begin{cases} D_i - A_i & \text{si } A_i > D_i \\ 0 & \text{si } A_i \leq D_i \end{cases}$$

En la figura 2 se representan los resultados de este segundo cálculo y solamente aparecen en los meses en los que se considera que hubo sequía, siendo 0 el valor del resto.

De esta segunda representación, junto con la tabla 4.1, de la cual se han obtenido los datos para su realización, podemos obtener más parámetros relevantes:

- Intensidad

Definido como el máximo valor de déficit ocurrido durante el periodo de estudio calculado según:

$$C = \text{Max}_{1 < Dt < T} \{d_{Dt}\}$$

- Duración

Conjunto de meses en los que la condición de déficit ha estado presente en el pantano:

$$D = \text{Max}(t) - \text{Min}(t)$$

- Magnitud

Calculada como la suma de los aportes necesarios para suplir el déficit que tuvo lugar durante un periodo de tiempo ininterrumpido.

$$M = \text{Max}_{1 < Dt < T} \sum_{i=j}^{j+Dt} d_i$$

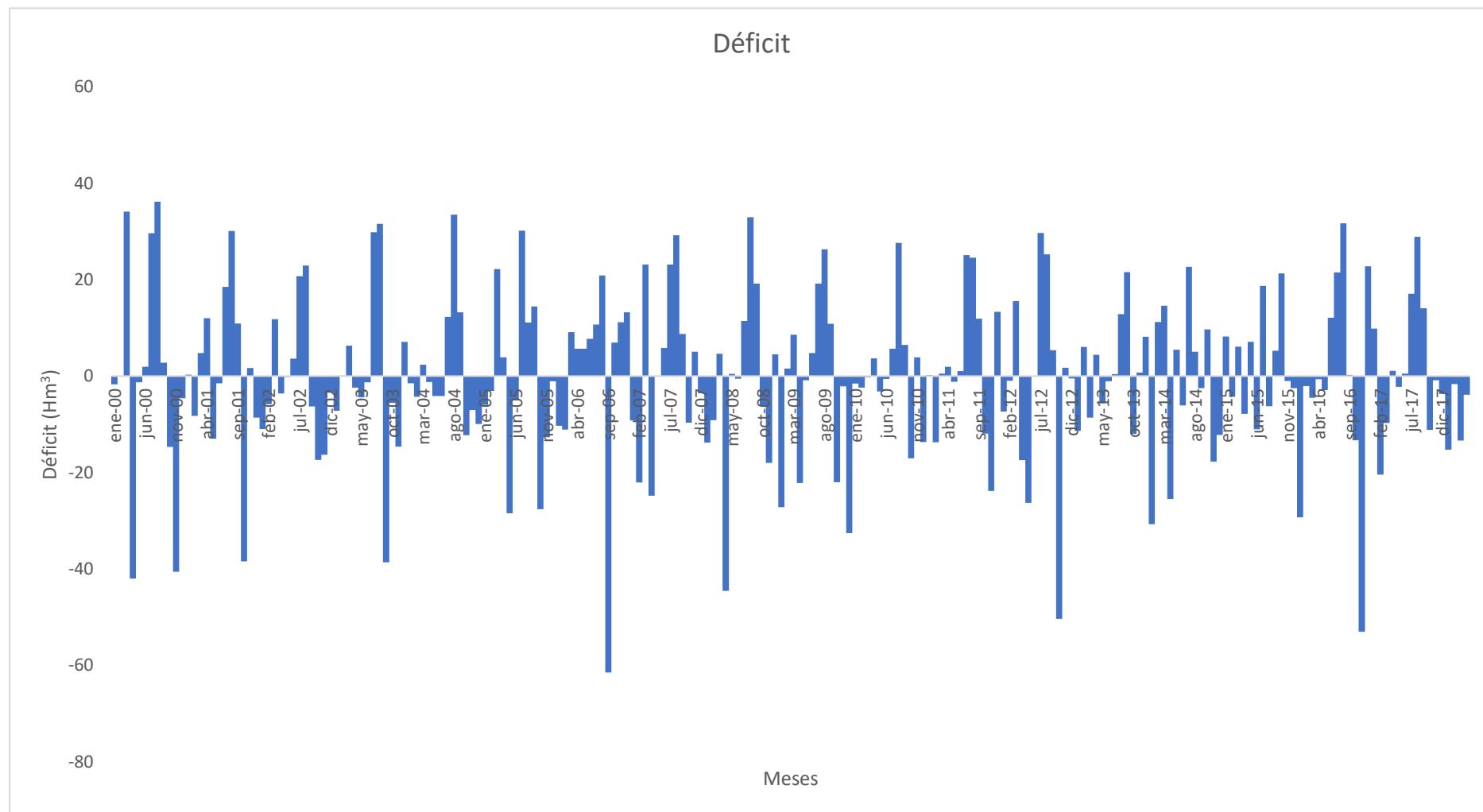


Figura 3. 1 Déficit mensual obtenido en el embalse de Barasona a lo largo del periodo 2000-2018.

Análisis hidrológico del embalse de Barasona (Huesca) durante el periodo 2000-2018.

