

ANEXOS

ANÁLISIS DE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA EN TÉRMINOS DE SUPERFICIE LIBRE DE ALGUNAS SUBCUENCAS PERTENECIENTES A LA CUENCA DEL EBRO.

ÍNDICE

ANEXO I: INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA.....	1
I.I Conceptos básicos de hidrología	1
I.II Ciclo hidrológico	1
I.II.I Precipitación: Lluvia.....	2
I.II.II Evaporación	3
I.II.III Infiltración.....	4
I.II.IV Escorrentía.....	4
I.II.IV.I Distribución cronológica de la escorrentía	4
ANEXO II: CUENCA DEL ULZAMA.....	7
II.I Descripción	7
II. II Datos de partida	8
II.III Análisis de Episodios.....	10
II.III.I Episodio del 7 al 15 de Marzo del 2007.....	10
II.III.II Episodio del 22 al 30 de Marzo de 2007.....	12
II.III.III Episodio del 22 al 30 de Marzo del 2008.....	15
II.III.IV Episodio del 21 al 27 de Noviembre de 2008.....	19
II.III.V Episodio del 8 al 15 de Febrero de 2009	22
II.III.VI Episodio del 5 al 15 de Noviembre de 2009.....	25
II.III.VII Episodio del 12 al 23 de Enero de 2010	29
II.IV Análisis del umbral de precipitación	31
II.IV.I Febrero del 2009	31
II.IV.II Noviembre del 2009	32
II.IV.III Enero del 2010	33
II.V Conclusiones	34

ANEXO III: CUENCA DEL ALCANADRE	37
III.I Descripción	37
III.II Datos de partida	38
III.III Análisis de episodios.....	40
III.III.I Episodio del 16 al 28 de Diciembre de 1997	40
III.III.II Episodio del 5 al 8 de Julio del 2001.....	42
III.III.III Episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003	44
III.III.IV Episodio del 28 de Marzo al 14 de Abril del 2003	47
III.III.V Episodio del 17 al 30 de Abril del 2008	49
III.III.VI Episodio del 7 al 25 de Abril del 2009	53
III.III.VII Episodio del 23 al 28 de Diciembre del 2009	57
III.III.VIII Episodio del 9 al 16 de Junio del 2010	60
III.IV Conclusiones	62
ANEXO IV: CUENCA DEL BERGANTES	65
IV.I Descripción	65
IV. II Datos de partida	66
IV.III Análisis de episodios	68
IV.III.I Episodio del 22 al 26 de Octubre del 2000.....	68
IV.III.II Episodio del 8 al 9 de Julio del 2001.....	72
IV.III.III Episodio del 10 al 18 de Abril del 2002	74
IV.III.IV Episodio del 7 al 15 Mayo de 2002	77
IV.III.V Episodio del 6 al 11 Mayo de 2003	79
IV.III.VI Episodio del 5 al 7 de Julio de 2003	81
IV.III.VII Episodio del 29 de Marzo al 5 de Abril del 2004.....	84
IV.III.VIII Episodio del 9 al 18 de Noviembre del 2005.....	86
IV.III.IX Episodio del 28 de Abril al 9 de Mayo del 2007	90

IV.III.X Episodio del 21 al 31 de Diciembre del 2007	92
IV.IV Conclusiones	94
ANEXO V: CUENCA DEL SUSÍA	97
V.I Descripción	97
V.II Datos de partida	98
V.III Análisis de episodios	100
V.III.I Episodio del 9 al 12 de Julio de 1997	100
V.III.II Episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997	103
V.III.III Episodio del 29 de Abril al 1 de Mayo del 2001	107
V.III.IV Episodio del 1 al 4 de Mayo del 2001	110
V.III.V Episodio del 4 al 5 de Septiembre del 2002	113
V.III.VI Episodio del 29 al 30 de Mayo del 2004	116
V.III.VII Episodio del 7 de Septiembre del 2004	118
V.III.VIII Episodio del 22 al 23 de Septiembre del 2006	120
V.IV Conclusiones	122
ANEXO VI: CUENCA DEL OMECILLO	125
VI.I Descripción	125
VI.II Datos de partida	126
VI.III Análisis de episodios	128
VI.III.I Episodio del 16 al 23 de Julio de 1997	128
VI.III.II Episodio del 6 al 13 de Mayo del 2003	130
VI.III.III Episodio del 17 al 25 de Mayo del 2005	132
VI.III.IV Episodio del 17 al 21 de Febrero del 2007	134
VI.III.V Episodio del 1 al 8 de Junio de 2008	136
VI.III.VI Episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009	138
VI.III.VII Episodio del 7 al 20 de Febrero del 2009	142
VI.III.VIII Episodio del 12 al 23 de Enero del 2010	145

VI.III.IX Episodio del 9 al 22 de Junio del 2010	147
VI.IV Conclusiones	151
ANEXO VII: CUENCA DEL MANUBLES	154
VII.I Descripción	155
VII.II Datos de partida	155
VII.III Análisis de episodios	157
VII.III.I Episodio del 17 al 25 de Abril de 1997	157
VII.III.II Episodio del 4 al 5 de Junio de 1997	159
VII.III.III Episodio del 23 al 27 de Julio de 1997	161
VII.III.IV Episodio del 17 al 21 de Diciembre de 1997	166
VII.III.V Episodio del 4 al 6 de Junio del 2000	168
VII.III.VI Episodio del 25 al 28 de Febrero del 2003	171
VII.III.VII Episodio del 3 al 8 de Septiembre del 2003	173
VII.IV Conclusiones	175
ANEXO VIII: CUENCA DEL ISÁBENA	178
VIII.I Descripción	178
VIII.II Datos de partida	179
VIII.III Análisis de Episodios	181
VIII.III.I Episodio del 16 al 24 de Diciembre de 1997	181
VIII.III.II Episodio del 16 al 24 de Abril del 2000	183
VIII.III.III Episodio del 9 al 17 de Junio del 2000	185
VIII.III.IV Episodio del 7 al 12 de Marzo del 2001	187
VIII.III.V Episodio del 25 de Febrero al 3 de Marzo del 2003	189
VIII.III.VI Episodio del 26 de Octubre al 5 de Noviembre de 2003	192
VIII.III.VII Episodio del 1 al 8 de Noviembre del 2008	196
VIII.III.VIII Episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009	199
VIII.IV Análisis del umbral de precipitación	203

VIII.IV.I Febrero del 2003	203
VIII.V Conclusiones	204
ANEXO IX: CUENCA DEL LEZA.....	207
IX.I Descripción	207
IX.II Datos de partida	208
IX.III Análisis de episodios.....	210
IX.III.I Episodio del 11 al 14 de Julio de 1999.....	210
IX.III.II Episodio del 8 al 18 de Mayo de 2002.....	212
IX.III.III Episodio del 9 al 19 de Octubre del 2002.....	214
IX.III.IV Episodio del 5 al 12 de Mayo del 2003.....	216
IX.III.V Episodio del 7 al 9 de Junio del 2003	218
IX.III.VI Episodio del 16 al 26 de Noviembre del 2003.....	220
IX.III.VII Episodio del 10 al 13 de Junio del 2004	223
IX.III.VIII Episodio del 6 al 7 de Julio del 2004.....	226
IX.III.IX Episodio del 7 al 9 de Septiembre del 2004	229
IX.III.IX Episodio del 12 al 17 de Abril del 2007	231
IX.IV Conclusiones	233
ANEXO X: CUENCA DEL CIDACOS	237
X.I Descripción	237
X.II Datos de partida	238
X.III Análisis de episodios	240
X.III.I Episodio del 2 al 31 de Marzo del 2001.....	240
X.III.II Episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003	242
X.III.III Episodio del 6 al 20 de Mayo del 2003	245
X.III.IV Episodio del 4 al 6 de Septiembre del 2003	247
X.III.V Episodio del 12 al 17 de Abril del 2007	249
X.III.VI Episodio del 9 al 13 de Junio del 2008	251

X.III.VII Episodio del 14 al 21 de Enero del 2010	253
X.IV Conclusiones	255
ANEXO XI: CUENCA DEL SOTÓN	258
XI.I Descripción	258
XI.II Datos de partida	259
XI.III Análisis de episodios.....	261
XI.III.I Episodio del 31 de Diciembre de 1997 al 2 de Enero de 1998	261
XI.III.II Episodio del 9 al 11 de Junio del 2000.....	263
XI.III.III Episodio del 21 al 22 de Octubre del 2000.....	266
XI.III.IV Episodio del 7 al 9 de Marzo del 2001	268
XI.III.V Episodio del 26 al 29 de Febrero del 2003	270
XI.III.VI Episodio del 7 al 9 de Septiembre del 2004	272
XI.III.VII Episodio del 1 al 3 de Abril del 2007	274
XI.III.VIII Episodio del 23 al 25 de Mayo del 2008.....	277
X.IV Conclusiones	280
ANEXO XII: PERFIL LONGITUDINAL Y ALTIMETRÍA DE LOS RÍOS	283
ANEXO XIII: MÉTODO SCS (Soil Conservation Service, Department of Agriculture).....	286

ANEXO I: INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA

I.I Conceptos básicos de hidrología

El agua es la sustancia más abundante en la Tierra. Es el principal constituyente de los seres vivos y una sustancia que constantemente está cambiando su estado en la superficie terrestre. Es un factor clave en la climatización de nuestro planeta, debido a que el ciclo del agua (véase punto I.II) está íntimamente ligado a los intercambios de energía entre la atmósfera, el océano y la Tierra que determinan el clima en nuestro planeta y también es un factor clave en el progreso de la civilización [Chow et al. 1994].

La hidrología es la ciencia que estudia el movimiento, la distribución y la calidad del agua en todas las zonas de la Tierra. El consejo Federal para Ciencia y Tecnología (U.S.A., 1962) define la hidrología como la ciencia que estudia las aguas terrestres, su origen, su movimiento y su distribución en nuestro planeta, sus propiedades físicas y químicas, su interacción con el medio ambiente físico y biológico y su influencia sobre las actividades humanas [Llamas 1993].

Por lo tanto se dice que la hidrología se dedica al estudio tanto del ciclo hidrológico como de los recursos de agua [<http://www.ciclohidrologico.com>].

I.II Ciclo hidrológico

El agua circula por la hidrosfera a través de un movimiento continuo en el cual se definen diferentes caminos que se enlazan formando un verdadero ciclo ya que su inicio ocurre donde posteriormente concluye, constituyendo así el ciclo hidrológico [Maderey-Rascón, 2005].

El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología. El ciclo no tiene ni principio ni fin y sus diversos procesos ocurren de forma continua. En primer lugar se produce la evaporación del agua desde los océanos y la superficie terrestre, este vapor de agua asciende en la atmósfera hasta que condensa y precipita. Parte de la precipitación terrestre es interceptada por la vegetación, parte circula por la superficie convirtiéndose en flujo superficial hacia los ríos en busca de los océanos de nuevo y otra parte se filtra en el suelo. Una parte del agua infiltrada puede percolar profundamente y recargar acuíferos, que almacenan cantidades de agua dulce durante períodos largos de tiempo, otra parte permanece en las capas superiores del suelo volviendo a los cuerpos de agua y a los océanos mediante descarga subterránea o encontrando aperturas en la superficie y emergiendo como manantiales.

Del total de la precipitación terrestre parte se evapora en su circulación superficial aportando humedad a la atmósfera, y la otra parte fluye a los océanos y se comienza de nuevo el ciclo [Chow et al. 1994].

En la siguiente figura se muestra de manera esquemática el ciclo hidrológico del agua:

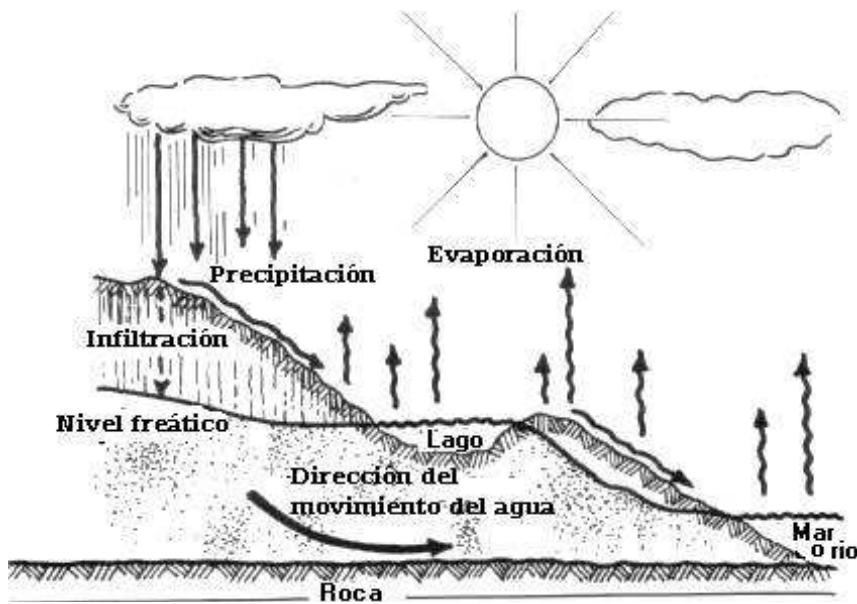


Figura I. 1 Esquema del ciclo del agua.

De toda el agua que hay en la Tierra, alrededor del 96,5% se encuentra en los océanos y del resto, un 1,7% se encuentra en los hielos polares, un 1,7% en manantiales subterráneos y únicamente un 0,1 % en los sistemas de agua superficial y atmosférica. La evaporación desde la superficie terrestre consume el 61% de la precipitación y el 39% restante conforma escorrentía hacia los océanos. El 90% de la humedad atmosférica corresponde a la evaporación desde los océanos [Chow et al. 1994].

De toda el agua involucrada en el ciclo solamente entre un 0,03% y un 0,3% corresponde a agua líquida superficial dulce, base de la vida humana. Debido a los múltiples usos que el hombre realiza del agua y la necesidad de conservar los valores naturales del medio hídrico surge la necesidad de una coordinación, la cual es llevada a cabo por las Confederaciones Hidrográficas, cuyas funciones se realizan en las correspondientes cuencas hidrográficas [Brufau y García-Navarro 2000].

La hidrología de una región queda determinada por la topografía, la geología y la vegetación. También está determinada por otros factores como por ejemplo, el incremento de CO₂ en la atmósfera debido a que las acciones humanas intervienen gradualmente en el medio ambiente, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico [Chow et al. 1994].

I.II.I Precipitación: Lluvia

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita sobre la superficie terrestre [<http://www.ciclohidrologico.com>]. La precipitación implica agua y nieve además de otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre tales como el granizo y la nevisca.

La formación de precipitación en las nubes se denomina condensación, y tiene lugar en la atmósfera. Conforme el aire sube y se enfriá, el agua se condensa y pasa de un estado vapor a un estado líquido. En el caso de que la temperatura sea más baja que el punto de congelamiento se forman cristales de hielo.

Para que se produzca la condensación se necesita una semilla llamada núcleo de condensación, en torno a la cual las moléculas de agua se pueden unir. Algunas partículas de

polvo que se encuentran en la atmósfera pueden actuar como núcleos de condensación, estas serán las que contengan iones, por lo que atraerán electrostáticamente a las moléculas de agua enlazadas polarmente. Los iones de la atmósfera incluyen partículas de sal formadas a partir de la evaporación de la espuma marina y compuestos de sulfuro y nitrógeno que son productos del proceso de combustión. Las gotas de agua van creciendo por condensación e impacto con las más cercanas hasta que la fuerza de la gravedad alcanza el valor necesario para que empiecen a caer.

La precipitación varía en el espacio y en el tiempo. Las precipitaciones se miden a través de pluviómetros que se distribuyen sobre un área, estos registran la cantidad de lluvia que cae durante un tiempo determinado, véase el capítulo 3 de la memoria, donde se detalla el funcionamiento de un pluviómetro. Los pluviómetros registran datos periódicos de precipitación en mm, que es lo mismo que en l/m². Un hietograma representa la lluvia acumulada o la lluvia incremental respecto a intervalos discretos de tiempo [Chow et al. 1994]. En la siguiente gráfica se representa a modo de ejemplo un hietograma donde se muestra la precipitación registrada en un pluviómetro cada quince minutos durante un aguacero.

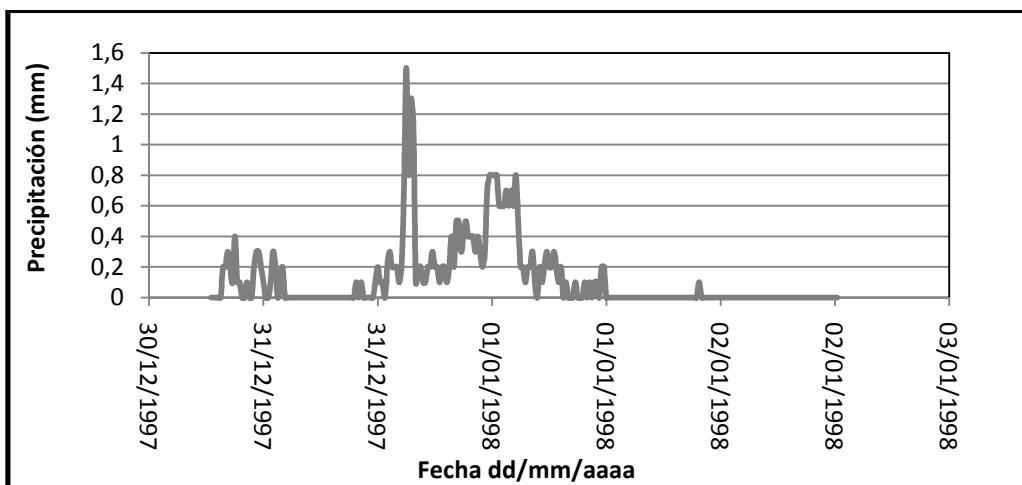


Figura I.2 Hietograma tipo

I.II.II Evaporación

Es el proceso en el cual las moléculas pasan de estado líquido a vapor. El proceso de evaporación puede ocurrir naturalmente solo si hay una entrada de energía, directamente del sol o desde la propia atmósfera y es controlado el grado de difusión del vapor de agua desde la superficie terrestre, lo que implica proceso de difusión molecular y turbulenta.

En términos simplificados, de las moléculas que comprenden una determinada masa de agua una fracción de un milímetro en diámetro está en constante movimiento. Al añadir calor al agua, las moléculas incrementan su energía y se mueven más rápidamente. Como resultado aumenta la distancia entre ellas y se debilita su fuerza de unión. A altas temperaturas, un cierto número de moléculas cercanas a la superficie ascienden a las capas inferiores del aire que las cubre y al mismo tiempo alguna de las moléculas de vapor de agua que se encuentra en las capas inferiores del aire penetra en la subyacente masa de agua. Si el número de moléculas que abandonan la superficie del agua es mayor que el número de moléculas que vuelven se dice que la evaporación está teniendo lugar.

La evaporación es una parte esencial del ciclo del agua. En hidrología, la evaporación y la transpiración (que implica la evaporación dentro de la estoma de la planta) reciben el nombre conjunto de evapotranspiración [Ward y Robinson 1990].

I.II.III Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la Tierra penetra en el suelo.

En el proceso de infiltración se pueden distinguir tres fases:

- Intercambio: Tiene lugar en la parte superior del suelo, donde el agua puede volver a la atmósfera por medio de la evaporación o la evapotranspiración.
- Transmisión: Ocurre cuando la fuerza de la gravedad supera a la de capilaridad y obliga al agua a deslizarse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable.
- Circulación: Se produce cuando el agua acumulada en el subsuelo empieza a circular por acción de la fuerza de la gravedad y obedeciendo a las leyes del escurrimiento subterráneo.

Los factores que influyen en la infiltración son:

- Tipo del suelo: A mayor porosidad, tamaño de las partículas y estado de fisuramiento del suelo mayor capacidad de infiltración.
- Estado de humedad del suelo: Cuanto más húmedo esté el suelo menor capacidad de infiltración.
- Presencia de sustancias coloidales: La hidratación de los coloides aumenta su tamaño y disminuye el espacio para la infiltración.
- Cubierta vegetal: Una cubierta vegetal natural incrementa la capacidad de infiltración. Una cubierta vegetal densa favorece la infiltración.
- La acción del hombre y de los animales: En función del uso que el hombre le da a unas determinadas tierras y del uso al que los animales la someten puede variar la capacidad de infiltración del suelo.
- La temperatura: Las temperaturas bajas dificultan la infiltración.

Así pues la infiltración es un proceso muy complejo que se puede describir por ecuaciones matemáticas de manera aproximada.

El nivel máximo con el que el suelo es capaz de absorber el agua se llama capacidad de infiltración y se mide en altura de agua que se infiltra por unidad de tiempo, se expresa en pulgadas por hora o en milímetros por hora. A la lluvia que supera la capacidad de infiltración se la llama lluvia neta y será la que escurra [Maderey-Rascón, 2005].

I.II.IV Escorrentía

La escorrentía es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, eternas, discontinuas o momentáneas y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores.

Ante una tormenta, una gran parte de agua contribuye al almacenamiento superficial. Se diferencia entre dos tipos de almacenamiento: por retención y por detención. El almacenamiento por retención es aquel que se mantiene por un largo periodo y después se agota por evaporación. El almacenamiento por detención es a corto plazo y se acaba gracias al flujo hacia fuera del lugar de almacenamiento: flujo no saturado a través del suelo no saturado de la superficie terrestre, flujo de aguas subterráneas (acuíferos cercanos a la superficie terrestre) y escorrentía superficial por la superficie terrestre. Por lo que las precipitaciones pueden alcanzar el río mediante diferentes vías [Chow et al. 1994].

I.II.IV.I Distribución cronológica de la escorrentía

A rasgos generales se puede definir la escorrentía como el fenómeno mediante el cual un líquido se mueve sobre una región o superficie dada por acción de la fuerza de la gravedad.

El estudio de la escorrentía tiene gran importancia en la planificación de recursos hídricos y en el diseño de obras. En una cuenca la escorrentía es un reflejo de su comportamiento y de su

estado, esto se puede plasmar en un hidrograma que es el gráfico del caudal en función del tiempo, siendo este una representación de las características fisiográficas y climáticas que rigen la relación entre las precipitaciones y el caudal de una cuenca. En la práctica, las cuencas tienen aforos repartidos por diferentes puntos, cuya función es medir el caudal circulante (véase capítulo 3 de la memoria) y pudiendo obtener hidrogramas a partir de la representación del caudal registrado frente al tiempo de registros. En la siguiente figura se representa a modo de ejemplo un hidrograma donde se muestra el caudal registrado en un aforo tras un aguacero.

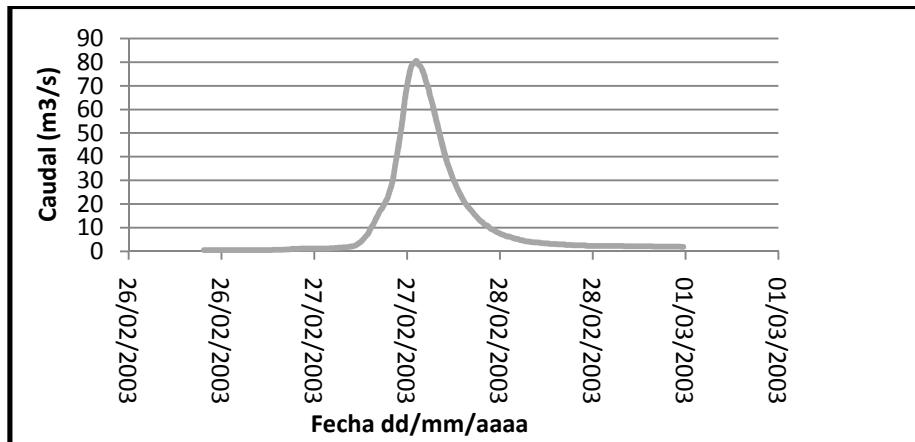


Figura I.3 Hidrograma tipo

Descripción del proceso de escorrentía: En la siguiente figura se muestra el reparto del volumen de agua en un aguacero:

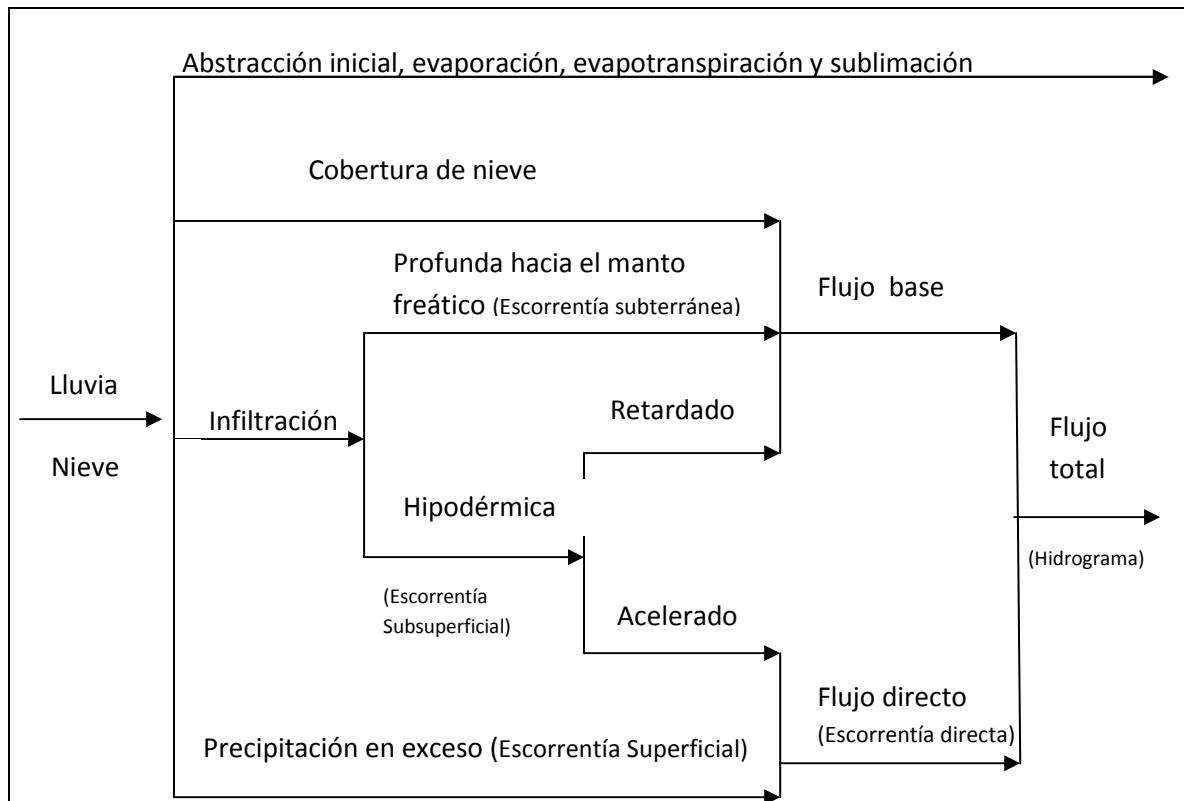


Figura I.4 Esquema del proceso lluvia-caudal.

Como se puede observar en la figura anterior, las aguas procedentes de las precipitaciones y de la fusión de la nieve alcanzan el río por cuatro caminos diferentes: escorrentía superficial o flujo de superficie, el flujo hipodérmico, flujo subterráneo y las precipitaciones que caen directamente sobre las superficies libres del agua.

Cuando se inicia un proceso de lluvia, las primeras gotas de lluvia son retenidas y almacenadas por las hojas y los tallos de la cubierta vegetal hasta que a partir de un cierto límite las gotas comienzan a alcanzar el suelo. A continuación se produce una saturación progresiva del suelo y no se produce escorrentía hasta que la tasa de las precipitaciones no supera la capacidad de infiltración del suelo. De la parte del agua infiltrada, se diferencia entre la infiltración profunda hacia el manto freático y la infiltración hipodérmica. La primera se produce cuando la zona de aeración del suelo contiene la humedad necesaria para que se produzca una percolación profunda del agua. De esta manera, una parte de las precipitaciones alcanzan el manto freático. La aportación al río de esta parte de las precipitaciones es lo que se denomina escorrentía subterránea, cuyo trayecto hasta alcanzar el río es mucho más largo y su aportación se produce de manera gradual y sólo interviene en una proporción mínima en los caudales máximos de las riadas.

Se llama escorrentía hipodérmica a la parte de las precipitaciones infiltradas que en un principio recorre la cuenca en las capas superiores del terreno casi horizontalmente, para reaparecer al aire libre al encuentro de un canal de flujo, siendo la aportación de estos flujos al caudal del río muy dependientes de la estructura del suelo. La existencia de capas impermeables del suelo favorece este tipo de escorrentía.

En el momento en que la cantidad de precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo, el agua escurre por las pendientes (escorrentía superficial). Una parte de este agua se acumula en las depresiones que existen en la superficie hasta que las llena y continúa su camino aguas abajo [Llamas 1993].

ANEXO II: CUENCA DEL ULZAMA**II.I Descripción**

Río situado en los Valles Meridionales de la Navarra Húmeda noreste. Nace en las proximidades del puerto de Belate y tras recorrer la depresión que forma el valle del mismo nombre desemboca en la margen derecha del río Arga en las inmediaciones de Villaba. El clima de la zona es de transición del templado con una clara influencia atlántica que se acentúa al noroeste del área. El río Ulzama tiene como principales afluentes los ríos Mediano y Araki [<http://www.encyclopedia.navarra.com>].

La superficie de su cuenca es de aproximadamente 234, 346 Km² [<http://www.chebro.es>].

En la siguiente figura se muestra la situación de la subcuenca del Ulzama dentro de la cuenca del Ebro (ver figura II.1):

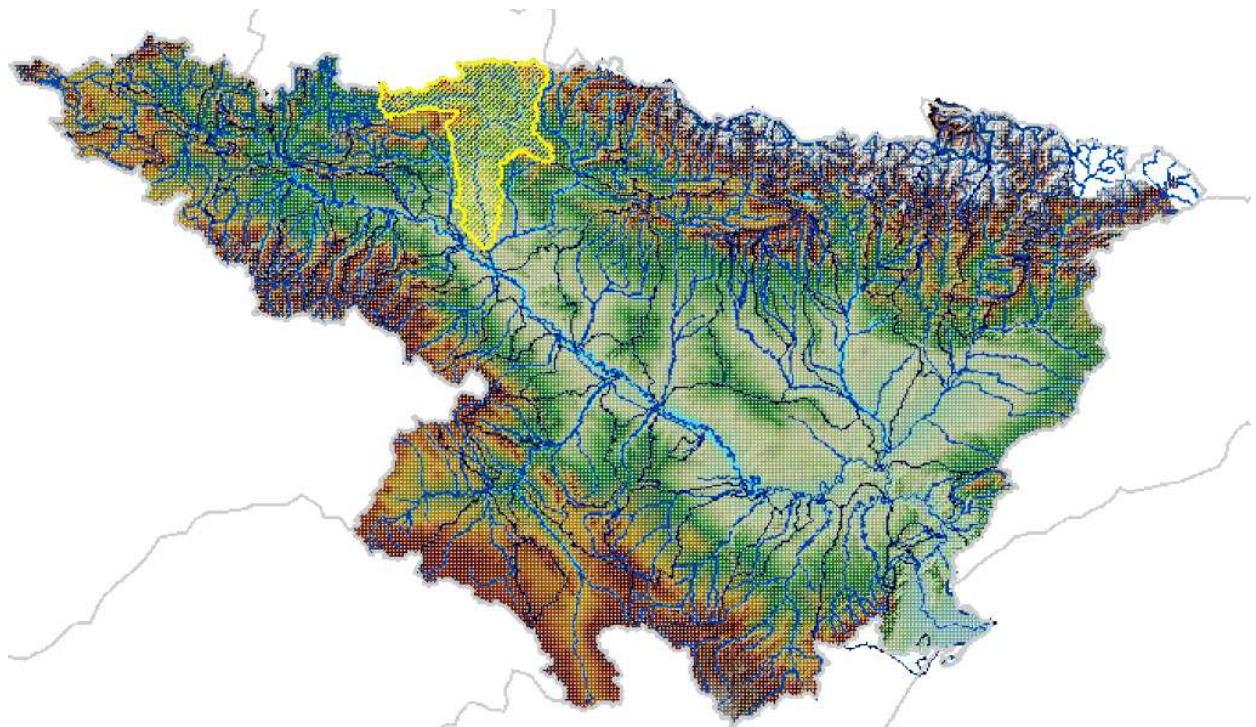


Figura II.1 Localización geográfica; Cuenca del Ulzama.

La subcuenca del Ulzama se encuentra en la parte superior de la zona coloreada en amarillo, la cual corresponde a la subcuenca del Arga [<http://www.chebro.es>].

II. II Datos de partida

Con objeto de conocer mejor la respuesta hidrológica de la cuenca del Ulzama, se han analizado los datos quince-minutales de la base histórica del SAIH tanto del caudal medido en la estación de aforo A067 Ulzama en Olave que se sitúa a la salida de la cuenca como de las precipitaciones registradas en las siguientes estaciones pluviométricas P012 en Beruete, P078 en Lantz, EM25 en Eugui y A067 en Olave, las cuales rodean la cuenca. (Ver figura II.2).

La localización geográfica de las estaciones citadas así como la localización del río Ulzama, el cual se representa mediante una línea azul de mayor grosor, se presentan en la figura siguiente:

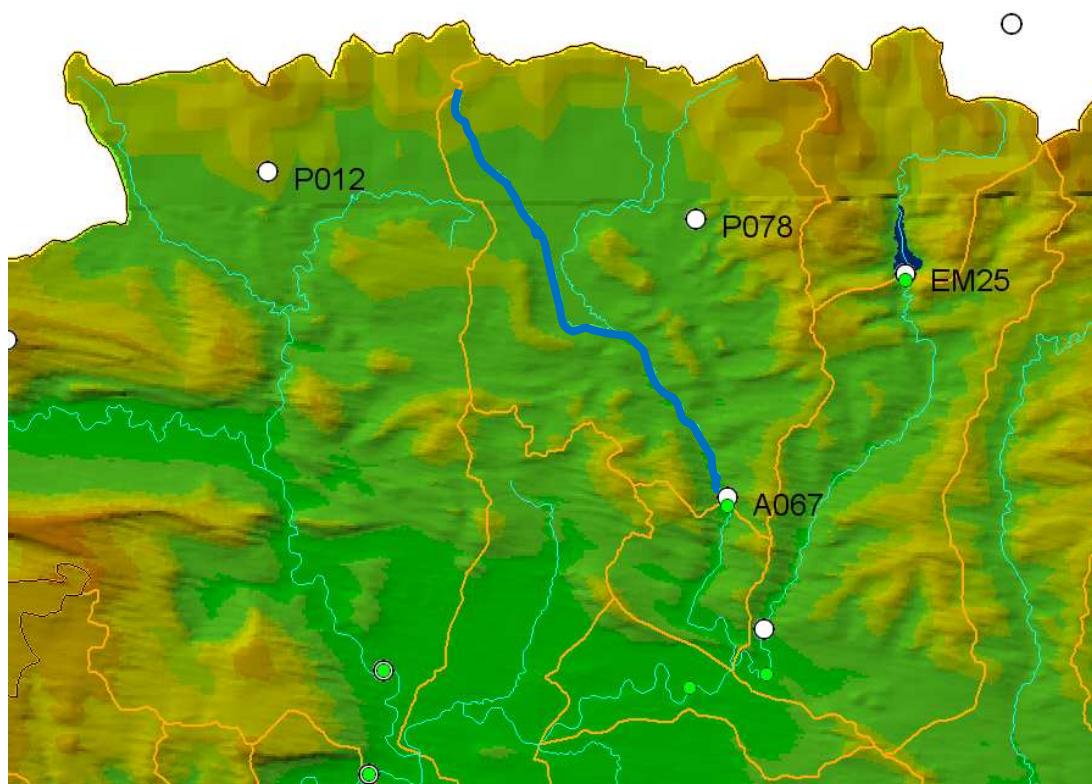


Figura II.2 Localización de estaciones. Cuenca del Ulzama.

En esta cuenca, las estaciones de medida son relativamente nuevas por lo cual sólo se tienen datos desde el año 2007. Aún así se ha creído muy interesante el análisis de los episodios acaecidos en esta cuenca ya que son abundantes y en más de trece casos el caudal registrado en la estación de aforo de Olave ha superado los $80\text{m}^3/\text{s}$.

Primero se procede a realizar un análisis de los datos pluviométricos que disponemos en la cuenca en base a los datos registrados en cada pluviómetro y a la zona en la que se sitúan. A partir de estos datos podemos concluir que:

- El pluviómetro en Beruete (P012) es el más importante y posiblemente sea el que mejor refleje el caudal que luego pasa por el aforo de Olave.

- El pluviómetro de Lantz (P078) también refleja muy bien las precipitaciones que luego llegan a la estación de aforo pero tiene el problema de que es muy moderno y quizás no se tengan demasiadas series de datos para poder ser calibrado.
- El pluviómetro de Eugui (EM25) no refleja tan bien los datos como el situado en Beruete.
- Por último, el pluviómetro en el aforo de Olave (A067) es el que menor cantidad de precipitación registra, ya que es el que está más al sur (zona más seca). A este pluviómetro le daremos poca importancia ya que la superficie sobre la que tiene influencia es pequeña respecto a la superficie total de la cuenca.

De esta forma, la manera de calcular la lluvia media para toda la cuenca sin datos del pluviómetro de Lantz es:

$$\text{Lluvia media} = \text{Precip. P012 (mm)} \cdot 0,45 + \text{Precip. A067 (mm)} \cdot 0,2 + \text{Precip. EM25(mm)} \cdot 0,35$$

Y si se dispone de datos del pluviómetro de Lantz, la forma de calcular la lluvia media en toda la cuenca es:

$$\begin{aligned} \text{Lluvia media} = & (\text{Precip. P012 (mm)} \cdot 0,45 + \text{Precip. A067 (mm)} \cdot 0,2 \\ & + [(\text{Precip. EM25(mm)} + \text{Precip. P078 (mm)}) \cdot \frac{0,35}{2}] \end{aligned}$$

Siendo 0,45, 0,2, 0,35, 0,35/2 los coeficientes de proporcionalidad correspondientes a cada pluviómetro y Precip. P012 (mm), Precip. A067 (mm), Precip. EM25 (mm), Precip. (mm) P078 la cantidad de precipitación registrada en cada uno de los pluviómetros para cada episodio en milímetros.

De entre todos los episodios registrados históricamente en esta cuenca se han seleccionado siete para analizarlos en profundidad y poder establecer pautas de comportamiento en la relación precipitación-escorrentía. Son los siguientes:

- Episodio del 7 al 15 de Marzo 2007: $Q_{\text{máx}} \approx 121 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 22 al 30 de Marzo de 2007: $Q_{\text{máx}} \approx 112 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 22 al 29 de Marzo de 2008: $Q_{\text{máx}} \approx 120 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 21 al 27 de Noviembre de 2008: $Q_{\text{máx}} \approx 77 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 8 al 15 de Febrero de 2009: $Q_{\text{máx}} \approx 176 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 5 al 13 de Noviembre de 2009: $Q_{\text{máx}} \approx 142 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 12 al 23 de Enero de 2010: $Q_{\text{máx}} \approx 144 \text{ m}^3/\text{s}$.

II.III Análisis de Episodios

II.III.I Episodio del 7 al 15 de Marzo del 2007

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Olave durante este episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	
	Beruete (P012)	178,6mm
	Eugui (EM25)	88,1mm
	Olave(A067)	57,4mm
	Volumen total	Olave (A067) 15,8Hm ³

Tabla II.1 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, episodio del 7 al 15 de Marzo del 2007.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida del 7 al 15 de Marzo del 2007.