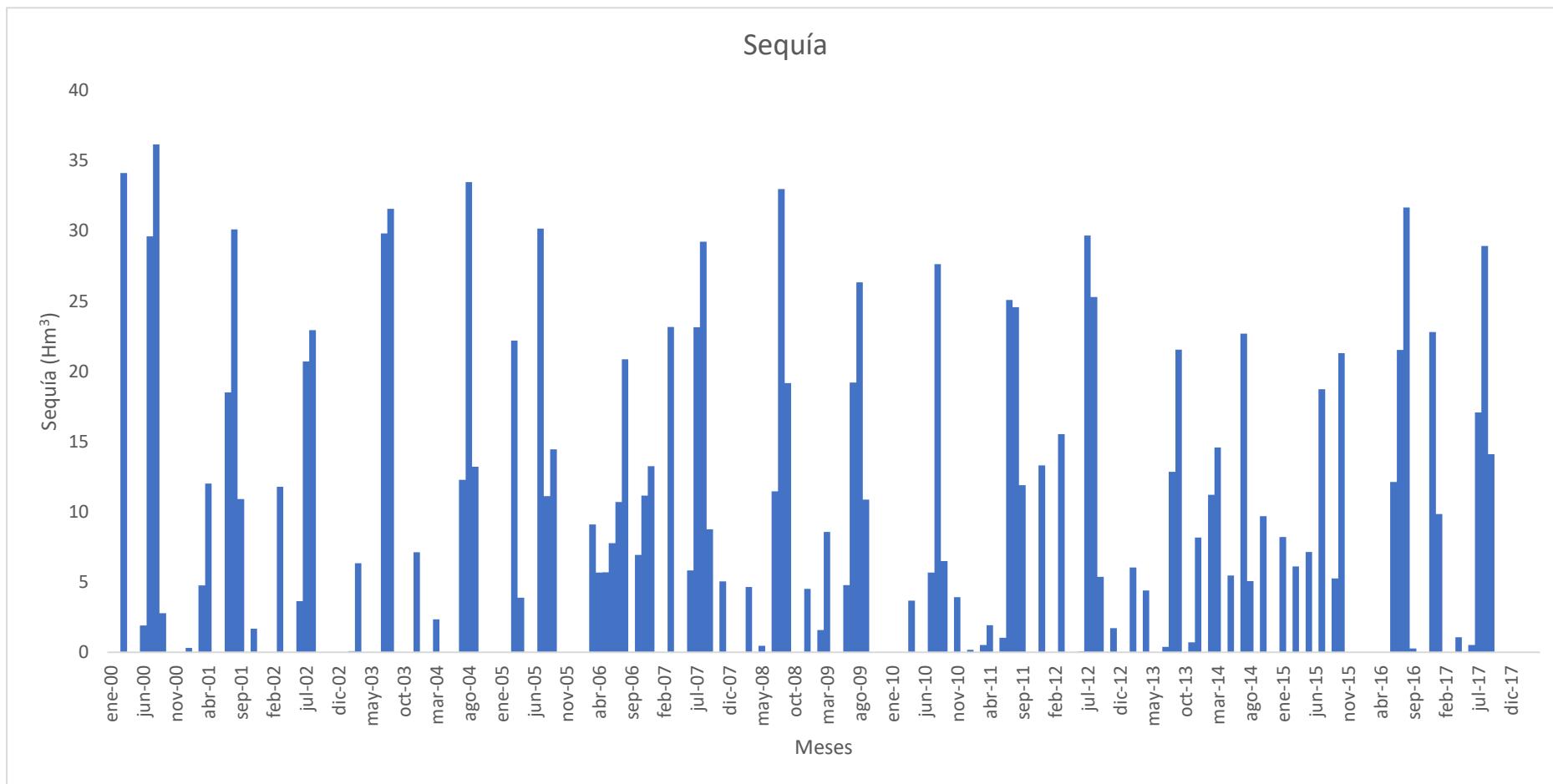


Figura 3. 2 Sequía mensual obtenida en el embalse de Barasona a lo largo del periodo 2000-2018.

De ambas representaciones, así como de la tabla adjunta en el Anexo IV, se aprecia en primer lugar que el reparto de meses está próximo al 50% entre los meses que hubo sequía y los que no; en cambio, la magnitud de éstas fue mucho menor.

En agosto del año 2000 se alcanzó el valor de 36,15 Hm³, lo que supone el máximo valor de déficit, o como se ha definido anteriormente, la mayor intensidad de sequía. Por el contrario, durante el mes de septiembre del 2006, los aportes superaron en 61,46 Hm³ a las demandas.

La máxima duración de sequía ha sido de seis meses consecutivos en los que las demandas superaron a los aportes. Este periodo de tiempo se situó entre marzo del 2006 y se alargó hasta agosto del mismo año, coincidiendo con el periodo de verano, cuando se reducen las aportaciones.

En la figura 3.2, en la que aislamos los periodos de sequía, se aprecia una cierta coincidencia temporal. Estos periodos en los que los aportes son menores que las demandas suelen encontrarse durante los meses de verano. Como ya hemos visto en el análisis anual de los datos, el pantano se nutre de los ríos Ésera e Isábena, los cuales presentan dos máximos anuales, uno durante la primavera, y otro a finales de año. El periodo que queda entre ambos es justamente en el que se dan la mayoría de los déficits observados. La escasez de lluvias durante estos meses contribuye en gran medida a este fenómeno, por lo que una variación en las condiciones climáticas determinaría un nuevo escenario de actuación para la gestión de los recursos hídricos, pudiendo llegar a cambiar la tendencia histórica que venimos observando hasta la fecha.

Otro concepto interesante es el de déficit relativo, calculado como la diferencia entre las demandas y las aportaciones, todo ello partido entre las demandas en cada uno de los meses estudiados.

$$dr_i = \frac{D_i - A_i}{D_i}$$

Con esta fórmula se puede tener una visión del déficit mensual en relación a las demandas.

Un déficit relativo superior a la unidad se da cuando las demandas del mes en concreto han sido inferiores a la diferencia de estos menos los aportes. Con esto tenemos dos casos:

Si la magnitud es negativa durante un periodo, los aportes superaron a las demandas, y, al igual que antes, si es de carácter positivo, existió un déficit de agua.

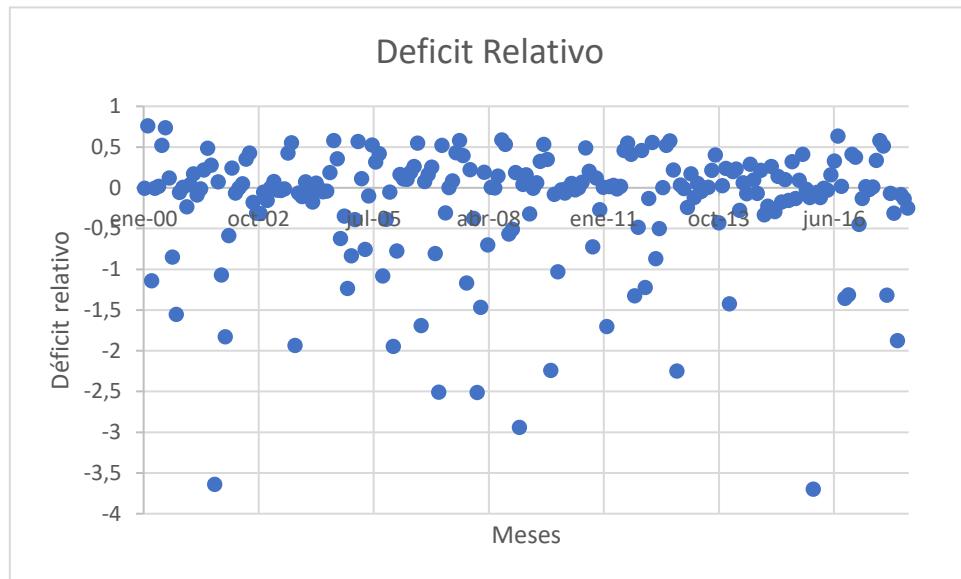


Figura 3. 3 Déficit relativo mensual calculado en el embalse de Barasona a lo largo del periodo 2000-2018.