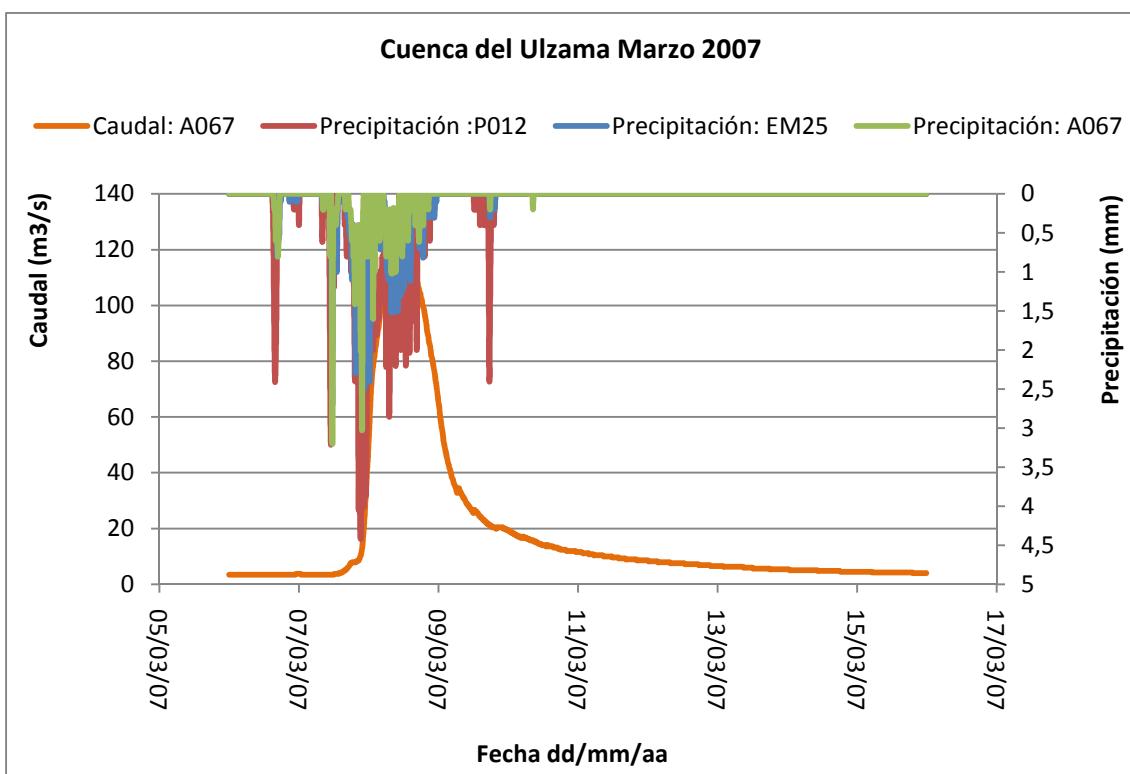


Figura II.3 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 7 al 15 de Marzo del 2007.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante el episodio del 7 al 15 de Marzo del 2007:

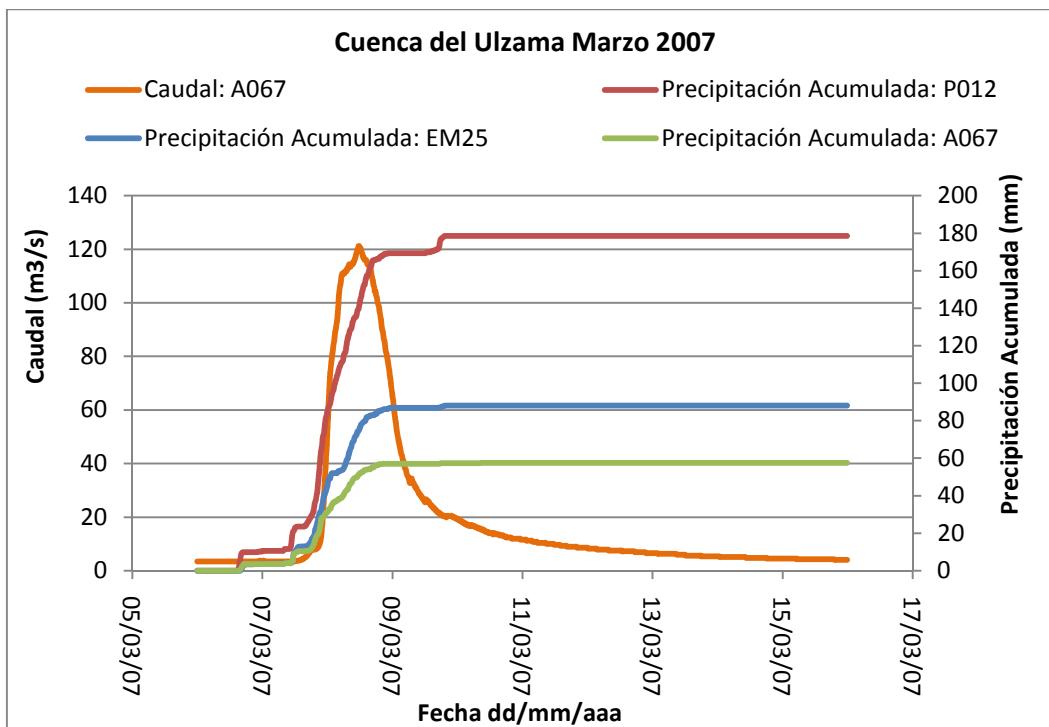


Figura II.4 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 7 al 15 de Marzo del 2007.

Una vez analizados los datos de partida se procede a realizar los cálculos relevantes que caracterizan el episodio de avenida tal y como se explica en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se recogen los resultados obtenidos de estos cálculos para este episodio:

Lluvia media	122,7mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	61,5h
Volumen de Precipitación	44,9Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	33,5h
Duración Episodio	202h	t_{picos}	8h
Volumen de escorrentía	12,91Hm ³	Escorrentía	44,93%
Volumen Q_{base}	1,8Hm ³	Escorrentía directa	38,65%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	11,11Hm ³	Escorrentía indirecta	6,27%
$Q_{\text{máx}}$	121,2m ³ /s	Umbral precipitación	15,67mm

Tabla II.2 Resultados obtenidos en el episodio del 7 al 15 de Marzo del 2007; Cuenca del Ulzama.

Para poder analizar los resultados de este episodio y establecer conclusiones es importante tener en cuenta los datos registrados en las estaciones pluviométricas y de aforo en las semanas finales del mes de Febrero del año 2007, ya que se registraron precipitaciones bastante importantes en esta subcuenca.

II.III.II Episodio del 22 al 30 de Marzo de 2007

En este caso, a la vista de las gráficas donde se muestra el evento de episodio (Figura II.5 y Figura II.6), se ha dividido en dos el episodio de avenida y se han analizado los datos como dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 21 al 30 de Marzo de 2007.

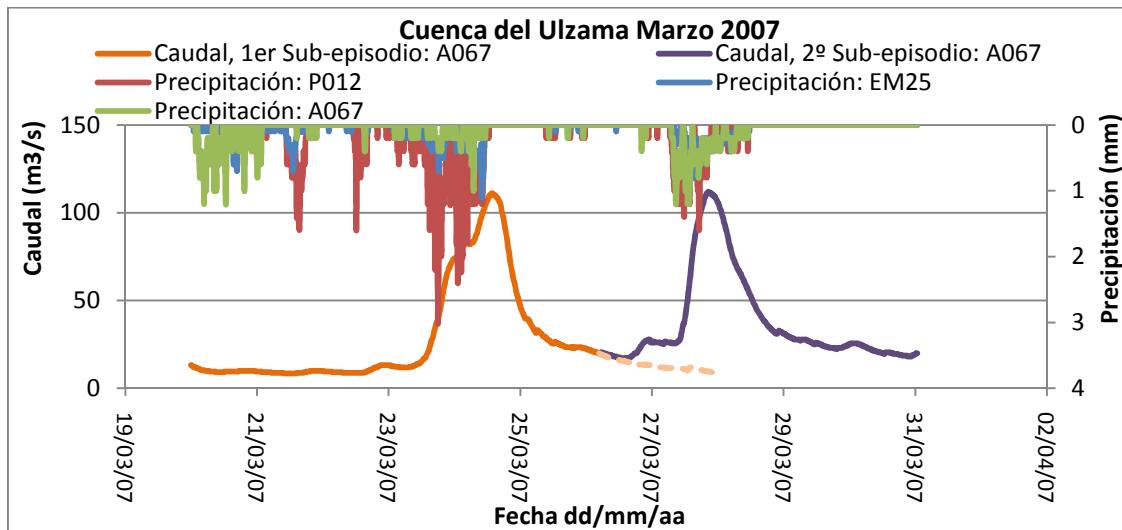


Figura II.5 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 22 al 30 de Marzo del 2007.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros de la cuenca del episodio completo:

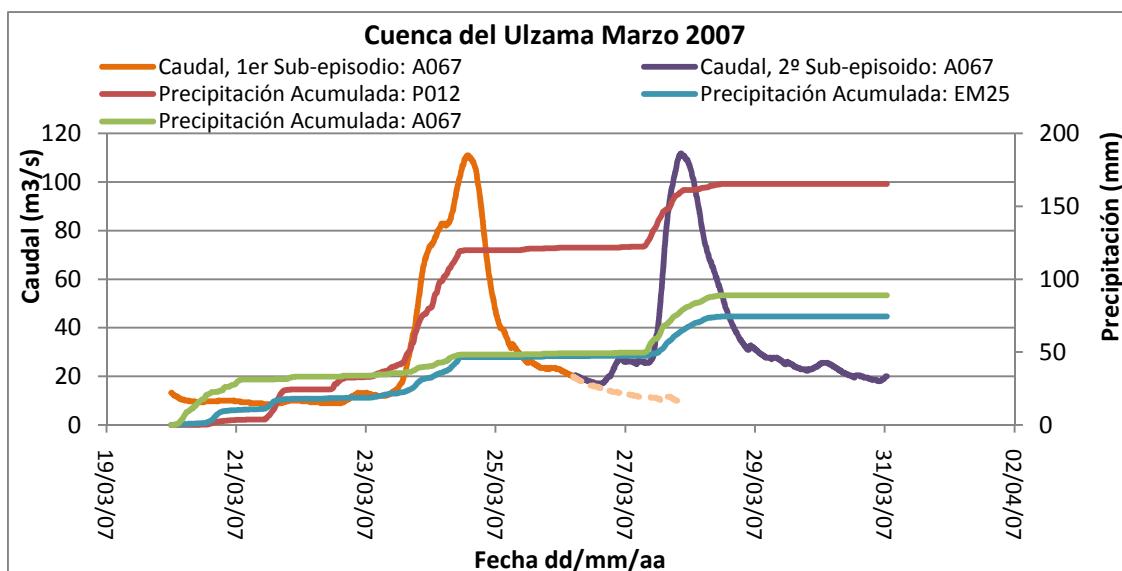


Figura II.6 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 22 al 30 de Marzo del 2007.

Análisis del primer sub-episodio:

Antes de pasar a realizar los cálculos correspondientes para caracterizar este sub-episodio hay que hacer algunas consideraciones que serán relevantes a la hora de establecer conclusiones en el comportamiento hidrológico de la subcuenca. Si este sub-episodio se produjese aisladamente; es decir, independientemente del sub-episodio posterior, la crecida de caudal en el río se daría desde el 22 hasta el 27 de Marzo, momento en el cual se recuperaría el flujo base que se tenía en el Ulzama antes del aguacero. A la hora de hacer los cálculos y analizar el sub-episodio por separado hemos prolongado virtualmente cómo sería el hidrograma de bajada del caudal hasta alcanzar el flujo base como si sólo fuese un episodio.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	
	Beruete (P012)	121,6mm
	Eugui (EM25)	47,3mm
	Olave (A067)	49mm
	Volumen total	Olave (A067) 15,15Hm ³

Tabla II.3 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, primer sub- episodio del episodio del 22 al 30 de Marzo del 2007.

Una vez extraídos los datos necesarios para analizar el sub-episodio se han realizado los cálculos recogidos en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de estos cálculos para este sub-episodio:

Lluvia media	81,1mm	Duración Q _{máx}	40,75h
Volumen de Precipitación	19Hm ³	t _{Precipitación}	32,75h
Duración Episodio	127,25h	t _{picos}	8,5h
Volumen de escorrentía	11,07 Hm ³	Escorrentía	58,2%
Volumen Q _{base}	2,11Hm ³	Escorrentía directa	45,82%
Volumen Q _{máx}	8,7Hm ³	Escorrentía indirecta	11,12%
Q _{máx}	110,96m ³ /s	Umbral precipitación	23,91mm

Tabla II.4 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 22 al 30 de Marzo del 2007; Cuenca del Ulzama.

En este caso hay que advertir que las condiciones iniciales del terreno antes de este sub-episodio eran muy húmedas ya que una semana antes se había producido otro episodio de crecida (episodio del 7 al 15 de Marzo del 2007).

También se va a tener en cuenta que la cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta aproximadamente el momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo. El volumen total de escorrentía en el episodio es algo mayor que la suma del volumen del caudal base y el volumen del caudal máximo; esto es debido a que en un principio el caudal registrado en la estación de aforo aumenta en pequeña proporción pero no comienza el pico del hidrograma. Esto se

puede apreciar perfectamente en las gráficas anteriores, en las que se observa que el caudal registrado en la estación de aforo durante el día 22 está variando pero hasta el día 23 no empieza el aumento brusco del caudal (exactamente comenzó a las 11:15h del día 23).

Análisis del segundo sub-episodio:

Para poder analizar este sub-episodio de forma aislada tendríamos que considerar que ha tenido lugar del 26 al 30 de Marzo del 2007 y tener en cuenta lo que sabemos del episodio anterior a la hora de establecer unas condiciones iniciales de partida en este caso.

Según los datos recogidos, en la siguiente tabla se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el aumento en el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	
	Beruete (P012)	43,6mm
	Eugui (EM25)	27,2mm
	Olave(A067)	39,8mm
	Volumen total	Olave (A067) 14,04Hm ³

Tabla II.5 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, segundo sub- episodio del episodio del 22 al 30 de Marzo del 2007.

Con los datos registrados, se procede a realizar los cálculos que caracterizan el sub-episodio y que se encuentran detallados en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	37,1mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	46,5h
Volumen de Precipitación	8,69Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	22,5h
Duración Episodio	92,5h	t_{picos}	8h
Volumen de escorrentía	7,38Hm ³	Escorrentía	85,03%
Volumen Q_{base}	0,97Hm ³	Escorrentía directa	73,83%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	6,41Hm ³	Escorrentía indirecta	11,2%
$Q_{\text{máx}}$	111,8m ³ /s	Umbrales precipitación	0mm

Tabla II.6 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 22 al 30 de Marzo del 2007; Cuenca del Ulzama.

Como hemos dicho al principio, a la hora de establecer pautas de comportamiento o conclusiones sobre este episodio hay que tener en cuenta que el terreno se encuentra muy húmedo ya que una semana antes se han producido dos episodios de crecida. Además, el volumen de precipitación usado para realizar el análisis de este episodio es el que va desde el pico del hidrograma del primer sub-episodio hasta el final.

II.III.III Episodio del 22 al 30 de Marzo del 2008

Examinando los datos disponibles de precipitación-escorrentía en la última semana de Marzo del 2008 se observa que se produce un episodio con varias subidas y bajadas. En lugar de analizarlo como un todo se ha creído conveniente analizarlo en tres sub-episodios independientes ya que todos ellos bajan casi hasta el caudal base.

Vamos a presentar los datos registrados entre el 15 y el 31 de Marzo del 2008. En la figura se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas durante esta fecha y donde se aprecia claramente, cómo puede dividirse el episodio completo en tres sub-episodios independientes:

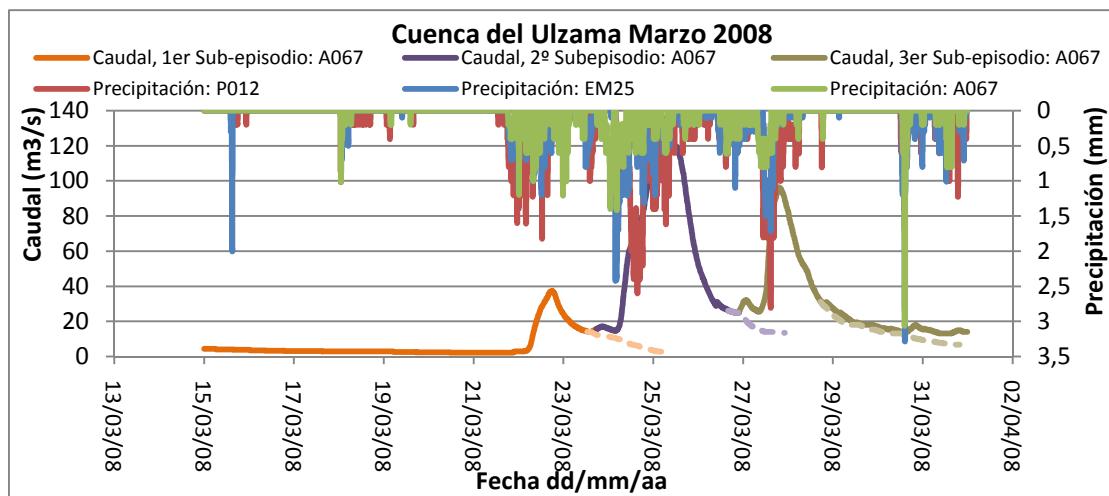


Figura II.7 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 22 al 30 de Marzo del 2008.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

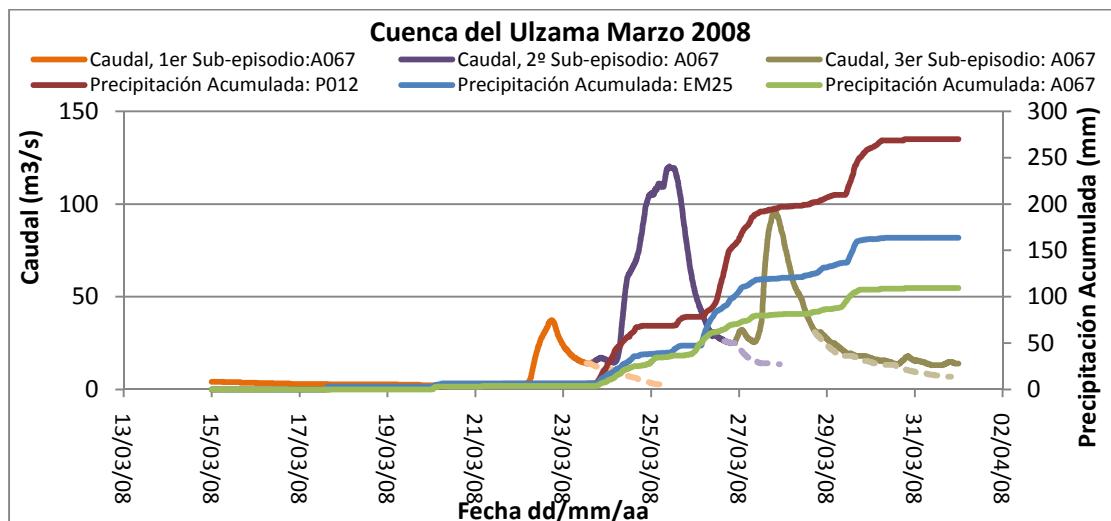


Figura II.8 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 22 al 30 de Marzo del 2008.

Análisis del primer sub-episodio:

Analizado independientemente, este sub-episodio tiene lugar entre el 22 y el 25 de Marzo de 2008. Al analizarlo como independiente hemos supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua en color naranja claro, para poder realizar los cálculos. Con los datos que tenemos hemos realizado los cálculos correspondientes a este análisis siguiendo los pasos del capítulo 4 de la memoria.

En la siguiente tabla partimos como datos de entrada de la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como del volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	
	Beruete (P012)	67,4mm
	Eugui (EM25)	36mm
	Olave(A067)	25mm
	Volumen total	Olave (A067) 3,78Hm ³

Tabla II.7 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, primer sub- episodio del episodio del 22 al 30 de Marzo del 2008.

Al igual que en los otros casos, los resultados obtenidos de los cálculos para este sub-episodio son:

Lluvia media	47,93mm	Duración Q _{máx}	38,5h
Volumen de Precipitación	11,23Hm ³	t _{Precipitación}	20,25h
Duración Episodio	70,75h	t _{picos}	4,25h
Volumen de escorrentía	3,01Hm ³	Escorrentía	26,82%
Volumen Q _{base}	0,59Hm ³	Escorrentía directa	21,58%
Volumen Q _{máx}	2,42Hm ³	Escorrentía indirecta	5,24%
Q _{máx}	36,81m ³ /s	Umbral precipitación	10,88mm

Tabla II.8 Resultados obtenidos en primer sub-episodio del episodio del 22 al 30 de Marzo del 2008; Cuenca del Ulzama.

En este caso, las condiciones iniciales del terreno también son de bastante humedad ya que durante este mes se produjeron bastantes precipitaciones tal y como hemos observado en los datos. A la hora de realizar los cálculos también queremos señalar que las precipitaciones a partir del 22 de Marzo a las 17:00h se tendrán en cuenta como parte del segundo sub-episodio y no en este primero.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio analizado independientemente tiene lugar entre el 23 y el 27 de Marzo de 2008. Como se puede observar en la figura en este caso también se ha supuesto un caudal de bajada de hidrograma para realizar los cálculos (figuras II.8 y II.9, línea discontinua color púrpura claro).

Los datos de los que se parte para realizar este análisis son los siguientes: tabla en la que se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	
	Beruete (P012)	126,6mm
	Eugui (EM25)	83,6mm
	Olave(A067)	55,4mm
	Volumen total	Olave (A067) 17,18Hm ³

Tabla II.9 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, segundo sub-episodio del episodio del 22 al 30 de Marzo del 2008.

Y en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este sub-episodio:

Lluvia media	97,31mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	70,75h
Volumen de Precipitación	22,8Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	37,5h
Duración Episodio	87,75h	t_{picos}	3,25h
Volumen de escorrentía	12,62Hm ³	Escorrentía	55,33%
Volumen Q_{base}	0,36 Hm ³	Escorrentía directa	53,76%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	12,26Hm ³	Escorrentía indirecta	1,57%
$Q_{\text{máx}}$	120,32m ³ /s	Umbral precipitación	4,11mm

Tabla II.10 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 22 al 30 de Marzo del 2008; Cuenca del Ulzama.

Al igual que en los casos anteriores, el estado antecedente de humedad del suelo es muy elevado.

Las precipitaciones producidas a partir del 25 de Marzo a las 17:45h no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos, debido a que se estima que no afectan al flujo base supuesto para este sub-episodio. Se toma que a partir de este instante las precipitaciones provocan el tercer sub-episodio.

Análisis del tercer sub-episodio:

Al analizar este sub-episodio independientemente creemos que se podría producir entre el 26 y el 30 de Marzo del 2008. El caudal utilizado para los cálculos desde el 28 de Marzo ha sido supuesto teniendo en cuenta la rama de bajada del hidrograma hasta alcanzar lo que sería su flujo base.

En cuanto a datos iniciales, partimos de la siguiente tabla que nos muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	
	Beruete (P012)	64,2mm
	Eugui (EM25)	33,6mm
	Olave(A067)	23,4mm
	Volumen total	Olave (A067) 10,47Hm ³

Tabla II.11 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, tercer sub- episodio del 22 al 30 de Marzo del 2008.

Una vez realizados los cálculos, los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Lluvia media	45,33mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	46,75h
Volumen de Precipitación	10,62Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	32,5h
Duración Episodio	73,5h	t_{picos}	4,25h
Volumen de escorrentía	6,53Hm ³	Escorrentía	61,57%
Volumen Q_{base}	0,43Hm ³	Escorrentía directa	57,47%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	6,1Hm ³	Escorrentía indirecta	4,1%
$Q_{\text{máx}}$	96,16m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla II.12 Resultados obtenidos en tercer sub-episodio del episodio del 22 al 30 de Marzo del 2008; Cuenca del Ulzama.

A la hora de realizar los cálculos se debe tener en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo y que las precipitaciones producidas a partir del 30 de Marzo no se han tenido en cuenta.

II.III.IV Episodio del 21 al 27 de Noviembre de 2008

En este caso el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 21 al 29 de Noviembre de 2008:

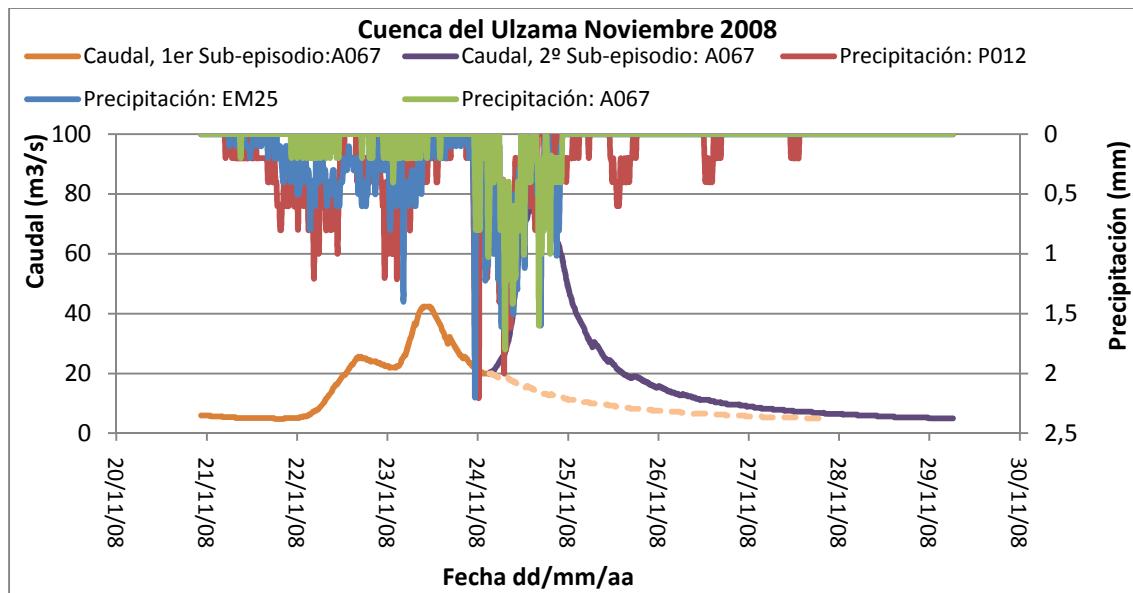


Figura II.9 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 21 al 27 de Noviembre del 2008.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros, para el episodio completo:

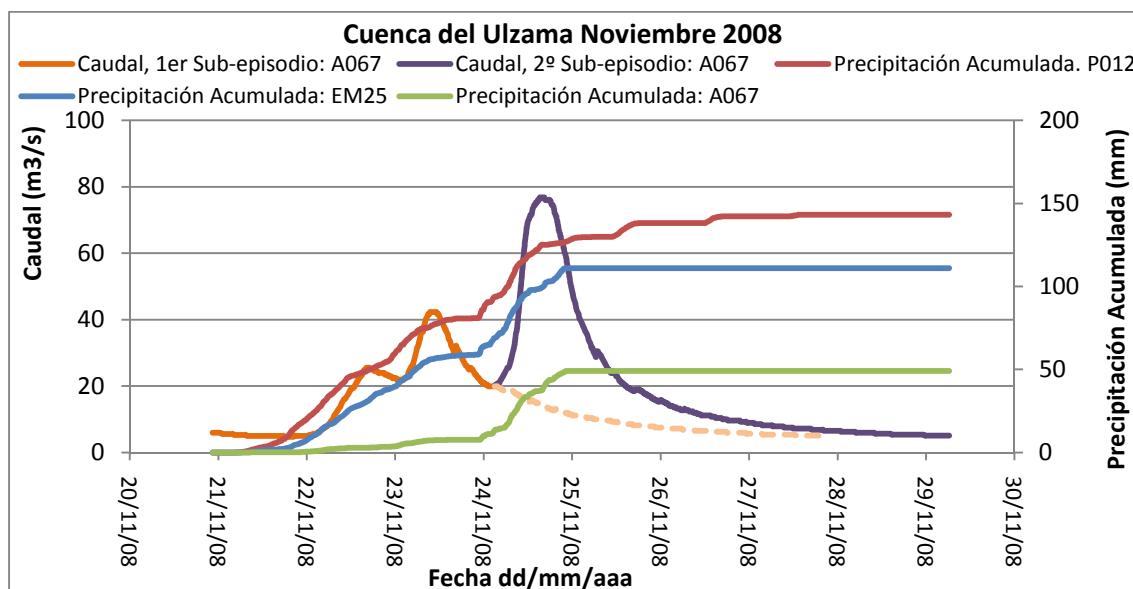


Figura II.10 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 21 al 27 de Noviembre del 2008.

Análisis del primer sub-episodio:

Se analiza este sub-episodio entre el 21 y el 27 de Noviembre de 2008. El caudal de bajada del hidrograma se ha supuesto tal y como se dibuja en la gráfica con línea discontinua para poder realizar los cálculos.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	
	Beruete (P012)	80mm
	Eugui (EM25)	58mm
	Olave(A067)	7,6mm
	Volumen total	Olave (A067) 7,21Hm ³

Tabla II.13 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, primer sub- episodio del episodio del 21 al 27 de Noviembre del 2008.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	57,82mm	Duración Q _{máx}	52h
Volumen de Precipitación	13,55Hm ³	t _{Precipitación}	47h
Duración Episodio	140,25h	t _{picos}	8,25h
Volumen de escorrentía	4,65Hm ³	Escorrentía	34,45%
Volumen Q _{base}	1,28Hm ³	Escorrentía directa	24,92%
Volumen Q _{máx}	3,37Hm ³	Escorrentía indirecta	9,48%
Q _{máx}	42,3m ³ /s	Umbral precipitación	10,06mm

Tabla II.14 Resultados obtenidos en primer sub-episodio del episodio del 21 al 27 de Noviembre del 2008; Cuenca del Ulzama.

Como condiciones iniciales de partida: el terreno está húmedo ya que durante este mes se han dado un gran número de lluvias y el volumen de precipitación utilizado para el análisis de este sub-episodio es el que se registra en los pluviómetros hasta aproximadamente el momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo (23 de Noviembre a las 14:45h).

Análisis del segundo sub-episodio:

Este episodio tomado de forma aislada tiene lugar entre el 24 y el 27 de Noviembre.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el aumento en el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	
	Beruete (P012)	49,4mm
	Eugui (EM25)	53mm
	Olave(A067)	41,4mm
	Volumen total	Olave (A067) $7,87\text{Hm}^3$

Tabla II.15 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, segundo sub- episodio del episodio del 21 al 27 de Noviembre del 2008.

En la siguiente tabla se representan los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	49,1mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	35,25h
Volumen de Precipitación	$11,5\text{Hm}^3$	$t_{\text{Precipitación}}$	33,75h
Duración Episodio	88h	t_{picos}	8,25h
Volumen de escorrentía	$4,97\text{Hm}^3$	Escorrentía	43,21%
Volumen Q_{base}	$0,92\text{Hm}^3$	Escorrentía directa	35,21%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	$4,05\text{Hm}^3$	Escorrentía indirecta	8%
$Q_{\text{máx}}$	$76,75\text{m}^3/\text{s}$	Umbral precipitación	0,605mm

Tabla II.16 Resultados obtenidos en segundo sub-episodio del episodio del 21 al 27 de Noviembre del 2008; Cuenca del Ulzama.

Las condiciones iniciales del terreno son húmedas y la cantidad de precipitación considerada en este episodio es la que se produce entre el final de las precipitaciones pertenecientes al primer sub-episodio hasta el 25 de Noviembre a la 1:00h.

II.III.V Episodio del 8 al 15 de Febrero de 2009

En este caso el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 8 al 17 de Febrero de 2009:

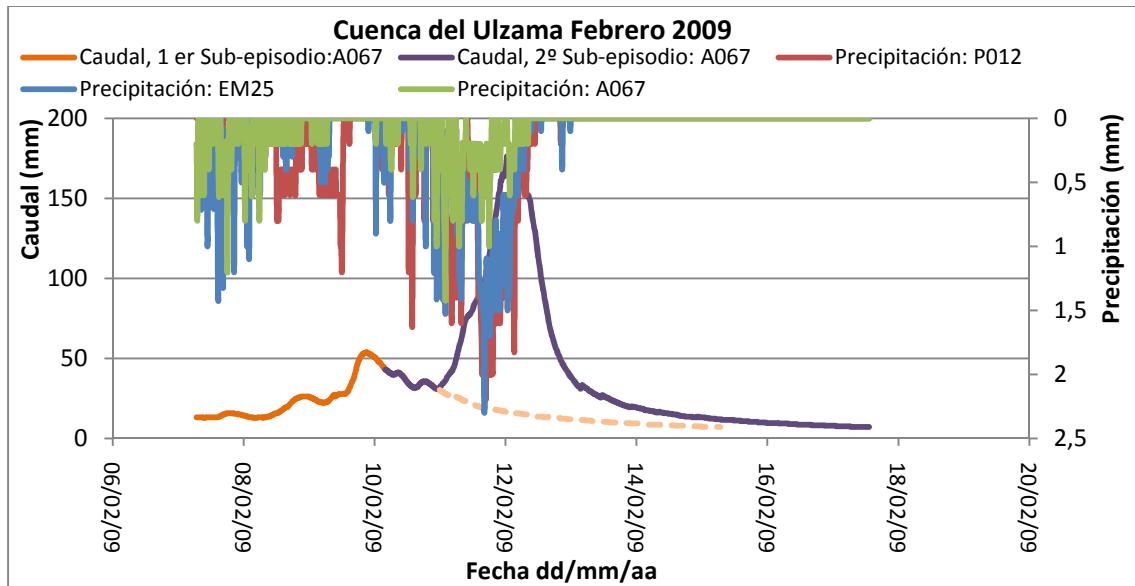


Figura II.11 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 8 al 15 de Febrero de 2009.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

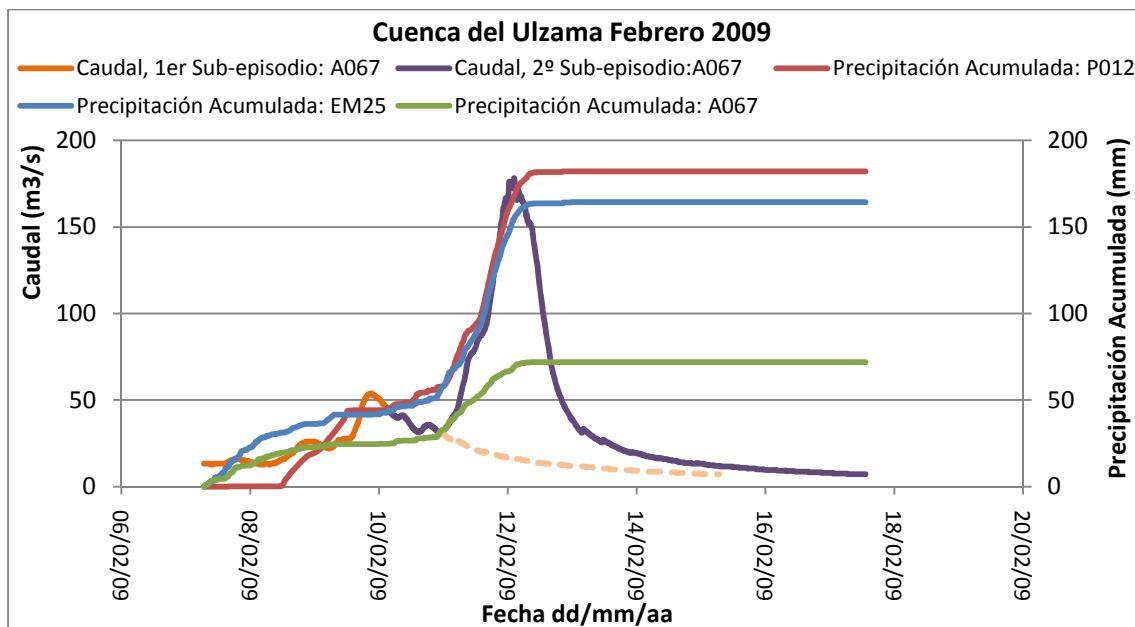


Figura II.12 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 8 al 15 de Febrero de 2009.

Análisis del primer sub-episodio:

Para realizar los cálculos las fechas que se han tenido en cuenta para el comienzo y fin de este sub-episodio son el 8 y el 12 de Febrero de 2009. El caudal de bajada del hidrograma se ha supuesto tal y como se dibuja en la gráfica con línea discontinua para poder realizar los cálculos.

La siguiente tabla muestra la lluvia total registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	
	Beruete (P012)	45,4mm
	Eugui (EM25)	44mm
	Olave(A067)	25mm
	Volumen total	Olave (A067) $10,13\text{Hm}^3$

Tabla II.17 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, primer sub-episodio del episodio del 8 al 15 de Febrero del 2009.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	40,83mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	39,5h
Volumen de Precipitación	$9,57\text{Hm}^3$	$t_{\text{Precipitación}}$	41h
Duración Episodio	104h	t_{picos}	8h
Volumen de escorrentía	$5,19\text{Hm}^3$	Escorrentía	54,31%
Volumen Q_{base}	$0,89\text{Hm}^3$	Escorrentía directa	44,97%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	$4,3\text{Hm}^3$	Escorrentía indirecta	9,34%
$Q_{\text{máx}}$	$53,31\text{m}^3/\text{s}$	Umbrales precipitación	8,85mm

Tabla II.18 Resultados obtenidos en primer sub-episodio del episodio del 8 al 15 de Febrero del 2009; Cuenca del Ulzama.

Las precipitaciones durante este mes fueron importantes así que el terreno en este episodio se encuentra húmedo y el volumen de precipitación tenido en cuenta en los cálculos es hasta el 10 de Febrero a las 3:45h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Como fechas de inicio-fin de este sub-episodio se han tomado 10-15 de Febrero de 2009 respectivamente.

La siguiente tabla muestra la lluvia total registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	
	Beruete (P012)	115,8mm
	Eugui (EM25)	103,5mm
	Olave(A067)	41,8mm
	Volumen total	Olave (A067) 21,02Hm ³

Tabla II.19 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, segundo sub- episodio del episodio del 8 al 15 de Febrero del 2009.

En la siguiente tabla se representan los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	96,7mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	54,5h
Volumen de Precipitación	22,66Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	124,5h
Duración Episodio	103h	t_{picos}	3h
Volumen de escorrentía	16,03Hm ³	Escorrentía	70,74%
Volumen Q_{base}	1,39Hm ³	Escorrentía directa	64,6%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	14,64Hm ³	Escorrentía indirecta	6,14%
$Q_{\text{máx}}$	176,3m ³ /s	Umbral precipitación	2,9mm

Tabla II.20 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 8 al 15 de Febrero del 2009; Cuenca del Ulzama.

En este caso el terreno también se encuentra en condiciones iniciales húmedas.

II.III.VI Episodio del 5 al 15 de Noviembre de 2009

En este caso el episodio de avenida se analiza en tres sub-episodios independientes debido a que aunque sólo se aprecian dos picos bien delimitados, antes del primer pico el caudal registrado en la estación de aforo varía y se ha considerado interesante estudiarlo de manera independiente (véase figuras II.13 y II.14).

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 5 al 17 de Noviembre de 2009:

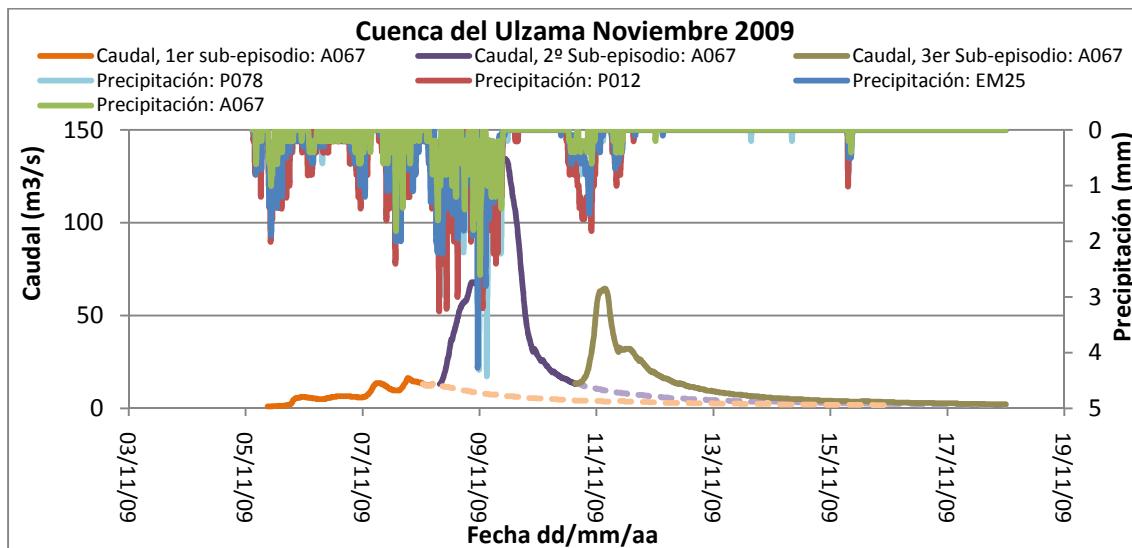


Figura II.13 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 5 al 15 de Noviembre del 2009.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

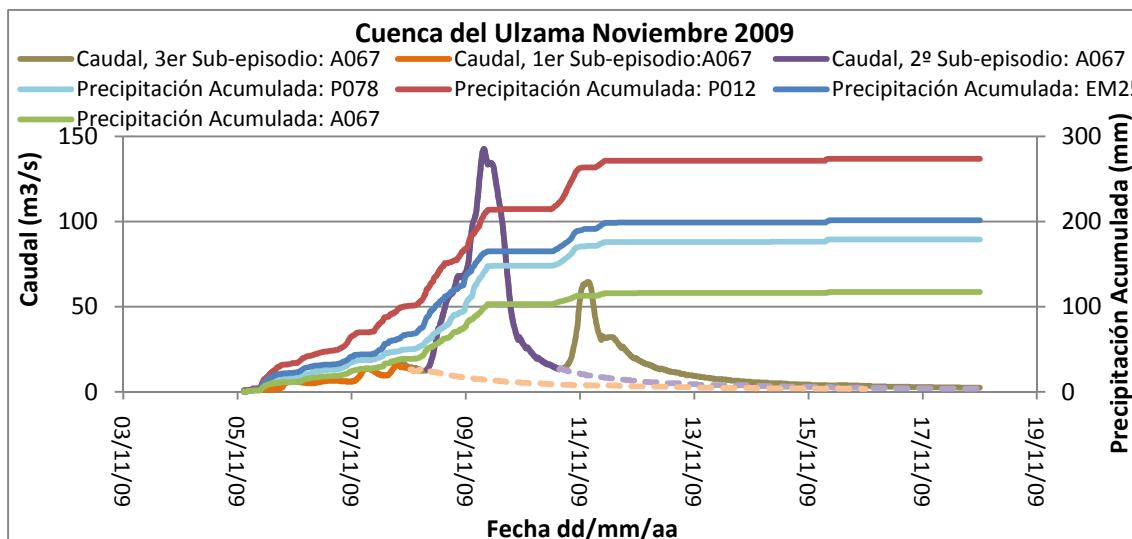


Figura II.14 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 5 al 15 de Noviembre del 2009.

Análisis del primer sub-episodio:

Si se analizara independientemente este sub-episodio se produciría entre el 5 y 15 de Noviembre de 2009. Para poder realizar los cálculos se ha supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua en color naranja claro.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	45,4mm
	Beruete (P012)	90,2mm
	Eugui (EM25)	58,2mm
	Olave(A067)	35,4mm
	Volumen total	Olave (A067) 4,71Hm ³

Tabla II.21 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, primer sub- episodio del episodio del 5 al 15 de Noviembre del 2009.

En la siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	65,8mm	Duración Q _{máx}	71h
Volumen de Precipitación	15,41Hm ³	t _{Precipitación}	63,25h
Duración Episodio	247,5h	t _{picos}	5h
Volumen de escorrentía	3,28Hm ³	Escorrentía	21,33%
Volumen Q _{base}	1,37Hm ³	Escorrentía directa	12,44%
Volumen Q _{máx}	1,91Hm ³	Escorrentía indirecta	8,89%
Q _{máx}	16,21m ³ /s	Umbral precipitación	3,9mm

Tabla II.22 Resultados obtenidos en primer sub-episodio del episodio del 5 al 15 de Noviembre del 2009; Cuenca del Ulzama.

Como condiciones iniciales de partida el terreno está húmedo ya que durante este mes se han dado un gran número de lluvias y el volumen de precipitación utilizado para el análisis de este sub-episodio es el que se registra en los pluviómetros hasta aproximadamente el momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo (7 de Noviembre a las 18:15h).

Análisis del segundo sub-episodio:

Este episodio de forma aislada tiene lugar entre el 8 y 15 de Noviembre del 2009. Al analizarlo como independiente hemos supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua en color púrpura claro, para poder realizar los cálculos.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el aumento en el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	101mm
	Beruete(P012)	120mm
	Eugui (EM25)	104,3mm
	Olave(A067)	66,6mm
	Volumen total	Olave (A067) 14Hm ³

Tabla II.23 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, segundo sub- episodio del episodio del 5 al 15 de Noviembre del 2009.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	103,2mm	Duración Q _{máx}	55,5h
Volumen de Precipitación	24,2Hm ³	t _{Precipitación}	38,25h
Duración Episodio	160,25h	t _{picos}	7,75h
Volumen de escorrentía	11,44Hm ³	Escorrentía	47,33%
Volumen Q _{base}	1,06Hm ³	Escorrentía directa	42,92%
Volumen Q _{máx}	10,38Hm ³	Escorrentía indirecta	4,41%
Q _{máx}	142,47m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla II.24 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio del 5 al 15 de Noviembre del 2009; Cuenca del Ulzama.

Las condiciones iniciales del terreno son húmedas y la cantidad de precipitación considerada en este episodio es la que se produce entre el final de las precipitaciones pertenecientes al primer sub-episodio hasta el 10 de Noviembre a la 15:15h.

Análisis del tercer sub-episodio:

Independientemente este episodio tiene lugar entre el 11 y el 15 de Noviembre de 2009.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el aumento en el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	27,8mm
	Beruete (P012)	56,8mm
	Eugui (EM25)	33,5mm
	Olave(A067)	12,8mm
	Volumen total	Olave (A067) 5,59Hm ³

Tabla II.25 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, tercer sub- episodio del episodio del 5 al 15 de Noviembre del 2009.

En la siguiente tabla figuran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	38,85mm	Duración Q _{máx}	34,75h
Volumen de Precipitación	9,1Hm ³	t _{Precipitación}	22,5h
Duración Episodio	77,25h	t _{picos}	6h
Volumen de escorrentía	3,74Hm ³	Escorrentía	41,1%
Volumen Q _{base}	0,84Hm ³	Escorrentía directa	31,8%
Volumen Q _{máx}	2,9Hm ³	Escorrentía indirecta	9,3%
Q _{máx}	64,35Hm ³	Umbral precipitación	0mm

Tabla II.26 Resultados obtenidos en tercer sub-episodio del episodio del 5 al 15 de Noviembre del 2009; Cuenca del Ulzama.

En este caso el terreno también se encuentra en condiciones iniciales húmedas.

II.III.VII Episodio del 12 al 23 de Enero de 2010

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este episodio:

Precipitación	Lantz (P078)	60,6mm
	Beruete (P012)	106mm
	Eugui (EM25)	57,1mm
	Olave(A067)	59,8mm
	Volumen total	Leza (A197) 17,26Hm ³

Tabla II.27 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Ulzama, episodio del 12 al 23 de Enero del 2010.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

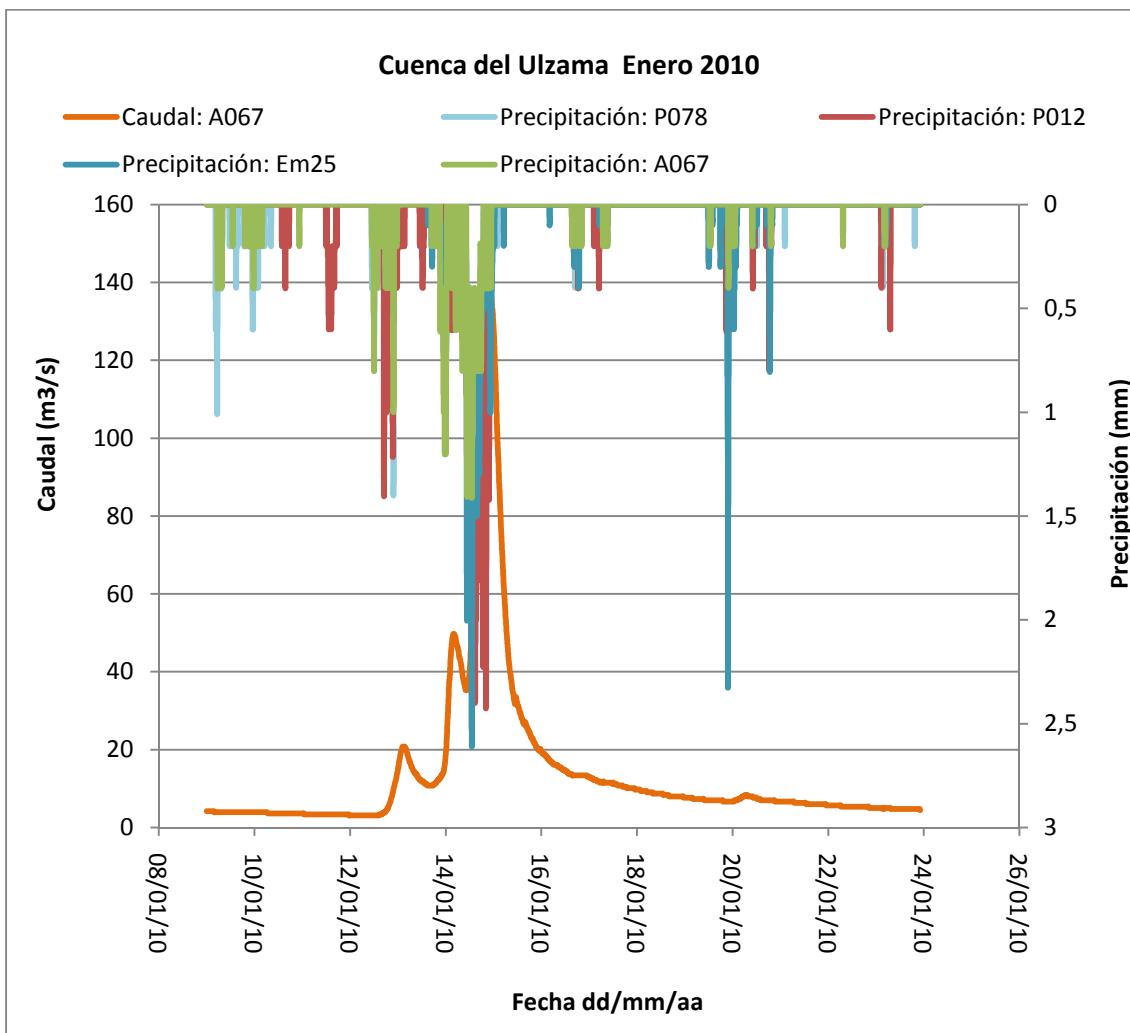


Figura II.15 Caudal y precipitación registrados en las estaciones .Cuenca del Ulzama, episodio del 12 al 23 de Enero del 2010.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

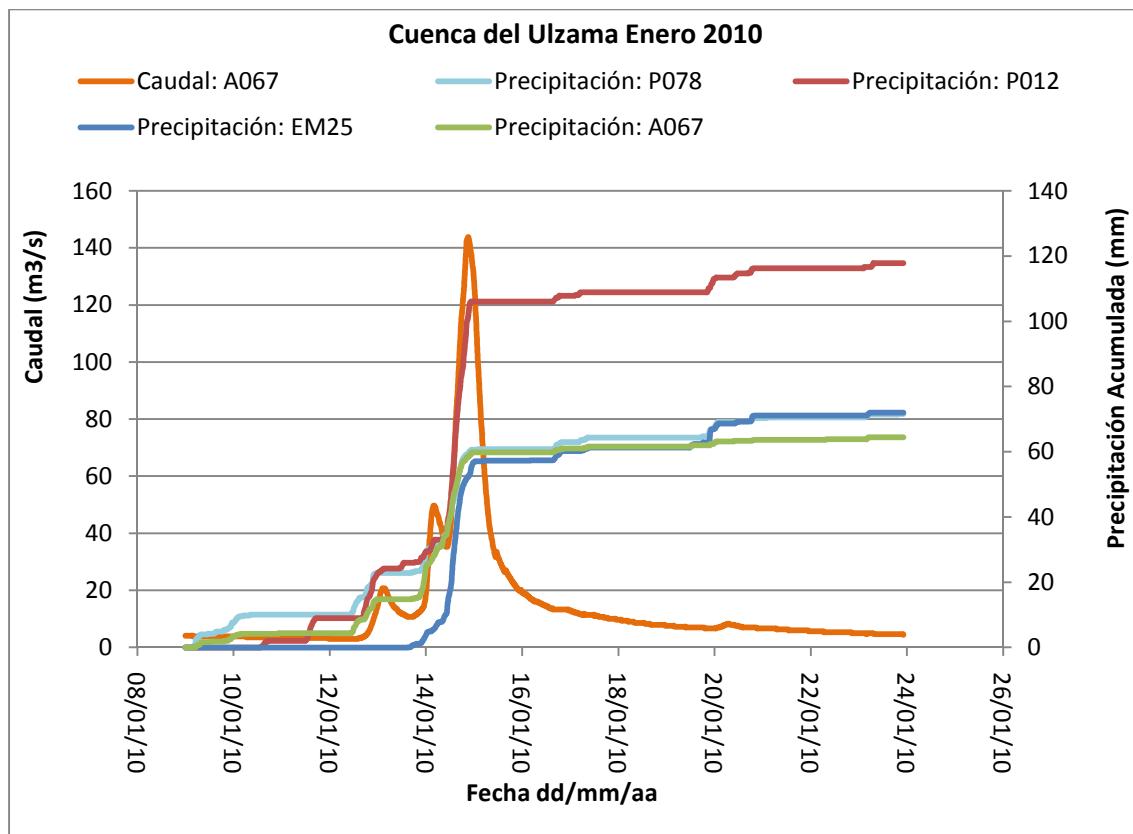


Figura II.16 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, episodio del 12 al 23 de Enero del 2010.

En la siguiente tabla se representan los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	80,25mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	78,75h
Volumen de Precipitación	18,81Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	26,75h
Duración Episodio	272h	t_{picos}	7,75h
Volumen de escorrentía	14,28Hm ³	Escorrentía	75,9%
Volumen Q_{base}	3,73Hm ³	Escorrentía directa	56,1%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	10,55Hm ³	Escorrentía indirecta	19,8%
$Q_{\text{máx}}$	143,7m ³ /s	Umbral precipitación	6,68mm

Tabla II.28 Resultados obtenidos en episodio del 12 al 23 de Enero del 2009; Cuenca del Ulzama.

Como condiciones iniciales de partida el terreno está húmedo ya que durante este mes se han dado un gran número de lluvias y el volumen de precipitación utilizado para el análisis de este episodio es el que se registra en los pluviómetros hasta el día 15 de Enero a las 0:30h.

II.IV Análisis del umbral de precipitación

Debido a que en esta subcuenca, en la mayoría de los episodios estudiados, se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo, como para el cálculo del umbral de precipitación se necesita partir de condiciones iniciales secas se han tenido en cuenta los datos anteriores a los episodios de Febrero del 2009, Noviembre del 2009 y Enero del 2010. Durante este tiempo hubo lluvias no muy intensas que no provocaron un aumento excesivo del caudal en la estación de aforo de Olave y por ello podemos considerarlas como periodo seco.

II.IV.I Febrero del 2009

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones durante el mes de Febrero de 2009:

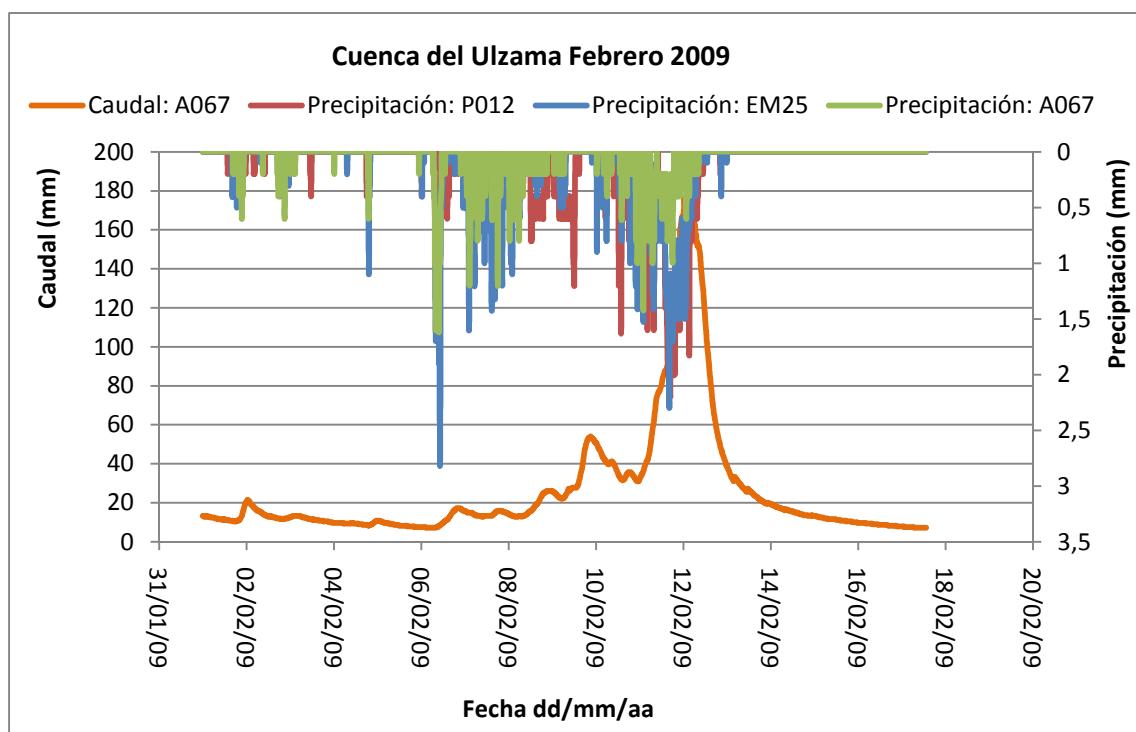


Figura II.17 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, Febrero de 2009.

El umbral de precipitación se calcula teniendo en cuenta tanto las precipitaciones registradas a partir del 6 de Febrero, ya que antes de esta fecha existe un intervalo de tiempo en el que no se registran precipitaciones, como el umbral de precipitación calculado para el primer sub-episodio del episodio de Febrero de 2009 porque los primeros 8,85mm de lluvia fueron absorbidos por el terreno (véase tabla II.18).

De esta manera se estima un umbral de precipitación de 33mm.

II.IV.II Noviembre del 2009

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones para el mes de Noviembre de 2009:

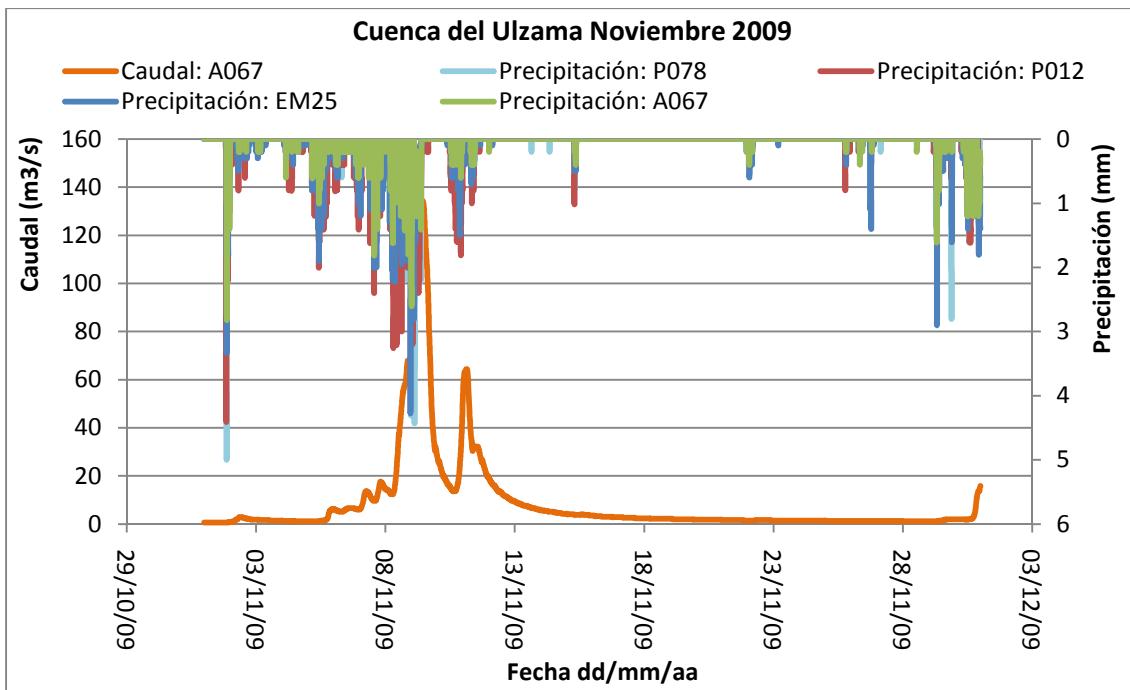


Figura II.18 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, Noviembre de 2009.

Teniendo en cuenta las precipitaciones registradas desde el inicio del mes y el umbral de precipitación calculado para el primer sub-episodio del episodio de Noviembre de 2009 (véase tabla II.22), se estima un umbral de precipitación de 34mm.

II.IV.III Enero del 2010

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones para el mes de Enero del 2010:

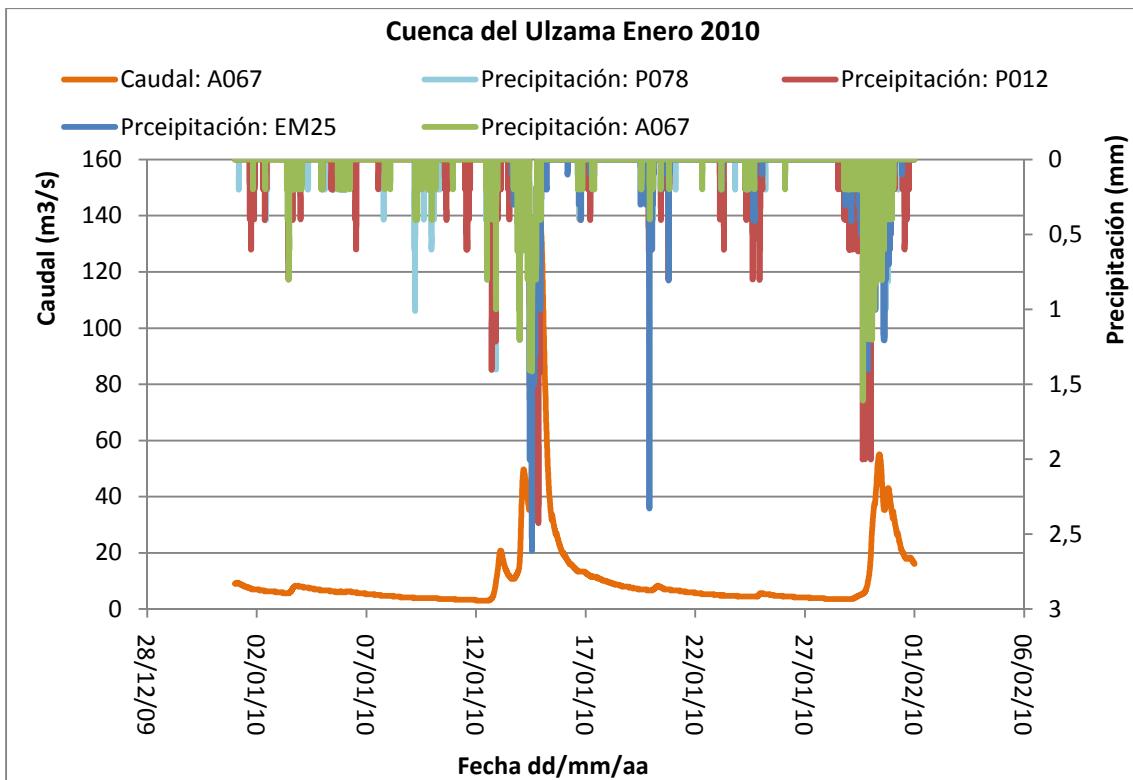


Figura II.19 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Ulzama, Enero de 2010.

El umbral de precipitación se calcula teniendo en cuenta las precipitaciones registradas desde el inicio del mes y el umbral de precipitación calculado para el episodio de Enero de 2010 (véase tabla II.28).

De esta manera se estima un umbral de precipitación de 28,7mm.

II.V Conclusiones

A continuación, una vez analizados todos los episodios relevantes, y a la vista de los cálculos realizados podemos establecer algunas conclusiones de las pautas de comportamiento de la cuenca en cuanto a la respuesta hidrológica que tiene en función de la precipitación. En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos de los resultados obtenidos de los episodios analizados:

Episodio (fecha)	Qmáx (m ³ /s)	Duración Qmáx (h)	Vol. Qmáx (Hm ³)	Vol. Base (Hm ³)	Vol. Escorrentía A067 (Hm ³)	T Precip. (h)	P078 (mm)	P012 (mm)	EM125 (mm)	A067 (mm)	Vol. Precip. (Hm ³)	Escorrentía (%)	T entre picos (h)
7 al 15 Marzo 2007	121,2	61,5	11,11	1,8	12,91	33,5		178,6	88,1	57,4	44,9	43,93	8
22 al 30 de Marzo 2007	110,96	40,75	8,7	2,11	11,07	32,75		121,6	47,3	49	19	58,2	8,5
	111,8	46,5	6,41	0,97	7,38	22,5		43,6	27,2	39,8	8,69	85,03	8
22 al 30 Marzo 2008	36,81	38,5	2,42	0,59	3,01	20,25		67,4	36	25	11,23	26,82	4,25
	120,32	75,75	12,26	0,36	12,62	37,5		126,6	83,6	55,4	22,8	55,33	3,25
	96,16	46,75	6,1	0,43	6,53	32,5		64,2	33,6	23,4	10,62	61,57	4,25
21 al 27 Noviembre 2008	42,3	52	3,37	1,28	4,65	47		80	58	7,6	13,55	34,45	8,25
	76,75	35,25	4,05	0,92	4,97	33,75		49,4	53	41,4	11,5	43,21	8,25
5 al 15 Febrero 2009	53,31	39,5	4,3	0,89	5,19	41		45,4	44	25	9,57	54,31	8
	176,3	54,5	14,64	1,39	16,03	124,5		115,8	103,5	41,8	22,66	70,74	3
8 al 15 Noviembre 2009	16,21	71	1,91	1,37	3,28	63,25	45,4	90,2	58,2	35,4	15,41	21,33	5
	142,47	55,5	10,38	1,06	11,44	38,25	101	120	104,3	66,6	24,2	47,33	7,75
	64,35	34,75	2,9	0,84	3,74	22,5	27,8	56,8	33,5	12,8	9,1	41,1	6
12 al 23 Enero 2010	143,7	78,75	10,55	3,73	14,28	26,75	60,6	106	57,1	59,8	18,81	75,9	7,75

Tabla II.29 Resumen de resultados de la cuenca del Ulzama.

Y las conclusiones son:

- Partiendo de condiciones iniciales de terreno seco se observa que alrededor de los 30 primeros mm de lluvia son absorbidos por el terreno sin que llegue a observarse en la estación de Olave un incremento considerable del caudal, constituyendo este valor un umbral a partir del cual el río comienza a responder debido a que los depósitos superficiales se han saturado.

El valor umbral de precipitación varía en función de la intensidad de la lluvia y de las condiciones iniciales del terreno. Partiendo de condiciones iniciales de terreno seco para aguaceros no excesivamente intensos el umbral varía entre 28 y 34mm.

En esta cuenca, aunque no se dan precipitaciones de gran intensidad, llueve de manera uniforme habitualmente y en la mayoría de los episodios analizados se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo. El umbral de precipitación en estos casos baja considerablemente, dependiendo de la cercanía del aguacero a la crecida en cuestión y de la magnitud del mismo, obteniendo valores menores de 10mm e incluso en determinados casos de extrema humedad del terreno puede llegar a ser nulo.

- Debido a que esta cuenca está caracterizada por precipitaciones uniformes prolongadas en el tiempo; en general, se observa que el pico del hidrograma de caudal es provocado por las últimas precipitaciones producidas y el tiempo transcurrido entre estos dos momentos oscila entre 3 y 8,5 horas, dependiendo de la cercanía del aguacero a la estación de aforo de Olave.
- La forma del hidrograma de caudal viene condicionada por el tipo de precipitaciones que provocan el episodio y por la humedad inicial del terreno.

Cuanto más prolongadas son las lluvias, más volumen de precipitación cae sobre la cuenca, mayores caudales máximos son alcanzados, más volumen de escorrentía es producido (lo que da lugar a mayor volumen bajo la curva del hidrograma) y la duración de la riada es mayor. Por otro lado, cuanta más humedad haya al inicio del episodio, menor cantidad de lluvia se infiltra, dando lugar a mayor cantidad de lluvia neta, aumentando el volumen de escorrentía superficial lo que da lugar a un registro de mayores volúmenes y mayores caudales punta en la estación de Olave.

La duración del pico del hidrograma de avenida (que determina el tiempo durante el cual se va a concentrar la mayor parte del volumen por unidad de tiempo de la riada) es un parámetro muy variable que en los episodios estudiados varía entre 35 y 80 horas.

- Los pluviómetros P012, P078, EM25 se encuentran en la cabecera de la cuenca por lo que se estima el tiempo de concentración para esta cuenca a partir de los episodios en los que la mayor cantidad de precipitación es registrada en estos pluviómetros, este tiempo oscila en torno a 8h.

- Las escorrentías calculadas para los diferentes episodios así como los coeficientes de escorrentía calculados como el volumen registrado en la estación de aforo dividido por el volumen de precipitación estimado para toda la cuenca, muestran que:
 - En esta cuenca se tienen coeficientes de escorrentía muy altos, debido a que en la mayoría de los episodios se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo y en general los coeficientes aumentan conforme aumenta la humedad inicial.
 - Con lluvias de hasta 65 mm los coeficientes de escorrentía varían en función de la humedad, obteniéndose como mínimo coeficientes en torno al 20%, y como máximo coeficientes cercanos al 60% en los casos en los que las condiciones iniciales son más húmedas.
 - Con lluvias de hasta 120mm se obtienen coeficientes menores al 50% si las condiciones iniciales no son muy húmedas. Si aumenta la humedad inicial se pueden llegar a obtener coeficientes de escorrentía superiores al 75%.
 - Como caso particular se puede destacar el último sub-episodio del segundo episodio analizado de Marzo del 2007, en el que las condiciones iniciales son de extrema humedad y con una lluvia inferior a 40mm se llega a obtener un coeficiente de escorrentía del 85%.
- Al diferenciar el volumen registrado en la estación de aforo entre el asociado a los flujos superficiales (escorrentías directas) y el asociado a flujos hipodérmicos y subterráneos, se obtiene que el primero es mucho mayor que el segundo siendo mayor la diferencia contra más humedad inicial se tiene y al calcular los dos coeficientes de escorrentía por separado se observa que es en el episodio de Enero de 2010 donde se tiene mayor aportación de flujos indirectos, la cual es en torno a los 3,7 Hm^3 , correspondiéndole un coeficiente de escorrentía indirecta del 19,8%. En este episodio el volumen aportado por flujos directos es de 10,55 Hm^3 dando lugar a un coeficiente de escorrentía directa cercano al 56%.
El coeficiente de escorrentía directa alcanza su máximo en el último sub-episodio de Marzo 2007, llegando a alcanzar valores mayores al 70%.
- Debido a que las precipitaciones registradas en todos los pluviómetros en los tres sub-episodios del episodio de Noviembre de 2009 son las más uniformes de todos los episodios analizados, en el que en total se estima una precipitación media acumulada de unos 208mm, lo que representaría un volumen de precipitación de 48,74 Hm^3 , de los cuales 18,46 se midieron en la estación de Olave, se estima un coeficiente de escorrentía medio para toda la cuenca de aproximadamente 0,38.
- De cara a evaluar los volúmenes de agua esperables en la estación de aforo de Olave en el caso de una lluvia prevista, el episodio de mayor caudal se obtuvo para una precipitación media para toda la cuenca de unos 96,7mm, la cual originó un volumen de escorrentía de unos 16 Hm^3 , de los cuales 14,65 se recogieron en poco más de 2 días.

ANEXO III: CUENCA DEL ALCANADRE**III.I Descripción**

El río Alcanadre es un río del norte de España, es afluente del río Cinca el cual discurre por la provincia de Huesca, Aragón. El Alcanadre nace en la sierra de Galardón, atraviesa la Sierra de Guara y desemboca en el Cinca junto a la población de Ballobar.

Sus principales afluentes son los ríos Balcés, Barranco de Mascún, Flumen y Guatizalema [<http://es.wikipedia.org>].

La superficie de la subcuenca del Alcanadre es de 783,038 Km² [<http://www.chebro.es>].

En la siguiente figura donde se representa la cuenca del Ebro, la superficie coloreada en amarillo, muestra la situación de la subcuenca del río Alcanadre.

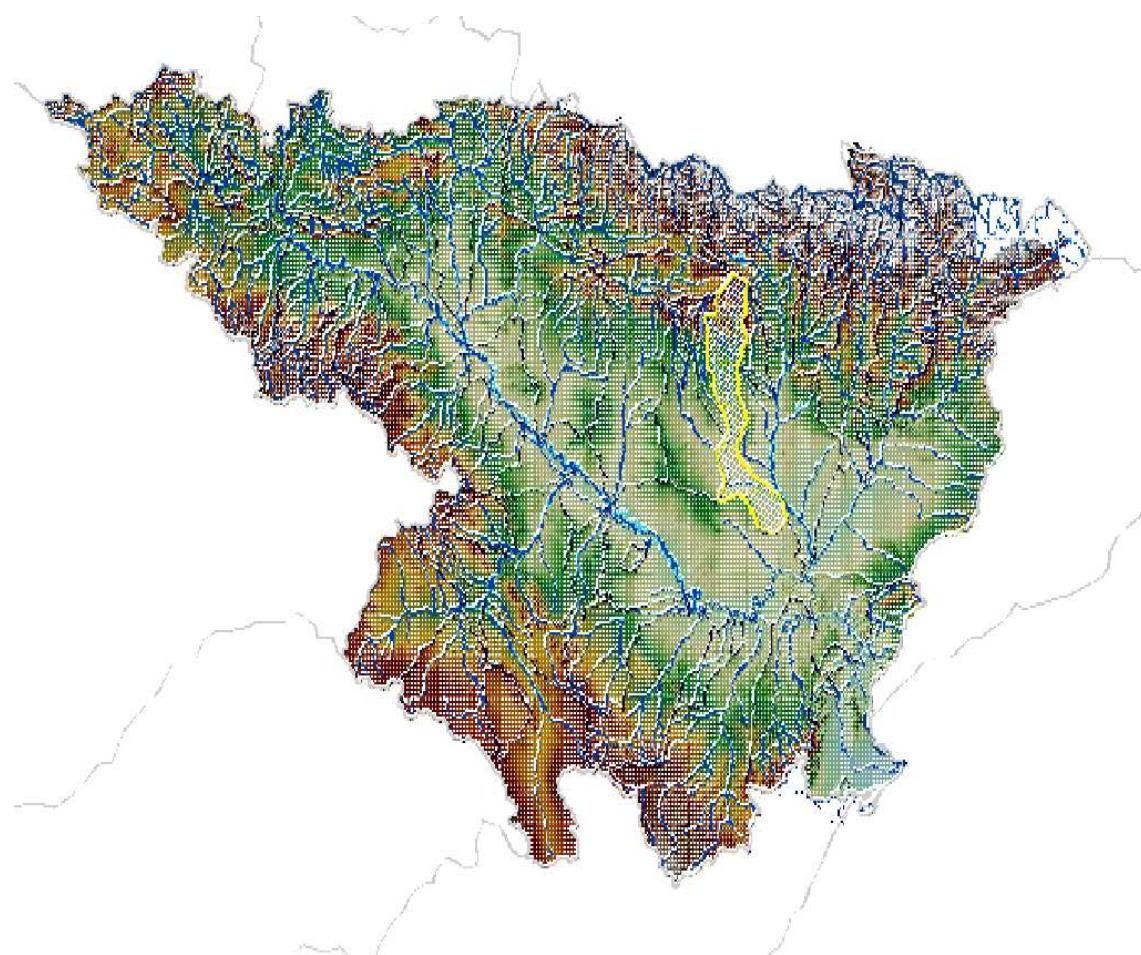


Figura III.1 Localización geográfica; Cuenca del Alcanadre.

III.II Datos de partida

Con el objeto de conocer mejor la respuesta hidrológica de la cuenca del río Alcanadre se han analizado los datos quince-minutales de la base histórica del SAIH tanto del caudal medido en la estación de aforo A033 Alcanadre en Peralta de Alcofea situada a la salida de la subcuenca como de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas A095 Barbastro, P028 El Coscollar, A040 Boltaña, E079 embalse de Guara, E041 embalse de Vadiello, A032 Guatizalema en Alcofea, P106 Rodellar, R057 repetidor de Boltaña, situados subcuenca del Alcanadre o en sus proximidades.

La localización geográfica de las estaciones citadas así como la localización del río Alcanadre, cuyo cauce se representa en un tono más oscuro y con mayor grosor, se muestran en la figura siguiente:

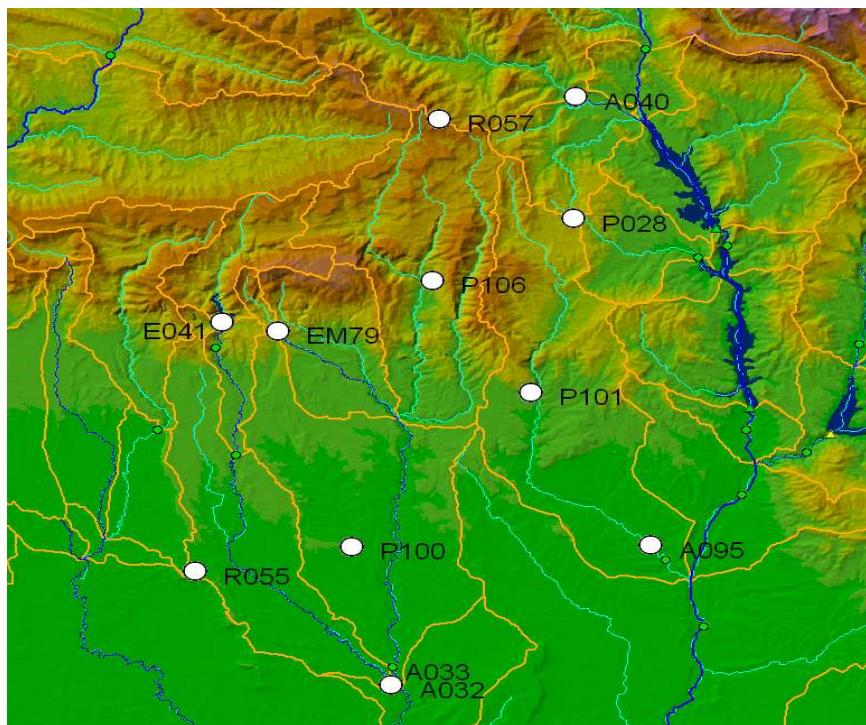


Figura III.2 Localización de estaciones; Cuenca del Alcanadre.

A partir del estudio de los datos recogidos en la estación de aforo de Peralta de Alcofea se comprueba que desde 1997 se han producido numerosos episodios de avenida, encontrándose con más de 15 riadas es las que el caudal registrado en la estación de Peralta de Alcofea fue superior a los $80\text{m}^3/\text{s}$ siendo en 5 de estas riadas superior a los $150\text{m}^3/\text{s}$.

A partir del análisis de los datos extraídos de las estaciones pluviométricas, en función de la cantidad de precipitación que se suele registrar en cada pluviómetro y teniendo en cuenta la zona en que se sitúan, se concluye en que:

- Los pluviómetros del Rodellar (P106) y del repetidor de Boltaña (R057) son los que posiblemente mejor reflejen el caudal que pasa luego por la estación de

Peralta de Alcofea, pero tienen el problema de que son muy recientes y que hasta Enero del 2009 no comenzaron a funcionar.

- El resto de los pluviómetros son igual de importantes y la única incidencia es que el pluviómetro del embalse de Guara (E079) no estuvo en funcionamiento hasta Enero del 2005.

De esta forma, la manera de calcular la lluvia media para toda la cuenca sin datos del pluviómetro del embalse de Guara es:

$$\begin{aligned} \text{Lluvia media} = & (\text{Precip. A095 (mm)} + \text{Precip. P028 (mm)} + \text{Precip. A040 (mm)} \\ & + \text{Precip. E041 (mm)} + \text{Precip. A032 (mm)}) \cdot \frac{1}{5} \end{aligned}$$

Si se dispone de datos del pluviómetro del Embalse de Guara, la forma de calcular la lluvia media en toda la cuenca es:

$$\begin{aligned} \text{Lluvia media} = & (\text{Precip. A095 (mm)} + \text{Precip. P028 (mm)} + \text{Precip. A040 (mm)} \\ & + \text{Precip. E041 (mm)} + \text{Precip. A032 (mm)} + \text{Precip. E079 (mm)}) \cdot \frac{1}{6} \end{aligned}$$

Y si se dispone de datos de los pluviómetros de Rodellar (P106) y del Repetidor de Boltaña (R057), la forma de calcular la lluvia media en toda la cuenca es:

$$\begin{aligned} \text{Lluvia media} = & (\text{Precip. A095 (mm)} + \text{Precip. P028 (mm)} + \text{Precip. A040 (mm)} \\ & + \text{Precip. E041 (mm)} + \text{Precip. A032 (mm)} + \text{Precip. E079 (mm)}) \cdot \frac{1}{10} \\ & + \text{Precip. P106 (mm)} \cdot \frac{1}{10} + \text{Precip. R057 (mm)} \cdot \frac{1}{10} \end{aligned}$$

Siendo 1/5 1/6, 1/10, los coeficientes de proporcionalidad correspondientes a cada pluviómetro, y Precip. A095 (mm), Precip. P028 (mm), Precip. A040 (mm), Precip. E041 (mm), Precip. A032 (mm), Precip. E079 (mm), Precip. P106 (mm), Precip. R057 (mm), la cantidad de precipitación registrada en cada uno de los pluviómetros para cada episodio en milímetros.