De los datos de la figura 3.3 vemos que los valores negativos tienen una mayor dispersión. Valores muy negativos indican que la demanda en dichos periodos fue pequeña, en relación a los aportes. Los valores positivos, que indican un periodo de sequía, no llegan en ningún momento a alcanzar el valor de la unidad, por lo que en todo el periodo de estudio existió un aporte de agua, aunque en algunos casos fuera ínfimo, como ya se ha venido observando en los análisis anuales.

La mayoría de los valores se encuentran cerca del eje horizontal, esto nos indica que ambos valores fueron muy próximos, haciendo que el dividendo se aproxime a cero.

Como venimos indicando en los análisis, la gestión del pantano pretende adecuar de la mejor manera posible las entradas y las salidas. Esto hace que este valor de déficit relativo se reduzca. En las fechas en las que este modus operandi es inviable es cuando los valores se alejan de este eje de abscisas, para seguir satisfaciendo las necesidades de agua. El funcionamiento ideal sería una dispersión de puntos a lo largo de este eje, sin tener que desatender estas necesidades en ningún momento.

Para finalizar, se ha calculado el déficit acumulado para cada año de estudio, así como para el conjunto de todos los años. Los datos se reflejan en las figuras 3.4 y 3.5 respectivamente.

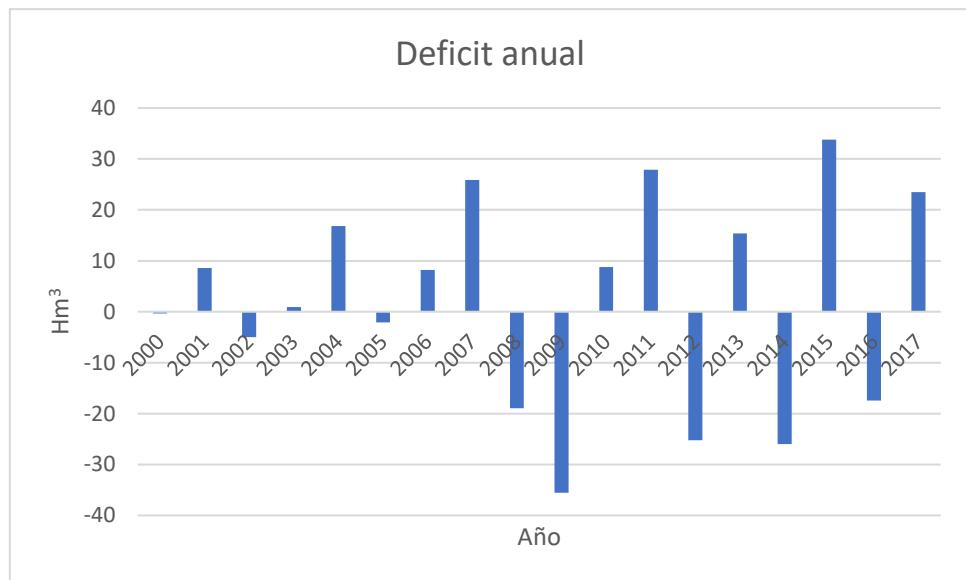


Figura 3. 4 Déficit anual calculado en el embalse de Barasona a lo largo del periodo 2000-2018.

En cuanto al déficit anual, vemos que existe una alternancia entre años en los que se obtienen valores positivos y negativos. En este caso, aparte de la diferenciación entre años de sequía, parece que es un mecanismo lógico de gestión en el que, a un año seco, en el que se ha perdido cierta cantidad de agua embalsada, le sucede uno en el que se da el efecto contrario, para recuperar dicha cantidad perdida y poder hacer frente al año siguiente. Se puede decir que la gestión del embalse se está realizando de forma eficiente.

En comparación, en la figura 3.5, se muestra el déficit acumulado durante todo el periodo. En ella sí que se aprecia una predominancia de valores positivos. Se aprecia cómo ha habido un déficit general desde que comenzó el siglo XXI que asciende hasta casi unos 333,83 Hm³.

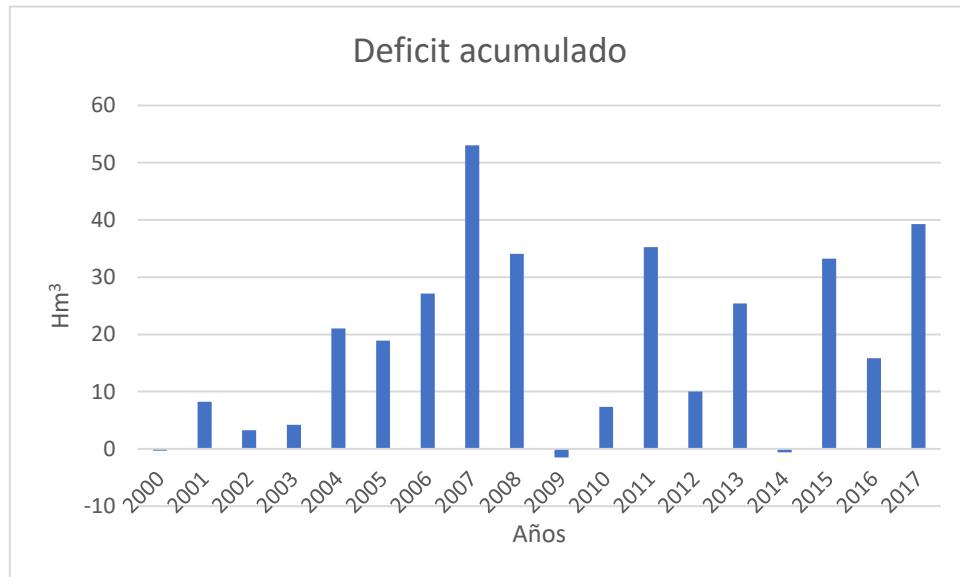


Figura 4. 5 Déficit acumulado en el embalse de Barasona a lo largo del periodo 2000-2018.