De entre todos los episodios registrados históricamente en esta sub-cuenca se han seleccionado ocho para analizarlos en profundidad y poder establecer pautas de comportamiento en la relación precipitación-escorrentía en esta cuenca. Son los siguientes:

- Episodio del 16 al 28 de Diciembre de 1997: $Q_{\text{máx}} \approx 371 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Episodio del 5 al 8 de Julio 2001: $Q_{\text{máx}} \approx 155 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 239 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Episodio del 28 de Marzo al 14 de Abril 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 93 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Episodio del 17 al 30 de Abril 2008: $Q_{\text{máx}} \approx 149 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Episodio del 7 al 25 Abril 2009: $Q_{\text{máx}} \approx 122 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Episodio del 23 al 28 de Diciembre 2009: $Q_{\text{máx}} \approx 131 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Episodio del 9 al 16 de Junio 2010: $Q_{\text{máx}} \approx 85 \text{ m}^3/\text{s.}$

III.III Análisis de episodios

III.III.I Episodio del 16 al 28 de Diciembre de 1997

Los datos de partida para el análisis de este episodio se recogen en la siguiente tabla donde se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Peralta de Alcofea durante este episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	116,8mm
	Coscollar (P028)	224mm
	Boltaña (A040)	215,2mm
	Embalse de Guara (E079)	
	Embalse de Vadiello (E041)	
	Alcofea (A032)	73,3mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
Volumen total	Peralta de Alcofea (A033)	56,5Hm ³

Tabla III.1 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, episodio del 16 al 28 de Diciembre de 1997.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

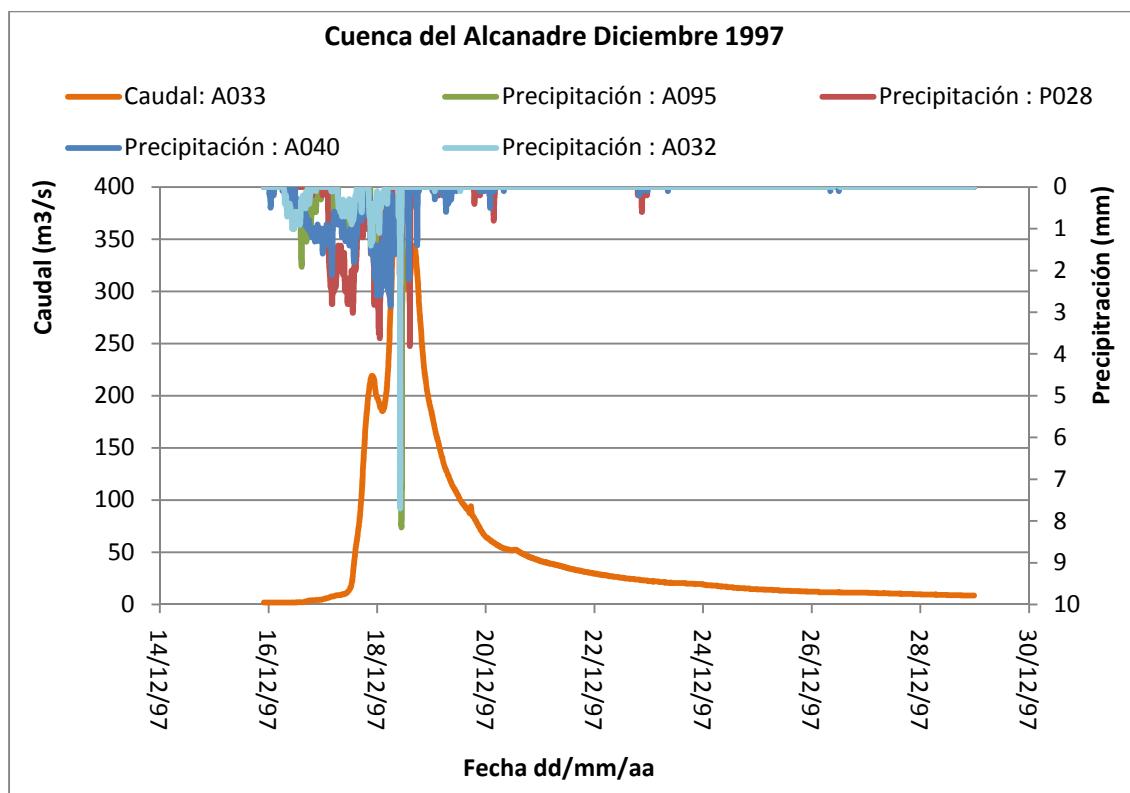


Figura III.3 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 16 al 28 de Diciembre de 1997.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

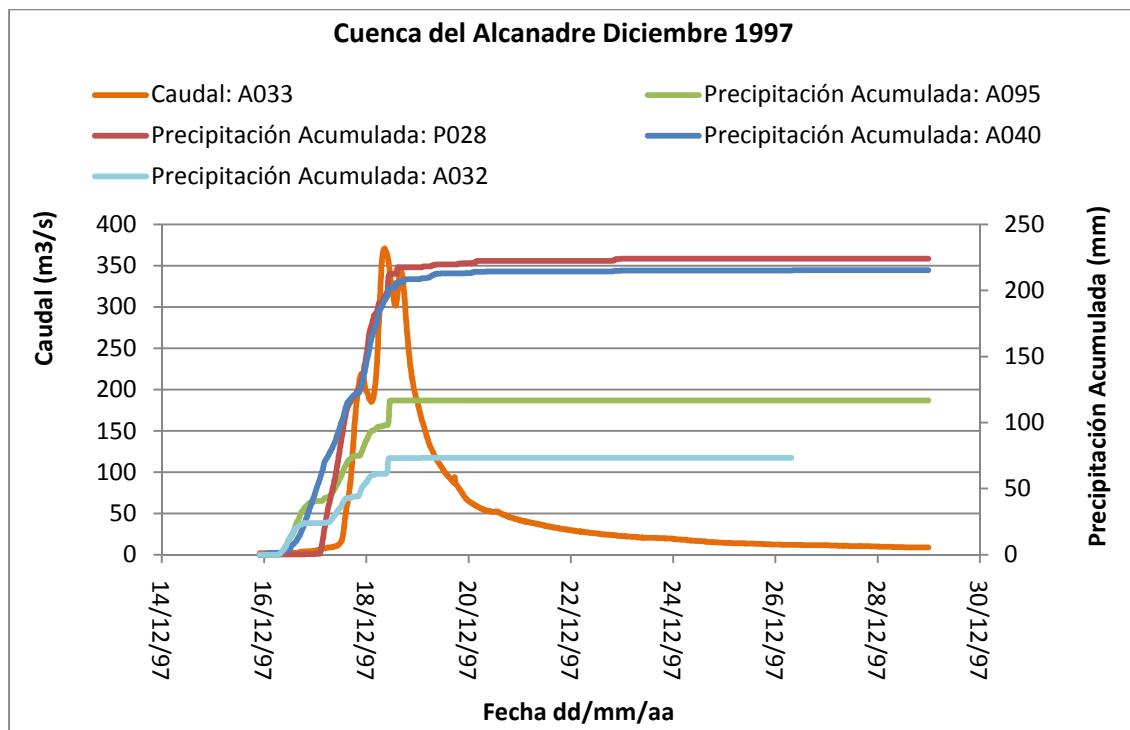


Figura III.4 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 16 al 28 de Diciembre de 1997.

A partir de los datos de partida se procede a realizar los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria y que nos ayudarán a caracterizar este episodio. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	157,3mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	90,5h
Volumen de Precipitación	123,2Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	51,75h
Duración Episodio	301h	t_{picos}	8h
Volumen de escorrentía	54,44Hm ³	Escorrentía	44,2%
Volumen Q_{base}	14,27Hm ³	Escorrentía directa	32,6%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	40,17Hm ³	Escorrentía indirecta	11,6%
$Q_{\text{máx}}$	370,72m ³ /s	Umbrales precipitación	27,82mm

Tabla III.2 Resultados obtenidos en el episodio del 16 al 28 de Diciembre de 1997; Cuenca del Alcanadre.

El pluviómetro del embalse de Vadiello no registra precipitación, por lo que excepcionalmente para el cálculo de la lluvia media en la subcuenca hemos utilizado la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{Lluvia media} = & (\text{Precip. A095 (mm)} + \text{Precip. P028 (mm)} + \text{Precip. A040 (mm)} \\ & + \text{Precip. A032 (mm)}) \cdot \frac{1}{4} \end{aligned}$$

III.III.II Episodio del 5 al 8 de Julio del 2001

La lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Peralta de Alcofea durante este episodio se muestran en la siguiente tabla y son los datos de los que partimos para el análisis de este episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	1mm
	Coscollar (P028)	66,6mm
	Boltaña (A040)	183,2mm
	Embalse de Guara (E079)	
	Embalse de Vadiello (E041)	70,5mm
	Alcofea (A032)	10,5mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
	Volumen total	Peralta de Alcofea (A033) 5,47Hm ³

Tabla III.3 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, episodio del 5 al 8 de Julio del 2001.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

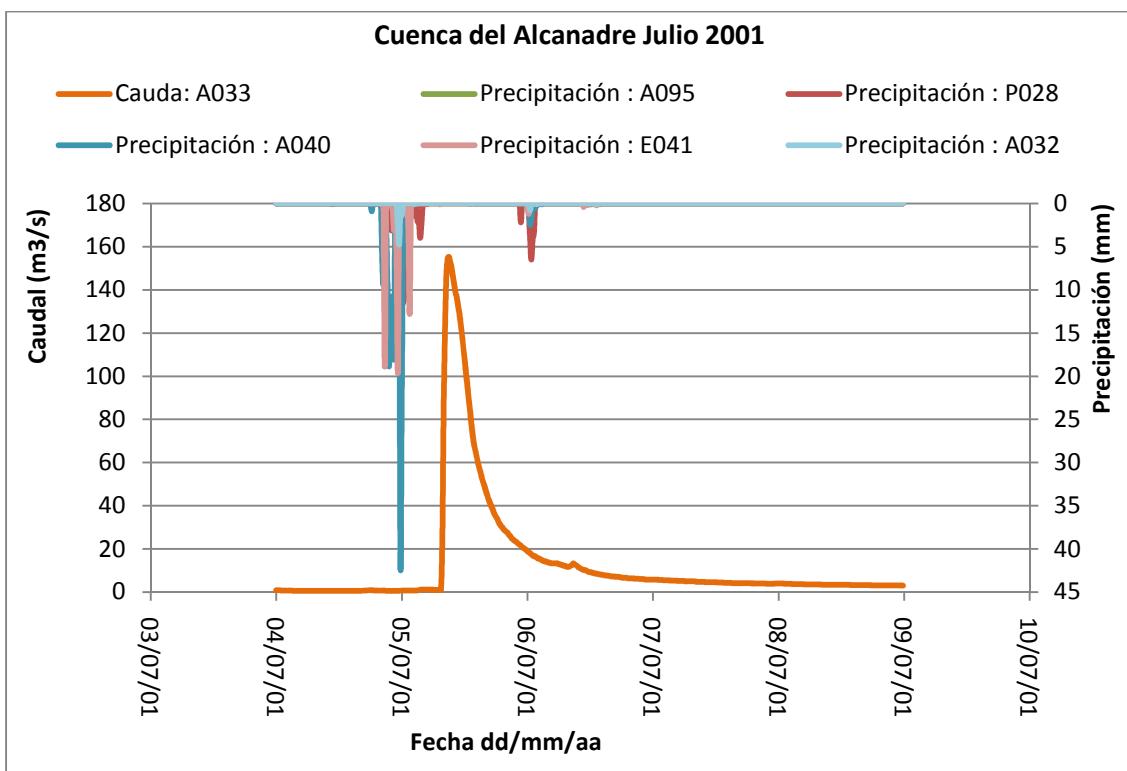


Figura III.5 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 5 al 8 de Julio del 2001.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

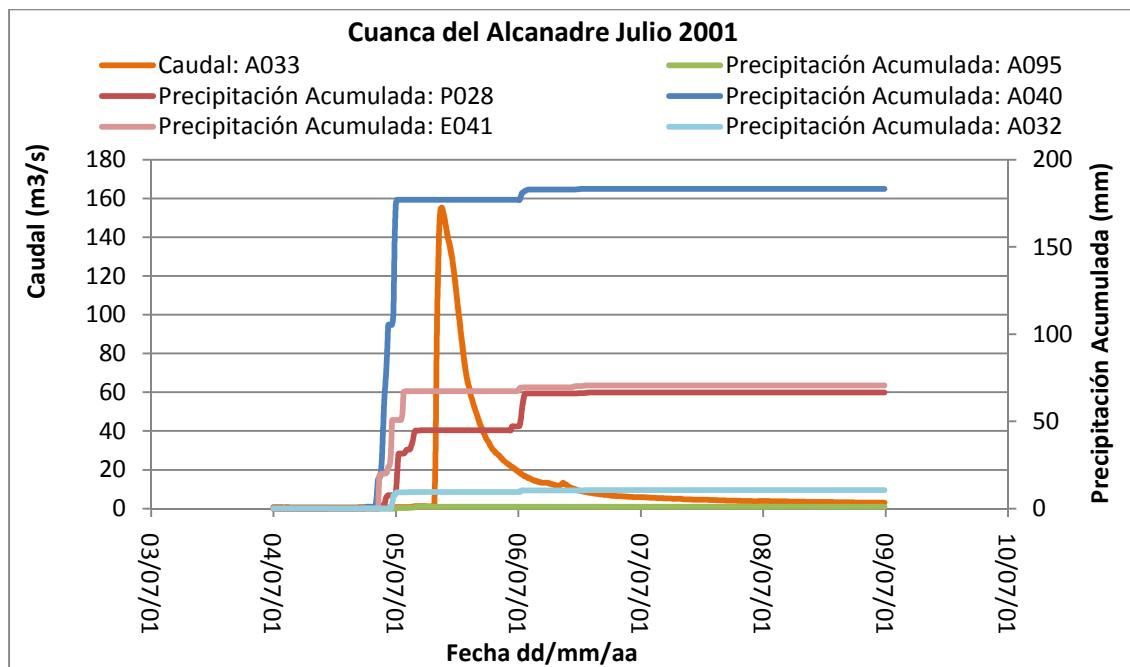


Figura III.6 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 5 al 8 de Julio del 2001.

Los resultados obtenidos a partir de los cálculos detallados en capítulo 4 de la memoria y que nos permitirán caracterizar este episodio se recogen en la siguiente tabla:

Lluvia media	66,36mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	7,25h
Volumen de Precipitación	51,96Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	4h
Duración Episodio	93,5h	t_{picos}	9,25h
Volumen de escorrentía	5,23Hm ³	Escorrentía	10,06%
Volumen Q_{base}	1,36Hm ³	Escorrentía directa	7,45%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	3,87Hm ³	Escorrentía indirecta	2,61%
$Q_{\text{máx}}$	155,25m ³ /s	Umbral precipitación	20mm

Tabla III.4 Resultados obtenidos en el episodio del 5 al 8 de Julio del 2001; Cuenca del Alcanadre.

Se trata de un episodio provocado por una lluvia de alta intensidad, el umbral indicado en la tabla III.4 (20 mm) es la lluvia media calculada con la cantidad de precipitación registrada por los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa pero es ésta la que producirá la escorrentía que a su vez provocará el aumento del caudal registrado en la estación de aforo de Peralta de Alcofea. La precipitación intensa se va registrando en los pluviómetros P028, A040, E041 en diferentes instantes y alcanza su máximo de intensidad en la zona del pluviómetro de Boltaña (A040) en el que se llega a registrar una precipitación de 42,2 mm en tan sólo 15 minutos.

III.III.III Episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003

En este caso, el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes debido a que aunque sólo se aprecia un pico bien delimitado antes de las precipitaciones que provocan el aumento brusco del caudal registrado en la estación de aforo; se produjeron unas precipitaciones que provocaron una escorrentía prácticamente inexistente y se ha considerado interesante estudiarlo de manera independiente (véase figuras III.7 y III.8).

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 19 de Febrero hasta el 4 de Marzo del 2003.

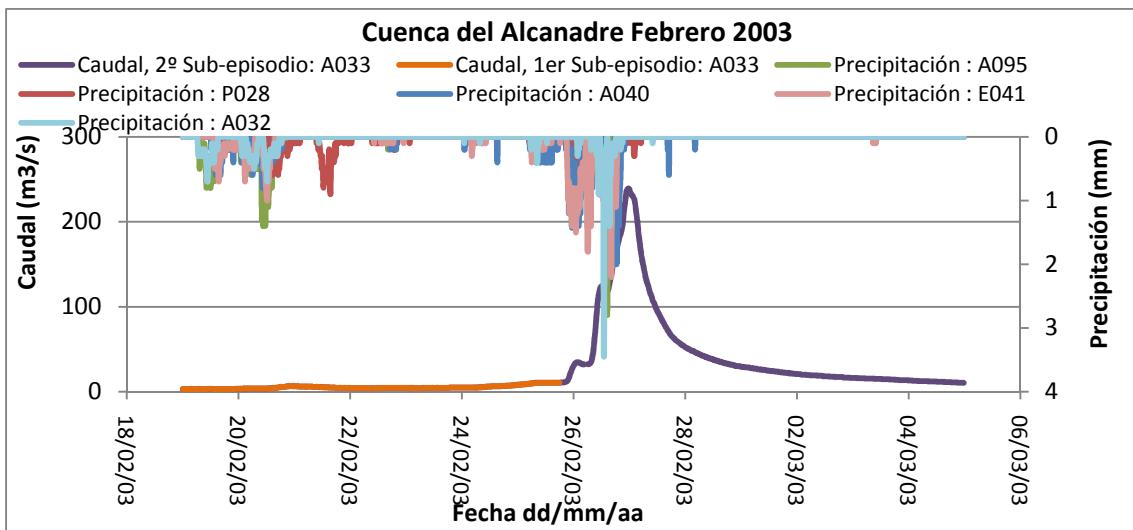


Figura III.7 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

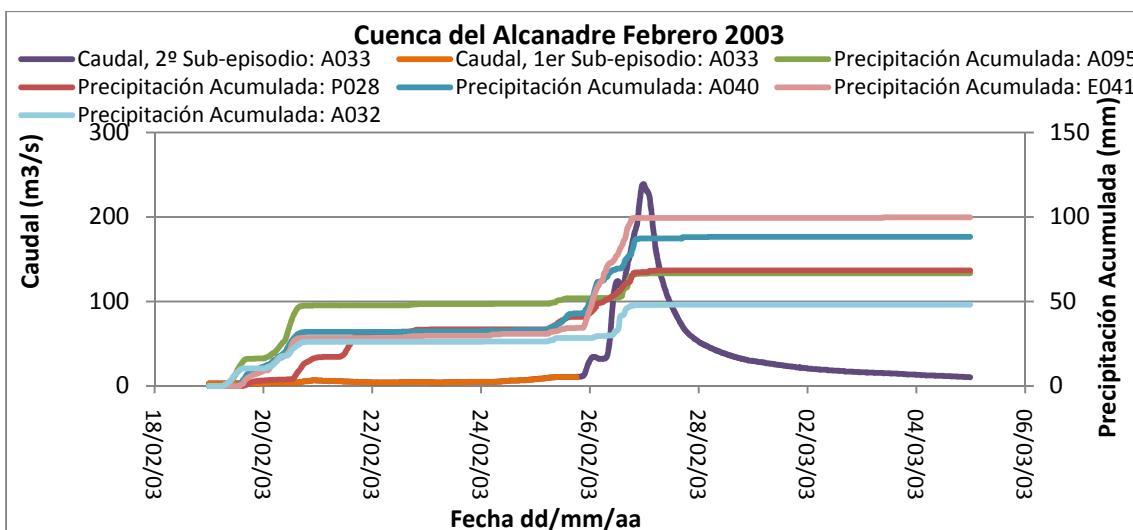


Figura III.8 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Peralta de Alcofea y que se produjo entre el 19 y 25 de Febrero de 2003.

Según los datos recogidos, la siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	48,6mm
	Coscollar (P028)	33,5mm
	Boltaña (A040)	33,2mm
	Embalse de Guara (E079)	
	Embalse de Vadiello (E041)	30,9mm
	Alcofea (A032)	26,3mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
Volumen total	Peralta de Alcofea (A033)	2,74Hm ³

Tabla III.5 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003.

Una vez realizados los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	34,5mm	Duración Q _{máx}	
Volumen de Precipitación	27,01Hm ³	t _{Precipitación}	53,25h
Duración Episodio	140,25h	t _{picos}	
Volumen de escorrentía	1,21Hm ³	Escorrentía	4,5%
Volumen Q _{base}		Escorrentía directa	
Volumen Q _{máx}		Escorrentía indirecta	
Q _{máx}		Umbral precipitación	27,15mm

Tabla III.6 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003; Cuenca del Alcanadre.

No se forma un pico bien definido por lo que no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen Q_{máx} y por consiguiente tampoco se distingue entre escorrentía directa y escorrentía indirecta. Por otra parte, a la hora de realizar los cálculos, la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 25 de Febrero a las 2:30h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio de forma aislada tiene lugar entre el 25 de Febrero y el 4 de Marzo 2003, momento en el cual se recupera el caudal base que se tenía en el Alcanadre antes del episodio.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	18mm
	Coscollar (P028)	34,9mm
	Boltaña (A040)	55mm
	Embalse de Guara (E079)	
	Embalse de Vadiello (E041)	68,9mm
	Alcofea (A032)	21,7mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
	Volumen total	Peralta de Alcofea (A033) 28,9Hm ³

Tabla III.7 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, segundo sub-episodio del episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este sub-episodio:

Lluvia media	39,7mm	Duración Q _{máx}	75,5h
Volumen de Precipitación	31,09Hm ³	t _{Precipitación}	31,75h
Duración Episodio	171,75h	t _{picos}	10,5h
Volumen de escorrentía	22,34Hm ³	Escorrentía	71,9%
Volumen Q _{base}	2,5Hm ³	Escorrentía directa	63,83%
Volumen Q _{máx}	19,84Hm ³	Escorrentía indirecta	8,07%
Q _{máx}	239m ³ /s	Umbral precipitación	1,18mm

Tabla III.8 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003; Cuenca del Alcanadre.

A la hora del análisis de los resultados de este episodio se debe tener en cuenta que el estado antecedente de humedad es muy elevado.

III.III.IV Episodio del 28 de Marzo al 14 de Abril del 2003

Los datos de partida para el análisis de este episodio se muestran en la siguiente tabla, en la cual figura la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Peralta de Alcofea durante este episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	33mm
	Coscollar (P028)	56,7mm
	Boltaña (A040)	47,8mm
	Embalse de Guara (E079)	
	Embalse de Vadiello (E041)	47,1mm
	Alcofea (A032)	34,4mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
Volumen total	Peralta de Alcofea (A033)	15,4Hm ³

Tabla III.9 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, episodio 28 de Marzo al 14 de Abril del 2003.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

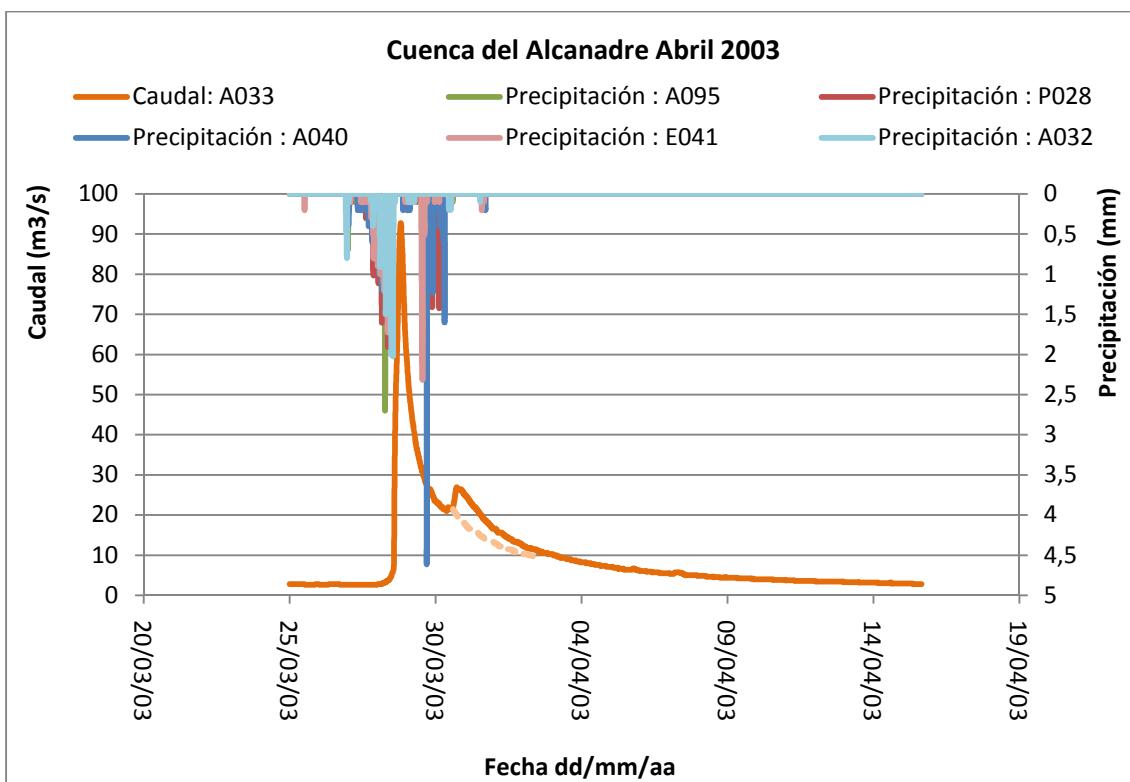


Figura III.9 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio 28 de Marzo al 14 de Abril del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

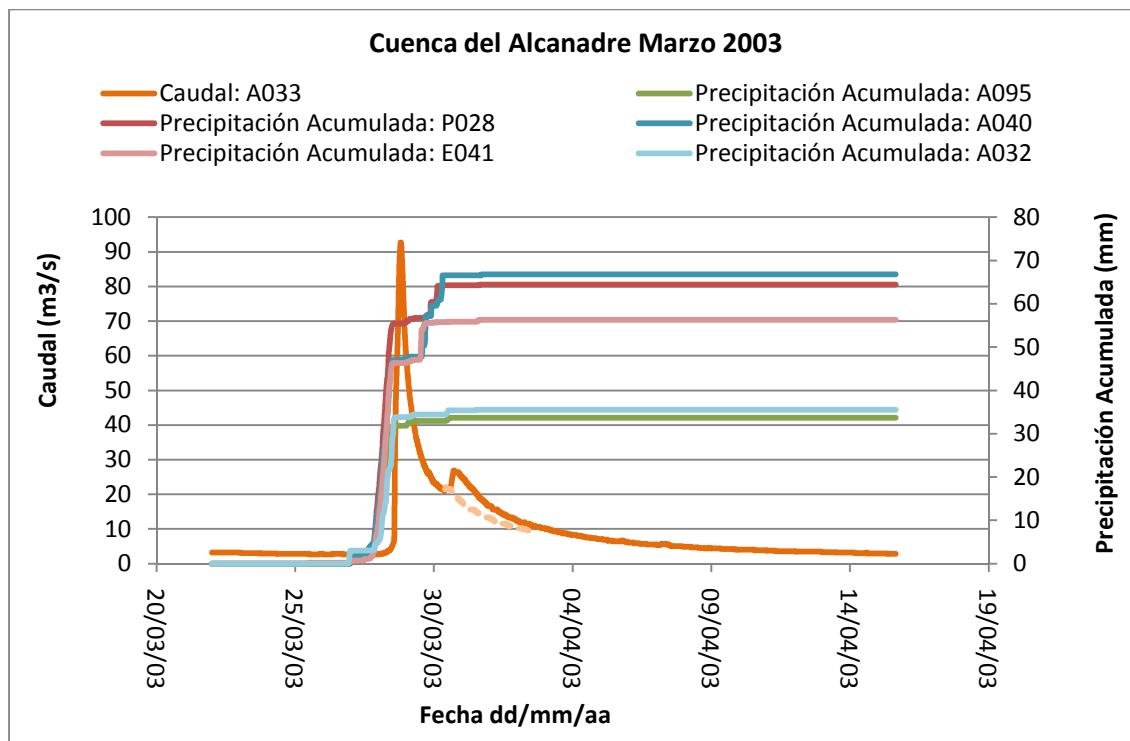


Figura III.10 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio 28 de Marzo al 14 de Abril del 2003.

Una vez realizados los cálculos que se detallan en el capítulo 4 de la memoria, los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

Lluvia media	43,8mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	102,5h
Volumen de Precipitación	34,3Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	17,75h
Duración Episodio	447,5h	t_{picos}	7,5h
Volumen de escorrentía	11,32Hm ³	Escorrentía	33%
Volumen Q_{base}	3,13Hm ³	Escorrentía directa	23,9%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	8,19Hm ³	Escorrentía indirecta	9,1%
$Q_{\text{máx}}$	92,7m ³ /s	Umbral precipitación	16,5mm

Tabla III.10 Resultados obtenidos en el episodio 28 de Marzo al 14 de Abril del 2003; Cuenca del Alcanadre.

Al realizar los cálculos, la cantidad de precipitación registrada a partir del día 29 de Marzo a las 9:30h no ha sido tenida en cuenta a la hora de calcular el volumen de precipitación, como tampoco se ha considerado el aumento en el volumen de escorrentía que provoca, por lo que se ha supuesto esta parte del caudal. Esto se puede ver en las dos figuras anteriores representado en línea discontinua.

Por otro lado, al analizar los resultados, se tiene en cuenta que durante el mes de Marzo se registraron muchas lluvias sobre esta subcuenca.

III.III.V Episodio del 17 al 30 de Abril del 2008

Examinando los datos disponibles de precipitación-escorrentía de la última quincena de Abril del 2008 se observa que se produce un episodio con varias subidas y bajadas. En lugar de analizarlo como un todo se ha creído conveniente analizarlo en tres sub-episodios independientes.

En la figura se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas entre el 16 y el 30 de Abril del 2008 y se aprecia claramente, cómo puede dividirse el episodio completo en 3 sub-episodios independientes:

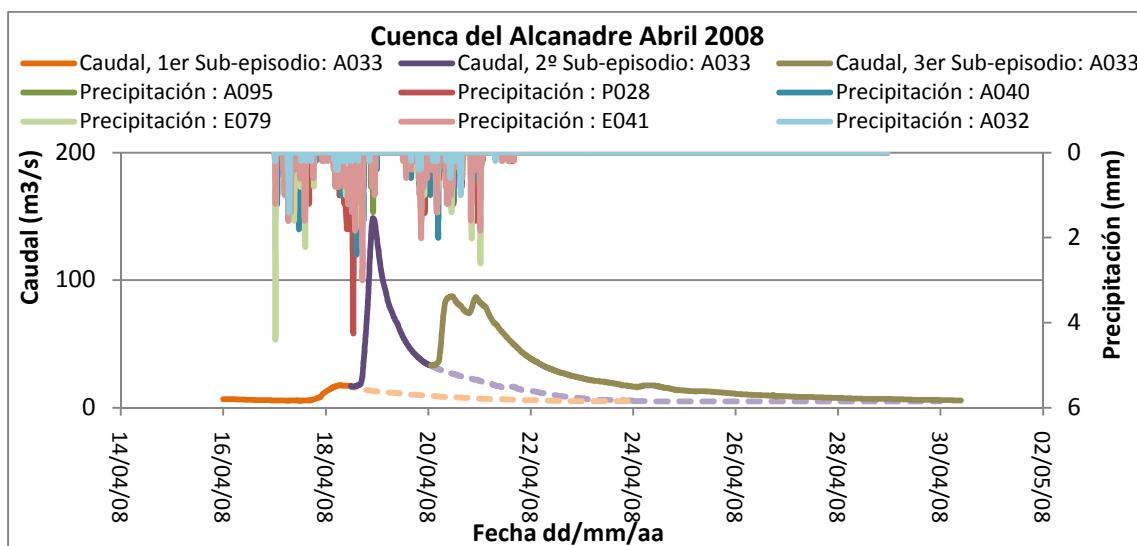


Figura III.11 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 17 al 30 de Abril del 2008.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

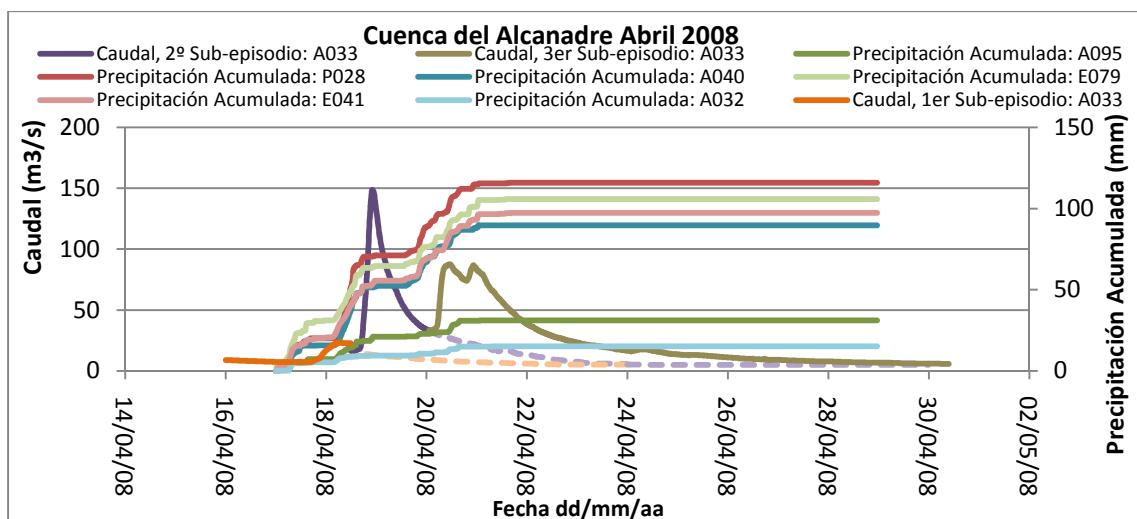


Figura III.12 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 17 al 30 de Abril del 2008.

Análisis del primer sub-episodio:

Analizado independientemente, este sub-episodio tiene lugar entre el 17 y el 23 de Abril del 2008. Al estudiarlo aisladamente hemos supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráficas con línea discontinua en color naranja claro (véase figura III.11 y figura III.12) y así poder realizar los cálculos.

En la siguiente tabla partimos como datos de entrada de la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como del volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	7,2mm
	Coscollar (P028)	20mm
	Boltaña (A040)	15,8mm
	Embalse de Guara (E079)	30,8mm
	Embalse de Vadiello (E041)	20,2mm
	Alcofea (A032)	5,4mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
	Volumen total	Peralta de Alcofea (A033) 4,9Hm ³

Tabla III.11 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, episodio del 17 al 30 de Abril del 2008.

Una vez analizados los datos de partida, se realizan los cálculos indicados en el capítulo 4 de la memoria para así poder caracterizar este sub-episodio de avenida. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	16,56mm	Duración Q _{máx}	47,5h
Volumen de Precipitación	12,97Hm ³	t _{Precipitación}	16h
Duración Episodio	161h	t _{picos}	14h
Volumen de escorrentía	1,83Hm ³	Escorrentía	14,11%
Volumen Q _{base}	0,73Hm ³	Escorrentía directa	8,55%
Volumen Q _{máx}	1,1Hm ³	Escorrentía indirecta	5,56%
Q _{máx}	17,57m ³ /s	Umbral precipitación	11,76mm

Tabla III.12 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 17 al 30 de Abril del 2008; Cuenca del Alcanadre.

A la hora de realizar los cálculos queremos señalar que las precipitaciones registradas a partir del 17 de Abril a las 20:45h se tendrán en cuenta como parte del 2º sub-episodio y no en este primero.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio analizado independientemente tiene lugar entre el 18 y el 23 de Abril del 2008. Como se puede observar en la figura en este caso también se ha supuesto un caudal de bajada del hidrograma para realizar los cálculos (figuras III.11 y III.12, línea discontinua color purpura claro).

Los datos de los que se parte para realizar este análisis se muestran en la siguiente tabla y son los siguientes: la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	13,8mm
	Coscollar (P028)	51,2mm
	Boltaña (A040)	36,6mm
	Embalse de Guara (E079)	33,8mm
	Embalse de Vadiello (E041)	35,4mm
	Alcofea (A032)	4mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
	Volumen total	Peralta de Alcofea (A033) 13,5Hm ³

Tabla III.13 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, segundo sub-episodio del 17 al 30 de Abril del 2008.

Y en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este sub-episodio:

Lluvia media	29,13mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	37,5h
Volumen de Precipitación	22,81Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	14,75h
Duración Episodio	132h	t_{picos}	9h
Volumen de escorrentía	9,68Hm ³	Escorrentía	42,4%
Volumen Q_{base}	2,82Hm ³	Escorrentía directa	30,07%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	6,86Hm ³	Escorrentía indirecta	12,33%
$Q_{\text{máx}}$	148,5m ³ /s	Umbral precipitación	8,9mm

Tabla III.14 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 17 al 30 de Abril del 2008; Cuenca del Alcanadre.

Al analizar los resultados se tiene en cuenta que el estado antecedente de humedad del suelo es muy elevado.

Las precipitaciones producidas a partir del 19 de Abril a las 10:00h no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos, debido a que se estima que no afectan al flujo base supuesto para este sub-episodio. Se toma que a partir de este instante las precipitaciones provocan el tercer sub-episodio.

Análisis del tercer sub-episodio:

Al analizar este sub-episodio independientemente se produciría entre el 20 y el 30 de Abril del 2008, momento en el que se recuperaría el flujo base que circulaba por el Alcanadre antes del aguacero.

En cuanto a datos iniciales, partimos de la siguiente tabla que nos muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	10mm
	Coscollar (P028)	44,6mm
	Boltaña (A040)	37,4mm
	Embalse de Guarra (E079)	41,2mm
	Embalse de Vadiello (E041)	41,8mm
	Alcofea (A032)	5,8mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
	Volumen total	Peralta de Alcofea (A033) 20,53Hm ³

Tabla III.15 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, tercer sub-episodio del episodio del 17 al 30 de Abril del 2008.

Una vez realizados los cálculos, estos se presentan en la siguiente tabla:

Lluvia media	30,13mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	52h
Volumen de Precipitación	23,6Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	26,75h
Duración Episodio	248,5h	t_{picos}	9,5h
Volumen de escorrentía	12,9Hm ³	Escorrentía	54,73%
Volumen Q_{base}	5,2Hm ³	Escorrentía directa	32,67%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	7,7Hm ³	Escorrentía indirecta	22,06%
$Q_{\text{máx}}$	87,4m ³ /s	Umbral precipitación	5,9mm

Tabla III.16 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio del 17 al 30 de Abril del 2008; Cuenca del Alcanadre.

A la hora de analizar los resultados se debe tener en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo.

III.III.VI Episodio del 7 al 25 de Abril del 2009

En este caso, el episodio de avenida se analiza en tres sub-episodios independientes debido a que aunque sólo se aprecian dos picos bien delimitados, antes de las precipitaciones que provocan el primer aumento brusco del caudal registrado en la estación de aforo se produjeron otras precipitaciones que provocaron una pequeña variación del caudal registrado en Peralta de Alcofea y se ha considerado interesante estudiarlo de manera independiente (véase figuras III.13 y III.14).

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 7 hasta el 25 de Abril del 2009.

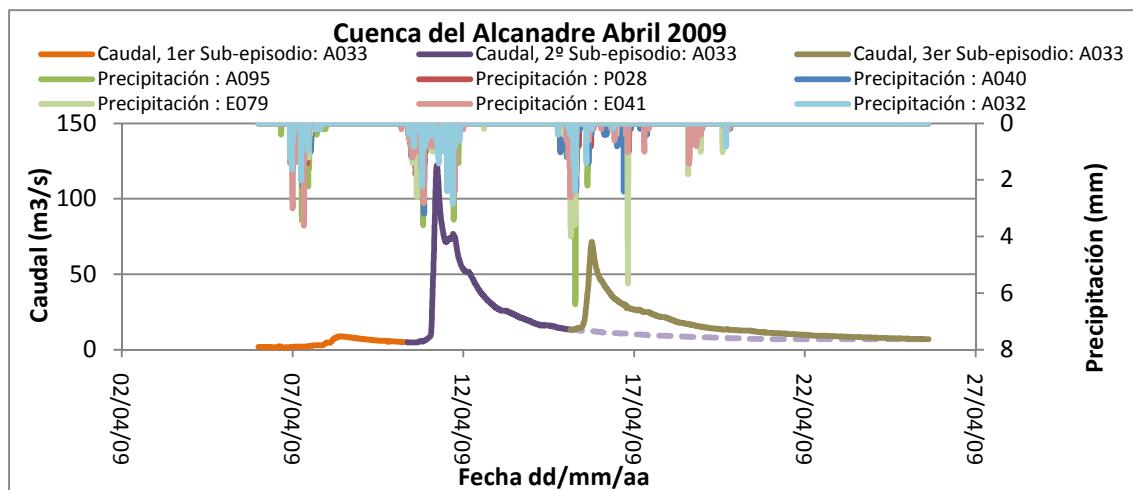


Figura III.13 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 7 al 25 de Abril del 2009.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

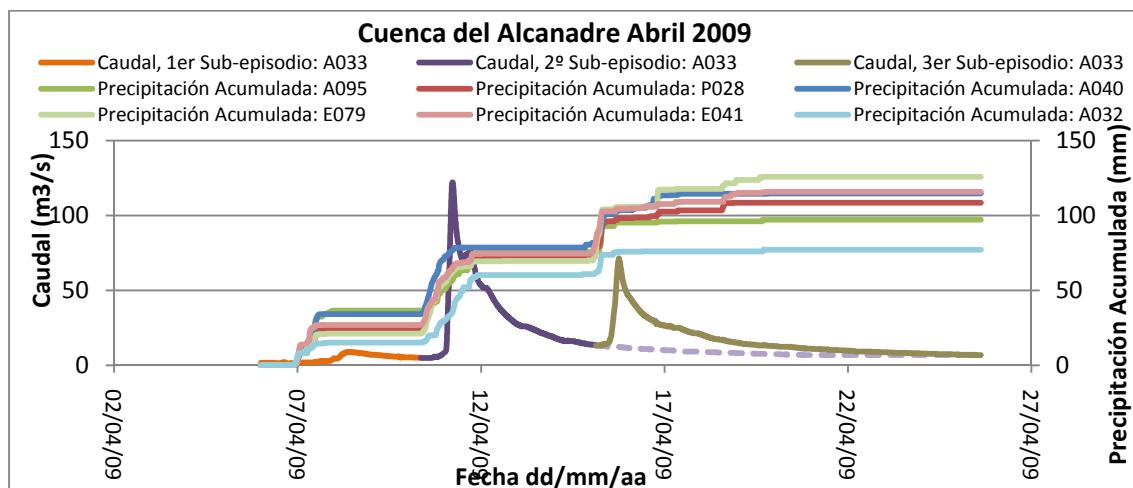


Figura III.14 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 7 al 25 de Abril del 2009.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Peralta de Alcofea y que se produjo entre el 7 y el 10 de Abril del 2009.

Los datos de partida para el análisis de este episodio, es decir, la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio, se muestran en la siguiente tabla:

Precipitación	Barbastro (A095)	36,6mm
	Coscollar (P028)	24,2mm
	Boltaña (A040)	34,2mm
	Embalse de Guara (E079)	21mm
	Embalse de Vadiello (E041)	27mm
	Alcofea (A032)	15mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
	Volumen total	Peralta de Alcofea (A033) 1,52Hm ³

Tabla III.17 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, episodio del 7 al 25 de Abril del 2009.

Una vez realizados los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria, los resultados obtenidos para este sub-episodio se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	26,33mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	
Volumen de Precipitación	20,62Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	16,5h
Duración Episodio	77h	t_{picos}	
Volumen de escorrentía	1,04Hm ³	Escorrentía	5,1%
Volumen Q_{base}		Escorrentía directa	
Volumen $Q_{\text{máx}}$		Escorrentía indirecta	
$Q_{\text{máx}}$		Umbral precipitación	23,2mm

Tabla III.18 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 7 al 25 de Abril del 2009; Cuenca del Alcanadre.

Al no formarse un pico bien definido no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen $Q_{\text{máx}}$ y por consiguiente tampoco se distingue entre escorrentía directa y escorrentía indirecta. Por otra parte, a la hora de realizar los cálculos, la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 10 de Abril a las 8:45h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Si este sub-episodio se produjera aisladamente transcurriría entre el 10 y el 25 de Abril del 2009. Al analizarlo como independiente hemos supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua en color púrpura claro (véase las dos figuras anteriores), para así poder realizar los cálculos.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	38,6mm
	Coscollar (P028)	47,4mm
	Boltaña (A040)	44,4mm
	Embalse de Guara (E079)	48,6mm
	Embalse de Vadiello (E041)	47,6mm
	Alcofea (A032)	45,8mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
Volumen total	Peralta de Alcofea (A033)	20,81Hm ³

Tabla III.19 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, segundo sub-episodio del episodio del 7 al 25 de Abril del 2009.

Una vez extraídos los datos necesarios para analizar el sub-episodio se realizan los cálculos que se detallan en el capítulo 4 de la memoria. Los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

Lluvia media	45,4mm	Duración Q _{máx}	75,5h
Volumen de Precipitación	35,55Hm ³	t _{Precipitación}	27,75h
Duración Episodio	366,25h	t _{picos}	8,75h
Volumen de escorrentía	14,38Hm ³	Escorrentía	40,47%
Volumen Q _{base}	4,76Hm ³	Escorrentía directa	27,07%
Volumen Q _{máx}	9,62Hm ³	Escorrentía indirecta	13,4%
Q _{máx}	122m ³ /s	Umbral precipitación	6,3mm

Tabla III.20 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 7 al 25 de Abril del 2009; Cuenca del Alcanadre.

Al analizar los resultados se debe tener en cuenta que el estado antecedente de humedad del suelo es muy elevado.

Las precipitaciones registradas a partir del día 14 de Abril a las 18:45h no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos que caracterizan este sub-episodio. Se toma que a partir de este instante las precipitaciones provocarán el tercer sub-episodio.

Análisis del tercer sub-episodio:

Al analizar aisladamente este sub-episodio, se produciría entre el 15 y el 25 de Abril del 2009.

En cuanto a los datos iniciales, partimos de la siguiente tabla que nos muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	21mm
	Coscollar (P028)	32mm
	Boltaña (A040)	36mm
	Embalse de Guarra (E079)	48,2mm
	Embalse de Vadiello (E041)	34,6mm
	Alcofea (A032)	15,2mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	
	Rodellar (P106)	
	Volumen total	Peralta de Alcofea (A033) 14,67Hm ³

Tabla III.21 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, tercer sub-episodio del episodio del 7 al 25 de Abril del 2009.

Una vez realizados los cálculos, estos se representan en la siguiente tabla:

Lluvia media	31,16mm	Duración Q _{máx}	112h
Volumen de Precipitación	24,4Hm ³	t _{Precipitación}	7,75h
Duración Episodio	251,75h	t _{picos}	10,5h
Volumen de escorrentía	7,18Hm ³	Escorrentía	29,5%
Volumen Q _{base}	5,97Hm ³	Escorrentía directa	24,5%
Volumen Q _{máx}	1,21Hm ³	Escorrentía indirecta	5%
Q _{máx}	71,39m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla III.22 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio del 7 al 25 de Abril del 2009; Cuenca del Alcanadre.

A la hora del análisis de los resultados se debe tener en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno muy húmedo.

III.III.VII Episodio del 23 al 28 de Diciembre del 2009

En este caso el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 21 hasta el 28 de Diciembre del 2009. En esta figura se puede observar como existen dos sub-episodios independientes:

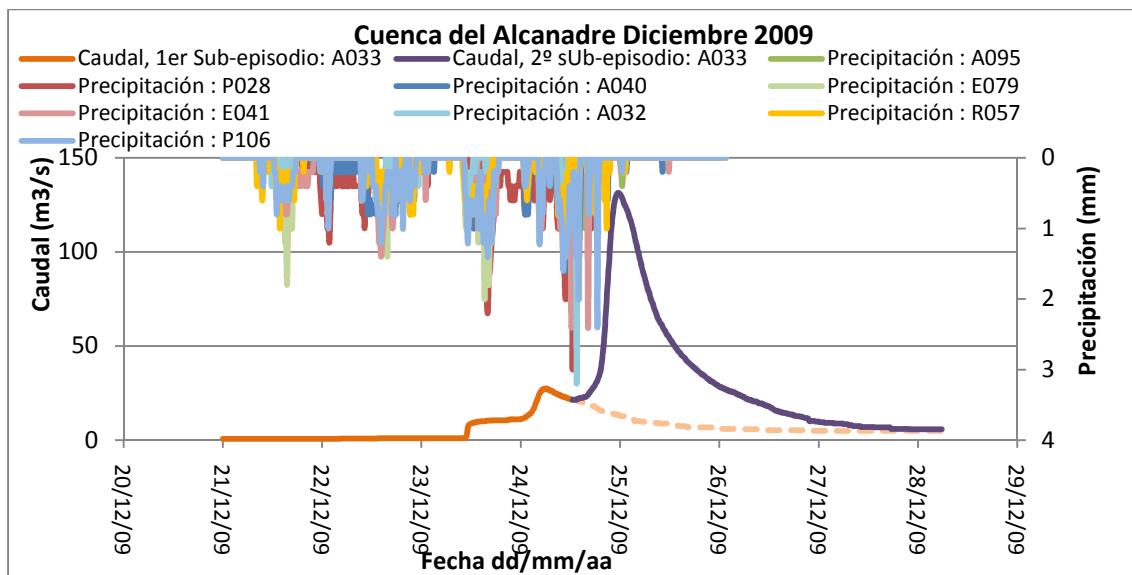


Figura III.15 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 23 al 28 de Diciembre del 2009.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

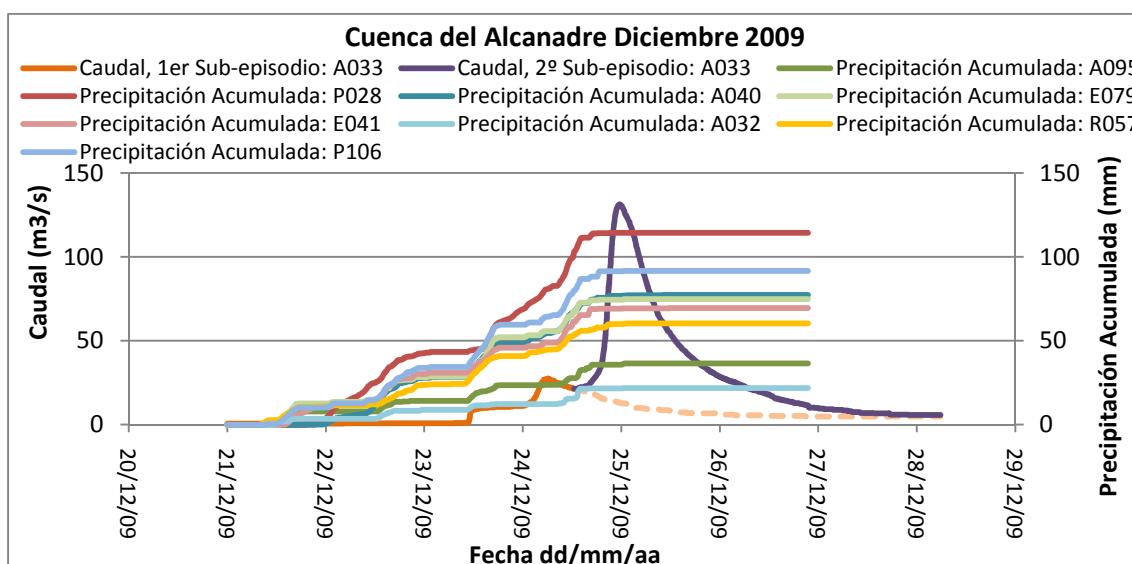


Figura III.16 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 23 al 28 de Diciembre del 2009.

Análisis del primer sub-episodio:

Si se produjese este sub-episodio aisladamente, es decir independientemente del sub-episodio posterior, la crecida en el río se daría desde el 23 hasta el 28 de Diciembre del 2009, momento en el cual se recuperaría el flujo base que se tenía en el Alcanadre antes del aguacero. Para realizar los cálculos y analizar este sub-episodio por separado se ha supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua.

En la siguiente tabla se muestran los datos de entrada para el análisis de este sub-episodio: la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	23,8mm
	Coscollar (P028)	81,2mm
	Boltaña (A040)	54,8mm
	Embalse de Guara (E079)	55,8mm
	Embalse de Vadiello (E041)	49mm
	Alcofea (A032)	12,4mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	44,8mm
	Rodellar (P106)	64,4mm
	Volumen total	Peralta de Alcofea (A033) 3,93Hm ³

Tabla III.23 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, episodio del 23 al 28 de Diciembre del 2009.

Una vez extraídos los datos se realizan los cálculos que se indican en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	49,54mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	46,75h
Volumen de Precipitación	38,79Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	55,5h
Duración Episodio	118,75h	t_{picos}	12,5h
Volumen de escorrentía	3,5Hm ³	Escorrentía	9,02%
Volumen Q_{base}	1,26Hm ³	Escorrentía directa	5,76%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	2,24Hm ³	Escorrentía indirecta	3,26%
$Q_{\text{máx}}$	27,4m ³ /s	Umbral precipitación	27,2mm

Tabla III.24 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 23 al 28 de Diciembre del 2009; Cuenca del Alcanadre.

El volumen de precipitación utilizado para el análisis de este sub-episodio es el que se registra en los pluviómetros hasta aproximadamente el momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo, exactamente hasta el día 24 a las 6:30h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio independientemente transcurre desde el 24 hasta el 28 de Diciembre del 2009 y al analizarlo se tiene en cuenta lo que sabemos del sub-episodio anterior a la hora de establecer unas condiciones iniciales de partida.

Según los datos recogidos, en la siguiente tabla se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	12,8mm
	Coscollar (P028)	33,2mm
	Boltaña (A040)	22,6mm
	Embalse de Guara (E079)	19mm
	Embalse de Vadiello (E041)	20,6mm
	Alcofea (A032)	9,4mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	15,6mm
	Rodellar (P106)	27,2mm
	Volumen total	Peralta de Alcofea (A033) 10,11Hm ³

Tabla III.25 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, segundo sub-episodio del episodio del 23 al 28 de Diciembre del 2009.

Con los datos registrados se realizan los cálculos que caracterizan este sub-episodio tal y como se detalla en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	20,32mm	Duración Q _{máx}	33,5h
Volumen de Precipitación	15,91Hm ³	t _{Precipitación}	8,5h
Duración Episodio	89h	t _{picos}	7,5h
Volumen de escorrentía	7,62Hm ³	Escorrentía	47,9%
Volumen Q _{base}	1,46Hm ³	Escorrentía directa	38,7%
Volumen Q _{máx}	6,16Hm ³	Escorrentía indirecta	9,2%
Q _{máx}	131,33m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla III.26 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 23 al 28 de Diciembre del 2009; Cuenca del Alcanadre.

A la hora de establecer unas pautas de comportamiento o conclusiones hay que tener en cuenta que el terreno se encuentra muy húmedo.

III.III.VIII Episodio del 9 al 16 de Junio del 2010

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Peralta de Alcofea durante este episodio:

Precipitación	Barbastro (A095)	40mm
	Coscollar (P028)	74,2mm
	Boltaña (A040)	71,8mm
	Embalse de Guara (E079)	88mm
	Embalse de Vadiello (E041)	99,4mm
	Alcofea (A032)	11mm
	Repetidor de Boltaña (R057)	118,2mm
	Rodellar (P106)	0mm
	Volumen total	Peralta de Alcofea (A033) 13,1Hm ³

Tabla III.27 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Alcanadre, episodio del 9 al 16 de Junio del 2010.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

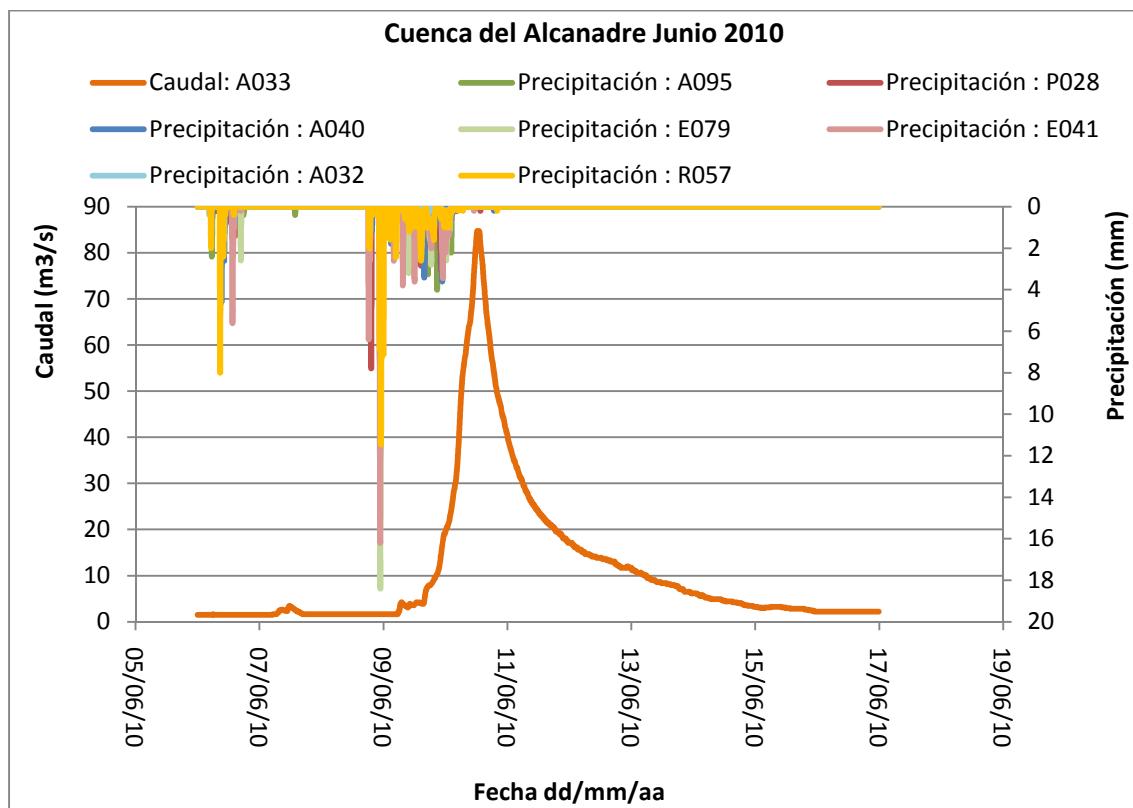


Figura III.17 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 9 al 16 de Junio del 2010.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

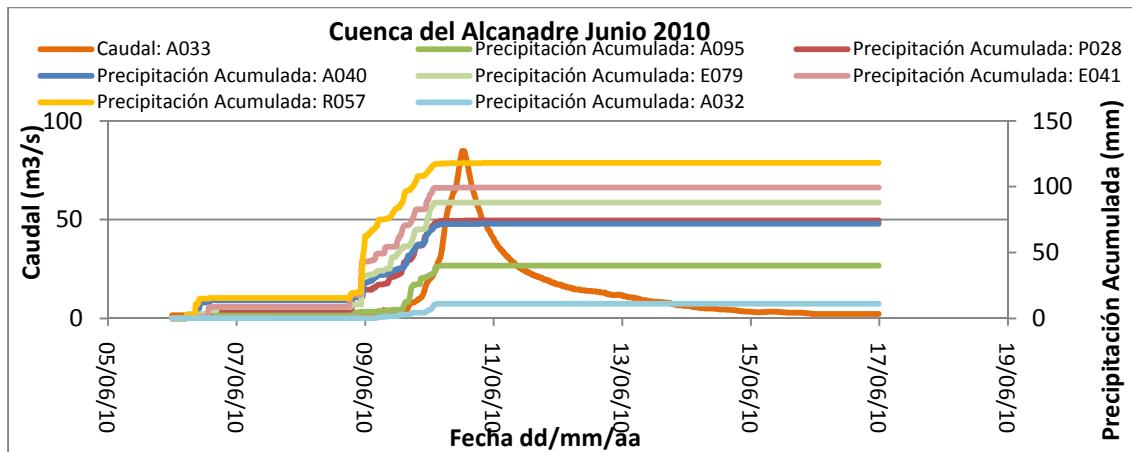


Figura III.18 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Alcanadre, episodio del 9 al 16 de Junio del 2010.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	68,97mm	Duración Q _{máx}	81h
Volumen de Precipitación	54mm	t _{Precipitación}	7,25h
Duración Episodio	185,75h	t _{picos}	17,5h
Volumen de escorrentía	8,58Hm ³	Escorrentía	15,9%
Volumen Q _{base}	1,15Hm ³	Escorrentía directa	13,8%
Volumen Q _{máx}	7,43Hm ³	Escorrentía indirecta	2,1%
Q _{máx}	84,71m ³ /s	Umbral precipitación	27,88mm

Tabla III. 28 Resultados obtenidos en el episodio del 9 al 16 de Junio del 2010; Cuenca del Alcanadre.

Se trata de un episodio provocado por una lluvia de alta intensidad y el umbral indicado en la tabla III.28, 27,88mm es la lluvia media calculada con la precipitación registrada antes de producirse la precipitación intensa, la cual se va registrando en todos los pluviómetros en diferentes instantes. El momento en el que el aguacero alcanza su máximo de intensidad es cuando pasa por la zona del pluviómetro de Guara en el que se llega a registrar una precipitación de 18,4 mm en tan sólo 15 minutos. Aunque, por otro lado, esta cantidad indicada como umbral de 27,88mm nos ayuda a hacernos una idea de cuanta cantidad de precipitación se puede dar sobre la cuenca sin que los depósitos superficiales se saturén.

El pluviómetro de Rodellar (P106) no registra precipitación y se atribuye a algún problema de funcionamiento. Para el cálculo de la lluvia media se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 \text{Lluvia media} = & (Precip. A095 (mm) + Precip. P028 (mm) + Precip. A040 (mm) \\
 & + Precip. E041 (mm) + Precip. A032 (mm) + Precip. E079 (mm)) \cdot \frac{1}{9} \\
 & + Precip. R057 (mm) \cdot \frac{1}{9}
 \end{aligned}$$

III.IV Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de los episodios se determinan unas pautas de comportamiento de la subcuenca del Alcanadre con respecto a su respuesta hidrológica ante una precipitación.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos de los resultados obtenidos de los episodios analizados:

Episodio (fecha)	Qmáx (m ³ /s)	Duración Qmáx (h)	Vol. Qmáx (Hm ³)	Vol. Base (Hm ³)	Vol. Escorrentía A033 (Hm ³)	T Precip. (h)	A095 (mm)	P028 (mm)	A040 (mm)	E079 (mm)	E041 (mm)	A032 (mm)	R057 (mm)	P106 (mm)	Vol. Precip. (Hm ³)	Escorrentía (%)	T entre picos (h)
16 al 28 Diciembre 1997	370,72	90,5	40,17	14,27	54,44	51,75	116,8	224	215,2		73,3				123,2	44,2	8
5 al 8 Julio 2001	155,25	7,25	3,87	1,36	5,23	4	1	66,6	183,2		70,5	10,5			51,96	10,06	9,25
19 de Febrero al 4 de Marzo 2003					1,21	53,25	48,6	33,5	33,2		30,9	26,3			27,01	4,5	
	239	75,5	19,84	2,5	22,34	31,75	18	34,9	55		68,9	21,7			31,09	71,9	10,5
28 Marzo al 14 Abril 2003	92,7	102,5	8,19	3,13	11,32	17,75	33	56,7	47,8		47,1	34,4			34,3	33	7,5
17 al 30 Abril 2008	17,57	47,5	1,1	0,73	1,83	16	7,2	20	15,8	30,8	20,2	5,4			12,97	14,11	14
	148,5	37,5	6,86	2,82	9,68	14,75	13,8	51,2	36,6	33,8	35,4	4			22,81	42,4	9
	87,4	52	7,7	5,2	12,9	26,75	10	44,6	37,4	41,2	41,8	5,8			23,6	54,73	9,5
7 al 25 Abril 2009					1,04	16,5	36,6	24,2	34,2	21	27	15			20,62	5,1	
	122,01	75,5	9,62	4,76	14,38	27,75	38,6	47,4	44,4	48,6	47,6	45,8			35,55	40,47	8,75
	71,39	112	5,97	1,21	7,18	7,75	21	32	36	48,2	34,6	15,2			24,4	29,5	10,5
23 al 28 Diciembre 2009	27,4	46,75	2,24	1,26	3,5	55,5	23,8	81,2	54,8	55,8	49	12,4	44,8	64,4	38,79	9,02	12,5
	131,33	33,5	6,16	1,46	7,62	8,5	12,8	33,2	22,6	19	20,6	9,4	15,6	27,2	15,91	47,9	7,5
9 al 30 Junio 2010	84,7	81	7,43	1,15	8,58	7,25	40	74,2	71,8	88	99,4	11	118,2	0	54	15,9	17,5

Tabla III.29 Resumen de resultados de la cuenca del Alcanadre.

Y las conclusiones son:

- En el caso de que se parta de unas condiciones iniciales de terreno seco (esto es, que no se hayan registrado precipitaciones importantes en los días previos), en los episodios analizados se observa que aproximadamente los primeros 27 mm de lluvia son absorbidos por el terreno sin que llegue a observarse en el aforo de Peralta de Alcofea incremento alguno de caudal. Este valor constituye un umbral a partir del cual los depósitos superficiales se saturan y el río empieza a responder. En el caso de que la lluvia sea de poca intensidad, este umbral puede aumentar pero por el contrario, si se han producido lluvias anteriores, este valor se reduce o incluso puede ser nulo.
- En general, al analizar los episodios, se observa que los picos del hidrograma están asociados al grueso de precipitación del hietograma. En los episodios estudiados, se observa que en la mayoría de los casos el tiempo entre el centro de gravedad del hietograma y el momento en el que se registra el caudal máximo en la estación de aforo varía entre 5 y 18 horas.
- La forma del hietograma de precipitación (distribución de intensidades de precipitación a lo largo del tiempo) es la que va a determinar tanto el caudal máximo de la crecida como el volumen de la misma. Cuanto más intensa y concentrada en menos tiempo sea la lluvia, más picudo será el hidrograma aunque, por otro lado, si su duración es reducida, su volumen no será demasiado importante. Por este motivo, el tiempo que dura el pico del hidrograma de avenida (que determina el tiempo durante el cual se va a concentrar la mayor parte del volumen por unidad de tiempo de la riada) es un parámetro muy variable que en los episodios estudiados varía entre 10 y 110 horas.

En general, los episodios analizados son provocados por precipitaciones uniformes, por lo que a mayor duración del aguacero, mayor cantidad de lluvia neta y mayor caudal máximo es registrado en la estación de Peralta de Alcofea y también mayor volumen de escorrentía es producido, lo que provoca una mayor duración de la riada y que el volumen bajo la curva del hidrograma sea mayor.

Por otro lado, existen casos en los que las avenidas son producidas por precipitaciones intensas y concentradas en el tiempo que provocan un caudal punta alto pero un volumen de riada no excesivamente alto.

- El tiempo de concentración de esta subcuenca es estimado a partir de los pluviómetros A040 y R057 ya que se encuentran en la cabecera de la subcuenca. A partir de los episodios provocados por lluvias en esta zona de la subcuenca se concluye que el tiempo de concentración de la misma es aproximadamente 17,5 h.
- De los coeficientes de escorrentía calculados, para los diferentes episodios, como el volumen de agua registrado en la estación de aforo dividido entre el volumen de precipitación estimado para toda la subcuenca, se puede concluir que:
 - Partiendo de condiciones iniciales de terreno seco:

- Con lluvias de hasta 27 mm, la escorrentía es prácticamente inexistente. Si existe una pequeña variación en el flujo base del río es debido a los flujos subterráneos e hipodérmicos.
- Con lluvias de hasta 35 mm se pueden llegar a obtener coeficientes de escorrentía en torno al 5%.
- Con lluvias de hasta 50 mm se pueden obtener coeficientes de escorrentía del 30%.
- Con lluvias de hasta 160 mm se pueden obtener coeficientes de escorrentía del 44%.
- En los casos en que las avenidas sean provocadas por precipitaciones muy intensas y concentradas en el tiempo, estos coeficientes de escorrentía disminuyen considerablemente, debido a que aunque se consiguen altos caudales máximos, los volúmenes de riada que provocan no son excesivamente altos, alcanzando tan solo coeficientes del 16 % con lluvias de hasta 70mm.
- Los coeficientes de escorrentía aumentan si se parte de condiciones de terreno húmedo. En casos extremos de humedad se pueden alcanzar unos coeficientes de escorrentía de alrededor del 72 % con precipitación no superior a 40 mm.
- Es posible que para episodios mayores a los estudiados y en otras situaciones muy favorables para ello que se pudiesen producir escorrentías superiores a las citadas.
- Al diferenciar el volumen bajo la curva del hidrograma entre el volumen asociado a escorrentías directas y el asociado a aportaciones de flujos subterráneos e hipodérmicos se obtiene que el primero siempre es mayor que el segundo. El máximo coeficiente de escorrentía directa alcanzado es del 64 %, en Febrero del 2003, y se alcanza en el segundo sub-episodio por lo que se tienen condiciones iniciales muy húmedas. Con respecto a los coeficientes de escorrentía indirecta, el máximo alcanzado es en el tercer sub-episodio de Abril del 2008, llegando a tomar un valor del 22%.
- Debido a la uniformidad de las precipitaciones registradas en todos los pluviómetros en el episodio de Abril de 2009, sin dividir este en sub-episodios, se ha estimado una precipitación media acumulada de unos 103 mm, lo que representaría un volumen de agua de $80,65 \text{ Hm}^3$, de los cuales 21,52 se midieron en la estación de Peralta de Alcofea por lo que se estima un coeficiente de escorrentía medio para toda la cuenca de aproximadamente 0,27.
- De cara a evaluar los volúmenes de agua esperables en el aforo de Alcofea en el caso de una lluvia prevista, de los episodios registrados con mayor caudal, se obtuvieron para precipitaciones medias para toda la cuenca de 157 mm, unos volúmenes registrados en la estación de aforo en Peralta de Alcofea próximos a $54,5 \text{ Hm}^3$ (de los cuales en torno a $40,1 \text{ Hm}^3$ entraron en el pico de la avenida en menos de cuatro días y el resto como caudal base).

ANEXO IV: CUENCA DEL BERGANTES**IV.I Descripción**

El río Bergantes pertenece a la subcuenca del Guadalupe y discurre por Aragón y la Comunidad Valenciana. Su caudal es extremadamente variable, tanto en el tiempo como en el espacio. El río Morella es el único que aporta algo de caudal al Bergantes a lo largo de todo el año. La comarca está caracterizada por grandes extensiones de vegetación mediterránea de pinos carrascos y encinas ya sea en forma de repoblado, matorral alto o formaciones arbóreas bien constituidas [<http://portal.aragon.es>].

La superficie de su cuenca es de 1051,78 Km² [<http://www.chebro.es>].

En la siguiente figura se muestra la situación de la subcuenca del Bergantes dentro de la cuenca del Ebro (ver figura IV.1):

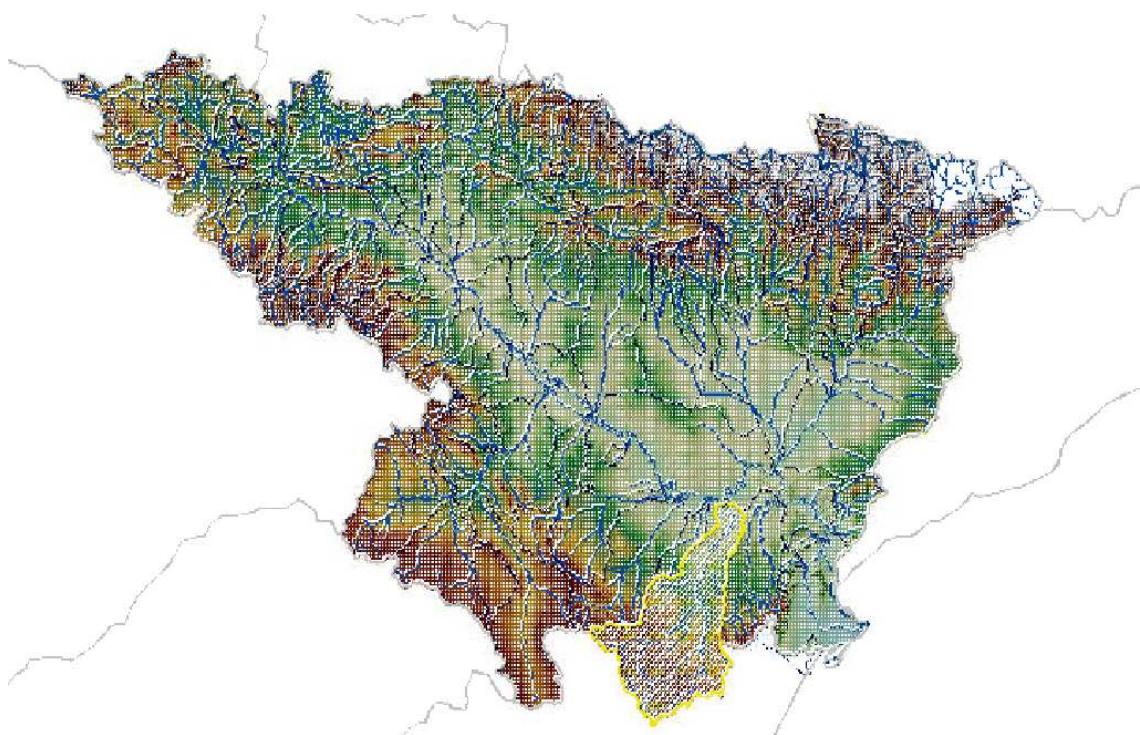


Figura IV.1 Localización geográfica; Cuenca del Bergantes.

La subcuenca del Bergantes se encuentra en la parte inferior-derecha de la zona coloreada en amarillo, la cual corresponde a la subcuenca del Guadalupe [<http://www.chebro.es>].

IV. II Datos de partida

Con el objeto de conocer mejor la respuesta hidrológica de la cuenca del río Bergantes (afluente del Guadalupe), se han analizado los datos quince-minutales de la base histórica del SAIH, tanto del caudal observado por la estación de aforos del Bergantes en Zorita (A031) como de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas de Iglesuela del Cid (P049), Morella (P050) y Zorita (A031).

La localización geográfica de las estaciones citadas y la localización del río Bergantes, el cual se representa mediante una línea de mayor grosor, se presentan en la figura siguiente:

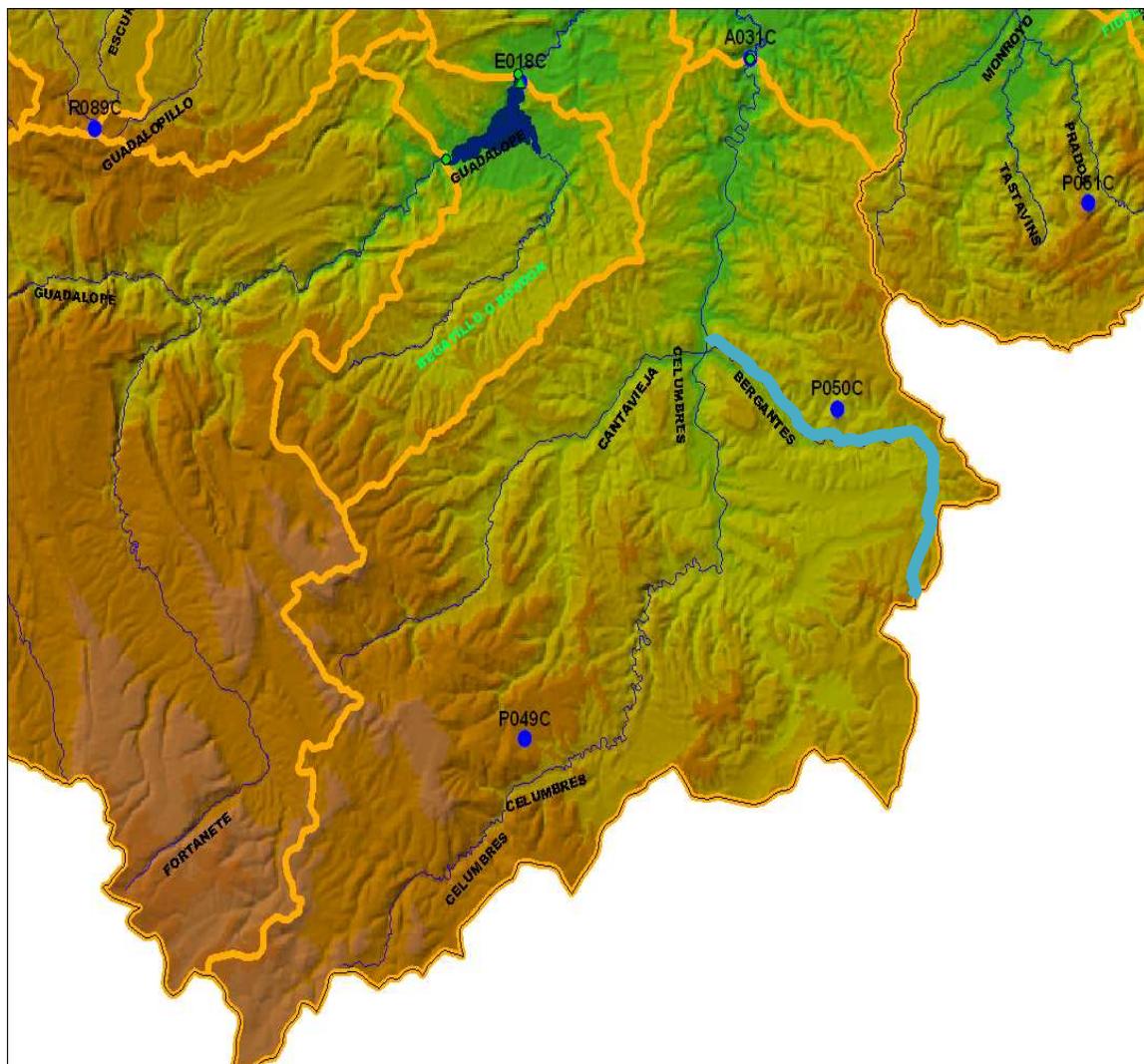


Figura IV.2 Localización de estaciones; Cuenca del Bergantes

Del análisis de las precipitaciones registradas en los pluviómetros situados en esta subcuenca, se concluye que los tres pluviómetros son igual de importantes, y el cálculo de la lluvia media se realiza en función del área que cubren, considerando el 100% de la superficie de la subcuenca y la expresión utilizada para el cálculo de la lluvia media es:

$$\text{Lluvia media} = \text{Precip. A031 (mm)} \cdot \frac{300}{1050} + \text{Precip. P049 (mm)} \cdot \frac{600}{1050} + \text{Precip. P050 (mm)} \cdot \frac{150}{1050}$$

Siendo 300/1050, 600/1050, 150/1050, los coeficientes de proporcionalidad correspondientes a cada pluviómetro en función de la superficie sobre la que influye cada uno y Precip. A031 (mm), Precip. P049 (mm), Precip. P050 (mm), la cantidad de precipitación registrada en cada uno de los pluviómetros para cada episodio en milímetros.

Del análisis de los episodios acontecidos en esta subcuenca desde 1997 se han seleccionado 10 episodios para así poder establecer unas pautas de comportamiento en la relación precipitación escorrentía para esta subcuenca.

Los 10 episodios seleccionados son:

- Del 22 al 26 del Octubre del 2000: $Q_{\text{máx}} \approx 1030 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 8 al 9 Julio del 2001: $Q_{\text{máx}} \approx 52,4 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 10 al 18 de Abril del 2002: $Q_{\text{máx}} \approx 89 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 7 al 15 Mayo del 2002: $Q_{\text{máx}} \approx 227 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 6 al 11 de Mayo del 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 237 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 5 al 7 de Julio del 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 40 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 29 de Marzo al 5 de Abril del 2004: $Q_{\text{máx}} \approx 86 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 9 al 18 de Noviembre del 2005: $Q_{\text{máx}} \approx 106 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 28 de Abril al 9 de Mayo del 2007: $Q_{\text{máx}} \approx 90 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 21 al 31 Diciembre del 2007: $Q_{\text{máx}} \approx 51,5 \text{ m}^3/\text{s.}$

IV.III Análisis de episodios

IV.III.I Episodio del 22 al 26 de Octubre del 2000

Examinando los datos disponibles de precipitación-escorrentía en la última semana de Octubre del 2000 se observa que se produce un episodio con varias subidas y bajadas. En lugar de analizarlo como un todo se ha creído conveniente analizarlo en tres sub-episodios independientes.

Vamos a presentar los datos registrados entre el 21 y el 26 de Octubre del 2000. En la siguiente figura se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas durante esta fecha y donde se aprecia claramente, cómo puede dividirse el episodio completo en tres sub-episodios independientes:

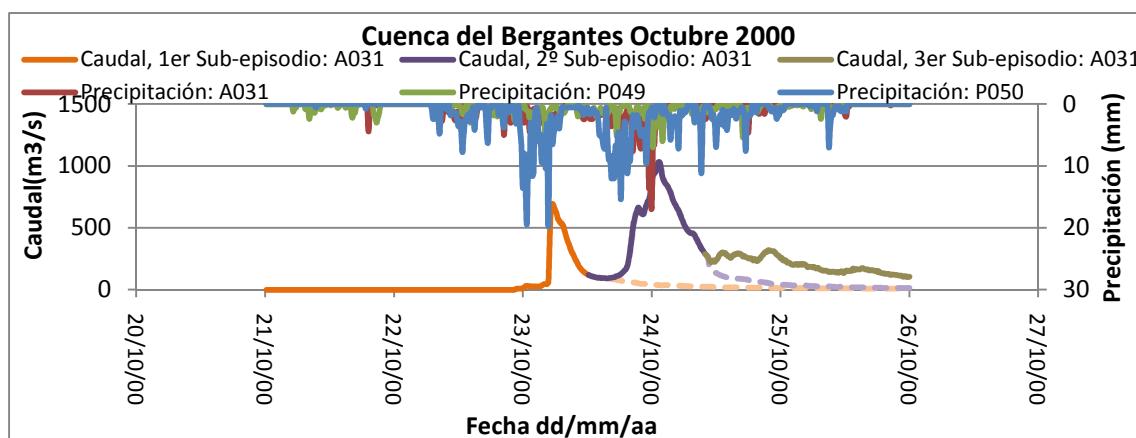


Figura IV.3 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio 22 al 26 de Octubre del 2000.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

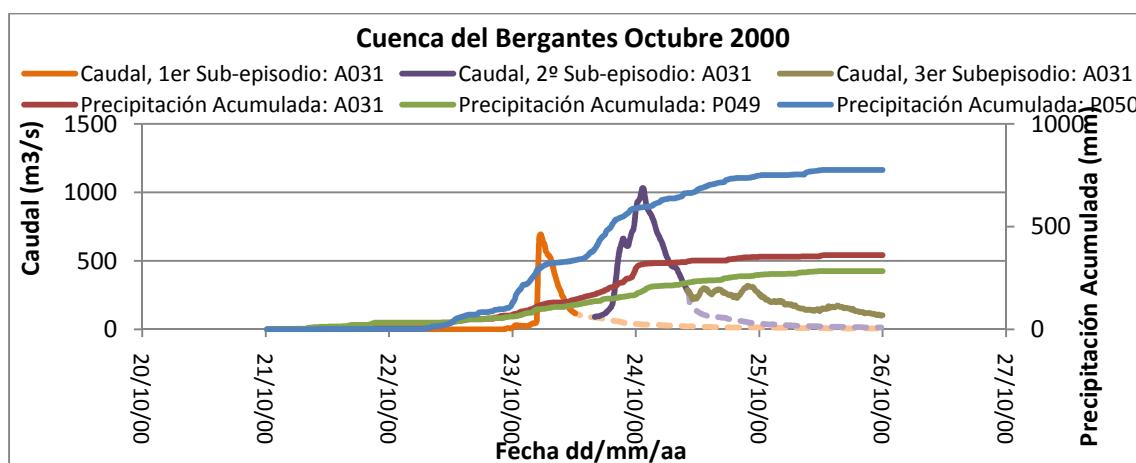


Figura IV.4 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio 22 al 26 de Octubre del 2000.

Análisis del primer sub-episodio:

Analizado independientemente, este sub-episodio tiene lugar entre el 22 y el 25 de Octubre del 2000. Al analizarlo aisladamente hemos supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua en color naranja claro, para así poder realizar los cálculos.

En la siguiente tabla partimos como datos de entrada de la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como del volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	129,5mm
	Iglesuela del Cid (P049)	108,6mm
	Morella (P050)	324,2mm
Volumen total	Zorita (A031)	16,7Hm ³

Tabla IV.1 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, primer sub-episodio del episodio 22 al 26 de Octubre del 2000.

Una vez analizados los datos de partida se realizan los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	187,5mm	Duración Q _{máx}	19,75h
Volumen de Precipitación	196,91Hm ³	t _{Precipitación}	20,25h
Duración Episodio	73,5h	t _{picos}	4,75h
Volumen de escorrentía	16,61Hm ³	Escorrentía	8,42%
Volumen Q _{base}	4,01Hm ³	Escorrentía directa	6,4%
Volumen Q _{máx}	12,6Hm ³	Escorrentía indirecta	2,02%
Q _{máx}	694,72m ³ /s	Umbral precipitación	56,6mm

Tabla IV.2 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio 22 al 26 de Octubre del 2000; Cuenca del Bergantes.

Debido a que el pluviómetro de Morella (P050) registra mucha más precipitación, excepcionalmente, calculamos la lluvia media para toda la subcuenca con la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = (\text{Precip. A031}(mm) + \text{Precip. P050}(mm) + \text{Precip. P049}(mm)) \cdot \frac{350}{1050}$$

Además, el volumen de precipitación utilizado para el análisis de este sub-episodio es el que se registra en los pluviómetros hasta aproximadamente el momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo, exactamente hasta el día 23 a las 8:30h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio independientemente transcurre desde el 24 hasta el 26 de Octubre del 2000. A la hora de hacer los cálculos y analizar el sub-episodio por separado hemos prolongado virtualmente cómo sería el hidrograma de bajada de caudal hasta alcanzar el flujo base como si sólo fuese un episodio y se ha tenido en cuenta lo que sabemos del sub-episodio anterior a la hora de establecer unas condiciones iniciales de partida.