Garantía volumétrica

Este índice de garantía volumétrica es un concepto basado en la severidad de los fallos. El objetivo de este cálculo es obtener la fracción de demanda toral que se satisface durante un tiempo T. Si este valor se encuentra por encima de la unidad significa que toda la demanda ha sido cubierta con los aportes de dicho mes. Por el contrario, si el valor se encuentra entre 0 y 1 éste definirá el porcentaje, sobre 1, de la demanda cubierta.

$$G_v = 1 - \frac{\int_{S < D} (D - S) dt}{\int_0^T D dt}$$

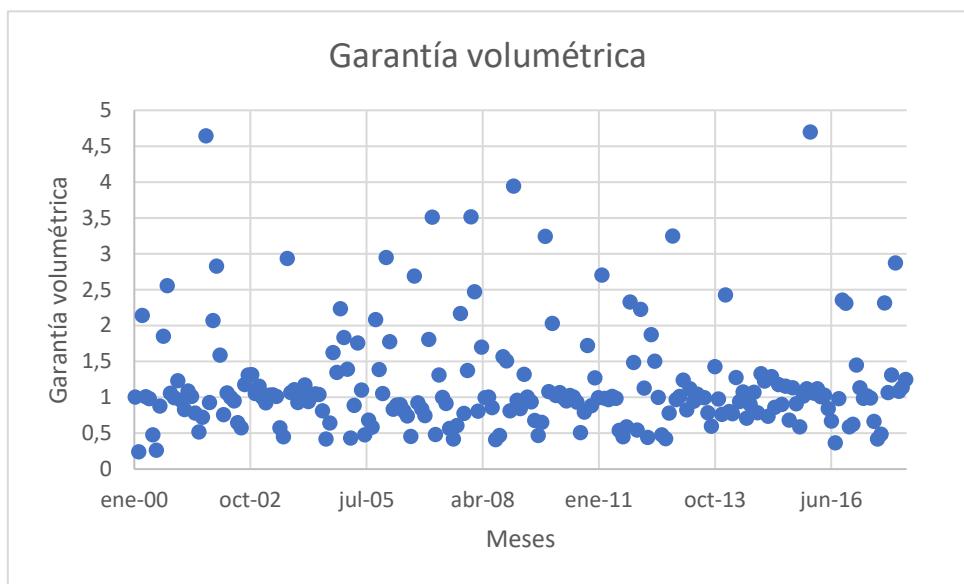


Figura 4. 6 Garantía volumétrica obtenida en el embalse de Barasona a lo largo del periodo 2000-2018.

La mayor parte de los valores se encuentran rondando la unidad, por lo que el ajuste de las entradas y salidas durante la mayor parte de los meses fue adecuado. Nuevamente, valores por debajo de la unidad representan periodos de déficit, y al contrario en valores mayores.

La mayor concentración de puntos, por encima de la unidad, se dio durante el periodo intermedio de estudio, es decir entre los años 2005 al 2012, aproximadamente.

Desde enero del 2015, la mayoría de los valores están comprendidos en un rango que va desde 0,5 hasta 1,5, lo que supone una buena gestión alternando épocas de sequía que son contrarrestadas con meses en los que la abundancia de agua es mayor. Durante este mismo periodo sí que se aprecia una disminución de los valores superiores a 2, contando solamente con 5 meses de los últimos 50, en los que las entradas fueron, como mínimo, del doble de magnitud que las salidas registradas.

Los meses en los que se observan valores muy elevados fueron periodos en los que se aprovechó esa elevada diferencia entre las entradas y las salidas para almacenar la mayor cantidad de agua posible, con el objetivo de ser utilizada más tarde, cuando fuese necesario, para mejorar la garantía del pantano en periodos de sequía o de escasez de recursos hídricos.

Índice de escasez

Por último, calcularemos el índice de escasez, concepto que aparece en varias publicaciones del U. S. Corps of Engineers, basado nuevamente en la severidad de los fallos del que se obtiene un coeficiente que estará englobado dentro de cuatro categorías que determinará la influencia del déficit en el periodo de estudio. Estas cuatro categorías son las siguientes:

| Categoría del índice de escasez | Porcentaje de la oferta hídrica utilizada | |
|---------------------------------|---|--|
| Alto | > 40 % | Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitador del desarrollo económico. |
| Medio | 20 – 40 % | Cuando los límites de presión exigen entre el 20 y el 40% de la oferta hídrica disponible es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es menester asignar prioridades a los distintos usos. |
| Moderado | 10 – 20 % | Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo |

| | | |
|-------------|-------|---|
| Bajo | <10 % | No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico |
|-------------|-------|---|

Tabla 1 Categorías del índice de escasez

El índice de escasez (e), es definido como la suma de los cuadrados de las relaciones anuales entre el déficit y la demanda, multiplicada por 100 y dividida por el número de años de operación.

$$e = \frac{100}{N} \sum_L \left(\frac{\text{Déficit Anual}}{\text{Demanda Anual}} \right)^2$$

En la siguiente tabla, podemos observar los valores obtenidos para los años en los que el déficit fue positivo, y por lo tanto, hubo escasez de agua.

| Año | Índice de Escasez |
|-------------|-------------------|
| 2001 | 0.01 |
| 2003 | 0.00009 |
| 2004 | 0.09 |
| 2006 | 0.02 |
| 2007 | 0.29 |
| 2010 | 0.01 |
| 2011 | 0.29 |
| 2013 | 0.03 |
| 2015 | 0.35 |
| 2017 | 0.18 |