Los datos de partida para el análisis de este sub-episodio se muestran en la siguiente tabla, dónde podemos ver la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca y el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	189mm
	Iglesuela del Cid (P049)	89,4mm
	Morella (P050)	272,4mm
Volumen total	Zorita (A031)	42,7Hm ³

Tabla IV.3 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, segundo sub-episodio del episodio 22 al 26 de Octubre del 2000.

Una vez realizados los cálculos que se muestran en el capítulo 4 de la memoria, en la siguiente tabla figuran los resultados que nos ayudarán a caracterizar este sub-episodio:

Lluvia media	143,86mm	Duración Q _{máx}	23h
Volumen de Precipitación	151,06Hm ³	t _{Precipitación}	15,25h
Duración Episodio	59,5h	t _{picos}	2,5h
Volumen de escorrentía	36,66Hm ³	Escorrentía	24,28%
Volumen Q _{base}	4,14Hm ³	Escorrentía directa	21,54%
Volumen Q _{máx}	32,52Hm ³	Escorrentía indirecta	2,74%
Q _{máx}	1029,96m ³ /s	Umbral precipitación	3,08mm

Tabla IV.4 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio 22 al 26 de Octubre del 2000; Cuenca del Bergantes.

Como hemos dicho al principio, a la hora de establecer pautas de comportamiento o conclusiones sobre este sub-episodio hay que tener en cuenta que el terreno se encuentra muy húmedo ya que dos días antes se ha producido un episodio de crecida. Además, el volumen de precipitación usado para realizar el análisis de este sub-episodio es el que se registra desde el día 23 a las 8:30h hasta el día 24 a las 2:00h.

Análisis del tercer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que no se forma un pico de caudal bien definido pero si existe una variación del nivel de agua que se registra en Zorita, por lo que se ha creído interesante analizarlo independientemente, de esta manera tendría lugar entre el 24 y el 26 de Octubre del 2000.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	42,2mm
	Iglesuela del Cid (P049)	86mm
	Morella (P050)	179,4mm
Volumen total	Zorita (A031)	26,93Hm ³

Tabla IV.5 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, tercer sub-episodio del episodio 22 al 26 de Octubre del 2000.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub- episodio:

Lluvia media	86,74mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	
Volumen de Precipitación	91,08Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	30,25h
Duración Episodio	37,75h	t_{picos}	
Volumen de escorrentía	20,47Hm ³	Escorrentía	22,48%
Volumen Q_{base}		Escorrentía directa	
Volumen $Q_{\text{máx}}$		Escorrentía indirecta	
$Q_{\text{máx}}$		Umbral precipitación	0mm

Tabla IV.6 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio 22 al 26 de Octubre del 2000; Cuenca del Bergantes.

Al analizar los resultados de este sub-episodio se tiene en cuenta que las condiciones iniciales de terreno son muy húmedas y que al no formarse un pico bien definido no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen $Q_{\text{máx}}$ y por consiguiente tampoco se distingue entre escorrentía directa y escorrentía indirecta.

IV.III.II Episodio del 8 al 9 de Julio del 2001

Según los datos recogidos, la siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Zorita entre el 8 y el 9 de Julio del 2001:

Precipitación	Zorita (A031)	3,4mm
	Iglesuela del Cid (P049)	3,2mm
	Morella (P050)	54mm
Volumen total	Zorita (A031)	1,033Hm ³

Tabla IV.7 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, episodio del 8 al 9 de Julio del 2001.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

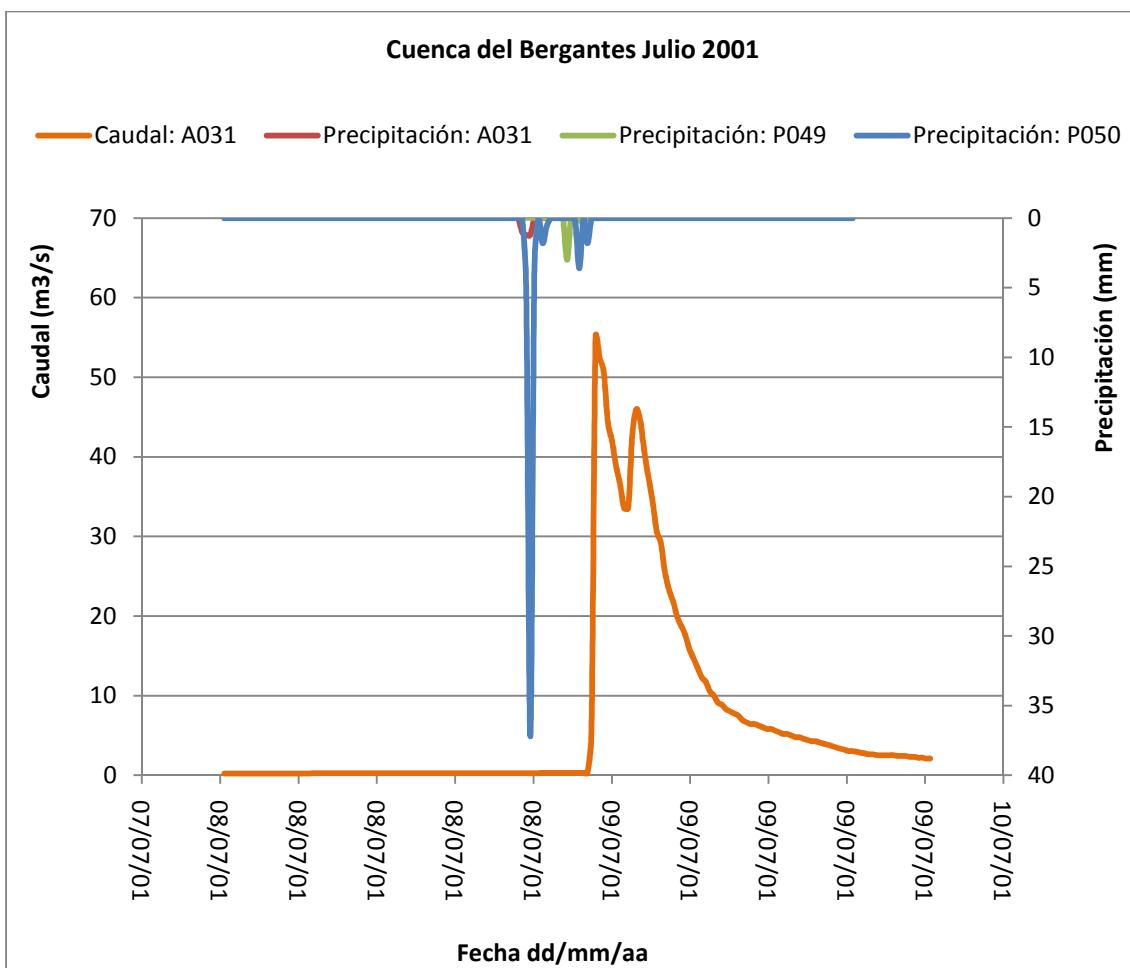


Figura IV.5 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 8 al 9 de Julio del 2001.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

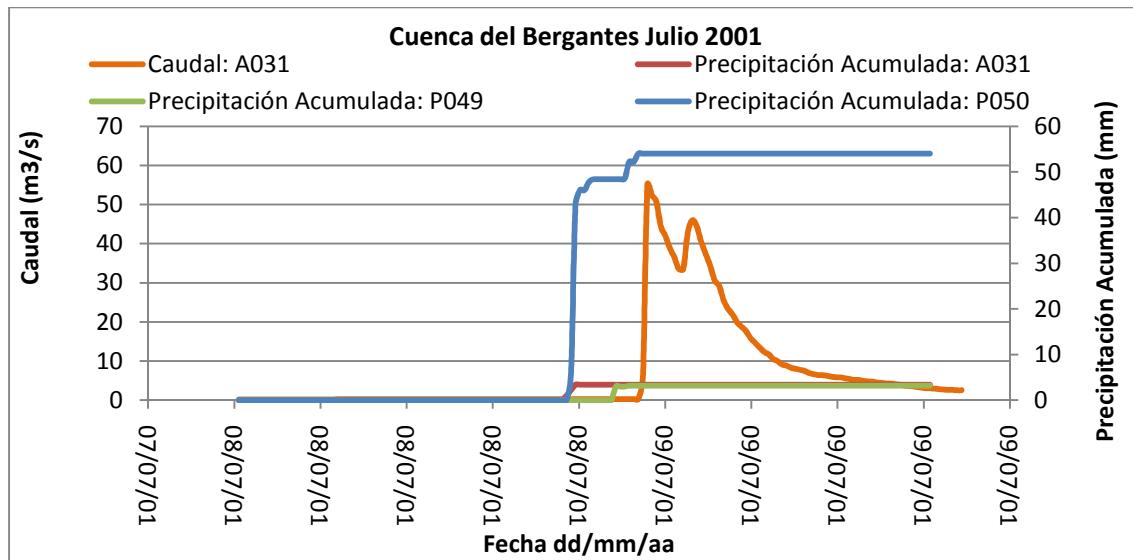


Figura IV.6 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 8 al 9 de Julio del 2001.

A partir de los datos de partida (Tabla IV.7) y con ayuda de las dos últimas representaciones (figura IV.5 y figura IV.6) se realizan los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria. Los resultados de estos cálculos se recogen en la siguiente tabla.

Lluvia media	20,2mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	9,5h
Volumen de Precipitación	21,21Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	0,5h
Duración Episodio	21,25h	t_{picos}	4,25h
Volumen de escorrentía	1Hm ³	Escorrentía	4,76%
Volumen Q_{base}	0,14Hm ³	Escorrentía directa	4,07%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,86Hm ³	Escorrentía indirecta	0,69%
$Q_{\text{máx}}$	52,4m ³ /s	Umbral precipitación	2mm

Tabla IV.8 Resultados obtenidos en el episodio del 8 al 9 de Julio del 2001; Cuenca del Bergantes.

Debido a que el pluviómetro de Morella (P050) registra mucha más precipitación, excepcionalmente, el cálculo de la lluvia media en la subcuenca se realiza con la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = (Precip. A031 (mm) + Precip. P050 (mm) + Precip. P049 (mm)) \cdot \frac{350}{1050}$$

Al analizar los resultados se debe tener en cuenta que se trata de un episodio provocado por una precipitación intensa y que el umbral indicado de 2 mm (véase tabla IV.8) es la lluvia media calculada con la precipitación registrada por los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa, la cual se registra en el pluviómetro P050 y alcanza su máximo de intensidad con una precipitación de 37,2 mm en tan sólo 15 minutos.

IV.III.III Episodio del 10 al 18 de Abril del 2002

En este caso el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes debido a que aunque sólo se aprecia un pico bien delimitado antes de las precipitaciones que provocan el aumento brusco del caudal registrado en la estación de aforo se produjeron unas precipitaciones que provocaron una escorrentía prácticamente inexistente y se ha considerado interesante estudiarlo de manera independiente (véase figuras IV.7 y IV.8).

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 10 hasta el 18 de Abril del 2002.

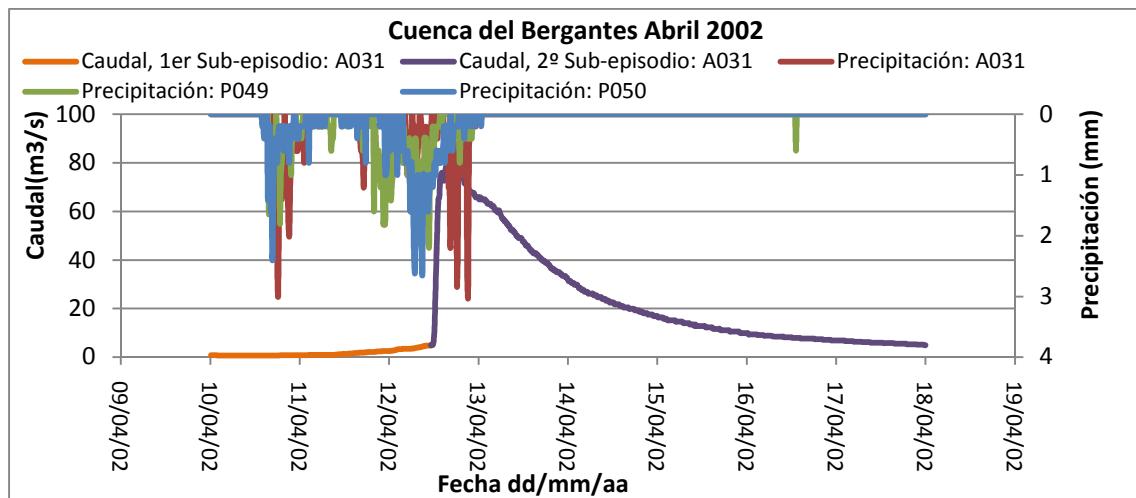


Figura IV.7 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 10 al 18 de Abril del 2002.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

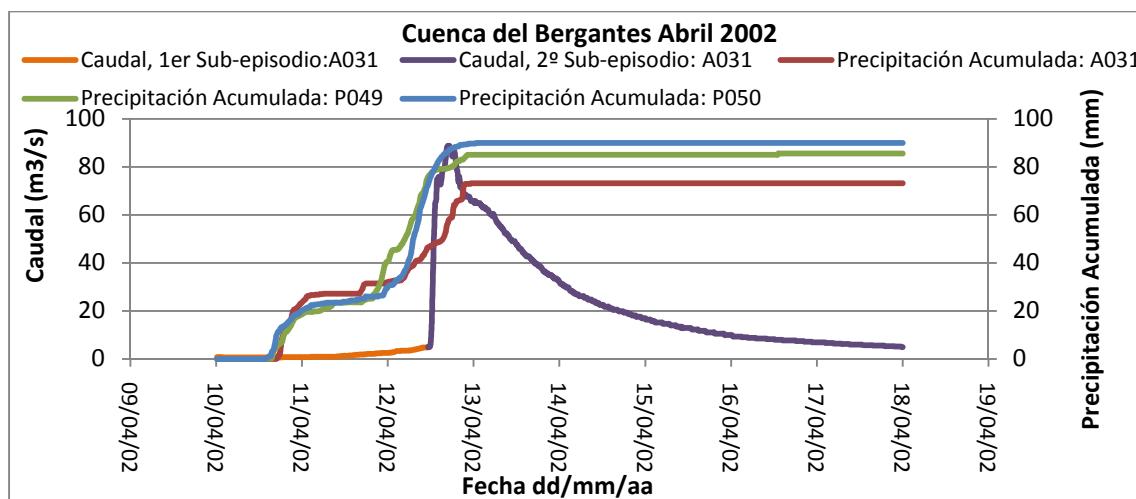


Figura IV.8 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 10 al 18 de Abril del 2002.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Zorita y que se produjo entre el 10 y el 12 de Abril del 2002.

Los datos de partida para el análisis de este sub-episodio se recogen en la siguiente tabla donde se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio.

Precipitación	Zorita (A031)	27,2mm
	Iglesuela del Cid (P049)	23,6mm
	Morella (P050)	24,8mm
Volumen total	Zorita (A031)	0,2Hm ³

Tabla IV.9 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, primer sub-episodio del episodio del 10 al 18 de Abril del 2002.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	24,77mm	Duración Q _{máx}	
Volumen de Precipitación	26,04Hm ³	t _{Precipitación}	12,25h
Duración Episodio	39,5h	t _{picos}	
Volumen de escorrentía	0,12Hm ³	Escorrentía	0,46%
Volumen Q _{base}		Escorrentía directa	
Volumen Q _{máx}		Escorrentía indirecta	
Q _{máx}		Umbral precipitación	25,74mm

Tabla IV.10 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 10 al 18 de Abril del 2002; Cuenca del Bergantes.

No se forma un pico bien definido por lo que no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen Q_{máx} y por consiguiente tampoco se distingue entre escorrentía directa y escorrentía indirecta. Por otra parte, a la hora de realizar los cálculos, la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 11 de Abril a las 16:00h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio independientemente del episodio anterior transcurre del 12 al 18 de Abril del 2002.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	46mm
	Iglesuela del Cid (P049)	61,4mm
	Morella (P050)	65mm
Volumen total	Zorita (A031)	11,63Hm ³

Tabla IV.11 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, segundo sub-episodio del episodio del 10 al 18 de Abril del 2002.

Los resultados de los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria se recogen en la siguiente tabla:

Lluvia media	57,46mm	Duración Q _{máx}	45,5h
Volumen de Precipitación	60,33Hm ³	t _{Precipitación}	7h
Duración Episodio	132h	t _{picos}	7h
Volumen de escorrentía	8,34Hm ³	Escorrentía	13,8%
Volumen Q _{base}	1,21Hm ³	Escorrentía directa	11,8%
Volumen Q _{máx}	7,13Hm ³	Escorrentía indirecta	2%
Q _{máx}	88,85m ³ /s	Umbral precipitación	10,3mm

Tabla IV.12 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 10 al 18 de Abril del 2002; Cuenca del Bergantes.

A la hora del análisis de los resultados de este sub-episodio se debe tener en cuenta que el estado antecedente de humedad es muy elevado.

IV.III.IV Episodio del 7 al 15 Mayo de 2002

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Zorita durante este episodio, es decir los datos de partida para el análisis de este episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	191,4mm
	Iglesuela del Cid (P049)	82mm
	Morella (P050)	143,2mm
Volumen total	Zorita (A031)	26,02Hm ³

Tabla IV.13 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, episodio del 7 al 15 de Mayo del 2002.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas entre el 7 y el 15 de Mayo del 2002.

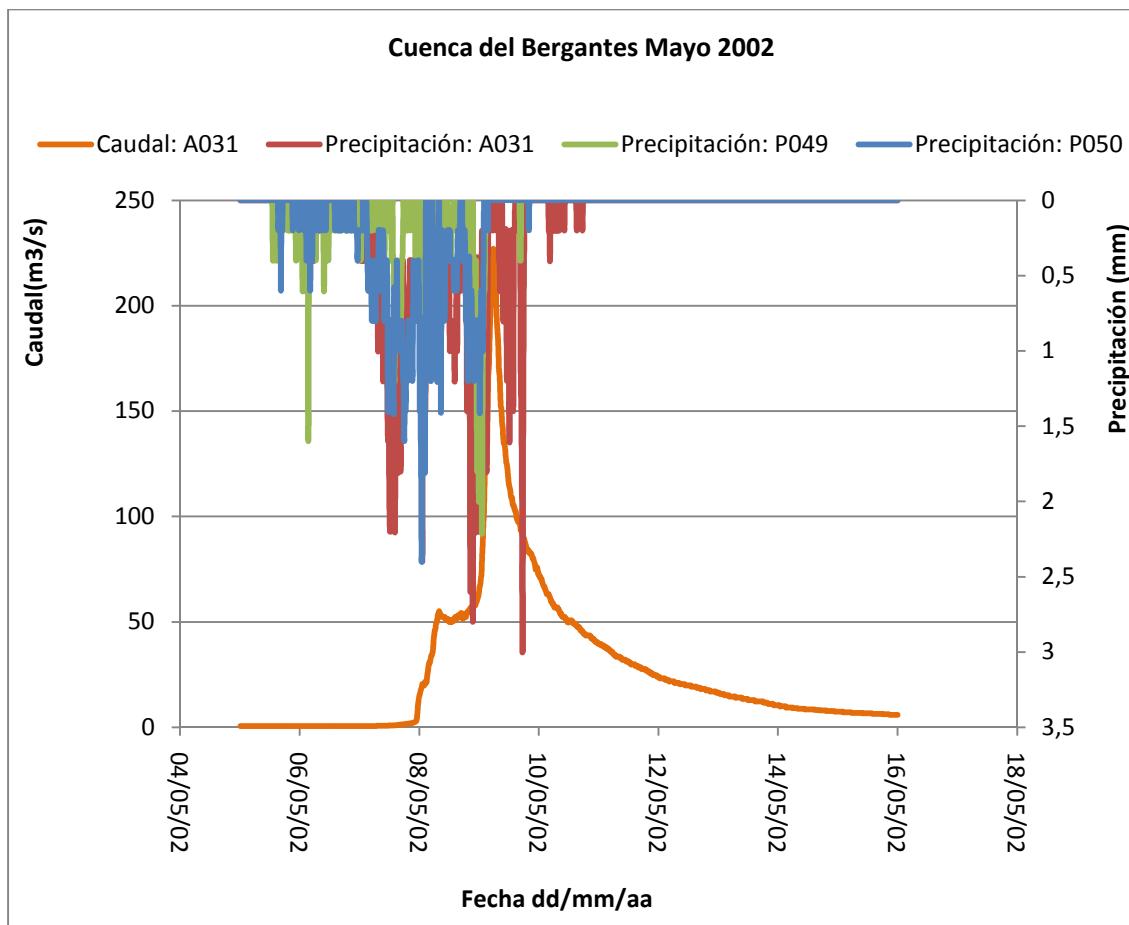


Figura IV.9 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 7 al 15 de Mayo del 2002.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

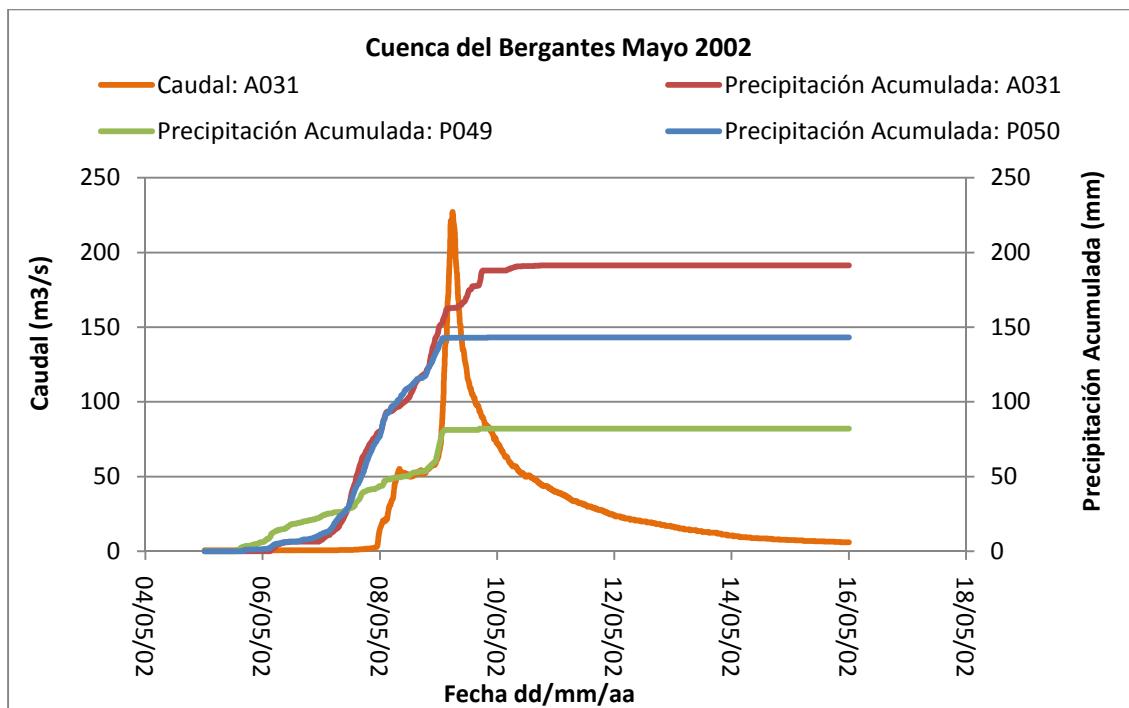


Figura IV.10 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 7 al 15 de Mayo del 2002.

Los resultados que nos ayudarán a caracterizar este episodio se recogen en la siguiente tabla:

Lluvia media	121,88mm	Duración Q _{máx}	91h
Volumen de Precipitación	127,97Hm ³	t _{Precipitación}	105h
Duración Episodio	205h	t _{picos}	6,5h
Volumen de escorrentía	25,28Hm ³	Escorrentía	19,75%
Volumen Q _{base}	5,35Hm ³	Escorrentía directa	15,57%
Volumen Q _{máx}	19,93Hm ³	Escorrentía indirecta	4,18%
Q _{máx}	227m ³ /s	Umbral precipitación	29,4mm

Tabla IV.14 Resultados obtenidos en el episodio del 7 al 15 de Mayo del 2002; Cuenca del Bergantes.

IV.III.V Episodio del 6 al 11 Mayo de 2003

Los datos de partida se recogen en la siguiente tabla, que muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Zorita durante este episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	129,2mm
	Iglesuela del Cid (P049)	101,8mm
	Morella (P050)	124,2mm
Volumen total	Zorita (A031)	26,1Hm ³

Tabla IV.15 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, episodio del 6 al 11 de Mayo del 2003.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

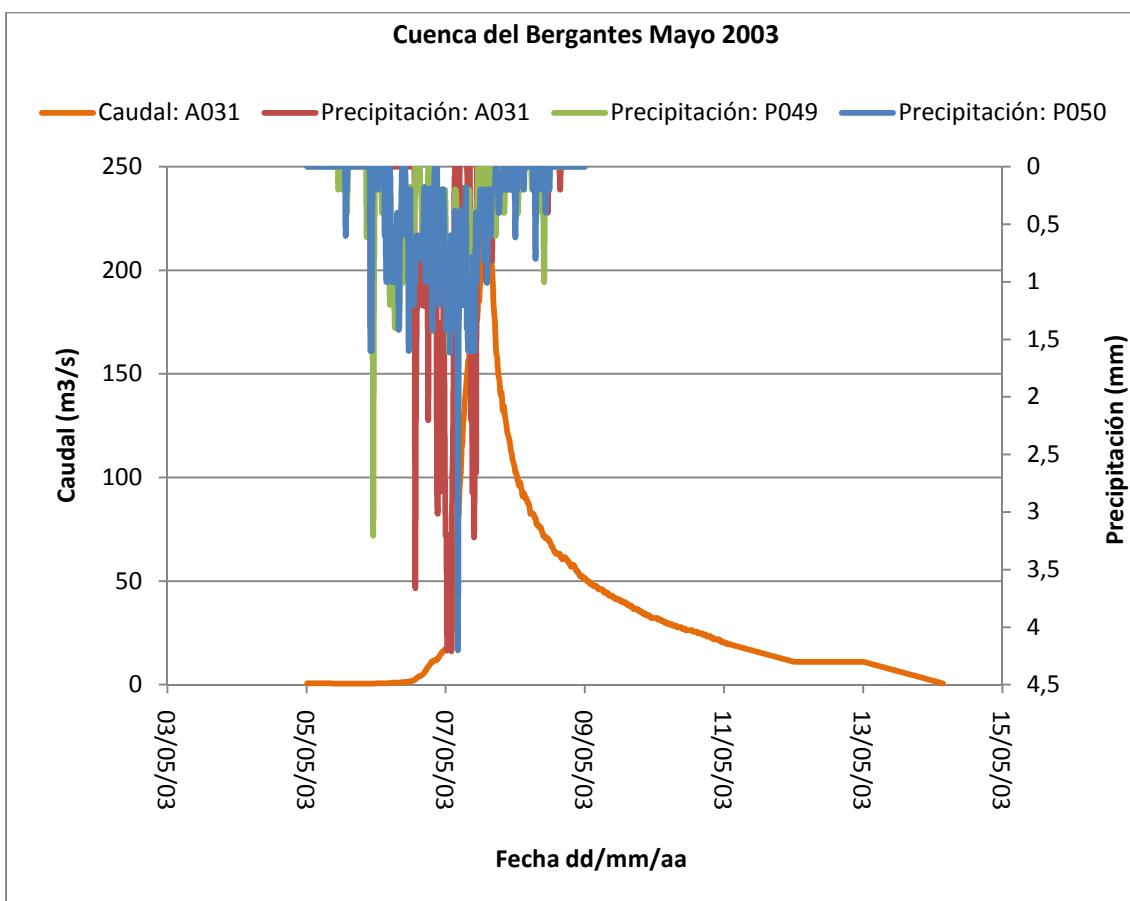


Figura IV.11 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 6 al 11 de Mayo del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

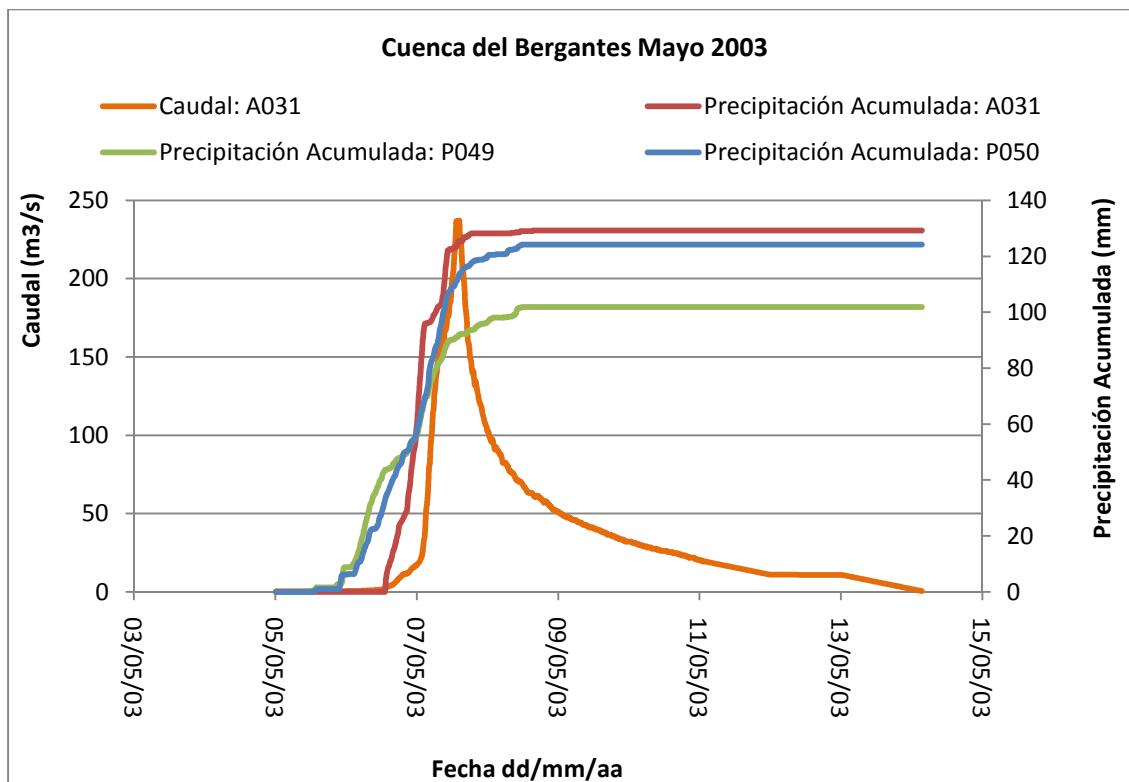


Figura IV.12 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 6 al 11 de Mayo del 2003.

Los resultados de los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria se recogen en la siguiente tabla:

Lluvia media	112,72mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	86,75h
Volumen de Precipitación	118,35Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	45,5h
Duración Episodio	166,25h	t_{picos}	8h
Volumen de escorrentía	25,64Hm ³	Escorrentía	21,65%
Volumen Q_{base}	4,45Hm ³	Escorrentía directa	17,9%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	21,19Hm ³	Escorrentía indirecta	3,75%
$Q_{\text{máx}}$	236,8m ³ /s	Umbral precipitación	25,3mm

Tabla IV.16 Resultados obtenidos en el episodio del 6 al 11 de Mayo del 2003; Cuenca del Bergantes.

IV.III.VI Episodio del 5 al 7 de Julio de 2003

En este caso, a la vista de las gráficas donde se muestra el evento del episodio (figura IV.13 y IV.14), se ha dividido en dos el episodio de avenida y se han analizado los datos como dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 4 hasta el 7 de Julio del 2003:

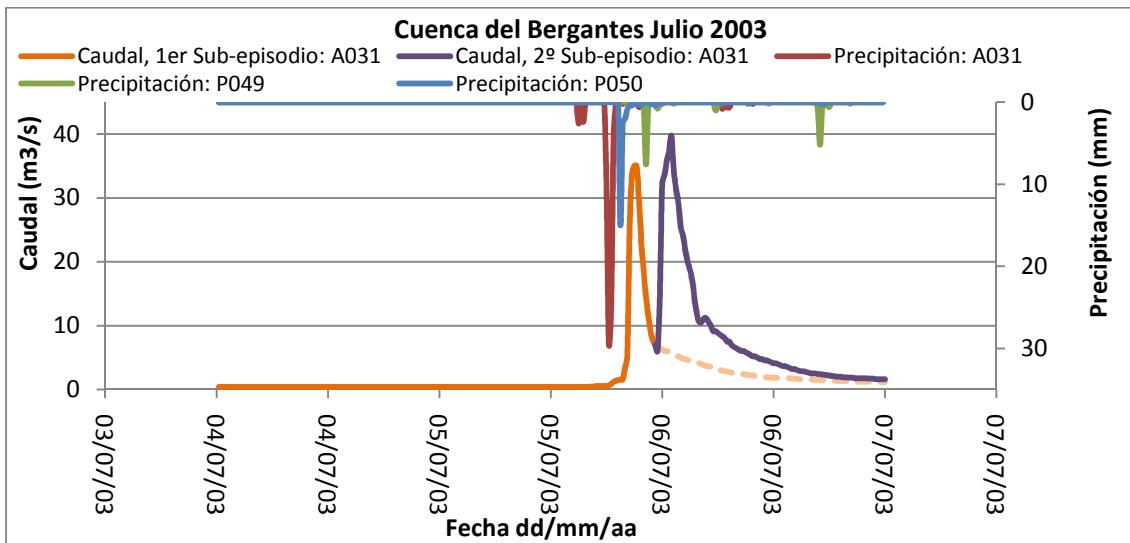


Figura IV.13 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 5 al 7 de Julio del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros de la cuenca en el episodio completo:

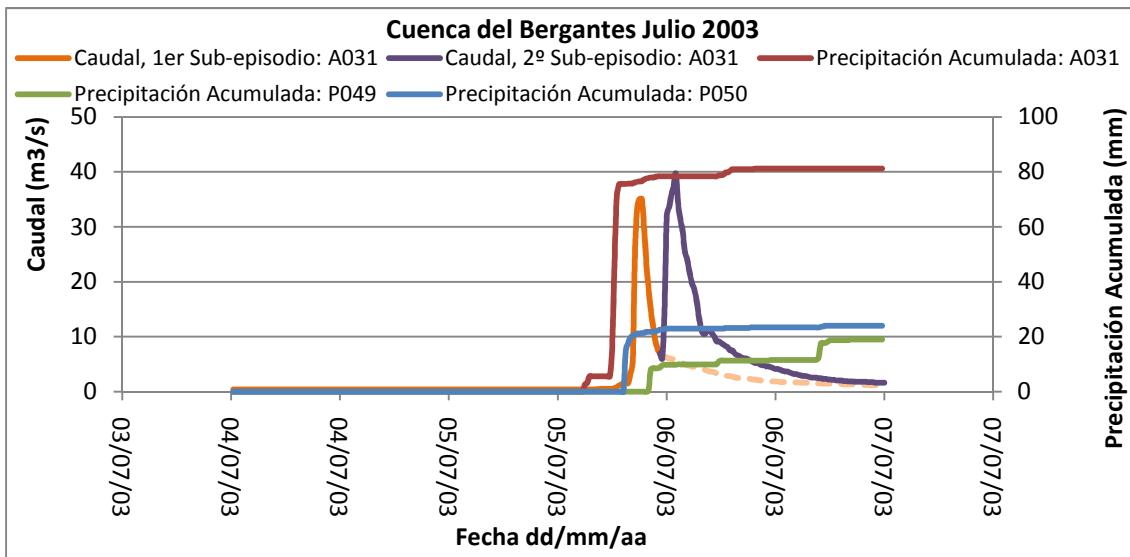


Figura IV.14 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 5 al 7 de Julio del 2003.

Análisis del primer sub-episodio:

Analizado aisladamente, este sub-episodio tiene lugar entre el 5 y el 7 de Julio del 2003. Al analizarlo como independiente hemos supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua (véase figura IV.13 y figura VI.14), para poder realizar los cálculos. Con los datos que tenemos hemos realizado los cálculos correspondientes a este análisis siguiendo los pasos del capítulo 4 de la memoria.

En la siguiente tabla partimos como datos de entrada de la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	75,6mm
	Iglesuela del Cid (P049)	0mm
	Morella (P050)	0mm
Volumen total	Zorita (A031)	0,47Hm ³

Tabla IV.17 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, primer sub-episodio del episodio del 5 al 7 de Julio del 2003.

Al igual que en otros casos se procede a realizar los cálculos que nos ayudarán a caracterizar este sub-episodio. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	25,5mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	3,75h
Volumen de Precipitación	26,8Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	1h
Duración Episodio	29h	t_{picos}	2,75h
Volumen de escorrentía	0,32Hm ³	Escorrentía	1,2%
Volumen Q_{base}	0,1Hm ³	Escorrentía directa	0,82%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,22Hm ³	Escorrentía indirecta	0,38%
$Q_{\text{máx}}$	35,02m ³ /s	Umbral precipitación	9,24mm

Tabla IV.18 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 5 al 7 de Julio del 2003; Cuenca del Bergantes.

La escorrentía que produce el aumento del caudal registrado en Zorita es producida por una lluvia de alta intensidad y el umbral indicado en la tabla IV.18 (9,24 mm) es la lluvia media calculada con la precipitación registrada por los pluviómetros situados en la subcuenca antes de producirse la precipitación intensa, la cual se registra en el pluviómetro A031 y su máxima intensidad corresponde a un registro de 69,8 mm en 1 hora.

Por otro lado, la cantidad de precipitación registrada a partir del día 5 a las 19:15h es usada para el análisis del segundo sub-episodio.

Análisis del segundo sub-episodio:

Aisladamente este sub-episodio transcurriría del 5 al 7 de Julio de 2003.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	5,4mm
	Iglesuela del Cid (P049)	11,4mm
	Morella (P050)	23,2mm
Volumen total	Zorita (A031)	0,72Hm ³

Tabla IV.19 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, segundo sub-episodio del episodio del 5 al 7 de Julio del 2003.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub- episodio:

Lluvia media	11,36mm	Duración Q _{máx}	8,5h
Volumen de Precipitación	11,96Hm ³	t _{Precipitación}	3,75h
Duración Episodio	24,75h	t _{picos}	5,5h
Volumen de escorrentía	0,48Hm ³	Escorrentía	4,08%
Volumen Q _{base}	0,09Hm ³	Escorrentía directa	3,32%
Volumen Q _{máx}	0,39Hm ³	Escorrentía indirecta	0,76%
Q _{máx}	39,7m ³ /s	Umbrales precipitación	3,2mm

Tabla IV.20 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 5 al 7 de Julio del 2003; Cuenca del Bergantes.

A la hora del análisis de los resultados de este sub-episodio se debe tener en cuenta que las condiciones iniciales del terreno son húmedas y por otro lado que el sub-episodio es provocado por una precipitación intensa que se registra en el pluviómetro situado en Morella (P050) y en el que se llegan a registrar 15mm de lluvia en tan sólo 15 minutos, por lo que el umbral indicado en la tabla IV.20 es la lluvia media calculada con la precipitación que se registra en los pluviómetros hasta que se produce la lluvia intensa, pero no es tenido en cuenta a la hora establecer unas pautas de comportamiento en la relación precipitación-escorrentía.