Tabla 4.2 Índice de escasez anual en el periodo 2000-2018

A su vez, estos valores se representan en la figura 7:

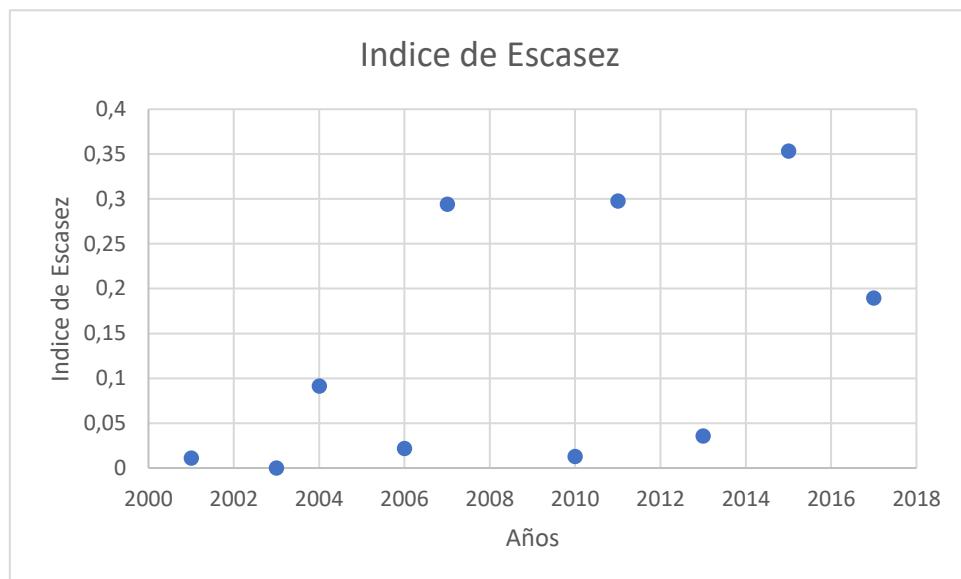


Figura 4. 7 Índice de escasez obtenido en el embalse de Barasona a lo largo del periodo 2000-2018.

Cotejando los valores obtenidos con los rangos expresados, vemos que la mayoría de los años en los que hubo un periodo de sequía y existió un déficit de agua, están situados por debajo del 10 %, por lo que no incurre en un factor muy determinante y como dice en la tabla 1: “No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico”.

En ninguno de los años estudiados existió un índice alto superando el umbral del 40%, lo que supondría un problema de vital importancia que sería necesario solucionarlo lo antes posible. El mayor valor se dio durante el año 2015, con un 35 %, lo que corresponde a un nivel medio. Este nivel entre el 20 y el 40 % se repitió en 2007, 2011 y 2015, coincidiendo cada 4 años.

Durante estos periodos se tiene que tener un especial cuidado a la hora de adecuar las salidas y las entradas para no comprometer, entre otros aspectos, a la producción de energía ni al abastecimiento del canal de Aragón y Cataluña. Para ello, se tienen que priorizar los usos que se le otorgaron a los caudales que abandonaron las instalaciones con el objetivo de obtener de ellos el mayor provecho posible. Y este ha sido el actuamiento que se ha seguido, siendo el más correcto.

Anexo IV. Tabla de resultados

Anexo IV TABLA DE RESULTADOS

En este anexo final se adjunta la tabla 4.1 en la que se muestran los resultados del cálculo del déficit, analizados en el anexo anterior.

En ella, los valores negativos corresponden a periodos en los que las entradas fueron superiores a las salidas, es decir, periodos en los cuales se llegó a almacenar cierto volumen de agua en el embalse para poder ser utilizada posteriormente. En cambio, en los periodos en los que las salidas superaron a los caudales de entrada el valor obtenido es de signo positivo, reflejando el echo de que durante dichos meses se incurrió en un déficit de agua.

Además, se ha adjuntado una columna final, llamada “Sequía”, para identificar estos periodos de escasez de una manera más sencilla. El valor mostrado en esta casilla es cero si durante un periodo el término “Déficit” es de carácter negativo, en cambio, si este término toma un valor positivo, en la casilla de sequía queda reflejada la falta de agua existente durante dicho periodo.

A continuación, se presenta la tabla final en la que se reflejan todos los resultados obtenidos, señalando las entradas y salidas del mes en concreto, así como los valores de “Déficit” y “Sequía” obtenidos:

| MES | APORTACIONES | DEMANDA | DÉFICIT | SEQUÍA |
|--------|--------------|------------|------------|-----------|
| ene-00 | 18,8860032 | 17,16336 | -1,7226432 | 0 |
| feb-00 | 10,919232 | 10,854432 | -0,0648 | 0 |
| mar-00 | 10,920096 | 45,046368 | 34,126272 | 34,126272 |
| abr-00 | 78,829632 | 36,816768 | -42,012864 | 0 |
| may-00 | 142,397568 | 141,13872 | -1,258848 | 0 |
| jun-00 | 107,626752 | 109,543968 | 1,917216 | 1,917216 |
| jul-00 | 27,288576 | 56,89872 | 29,610144 | 29,610144 |
| ago-00 | 13,122432 | 49,279968 | 36,157536 | 36,157536 |
| sep-00 | 20,5231968 | 23,301216 | 2,7780192 | 2,7780192 |
| oct-00 | 31,879008 | 17,211744 | -14,667264 | 0 |
| nov-00 | 66,680064 | 26,091936 | -40,588128 | 0 |
| dic-00 | 80,794368 | 76,209984 | -4,584384 | 0 |
| ene-01 | 111,513888 | 111,834432 | 0,320544 | 0,320544 |
| feb-01 | 43,570656 | 35,322912 | -8,247744 | 0 |
| mar-01 | 123,148512 | 127,918656 | 4,770144 | 4,770144 |
| abr-01 | 58,928256 | 70,943904 | 12,015648 | 12,015648 |
| may-01 | 156,83328 | 143,835264 | -12,998016 | 0 |
| jun-01 | 101,292768 | 99,82656 | -1,466208 | 0 |
| jul-01 | 67,286592 | 85,793472 | 18,50688 | 18,50688 |
| ago-01 | 32,316192 | 62,420544 | 30,104352 | 30,104352 |
| sep-01 | 28,495584 | 39,395808 | 10,900224 | 10,900224 |
| oct-01 | 48,973248 | 10,546848 | -38,4264 | 0 |
| nov-01 | 21,599136 | 23,2848 | 1,685664 | 1,685664 |
| dic-01 | 16,628544 | 8,020512 | -8,608032 | 0 |
| ene-02 | 16,994016 | 6,005664 | -10,988352 | 0 |
| feb-02 | 15,6816 | 9,86256 | -5,81904 | 0 |
| mar-02 | 37,31184 | 49,09248 | 11,78064 | 11,78064 |
| abr-02 | 58,9464 | 55,333152 | -3,613248 | 0 |
| may-02 | 70,00992 | 69,85008 | -0,15984 | 0 |
| jun-02 | 73,82016 | 77,463648 | 3,643488 | 3,643488 |
| jul-02 | 38,117088 | 58,822848 | 20,70576 | 20,70576 |
| ago-02 | 31,038336 | 53,976672 | 22,938336 | 22,938336 |

| | | | | |
|---------------|------------|------------|------------|-----------|
| sep-02 | 41,288832 | 34,992 | -6,296832 | 0 |
| oct-02 | 73,099584 | 55,708128 | -17,391456 | 0 |
| nov-02 | 67,4784 | 51,160896 | -16,317504 | 0 |
| dic-02 | 64,692864 | 61,242048 | -3,450816 | 0 |
| ene-03 | 53,594784 | 46,40544 | -7,189344 | 0 |
| feb-03 | 48,756384 | 48,830688 | 0,074304 | 0,074304 |
| mar-03 | 76,063968 | 82,404 | 6,340032 | 6,340032 |
| abr-03 | 81,055296 | 78,682752 | -2,372544 | 0 |
| may-03 | 125,676576 | 121,303872 | -4,372704 | 0 |
| jun-03 | 86,841504 | 85,5792 | -1,262304 | 0 |
| Jul-03 | 40,43088 | 70,259616 | 29,828736 | 29,828736 |
| ago-03 | 25,852608 | 57,426624 | 31,574016 | 31,574016 |
| sep-03 | 58,5576 | 19,939392 | -38,618208 | 0 |
| oct-03 | 89,9208 | 84,36096 | -5,55984 | 0 |
| nov-03 | 147,902112 | 133,261632 | -14,64048 | 0 |
| dic-03 | 94,372992 | 101,500128 | 7,127136 | 7,127136 |
| ene-04 | 35,95968 | 34,464096 | -1,495584 | 0 |
| feb-04 | 28,744416 | 24,439104 | -4,305312 | 0 |
| mar-04 | 38,999232 | 41,35536 | 2,356128 | 2,356128 |
| abr-04 | 69,031008 | 67,822272 | -1,208736 | 0 |
| may-04 | 83,808 | 79,691904 | -4,116096 | 0 |
| jun-04 | 103,703328 | 99,578592 | -4,124736 | 0 |
| Jul-04 | 53,440128 | 65,713248 | 12,27312 | 12,27312 |
| ago-04 | 24,544512 | 58,021056 | 33,476544 | 33,476544 |
| sep-04 | 24,007104 | 37,223712 | 13,216608 | 13,216608 |
| oct-04 | 31,89024 | 19,614528 | -12,275712 | 0 |
| nov-04 | 27,182304 | 20,14848 | -7,033824 | 0 |
| dic-04 | 17,985888 | 8,034336 | -9,951552 | 0 |
| ene-05 | 13,16736 | 7,168608 | -5,998752 | 0 |
| feb-05 | 10,950336 | 7,860672 | -3,089664 | 0 |
| mar-05 | 16,96032 | 39,142656 | 22,182336 | 22,182336 |
| abr-05 | 30,863808 | 34,755264 | 3,891456 | 3,891456 |
| may-05 | 65,963808 | 37,533024 | -28,430784 | 0 |

| | | | | |
|---------------|------------|------------|-------------|------------|
| jun-05 | 53,790048 | 48,740832 | -5,049216 | 0 |
| jul-05 | 27,491616 | 57,656448 | 30,164832 | 30,164832 |
| ago-05 | 24,301728 | 35,413632 | 11,111904 | 11,111904 |
| sep-05 | 20,323872 | 34,78032 | 14,456448 | 14,456448 |
| oct-05 | 53,061696 | 25,45344 | -27,608256 | 0 |
| nov-05 | 45,39888 | 32,704128 | -12,694752 | 0 |
| dic-05 | 20,6021664 | 19,558368 | -1,0437984 | 0 |
| ene-06 | 15,609888 | 5,2908768 | -10,3190112 | 0 |
| feb-06 | 25,3580544 | 14,260752 | -11,0973024 | 0 |
| mar-06 | 46,8021024 | 55,90944 | 9,1073376 | 9,1073376 |
| abr-06 | 48,2544 | 53,9266464 | 5,6722464 | 5,6722464 |
| may-06 | 49,337424 | 55,0314432 | 5,6940192 | 5,6940192 |
| jun-06 | 33,4276416 | 41,1934464 | 7,7658048 | 7,7658048 |
| jul-06 | 30,521232 | 41,220144 | 10,698912 | 10,698912 |
| ago-06 | 17,4393216 | 38,2919616 | 20,85264 | 20,85264 |
| sep-06 | 97,795296 | 36,3330144 | -61,4622816 | 0 |
| oct-06 | 87,4604736 | 94,3882848 | 6,9278112 | 6,9278112 |
| nov-06 | 58,7618496 | 69,9136704 | 11,1518208 | 11,1518208 |
| dic-06 | 38,9956896 | 52,2394272 | 13,2437376 | 13,2437376 |
| ene-07 | 20,5206912 | 11,353824 | -9,1668672 | 0 |
| feb-07 | 30,8444544 | 8,7858432 | -22,0586112 | 0 |
| mar-07 | 21,6078624 | 44,772912 | 23,1650496 | 23,1650496 |
| abr-07 | 104,349168 | 79,5470976 | -24,8020704 | 0 |
| may-07 | 95,6130912 | 95,5921824 | -0,0209088 | 0 |
| jun-07 | 63,7749504 | 69,6005568 | 5,8256064 | 5,8256064 |
| jul-07 | 30,7275552 | 53,862192 | 23,1346368 | 23,1346368 |
| ago-07 | 21,41856 | 50,644224 | 29,225664 | 29,225664 |
| sep-07 | 13,556592 | 22,320576 | 8,763984 | 8,763984 |
| oct-07 | 17,9259264 | 8,2544832 | -9,6714432 | 0 |
| nov-07 | 17,8337376 | 22,87656 | 5,0428224 | 5,0428224 |
| dic-07 | 13,0342176 | 9,4703904 | -3,5638272 | 0 |
| ene-08 | 19,2675456 | 5,481648 | -13,7858976 | 0 |
| feb-08 | 15,3892224 | 6,2282304 | -9,160992 | 0 |