IV.III.VII Episodio del 29 de Marzo al 5 de Abril del 2004

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Zorita durante este episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	112,8mm
	Iglesuela del Cid (P049)	36,8mm
	Morella (P050)	108,6mm
Volumen total	Zorita (A031)	11,25Hm ³

Tabla IV.21 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, episodio del 29 de Marzo al 5 de Abril del 2004.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

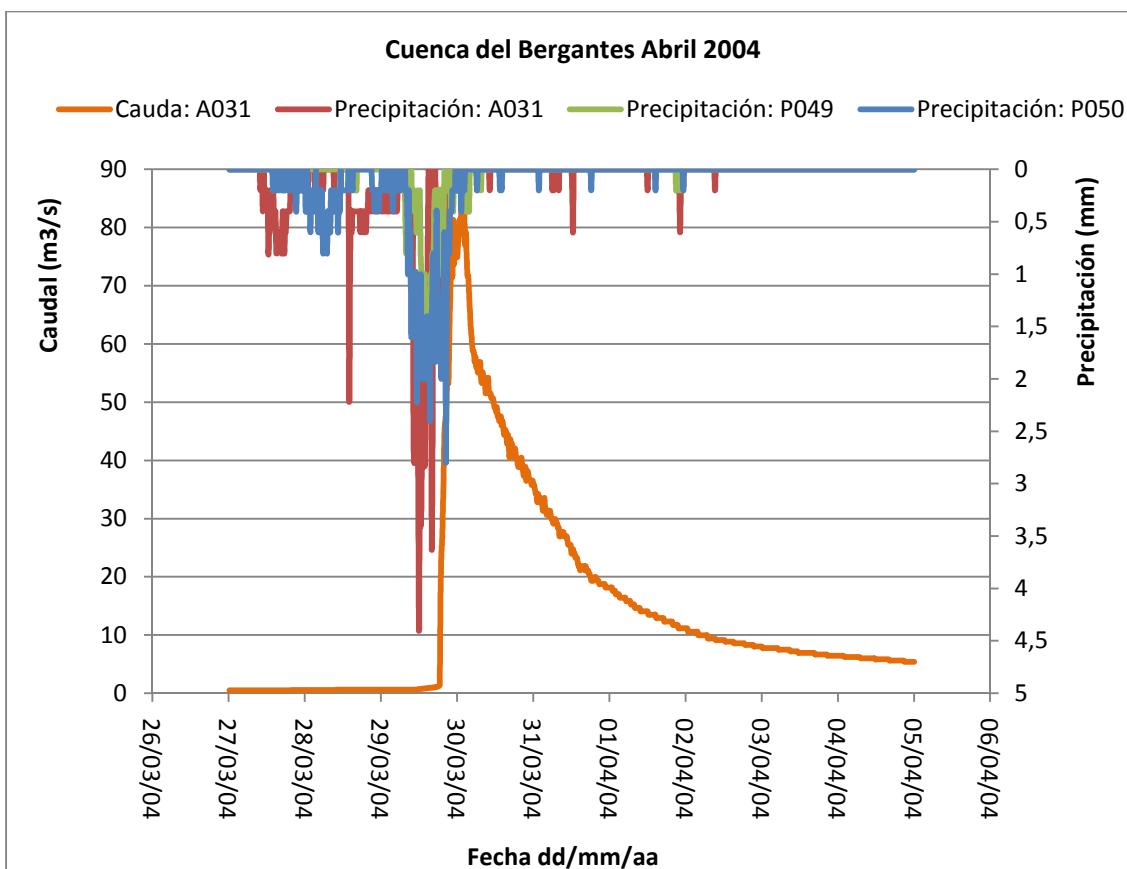


Figura IV.15 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 29 de Marzo al 5 de Abril del 2004.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

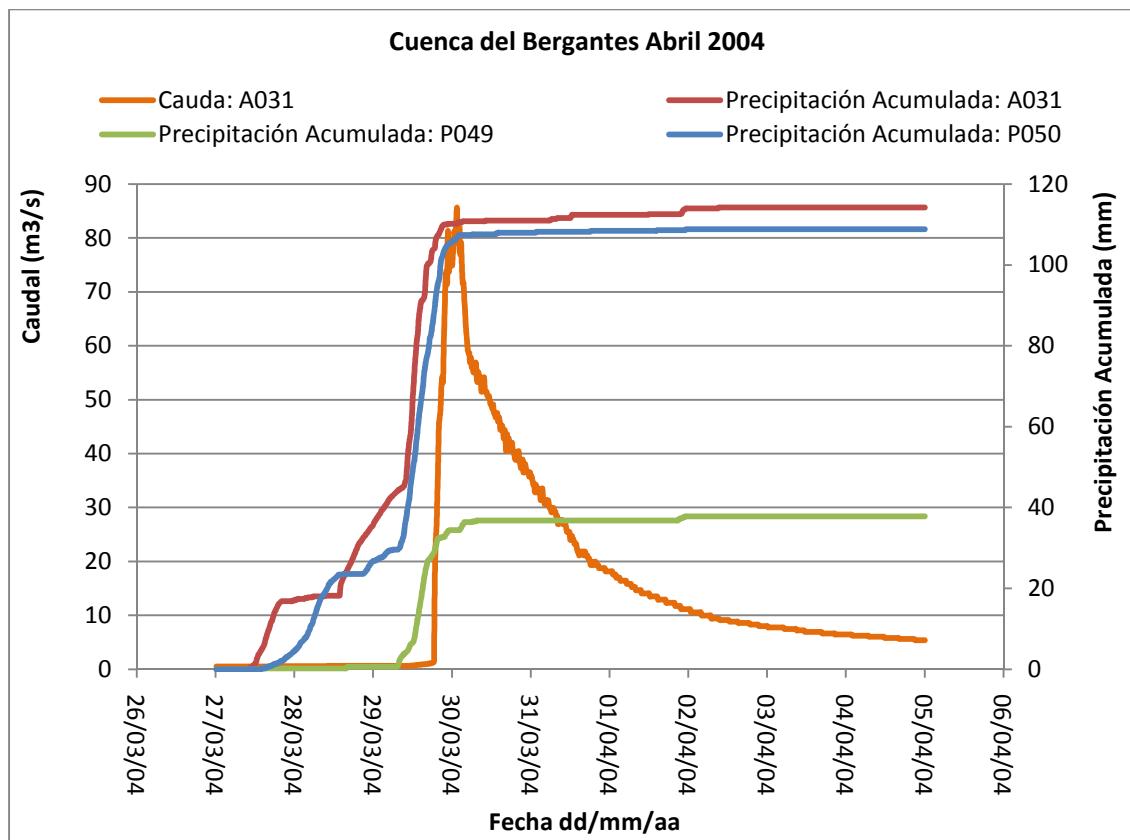


Figura IV.16 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 29 de Marzo al 5 de Abril del 2004.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	68,7mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	56h
Volumen de Precipitación	72,14Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	57h
Duración Episodio	161,75h	t_{picos}	5,25h
Volumen de escorrentía	10,84Hm ³	Escorrentía	15,03%
Volumen Q_{base}	3,54Hm ³	Escorrentía directa	10,13%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	7,3Hm ³	Escorrentía indirecta	4,9%
$Q_{\text{máx}}$	85,63m ³ /s	Umbral precipitación	28,5mm

Tabla IV.22 Resultados obtenidos en el episodio del 29 de Marzo al 5 de Abril del 2004; Cuenca del Bergantes.

IV.III.VIII Episodio del 9 al 18 de Noviembre del 2005

En este caso, el episodio de avenida se analiza en tres sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 9 hasta el 18 de Noviembre del 2005.

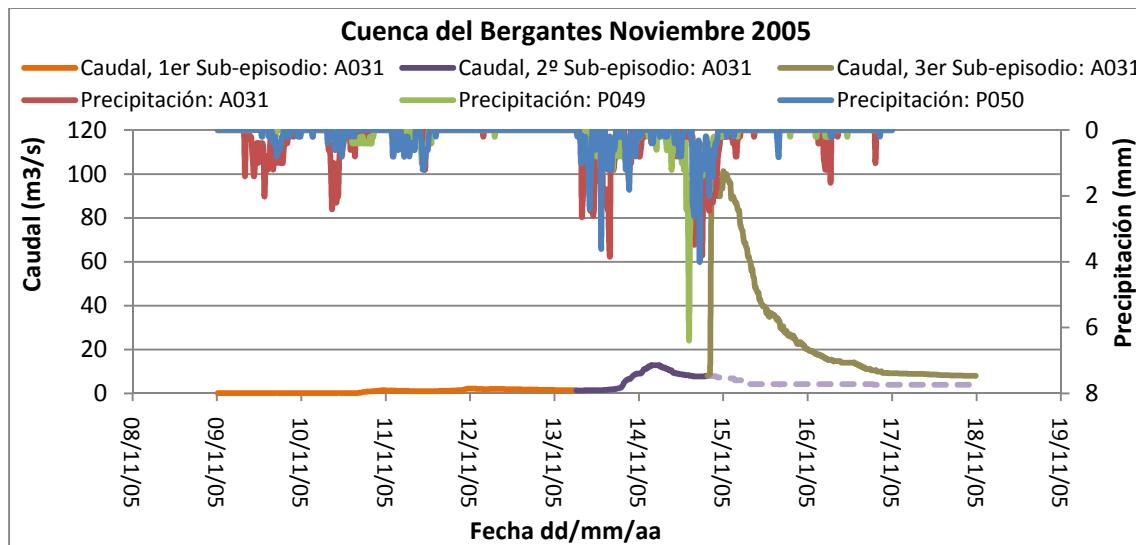


Figura IV.17 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 9 al 18 de Noviembre del 2005.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

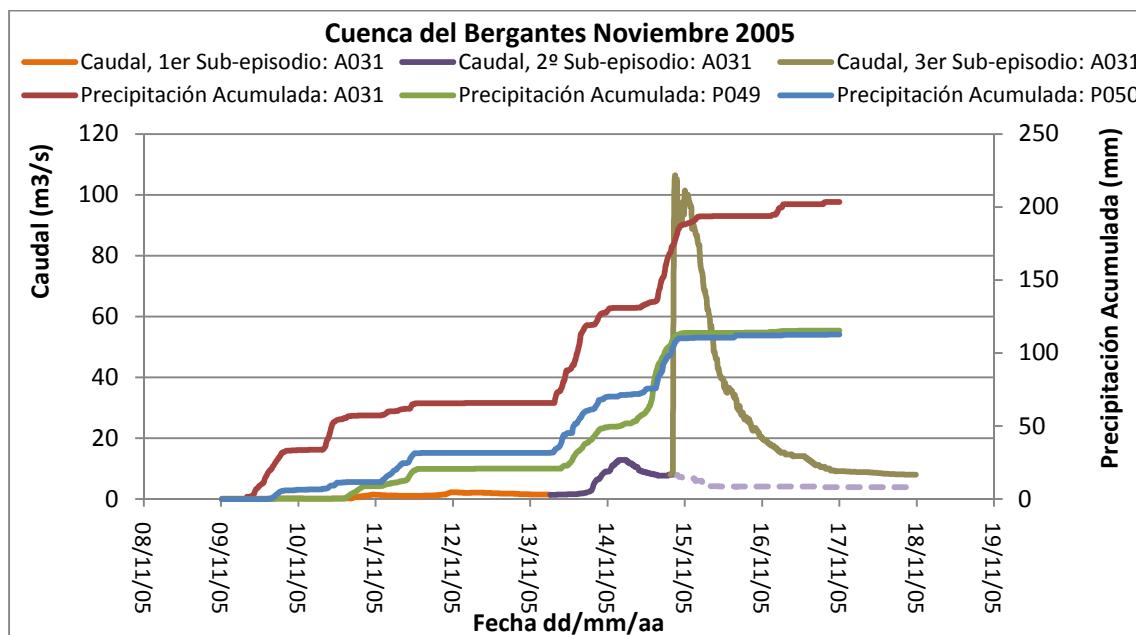


Figura IV.18 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 9 al 18 de Noviembre del 2005.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Zorita y que se produjo entre el 9 y el 13 de Noviembre del 2005.

Los datos de partida para el análisis de este sub-episodio, es decir, la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio, se muestran en la siguiente tabla:

Precipitación	Zorita (A031)	65,8mm
	Iglesuela del Cid (P049)	21mm
	Morella (P050)	31,8mm
Volumen total	Zorita (A031)	0,37Hm ³

Tabla IV.23 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, primer sub-episodio del episodio del 9 al 18 de Noviembre del 2005.

Una vez realizados los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria, los resultados obtenidos para este sub-episodio se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	35,31mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	
Volumen de Precipitación	37,07Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	41,75h
Duración Episodio	102h	t_{picos}	
Volumen de escorrentía	0,3Hm ³	Escorrentía	0,8%
Volumen Q_{base}		Escorrentía directa	
Volumen $Q_{\text{máx}}$		Escorrentía indirecta	
$Q_{\text{máx}}$		Umbral precipitación	32,6mm

Tabla IV.24 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 9 al 18 de Noviembre del 2005; Cuenca del Bergantes.

Al no formarse un pico bien definido no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen $Q_{\text{máx}}$ y por consiguiente tampoco se distingue entre escorrentía directa y escorrentía indirecta. Por otra parte, a la hora de realizar los cálculos, la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 13 de Noviembre a las 6:15h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Aisladamente este sub-episodio transcurriría del 13 al 15 de Noviembre del 2005. Se ha prolongado virtualmente como sería la rama de bajada del hidrograma del caudal hasta alcanzar el flujo base que se tenía al principio del sub-episodio (Véase figura IV.17 y figura IV.18, línea discontinua).

Una vez aislado este sub-episodio, en la siguiente tabla se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	61,8mm
	Iglesuela del Cid (P049)	28,2mm
	Morella (P050)	0mm
Volumen total	Zorita (A031)	1,12Hm ³

Tabla IV.25 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, segundo sub-episodio del episodio del 9 al 18 de Noviembre del 2005.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este sub-episodio:

Lluvia media	33,7mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	31,75h
Volumen de Precipitación	35,43Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	16h
Duración Episodio	45,75h	t_{picos}	6,5h
Volumen de escorrentía	0,89Hm ³	Escorrentía	2,51%
Volumen Q_{base}	0,3Hm ³	Escorrentía directa	1,65%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,59Hm ³	Escorrentía indirecta	0,86%
$Q_{\text{máx}}$	12,91m ³ /s	Umbral precipitación	4,9mm

Tabla IV.26 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 9 al 18 de Noviembre del 2005; Cuenca del Bergantes.

Al igual que en otros casos el estado antecedente de humedad del suelo es muy elevado.

Las precipitaciones registradas a partir del día 5 de Noviembre a las 19:15h no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos que caracterizan este sub-episodio. Se toma que a partir de este instante las precipitaciones provocarán el tercer sub-episodio.

Análisis del tercer sub-episodio:

Al analizar aisladamente este sub-episodio se produciría entre el 14 y el 18 de Noviembre del 2005.

En cuanto a los datos iniciales partimos de la siguiente tabla, que nos muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	74,4mm
	Iglesuela del Cid (P049)	66mm
	Morella (P050)	41,2mm
Volumen total	Zorita (A031)	7,43Hm ³

Tabla IV.27 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, tercer sub-episodio del episodio del 9 al 18 de Noviembre del 2005.

Una vez realizados los cálculos, estos se presentan en la siguiente tabla:

Lluvia media	64,8mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	25h
Volumen de Precipitación	68,04Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	14,75h
Duración Episodio	76h	t_{picos}	6,75h
Volumen de escorrentía	6,2Hm ³	Escorrentía	9,1%
Volumen Q_{base}	1,43Hm ³	Escorrentía directa	7%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	4,77Hm ³	Escorrentía indirecta	2,1%
$Q_{\text{máx}}$	106,36m ³ /s	Umbral precipitación	9,9mm

Tabla IV.28 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio del 9 al 18 de Noviembre del 2005; Cuenca del Bergantes.

A la hora del análisis de los resultados se debe tener en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno muy húmedo.

IV.III.IX Episodio del 28 de Abril al 9 de Mayo del 2007

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Zorita durante este episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	40,2mm
	Iglesuela del Cid (P049)	62mm
	Morella (P050)	97,6mm
Volumen total	Zorita (A031)	9,65Hm ³

Tabla IV.29 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, episodio del 28 de Abril al 9 de Mayo del 2007.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

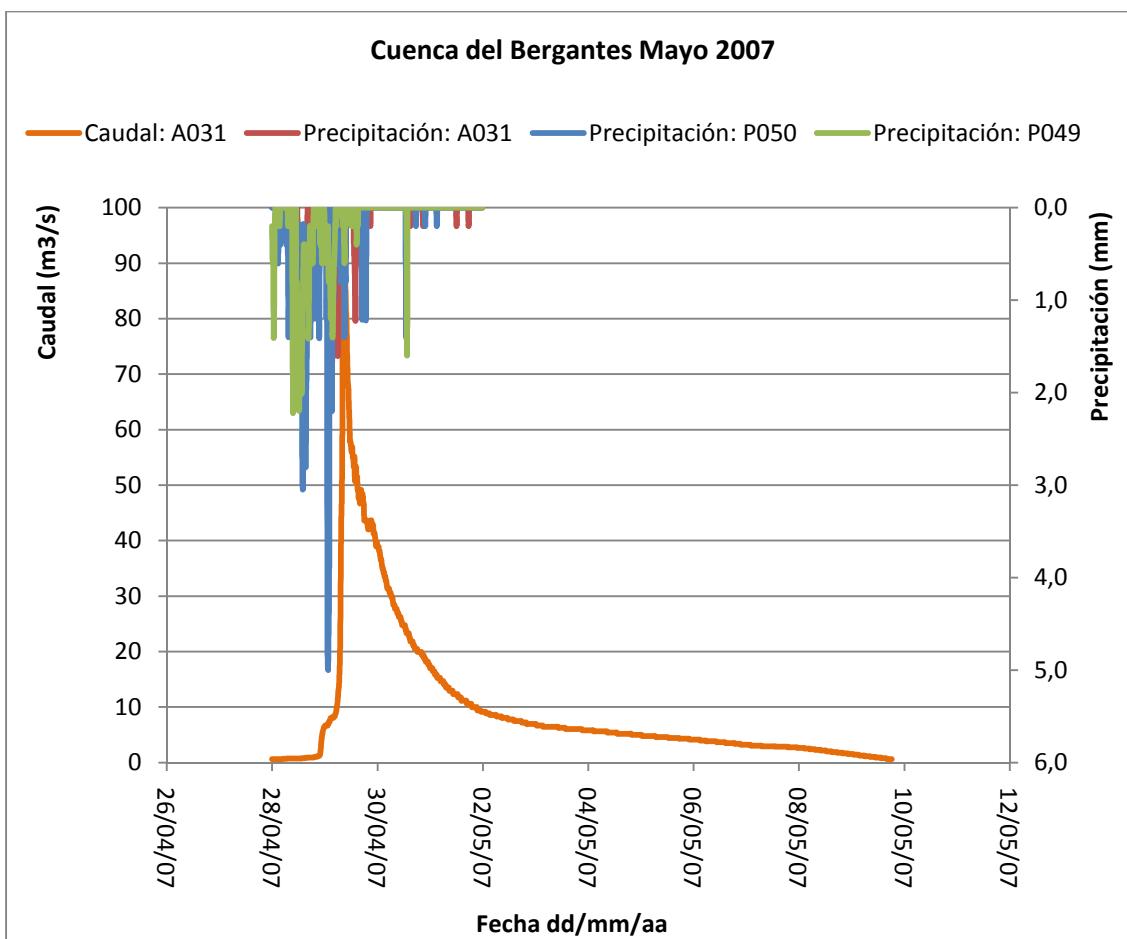


Figura IV.19 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 28 de Abril al 9 de Mayo del 2007.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

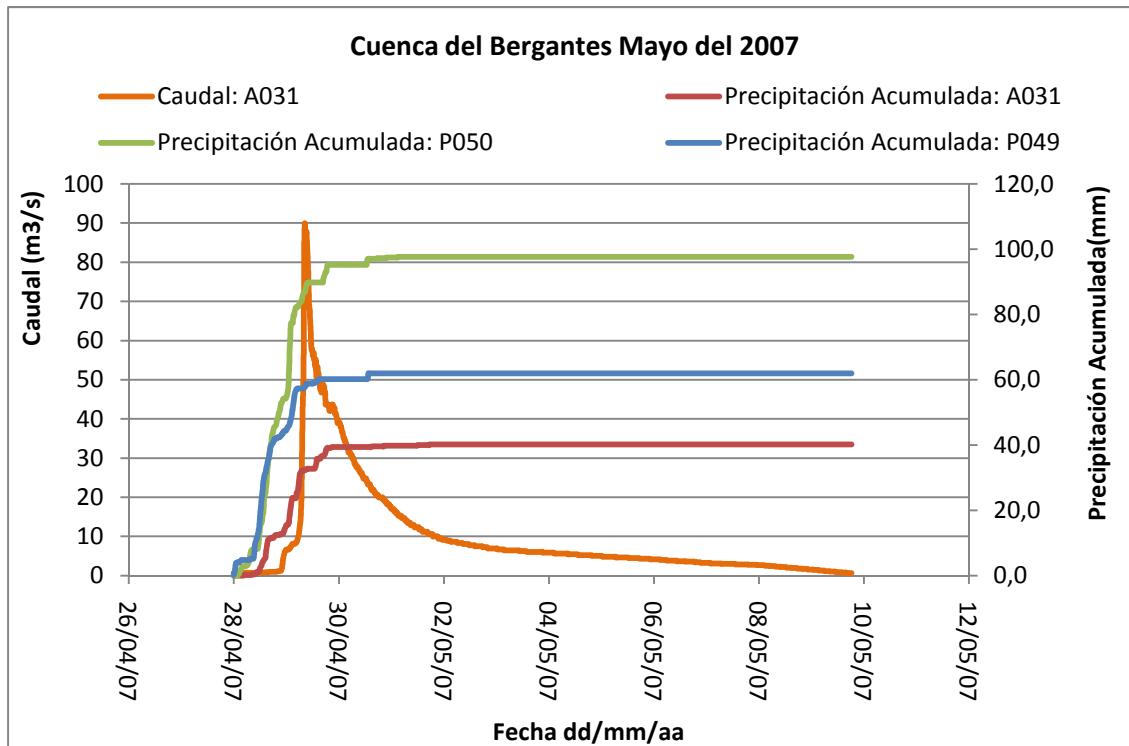


Figura IV.20 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 28 de Abril al 9 de Mayo del 2007.

Al igual que en los otros casos, los resultados obtenidos de los cálculos para este sub- episodio son:

Lluvia media	60,8mm	Duración Q _{máx}	76h
Volumen de Precipitación	63,84Hm ³	t _{Precipitación}	36,75h
Duración Episodio	252,5h	t _{picos}	13,75h
Volumen de escorrentía	8,74Hm ³	Escorrentía	13,7%
Volumen Q _{base}	2,22Hm ³	Escorrentía directa	10,2%
Volumen Q _{máx}	6,52Hm ³	Escorrentía indirecta	3,5%
Q _{máx}	89,93m ³ /s	Umbral precipitación	30,3mm

Tabla IV.30 Resultados obtenidos en el episodio del 28 de Abril al 9 de Mayo del 2007; Cuenca del Bergantes.

IV.III.X Episodio del 21 al 31 de Diciembre del 2007

Los datos de partida para el análisis de este episodio se muestran en la siguiente tabla en la que se indica la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Zorita durante este episodio:

Precipitación	Zorita (A031)	56,8mm
	Iglesuela del Cid (P049)	112,8mm
	Morella (P050)	172,4mm
Volumen total	Zorita (A031)	5,3Hm ³

Tabla IV.31 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Bergantes, episodio del 21 al 31 de Diciembre del 2007.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

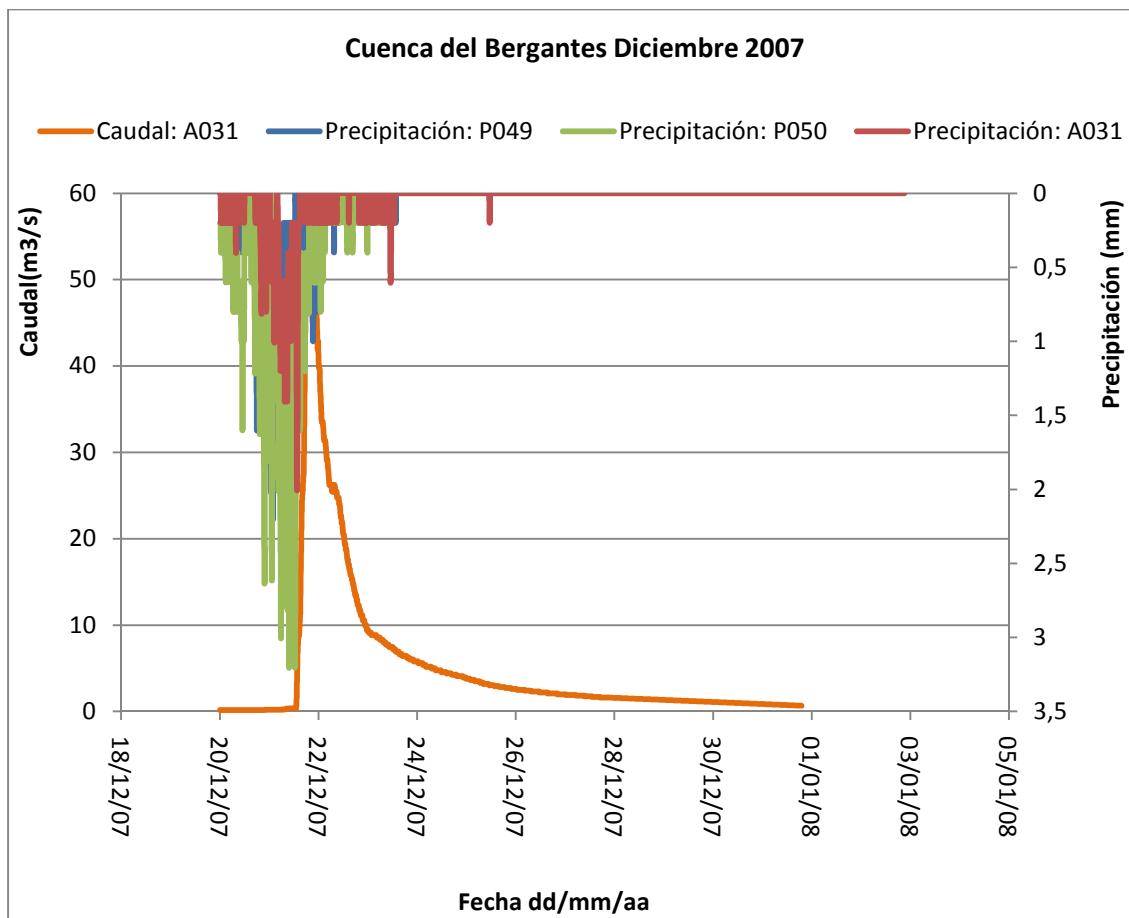


Figura IV.21 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 21 al 31 de Diciembre del 2007.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

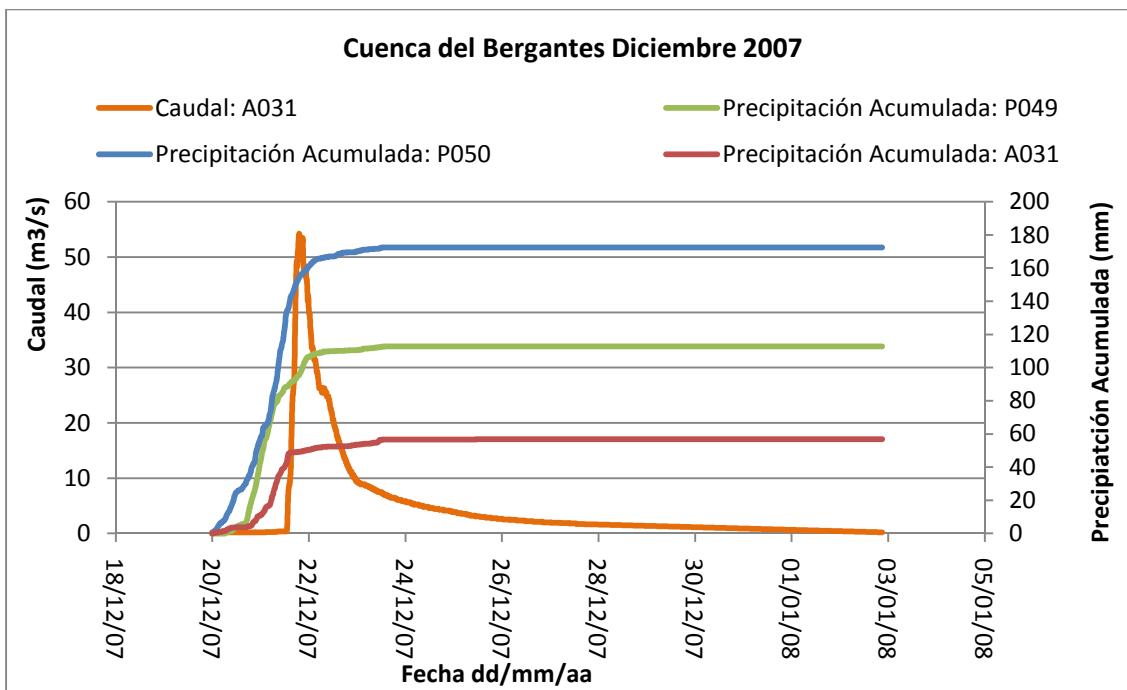


Figura IV.22 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Bergantes, episodio del 21 al 31 de Diciembre del 2007.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	105,21mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	67,75h
Volumen de Precipitación	110,47Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	33,75h
Duración Episodio	256,25h	t_{picos}	8,5h
Volumen de escorrentía	5,1Hm ³	Escorrentía	4,62%
Volumen Q_{base}	1,3Hm ³	Escorrentía directa	3,45%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	3,8Hm ³	Escorrentía indirecta	1,17%
$Q_{\text{máx}}$	51,5m ³ /s	Umbral precipitación	33,53mm

Tabla IV.32 Resultados obtenidos en el episodio del 21 al 31 de Diciembre del 2007; Cuenca del Bergantes.

IV.IV Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de los episodios se determinan unas pautas de comportamiento de la subcuenca del Bergantes con respecto a su respuesta hidrológica ante una precipitación.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos de los resultados obtenidos de los episodios analizados:

Episodio (fecha)	Qmáx (m ³ /s)	Duración Qmáx (h)	Vol. Qmáx (Hm ³)	Vol. Base (Hm ³)	Vol.	Escorrentía A031 (Hm ³)	T Precip. (h)	A031(mm)	P049 (mm)	P050 (mm)	Vol. Precip. (Hm ³)	Escorrentía (%)	T entre picos (h)
22 al 26 Octubre 2000	694,72	19,75	12,6	4,01	16,61	20,25	129,5	108,6	324,2	196,91	8,42	4,75	
	1029,96	23	32,52	4,14	36,66	15,25	189	89,4	272,4	151,06	24,28	2,5	
					20,47	30,25	42,2	86	179,4	91,08	22,48		
8 al 9 Julio 2001	52,4	9,5	0,86	0,14	1	0,5	3,4	3,2	54	21,21	4,76	4,25	
10 al 18 Abril 2002					0,12	12,25	27,2	23,6	24,8	26,01	0,46		
	88,85	45,5	7,13	1,21	8,34	7	46	61,4	65	60,33	13,8	7	
7 al 15 Mayo 2002	227	91	19,93	5,35	25,28	105	191,4	82	143,2	127,97	19,75	6,5	
6 al 11 Mayo 2003	236,8	86,75	21,19	4,45	25,64	45,5	129,2	101,8	124,2	118,35	21,65	8	
5 al 7 Julio 2003	33,02	3,75	0,22	0,1	0,32	1	75,6	0	0	26,8	1,2	2,75	
	39,7	8,5	0,39	0,09	0,48	3,75	5,4	11,4	23,2	11,93	4,08	5,5	
29 de Marzo al 5 de Abril 2004	85,63	56	7,30	3,54	10,84	57	112,8	36,8	108,6	72,14	15,03	5,25	
9 al 18 Noviembre 2005					0,3	41,75	65,8	21	31,8	37,07	0,8		
	12,91	31,75	0,59	0,3	0,89	16	61,8	28,2	0	35,43	2,51	6,5	
	106,36	25	4,77	1,43	6,2	14,75	74,4	66	41,2	68,04	9,1	6,75	
28 Abril al 9 Mayo 2007	89,93	76	6,52	2,22	8,74	36,75	40,2	62	97,6	63,84	13,7	13,75	
21 al 31 Diciembre 2007	51,5	67,75	3,8	1,3	5,1	33,75	56,8	112,8	172,4	110,4	4,62	8,5	

Tabla IV.33 Resumen de resultados de la cuenca del Bergantes.

Y las conclusiones son:

- En el caso de que se parta de unas condiciones iniciales de terreno seco (esto es, que no se hayan registrado precipitaciones importantes en los días previos), en los episodios analizados se observa que aproximadamente los primeros 30 mm de lluvia son absorbidos por el terreno sin que llegue a observarse en el aforo de Zorita incremento alguno de caudal. Este valor constituye un umbral a partir del cual los depósitos superficiales se saturan y el río empieza a responder. En el caso de que la lluvia sea de poca intensidad este umbral puede aumentar pero, por el contrario, si se han producido lluvias anteriores, este valor se reduce o incluso puede ser nulo.

Por otro lado, si las lluvias que provocan el episodio son muy intensas y concentradas en el tiempo, este valor disminuye ya que se produce escurrimiento directo en el rango en el que la intensidad de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración del suelo. A partir del estudio se concluye que una intensidad de lluvia de 15 mm en aproximadamente 15 minutos provoca escurrimiento directo siendo importante recalcar que lluvias posteriores de menor intensidad serán absorbidas por el suelo provocando únicamente escurrimiento subterráneo hasta que la cantidad de lluvia supere el umbral de precipitación antes citado.

- Analizando los hietogramas de precipitación junto con sus hidrogramas de caudal asociados se observa que los momentos en los que se produce el grueso de la precipitación (momentos en los que se registra la máxima intensidad de precipitación mantenida durante varias horas) son los que dan lugar a los diversos picos de crecida que componen el hidrograma. En los episodios analizados se observa que el tiempo transcurrido entre el “pico” de la precipitación y su punta en el hidrograma oscila entre las 2,5 y las 14 horas en función de que la precipitación se esté produciendo más o menos cerca de la estación de aforo.
- La forma del hietograma de precipitación (distribución de intensidades de precipitación a lo largo del tiempo) es la que va a determinar tanto el caudal máximo de la crecida como el volumen de la misma. Cuanto más intensa y concentrada en menos tiempo sea la lluvia, más picudo será el hidrograma aunque, por otro lado, si su duración es reducida, su volumen no será demasiado importante. Por este motivo, el tiempo que dura el pico del hidrograma de avenida (que determina el tiempo durante el cual se va a concentrar la mayor parte del volumen por unidad de tiempo de la riada) es un parámetro muy variable que en los episodios más importantes estudiados varía entre 10 y 90 horas.
- El tiempo de concentración de la cuenca se podría estimar a partir de episodios provocados por precipitaciones localizadas exclusivamente alrededor del pluviómetro P049 cosa que no ocurre en ninguno de los episodios analizados, aunque sí que se puede concluir que el tiempo de concentración de la cuenca será superior a 14 horas.
- Las escorrentías calculadas en los distintos episodios como el volumen registrado por la estación de aforo dividido entre el volumen de precipitación estimado para toda la subcuenca, muestran que:
 - Por lo general, partiendo de condiciones secas, lluvias de hasta 30 mm provocan una escorrentía prácticamente inexistente excepto para los episodios provocados por lluvias intensas y concentradas en el tiempo en los que una

precipitación acumulada de 11 mm en menos de 2 horas puede dar lugar a coeficientes de escorrentía del 5%.

-Para lluvias de hasta 70 mm la escorrentía no suele superar valores en torno al 15 % si se parte de condiciones secas.

-Para lluvias superiores a 100 mm, la escorrentía puede superar estos valores pudiendo aproximarse al 20% en los episodios estudiados.

-Es posible que para episodios mayores a los estudiados y en otras situaciones muy favorables para ello, se pudiesen producir escorrentías superiores al 20% citado.

- Al diferenciar el volumen registrado en la estación de aforo entre, el asociado a los flujos superficiales (escorrentías directas) y el asociado a flujos hipodérmicos y subterráneos, se obtiene que en general el primero es mucho mayor que el segundo y al calcular los dos coeficientes de escorrentía por separado, se concluye que el coeficiente de escorrentía directa es mayor que el coeficiente de escorrentía subterránea, alcanzando el primero un máximo de un 21 % en uno de los episodios analizados. En este caso, el coeficiente de escorrentía indirecta toma un valor de 3% (segundo sub-episodio del episodio de Octubre del 2000). En el episodio de Mayo del 2002 es en el que tenemos mayor aportación de flujos subterráneos siendo ésta una aportación de en torno a los 5,35 Hm³ y correspondiéndole un coeficiente de escorrentía indirecta del 4,2% (en este episodio el volumen aportado por flujos superficiales es de 20 Hm³ dando lugar a coeficiente de escorrentía directa cercano al 15,57%).
- Debido a la uniformidad de las precipitaciones registradas en todos los pluviómetros en el episodio de Mayo del 2003, en el que se ha estimado una precipitación media acumulada de unos 118 mm, lo que representaría un volumen de agua de 124,38 Hm³, de los cuales 25,64 se midieron en la estación de Zorita, se estima un coeficiente de escorrentía medio para toda la cuenca de aproximadamente 0,2.
- De cara a evaluar los volúmenes de agua esperables en el aforo de Zorita en el caso de una lluvia prevista, de los episodios registrados con mayor caudal se obtuvieron, para precipitaciones medias para toda la cuenca entre 112 y 120 mm, unos volúmenes registrados en la estación de aforo de Zorita próximos a 26 Hm³ (de los cuales en torno a 20 Hm³ entraron en el pico de la avenida y el resto como caudal base). En el episodio de Octubre del 2000, el mayor registrado, se recogieron hasta 400 l/m² de media en 2 días, lo que originó un volumen de más de 70 Hm³, de los cuales 37 Hm³ se recogieron en poco más de 30 horas.

ANEXO V: CUENCA DEL SUSÍA**V.I Descripción**

El río Susía transcurre por la comunidad de Aragón y fluye al Cinca por la derecha desde las tierras de Arcusa y Olsón. La cuenca del río Susía está situada en el sector meridional de la comarca del Sobrarbe [<http://www.riosusia.com>].

La superficie aproximada de la cuenca vertiente del río Susía es de 77,66 Km² [<http://www.chebro.es>].

En la siguiente figura donde se representa la cuenca del Ebro, la superficie coloreada en amarillo, muestra la situación de la subcuenca del río Susía.

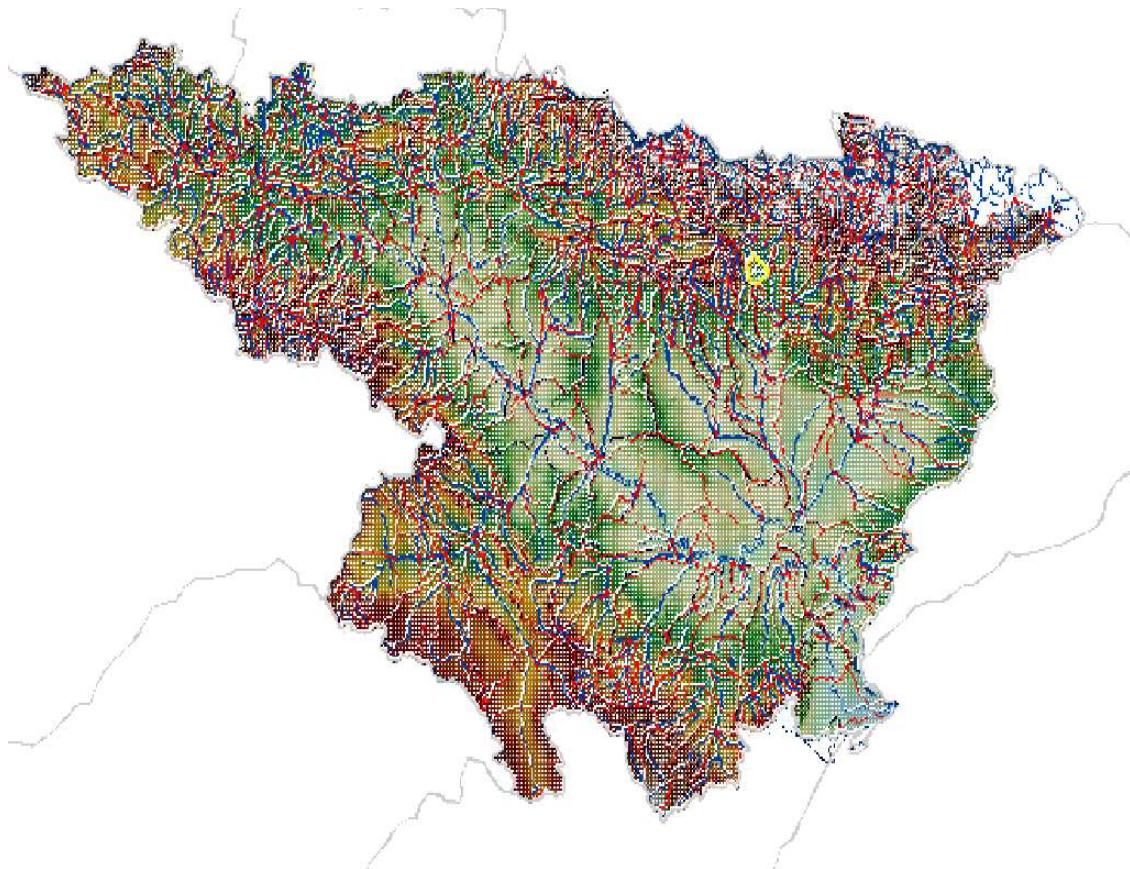


Figura V.1 Localización geográfica; Cuenca del Susía.

V.II Datos de partida

Con el objeto de conocer mejor la respuesta hidrológica de la subcuenca del río Susía se han analizado los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo A257 Susía Escanilla y los datos de precipitación registrados en las estaciones pluviométricas P028 El Coscollar, E046 El Mediano. También se han tenido en cuenta los datos quince-minutales de las precipitaciones registradas en los pluviómetros A040 Boltaña, A051 Cinca Escalona, E047 El Grado situados en subcuenca vecinas para hacernos una idea de las precipitaciones existentes en los alrededores de la subcuenca estudiada.