| | | | | |
|---------------|-------------|------------|-------------|------------|
| mar-08 | 19,7970912 | 24,4453248 | 4,6482336 | 4,6482336 |
| abr-08 | 107,8927776 | 63,3539232 | -44,5388544 | 0 |
| may-08 | 141,7913856 | 142,254317 | 0,4629312 | 0,4629312 |
| jun-08 | 122,6986272 | 122,1696 | -0,5290272 | 0 |
| jul-08 | 68,9440896 | 80,402112 | 11,4580224 | 11,4580224 |
| ago-08 | 23,1827616 | 56,15568 | 32,9729184 | 32,9729184 |
| sep-08 | 16,8777216 | 36,0457344 | 19,1680128 | 19,1680128 |
| oct-08 | 16,9735392 | 10,8196128 | -6,1539264 | 0 |
| nov-08 | 53,2726848 | 35,2665792 | -18,0061056 | 0 |
| dic-08 | 19,9349856 | 24,4466208 | 4,5116352 | 4,5116352 |
| ene-09 | 36,3973824 | 9,22752 | -27,1698624 | 0 |
| feb-09 | 38,6944128 | 40,2774336 | 1,5830208 | 1,5830208 |
| mar-09 | 46,0223424 | 54,5975424 | 8,5752 | 8,5752 |
| abr-09 | 90,9719424 | 68,792112 | -22,1798304 | 0 |
| may-09 | 124,1656128 | 123,308525 | -0,857088 | 0 |
| jun-09 | 73,2600288 | 78,0380352 | 4,7780064 | 4,7780064 |
| jul-09 | 40,339728 | 59,53392 | 19,194192 | 19,194192 |
| ago-09 | 23,332752 | 49,6676448 | 26,3348928 | 26,3348928 |
| sep-09 | 20,3850432 | 31,2475104 | 10,8624672 | 10,8624672 |
| oct-09 | 31,8020256 | 9,806832 | -21,9951936 | 0 |
| nov-09 | 27,7139232 | 25,5954816 | -2,1184416 | 0 |
| dic-09 | 64,0852128 | 31,5349632 | -32,5502496 | 0 |
| ene-10 | 60,5321856 | 58,9890816 | -1,543104 | 0 |
| feb-10 | 37,1454336 | 34,7758272 | -2,3696064 | 0 |
| mar-10 | 73,3660416 | 73,1680992 | -0,1979424 | 0 |
| abr-10 | 69,9604992 | 73,630512 | 3,6700128 | 3,6700128 |
| may-10 | 118,9863648 | 115,784381 | -3,201984 | 0 |
| jun-10 | 145,6860384 | 145,110096 | -0,5759424 | 0 |
| jul-10 | 79,6233888 | 85,3004736 | 5,6770848 | 5,6770848 |
| ago-10 | 28,823472 | 56,4519456 | 27,6284736 | 27,6284736 |
| sep-10 | 25,5473568 | 32,0333184 | 6,4859616 | 6,4859616 |
| oct-10 | 40,5180576 | 23,486976 | -17,0310816 | 0 |
| nov-10 | 29,6280288 | 33,5447136 | 3,9166848 | 3,9166848 |

| | | | | |
|---------------|-------------|------------|-------------|------------|
| dic-10 | 63,773568 | 50,112 | -13,661568 | 0 |
| ene-11 | 32,707152 | 32,8891968 | 0,1820448 | 0,1820448 |
| feb-11 | 21,7569024 | 8,0401248 | -13,7167776 | 0 |
| mar-11 | 46,5066144 | 47,0251872 | 0,5185728 | 0,5185728 |
| abr-11 | 63,9088704 | 65,8465632 | 1,9376928 | 1,9376928 |
| may-11 | 72,670176 | 71,4998016 | -1,1703744 | 0 |
| jun-11 | 69,401664 | 70,4329344 | 1,0312704 | 1,0312704 |
| jul-11 | 29,8619136 | 54,952128 | 25,0902144 | 25,0902144 |
| ago-11 | 20,3295744 | 44,8898112 | 24,5602368 | 24,5602368 |
| sep-11 | 17,20872 | 29,0996928 | 11,8909728 | 11,8909728 |
| oct-11 | 20,875104 | 8,9608032 | -11,9143008 | 0 |
| nov-11 | 72,5404032 | 48,7295136 | -23,8108896 | 0 |
| dic-11 | 15,8925888 | 29,2074336 | 13,3148448 | 13,3148448 |
| ene-12 | 13,364784 | 6,0036768 | -7,3611072 | 0 |
| feb-12 | 8,4061152 | 7,42824 | -0,9778752 | 0 |
| mar-12 | 12,4354656 | 27,9696672 | 15,5342016 | 15,5342016 |
| abr-12 | 37,3902912 | 19,9603008 | -17,4299904 | 0 |
| may-12 | 78,4616544 | 52,1768736 | -26,2847808 | 0 |
| jun-12 | 60,1349184 | 60,1991136 | 0,0641952 | 0,0641952 |
| jul-12 | 27,3927744 | 57,0678912 | 29,6751168 | 29,6751168 |
| ago-12 | 18,7009344 | 43,9839936 | 25,2830592 | 25,2830592 |
| sep-12 | 19,2795552 | 24,6605472 | 5,380992 | 5,380992 |
| oct-12 | 72,722448 | 22,3716384 | -50,3508096 | 0 |
| nov-12 | 56,0265984 | 57,752352 | 1,7257536 | 1,7257536 |
| dic-12 | 38,5783776 | 38,1043872 | -0,4739904 | 0 |
| ene-13 | 58,358448 | 46,9902816 | -11,3681664 | 0 |
| feb-13 | 29,2889952 | 35,3230848 | 6,0340896 | 6,0340896 |
| mar-13 | 78,8021568 | 70,1733024 | -8,6288544 | 0 |
| abr-13 | 78,220944 | 82,6246656 | 4,4037216 | 4,4037216 |
| may-13 | 127,3117824 | 121,658285 | -5,6534976 | 0 |
| jun-13 | 161,95248 | 160,875245 | -1,0772352 | 0 |
| jul-13 | 90,9728064 | 91,3603968 | 0,3875904 | 0,3875904 |
| ago-13 | 47,2407552 | 60,0971616 | 12,8564064 | 12,8564064 |

| | | | | |
|---------------|-------------|------------|-------------|------------|
| sep-13 | 32,2888896 | 53,8369632 | 21,5480736 | 21,5480736 |
| oct-13 | 39,8431872 | 27,8486208 | -11,9945664 | 0 |
| nov-13 | 30,0921696 | 30,8057472 | 0,7135776 | 0,7135776 |
| dic-13 | 26,6387616 | 34,7996736 | 8,160912 | 8,160912 |
| ene-14 | 52,1967456 | 21,5044416 | -30,692304 | 0 |
| feb-14 | 46,2250368 | 57,4307712 | 11,2057344 | 11,2057344 |
| mar-14 | 49,771152 | 64,3552992 | 14,5841472 | 14,5841472 |
| abr-14 | 117,3589344 | 91,8634176 | -25,4955168 | 0 |
| may-14 | 87,0131808 | 92,4792768 | 5,466096 | 5,466096 |
| jun-14 | 87,22296 | 81,1241568 | -6,0988032 | 0 |
| jul-14 | 55,786752 | 78,4746144 | 22,6878624 | 22,6878624 |
| ago-14 | 48,1020768 | 53,1633024 | 5,0612256 | 5,0612256 |
| sep-14 | 36,9859392 | 34,5106656 | -2,4752736 | 0 |
| oct-14 | 35,598096 | 45,2907936 | 9,6926976 | 9,6926976 |
| nov-14 | 71,1343296 | 53,4043584 | -17,7299712 | 0 |
| dic-14 | 65,7951552 | 53,594784 | -12,2003712 | 0 |
| ene-15 | 23,3270496 | 31,536 | 8,2089504 | 8,2089504 |
| feb-15 | 18,8691552 | 14,5947744 | -4,2743808 | 0 |
| mar-15 | 38,7830592 | 44,8875648 | 6,1045056 | 6,1045056 |
| abr-15 | 51,6636576 | 43,8677856 | -7,795872 | 0 |
| may-15 | 66,23856 | 73,3742496 | 7,1356896 | 7,1356896 |
| jun-15 | 81,5534784 | 70,4897856 | -11,0636928 | 0 |
| jul-15 | 40,1796288 | 58,9025088 | 18,72288 | 18,72288 |
| ago-15 | 52,7647392 | 46,5314112 | -6,233328 | 0 |
| sep-15 | 53,433216 | 58,70016 | 5,266944 | 5,266944 |
| oct-15 | 30,5271072 | 51,8242752 | 21,297168 | 21,297168 |
| nov-15 | 54,3390336 | 53,3107872 | -1,0282464 | 0 |
| dic-15 | 23,4937152 | 20,9795616 | -2,5141536 | 0 |
| ene-16 | 37,2136032 | 7,91856 | -29,2950432 | 0 |
| feb-16 | 38,4232032 | 36,3610944 | -2,0621088 | 0 |
| mar-16 | 42,0527808 | 37,5327648 | -4,520016 | 0 |
| abr-16 | 77,296032 | 76,6511424 | -0,6448896 | 0 |
| may-16 | 99,8989632 | 96,9738912 | -2,925072 | 0 |

| | | | | |
|---------------|-------------|------------|-------------|------------|
| jun-16 | 65,5909056 | 77,715936 | 12,1250304 | 12,1250304 |
| jul-16 | 44,17848 | 65,7072864 | 21,5288064 | 21,5288064 |
| ago-16 | 18,5191488 | 50,1933024 | 31,6741536 | 31,6741536 |
| sep-16 | 17,2939968 | 17,5608 | 0,2668032 | 0,2668032 |
| oct-16 | 23,0942016 | 9,7965504 | -13,2976512 | 0 |
| nov-16 | 93,406608 | 40,3556256 | -53,0509824 | 0 |
| dic-16 | 33,0621696 | 55,8531072 | 22,7909376 | 22,7909376 |
| ene-17 | 16,555104 | 26,4062592 | 9,8511552 | 9,8511552 |
| feb-17 | 65,7351072 | 45,3173184 | -20,4177888 | 0 |
| mar-17 | 82,8220032 | 73,1175552 | -9,704448 | 0 |
| abr-17 | 76,5631008 | 77,637744 | 1,0746432 | 1,0746432 |
| may-17 | 91,355472 | 89,1158976 | -2,2395744 | 0 |
| jun-17 | 65,9004768 | 66,4192224 | 0,5187456 | 0,5187456 |
| jul-17 | 34,1869248 | 51,2506656 | 17,0637408 | 17,0637408 |
| ago-17 | 21,0430656 | 49,9613184 | 28,9182528 | 28,9182528 |
| sep-17 | 13,5318816 | 27,6295104 | 14,0976288 | 14,0976288 |
| oct-17 | 19,5970752 | 8,454672 | -11,1424032 | 0 |
| nov-17 | 13,0306752 | 12,1856832 | -0,844992 | 0 |
| dic-17 | 15,5707488 | 11,8632384 | -3,7075104 | 0 |
| ene-18 | 23,3601408 | 8,122032 | -15,2381088 | 0 |
| feb-18 | 21,2076576 | 19,548864 | -1,6587936 | 0 |
| mar-18 | 110,5655616 | 97,2149472 | -13,3506144 | 0 |
| abr-18 | 19,2420576 | 15,4018368 | -3,8402208 | 0 |

Tabla 4.1 Resultados del cálculo del déficit mensual.