La localización geográfica de las estaciones citadas así como la localización del río Susía, cuyo cauce se representa en un tono más oscuro y con mayor grosor, se muestran en la figura siguiente:

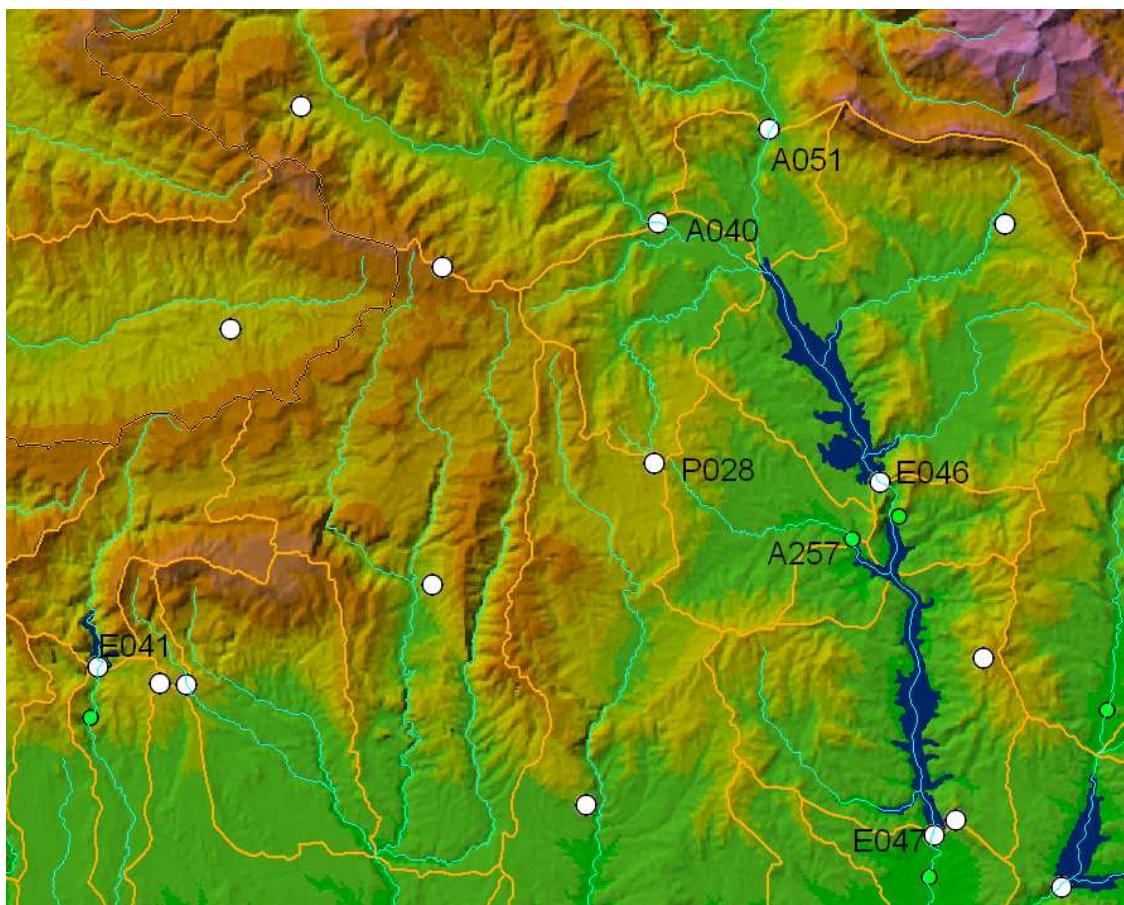


Figura V.2 Localización de estaciones; Cuenca del Susía

A partir del estudio de los datos recogidos en la estación de aforo de Escanilla (A257) se comprueba que desde 1997 se han producido numerosos episodios de avenida, encontrándose con más de 40 episodios en los que se registró un caudal superior a los 25 m^3/s y de entre ellos siendo varios episodios en los que se superó un registro de 100 m^3/s llegándose a alcanzar en una ocasión un caudal de alrededor de 170 m^3/s .

Por otra parte, para el cálculo de la lluvia media sobre la subcuenca exclusivamente se utilizan los datos registrados en los pluviómetros P028 y E046, ya que son los que se encuentran dentro de la subcuenca del río Susía, por lo tanto teniendo en cuenta la superficie de la subcuenca que abarca cada uno y considerando como el 100% la superficie de la subcuenca, salvo que se indique lo contrario, la expresión utilizada para el cálculo de la lluvia media es:

$$\text{Lluvia media} = \text{Precip. P028 (mm)} \cdot 0,5 + \text{Precip. E046 (mm)} \cdot 0,5$$

Siendo 0,5 el coeficiente de proporcionalidad correspondiente a cada pluviómetro en función de la superficie sobre la que influye cada uno y Precip. P028 (mm), Precip. E046 (mm) la cantidad de precipitación, en milímetros, registrada en cada uno de los pluviómetros para cada episodio.

De entre todos los episodios registrados históricamente en esta subcuenca se han seleccionado 8 para analizarlos en profundidad y establecer unas pautas de comportamiento en la relación precipitación-escorrentía para esta subcuenca. Estos son:

- Episodio del 9 al 12 de Julio de 1997: $Q_{\text{máx}} \approx 38 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997: $Q_{\text{máx}} \approx 131 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 29 de Abril al 1 de Mayo de 2001: $Q_{\text{máx}} \approx 37 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 1 al 4 de Mayo de 2001: $Q_{\text{máx}} \approx 26 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 4 al 5 Septiembre de 2002: $Q_{\text{máx}} \approx 40 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 29 al 30 de Mayo de 2004: $Q_{\text{máx}} \approx 74 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 7 de Septiembre de 2004: $Q_{\text{máx}} \approx 170 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 22 al 23 de Septiembre de 2006: $Q_{\text{máx}} \approx 56 \text{ m}^3/\text{s}$.

V.III Análisis de episodios

V.III.I Episodio del 9 al 12 de Julio de 1997

Examinando los datos disponibles de precipitación-escorrentía entre el 9 y el 12 de Julio de 1997 se observa que se produce un episodio con varias subidas y bajadas. En lugar de analizarlo como un todo se ha creído conveniente analizarlo en dos sub-episodios independientes ya que en ambos se baja hasta el caudal base.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 9 al 12 de Julio de 1997:

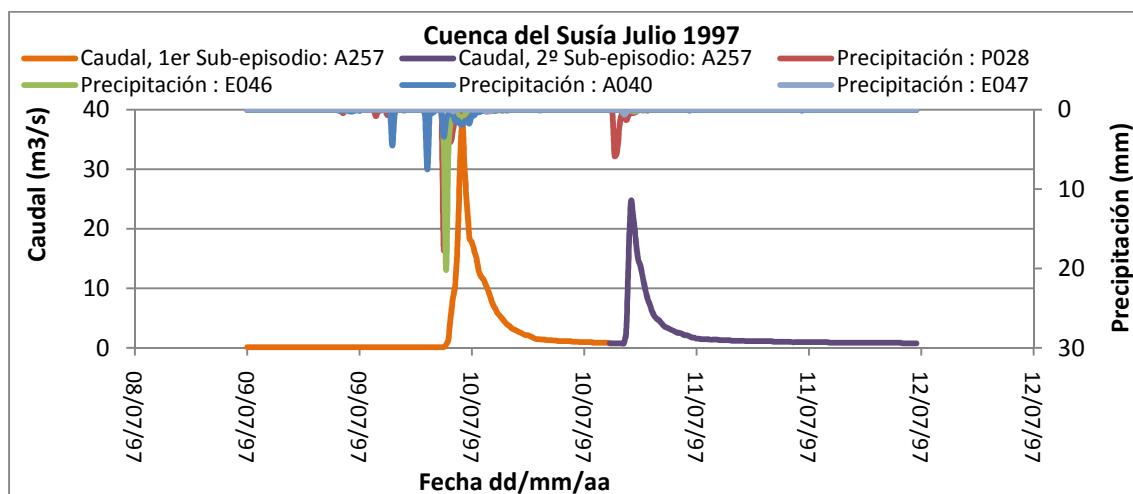


Figura V.3 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 9 al 12 de Julio de 1997.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

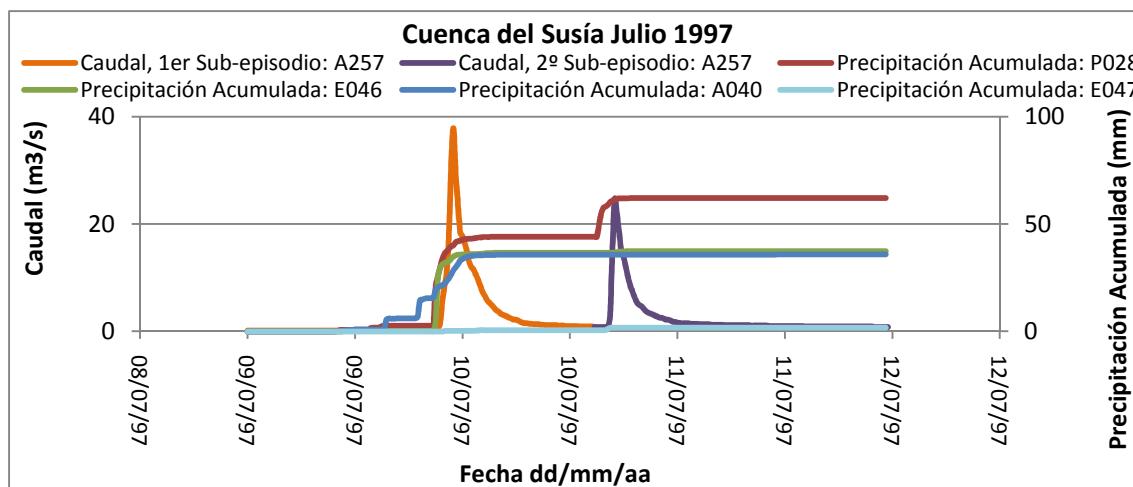


Figura V.4 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 9 al 12 de Julio de 1997.

Análisis del primer sub-episodio:

Si se produjese este sub-episodio aisladamente, es decir independientemente del sub-episodio posterior, la crecida en el río se daría desde el día 9 hasta el día 10 de Julio del 1997, momento en el cual se recuperaría el flujo base que se tenía en el Susía antes del aguacero.

La siguiente tabla muestra los datos de entrada para el análisis de este sub-episodio: la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	44,1mm
	Mediano (E046)	36,7mm
	Boltaña (A040)	35,6mm
	Cinca Escalona (A051)	
	El Grado (E047)	0,6mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 0,36Hm ³

Tabla V.1 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, primer sub-episodio del episodio del 9 al 12 de Julio de 1997.

Una vez extraídos los datos se realizan los cálculos que se indican en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	40,4mm	Duración Q _{máx}	7,25h
Volumen de Precipitación	3,22Hm ³	t _{Precipitación}	1h
Duración Episodio	18,5h	t _{picos}	1,75h
Volumen de escorrentía	0,35Hm ³	Escorrentía	11%
Volumen Q _{base}	0,05Hm ³	Escorrentía directa	9,25%
Volumen Q _{máx}	0,3Hm ³	Escorrentía indirecta	1,75%
Q _{máx}	37,86m ³ /s	Umbral precipitación	12,45mm

Tabla V.2 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 9 al 12 de Julio de 1997.; Cuenca del Susía.

El volumen de precipitación utilizado para el análisis de este sub-episodio es el que se registra en los pluviómetros hasta aproximadamente el momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo, exactamente hasta el día 10 a las 14:45h.

Al establecer pautas de comportamiento y conclusiones se debe tener en cuenta que este episodio es provocado por una lluvia de alta intensidad. El umbral indicado en la tabla V.2, de 12,45 mm es la lluvia media calculada con la cantidad de precipitación que han registrado los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa, la cual se va registrando en los pluviómetros P028, E046 en diferentes instantes. El aguacero alcanza su máximo de intensidad en la zona del pluviómetro del Mediano (E046) en el que se registra una precipitación de 20,2 mm en tan sólo 15 minutos.

Análisis del segundo sub-episodio:

Aisladamente este sub-episodio transcurre desde el 10 hasta el 12 de Julio de 1997, momento en el cuál se recuperaría el flujo base que se tenía en el Susía antes del aguacero.

Según los datos recogidos, la siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	18mm
	Mediano (E046)	0,7mm
	Boltaña (A040)	0,2mm
	Cinca Escalona (A051)	
	El Grado (E047)	1mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 0,28Hm ³

Tabla V.3 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, segundo sub-episodio del episodio del 9 al 12 de Julio de 1997.

Una vez analizados los datos de partida se realizan los cálculos que permitirán caracterizar este sub-episodio tal y como se indica en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

Lluvia media	9,35mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	5,5h
Volumen de Precipitación	0,74Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	2,25h
Duración Episodio	32,75h	t_{picos}	0,5h
Volumen de escorrentía	0,19Hm ³	Escorrentía	25,5%
Volumen Q_{base}	0,03Hm ³	Escorrentía directa	21,4%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,16Hm ³	Escorrentía indirecta	4,1%
$Q_{\text{máx}}$	22m ³ /s	Umbral precipitación	2,9mm

Tabla V.4 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 9 al 12 de Julio de 1997.; Cuenca del Susía.

El sub-episodio es producido por una lluvia de alta intensidad y el umbral indicado en la tabla V.4 (2,9 mm) es la lluvia media calculada con la cantidad de precipitación registrada por los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa, la cual se registra en el pluviómetro P028 y en el que en el momento de máxima intensidad del aguacero se llega a registrar una precipitación de 11,2 mm en 30 minutos.

V.III.II Episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997

En este caso, a la vista de las gráficas, donde se representa el evento del episodio (figuras V.5 y V.6), se ha dividido en tres el episodio de avenida y se han analizado los datos como tres sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 16 hasta el 19 de Diciembre de 1997.

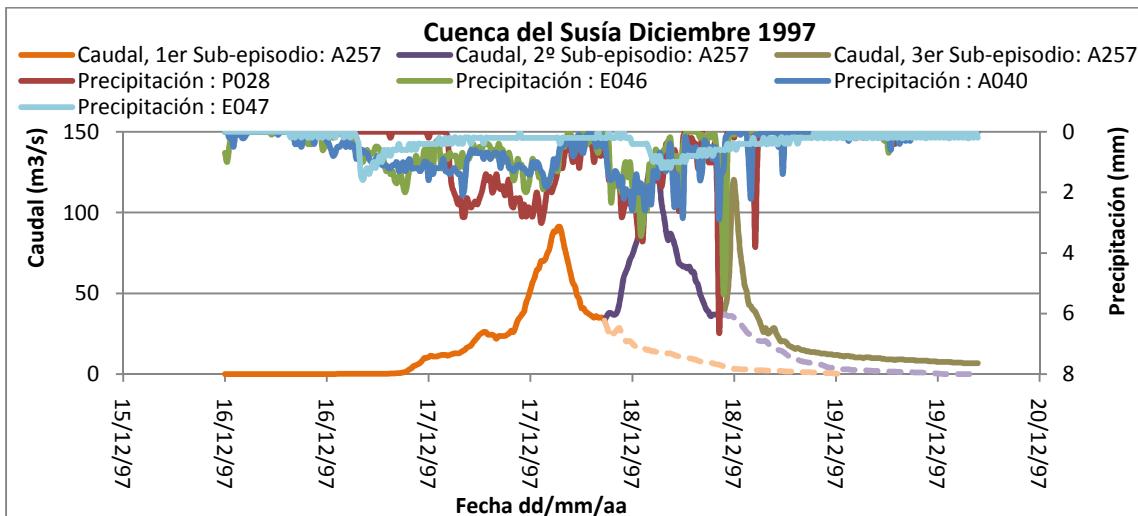


Figura V.5 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

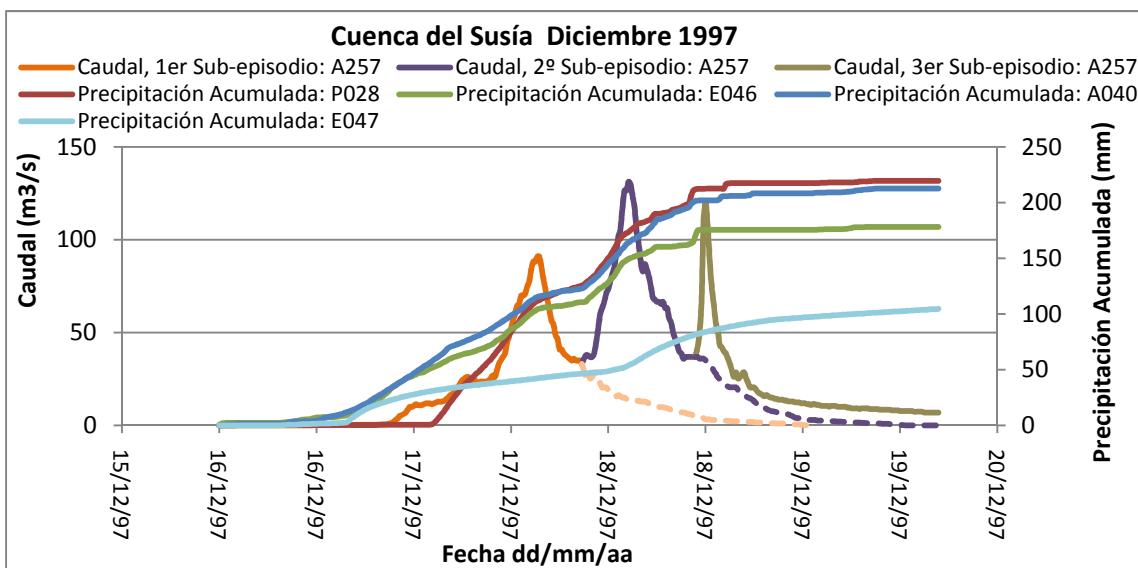


Figura V.6 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997.

Análisis del primer sub-episodio:

Si este sub-episodio se produjese aisladamente, es decir, independientemente de los sub-episodios posteriores, la crecida en el río se daría desde el 16 hasta el 19 de Diciembre del 1997, momento en el cuál se recuperaría el flujo base que se tenía en el Susía antes del aguacero. A la hora de realizar los cálculos y analizar el sub-episodio por separado hemos prolongado virtualmente cómo sería el caudal de bajada del hidrograma hasta alcanzar el flujo base como si sólo fuese un sub-episodio (línea discontinua color naranja claro, figuras V.5 y V.6).

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	125,8mm
	Mediano (E046)	110,7mm
	Boltaña (A040)	122,9mm
	Cinca Escalona (A051)	
	El Grado (E047)	46,6mm
	Volumen total Escanilla (A257)	3,71Hm ³

Tabla V.5 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, primer sub-episodio del episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997.

Una vez extraídos los datos necesarios para analizar este sub-episodio se han realizado los cálculos que se detallan en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	118,25mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	33,5h
Volumen de Precipitación	9,42Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	37h
Duración Episodio	61,5h	t_{picos}	3,75h
Volumen de escorrentía	3,68Hm ³	Escorrentía	39,07%
Volumen Q_{base}	0,81Hm ³	Escorrentía directa	30,5%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	2,87Hm ³	Escorrentía indirecta	8,57%
$Q_{\text{máx}}$	91m ³ /s	Umbrales precipitación	7,85mm

Tabla V.6 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997; Cuenca del Susía.

La cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta aproximadamente el momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo, exactamente hasta el día 17 de Diciembre a las 20:45 horas.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio analizado independientemente tiene lugar entre el 17 y el 19 de Diciembre de 1997. Como se puede observar en la figura, en este caso también se ha supuesto un caudal de bajada de hidrograma para realizar los cálculos (Figura V.5 y Figura V.6, línea discontinua color purpura claro).

Los datos de los que se parte para realizar este análisis son los siguientes: tabla en la que se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	68,1mm
	Mediano (E046)	50,1mm
	Boltaña (A040)	68,9mm
	Cinca Escalona (A051)	
	El Grado (E047)	28,6mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 4,32Hm ³

Tabla V.7 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, segundo sub-episodio del episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997.

Y en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este sub-episodio:

Lluvia media	59,1mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	14h
Volumen de Precipitación	4,71Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	11,5h
Duración Episodio	28h	t_{picos}	1,5h
Volumen de escorrentía	3,48Hm ³	Escorrentía	73,87%
Volumen Q_{base}	0,7Hm ³	Escorrentía directa	59,06%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	2,78Hm ³	Escorrentía indirecta	14,81%
$Q_{\text{máx}}$	131,25m ³ /s	Umbral precipitación	2,7mm

Tabla V.8 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997; Cuenca del Susía.

El estado antecedente de humedad del suelo es muy elevado.

Las precipitaciones producidas a partir del 18 de Diciembre a las 8:15h no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos, debido a que se estima que no afectan al flujo base supuesto para este sub-episodio. Se toma que a partir de este instante las precipitaciones provocan el tercer sub-episodio.

Análisis del tercer sub-episodio:

Para analizar este sub-episodio de forma aislada se considera que se produjo entre el 18 y el 19 de Diciembre de 1997, momento en el cuál se recuperaría el flujo base que se tenía en el Susía antes del aguacero.

En cuanto a datos iniciales partimos de la siguiente tabla que nos muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	22,5mm
	Mediano (E046)	14,8mm
	Boltaña (A040)	15,3mm
	Cinca Escalona (A051)	
	El Grado (E047)	13mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 2,2 Hm ³

Tabla V.9 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, tercer sub-episodio del episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997.

Una vez realizados los cálculos que caracterizarán este sub-episodio, estos se presentan en la siguiente tabla:

Lluvia media	18,65mm	Duración Q _{máx}	9,25h
Volumen de Precipitación	1,49Hm ³	t _{Precipitación}	3,5h
Duración Episodio	30h	t _{picos}	3,75h
Volumen de escorrentía	1,22Hm ³	Escorrentía	82,17%
Volumen Q _{base}	0,56Hm ³	Escorrentía directa	43,86%
Volumen Q _{máx}	0,66Hm ³	Escorrentía indirecta	38,31%
Q _{máx}	120,3m ³ /s	Umbral precipitación	2,8mm

Tabla V.10 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio del 16 al 19 de Diciembre de 1997; Cuenca del Susía.

V.III.III Episodio del 29 de Abril al 1 de Mayo del 2001

En este caso, a la vista de las gráficas donde se muestra el evento del episodio (Figura V.7 y V.8), se divide el episodio en dos y se analizan los datos como dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 29 de Abril hasta el 1 de Mayo.

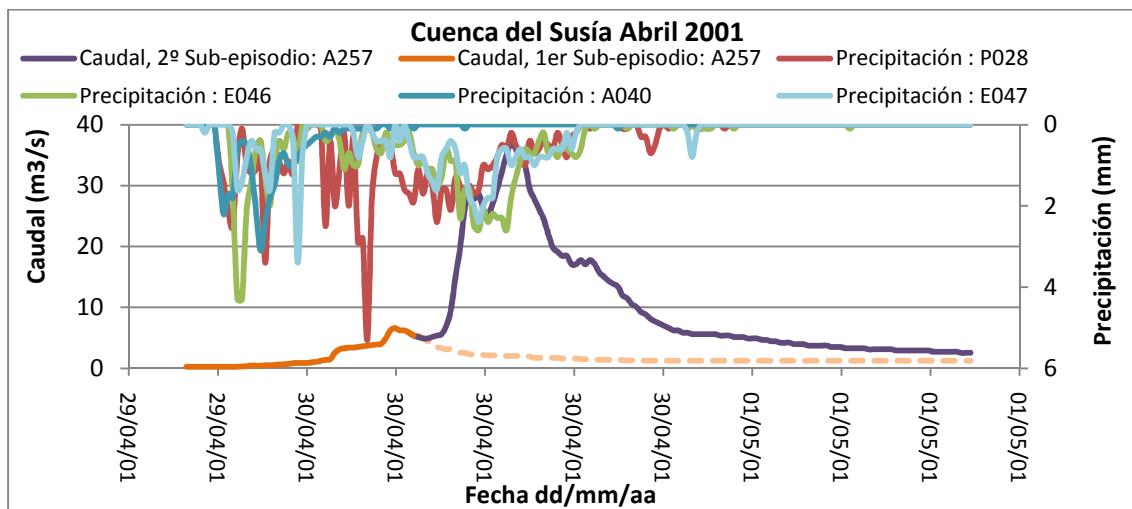


Figura V.7 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 29 de Abril al 1 de Mayo del 2001.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

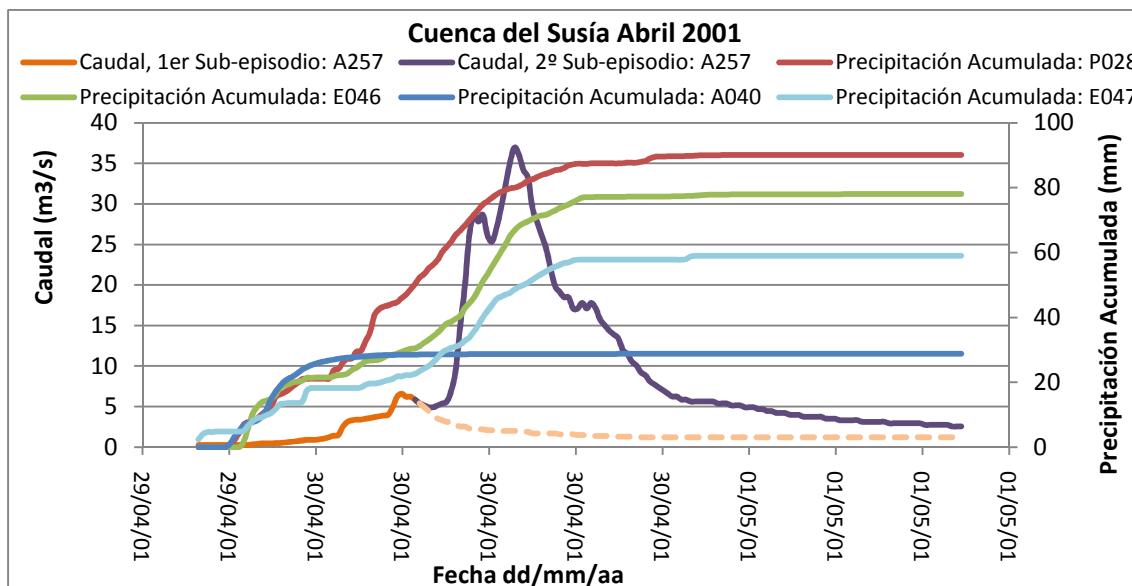


Figura V.8 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 29 de Abril al 1 de Mayo del 2001.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio analizado independientemente tiene lugar entre el 29 de Abril y el 1 de Mayo de 2001. Como se puede observar en la figura en este caso también se ha supuesto un caudal de bajada de hidrograma para realizar los cálculos, esto se representa en las figuras que caracterizan el episodio, mediante la línea discontinua.

Los datos de partida para el análisis de este sub-episodio, es decir, la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio, se muestran en la siguiente tabla:

Precipitación	El Coscollar (P028)	44,7mm
	Mediano (E046)	28,9mm
	Boltaña (A040)	28,5mm
	Cinca Escalona (A051)	
	El Grado (E047)	21,8mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 0,245Hm ³

Tabla V.11 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, primer sub-episodio del episodio del 29 de Abril al 1 de Mayo del 2001.

Una vez realizados los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria, los resultados obtenidos para este sub-episodio se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	36,8mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	6,75h
Volumen de Precipitación	2,93Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	9,25h
Duración Episodio	35h	t_{picos}	1,5h
Volumen de escorrentía	0,08Hm ³	Escorrentía	3%
Volumen Q_{base}	0,02Hm ³	Escorrentía directa	2,32%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,06Hm ³	Escorrentía indirecta	0,68%
$Q_{\text{máx}}$	6,6m ³ /s	Umbral precipitación	9,1mm

Tabla V.12 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 29 de Abril al 1 de Mayo del 2001; Cuenca del Susía.

Las precipitaciones producidas a partir del 30 de Abril a las 4:30h no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos, debido a que se estima que no afectan al flujo base supuesto para este sub-episodio. Se toma que a partir de este instante las precipitaciones provocan el segundo sub-episodio.

Análisis del segundo sub-episodio:

Si se analiza independientemente este sub-episodio se daría desde el 30 de Abril hasta el 1 de Mayo del 2001, momento en el cuál se recuperaría el flujo base que se tenía en el Susía antes del aguacero.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	45,9mm
	Mediano (E046)	49,5mm
	Boltaña (A040)	0,4mm
	Cinca Escalona (A051)	
	El Grado (E047)	38mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 1,13Hm ³

Tabla V.13 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, segundo sub-episodio del episodio del 29 de Abril al 1 de Mayo del 2001.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este sub-episodio:

Lluvia media	47,7mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	13,75h
Volumen de Precipitación	3,8Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	8,75h
Duración Episodio	30h	t_{picos}	2h
Volumen de escorrentía	0,96Hm ³	Escorrentía	25,2%
Volumen Q_{base}	0,16Hm ³	Escorrentía directa	25,03%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,8Hm ³	Escorrentía indirecta	2,2%
$Q_{\text{máx}}$	36,93m ³ /s	Umbrales precipitación	1,3mm

Tabla V.14 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 29 de Abril al 1 de Mayo del 2001; Cuenca del Susía.

A la hora del análisis se deben tener en cuenta las condiciones iniciales de humedad.

V.III.IV Episodio del 1 al 4 de Mayo del 2001

En este caso el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 1 hasta el 4 de Mayo:

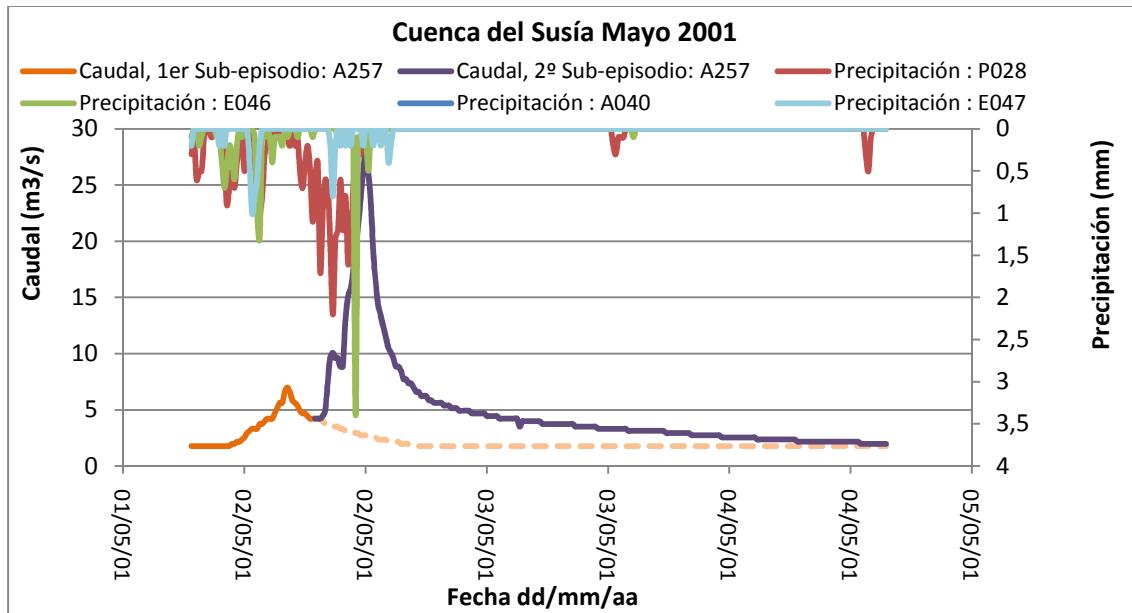


Figura V.9 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 1 al 4 de Mayo del 2001.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

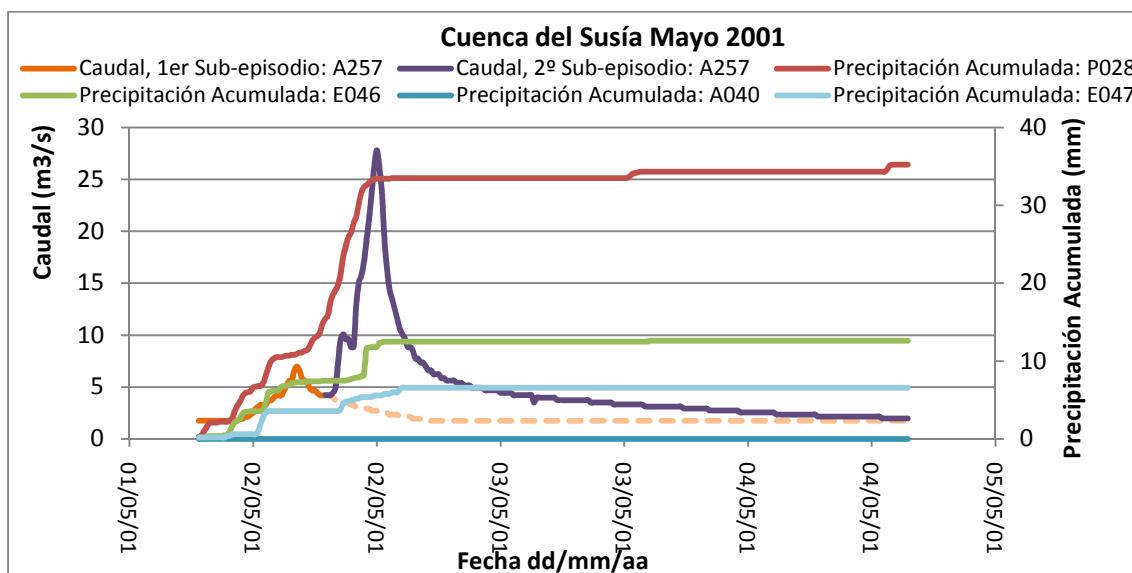


Figura V.10 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 1 al 4 de Mayo del 2001.

Análisis del primer sub-episodio:

Si este sub-episodio se produjese aisladamente, es decir, independientemente del sub-episodio posterior, la crecida de caudal en el río se daría desde el 1 hasta el 4 de Mayo del 2001, momento en el cual se recuperaría el flujo base que se tenía en el Susía antes del aguacero. A la hora de hacer los cálculos y analizar el sub-episodio por separado hemos prolongado virtualmente cómo sería el hidrograma de bajada del caudal hasta alcanzar el flujo base como si sólo fuese un episodio.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	6,8mm
	Mediano (E046)	3,6mm
	Boltaña (A040)	0mm
	Cinca Escalona (A051)	
	El Grado (E047)	1mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 0,53Hm ³

Tabla V.15 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, primer sub-episodio del episodio del 1 al 4 de Mayo del 2001.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	5,2mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	9,25h
Volumen de Precipitación	0,41Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	5,75h
Duración Episodio	65h	t_{picos}	2h
Volumen de escorrentía	0,11Hm ³	Escorrentía	26,8%
Volumen Q_{base}	0,03Hm ³	Escorrentía directa	19,8%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,08Hm ³	Escorrentía indirecta	7%
$Q_{\text{máx}}$	6,975m ³ /s	Umbral precipitación	2,2mm

Tabla V.16 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 1 al 4 de Mayo del 2001; Cuenca del Susía.

A la hora de realizar los cálculos, la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la calculada con la precipitación registrada en los pluviómetros hasta el día 2 de Mayo a las 0:30h y a partir de este instante se considera que las precipitaciones afectan al segundo sub-episodio.

Al analizar los resultados se tiene en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo, debido a que se ha producido una riada unas horas antes (Episodio de Abril del 2001).

Análisis del segundo sub-episodio:

Aisladamente este sub-episodio transcurre entre el 2 y el 4 de Mayo del 2001, momento en el cual se recuperaría el flujo base que se tenía en el Susía antes del aguacero.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	23mm
	Mediano (E046)	6,3mm
	Boltaña (A040)	0mm
	Cinca Escalona (A051)	
	El Grado (E047)	3mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 1Hm ³

Tabla V.17 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, segundo sub-episodio del episodio del 1 al 4 de Mayo del 2001.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	14,665mm	Duración Q _{máx}	16,25h
Volumen de Precipitación	1,17Hm ³	t _{Precipitación}	9h
Duración Episodio	55,75h	t _{picos}	1,5h
Volumen de escorrentía	0,6Hm ³	Escorrentía	52,62%
Volumen Q _{base}	0,16Hm ³	Escorrentía directa	37,45%
Volumen Q _{máx}	0,44Hm ³	Escorrentía indirecta	14,17%
Q _{máx}	26,12m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla V.18 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 1 al 4 de Mayo del 2001; Cuenca del Susía.

Las condiciones iniciales del terreno antes del sub-episodio eran muy húmedas.

V.III.V Episodio del 4 al 5 de Septiembre del 2002

Examinando los datos disponibles de precipitación-escorrentía en la primera semana de Septiembre del 2002 se observa que se produce un episodio con varias subidas y bajadas. En lugar de analizarlo como un todo se ha creído conveniente analizarlo en dos sub-episodios independientes ya que en ambos se baja hasta el caudal base.

Vamos a presentar los datos registrados entre el 4 y el 6 de Septiembre del 2002. En la figura se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas durante esta fecha y donde se aprecia claramente, cómo puede dividirse el episodio completo en dos sub-episodios independientes:

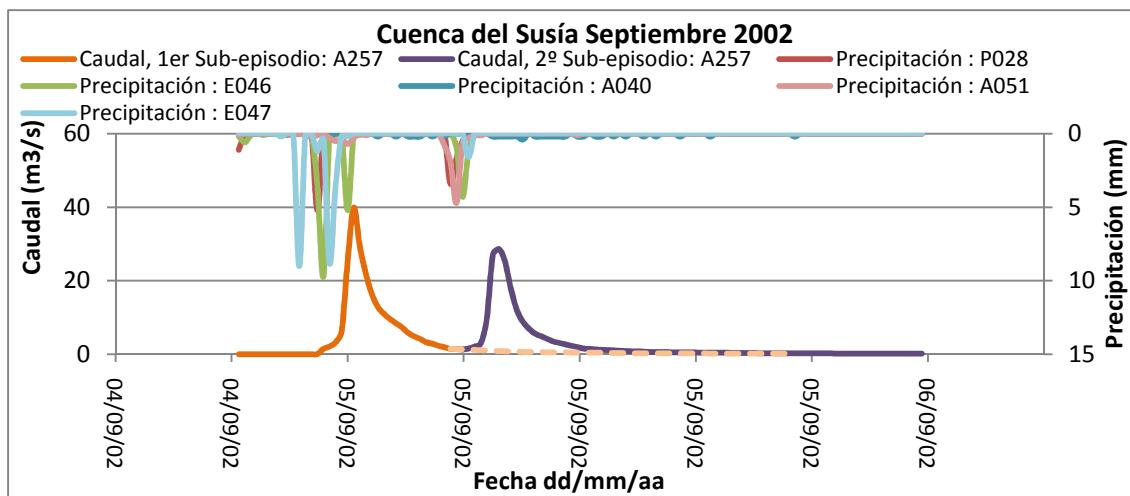


Figura V.11 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 4 al 5 de Septiembre del 2002.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

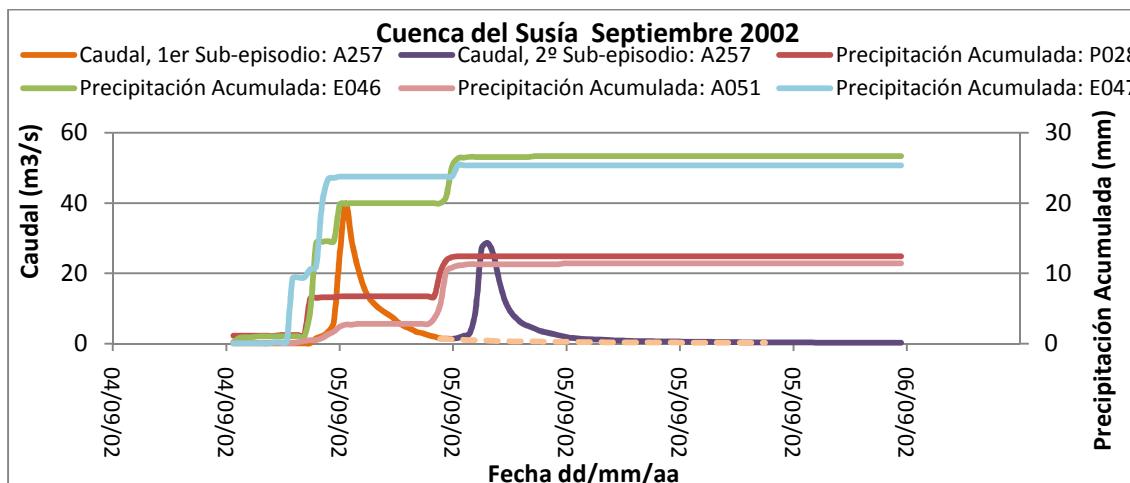


Figura V.12 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 4 al 5 de Septiembre del 2002.

Análisis del primer sub-episodio:

Si este sub-episodio se produjese independientemente del sub-episodio posterior, la crecida en el río se daría desde el 4 hasta el 5 de Septiembre del 2002, momento en el cuál se recuperaría el flujo base que se tenía en el Susía antes del aguacero. A la hora de hacer los cálculos y analizar este sub-episodio por separado hemos supuesto parte del hidrograma de bajada de caudal hasta alcanzar el flujo base como si solo fuese un episodio.

La siguiente tabla recoge los datos de partida para el análisis de este sub-episodio, es decir la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	6,7mm
	Mediano (E046)	20mm
	Boltaña (A040)	2mm
	Cinca Escalona (A051)	3,6mm
	El Grado (E047)	23,8mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 0,22Hm ³

Tabla V.19 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, primer sub-episodio del episodio del 4 al 5 de Septiembre del 2002.

Una vez realizados los cálculos que nos ayudarán a caracterizar este sub-episodio, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	13,35mm	Duración Q _{máx}	6h
Volumen de Precipitación	1,06Hm ³	t _{Precipitación}	1,75h
Duración Episodio	19,75h	t _{picos}	1,25h
Volumen de escorrentía	0,21Hm ³	Escorrentía	20,4%
Volumen Q _{base}	0,01Hm ³	Escorrentía directa	18,84%
Volumen Q _{máx}	0,2Hm ³	Escorrentía indirecta	1,56%
Q _{máx}	39,9m ³ /s	Umbrales precipitación	6,45mm

Tabla V.20 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 4 al 5 de Septiembre del 2002; Cuenca del Susía.

A la hora del análisis de los resultados se debe tener en cuenta que este sub-episodio fue provocado por una lluvia de alta intensidad, por lo que el umbral indicado en la tabla anterior de 6,45 mm es la lluvia media calculada con la cantidad de precipitación que han registrado los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa; pero en realidad, lo que provocaría esta crecida sería la precipitación intensa registrada en los pluviómetros P028, E046 siendo en la zona del pluviómetro del Mediano (E046) donde el aguacero alcanza su máxima intensidad y en el que se registran 9,7 mm en tan sólo 15 minutos. Por otro lado, indicar que la cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 5 a las 4:00h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Aisladamente este sub-episodio se produjo el 5 de Septiembre del 2002.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	5,7mm
	Mediano (E046)	6,7mm
	Boltaña (A040)	3,2mm
	Cinca Escalona (A051)	7,8mm
	El Grado (E047)	1,6mm
Volumen total	Escanilla (A257)	0,38Hm ³

Tabla V.21 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, segundo sub-episodio del episodio del 4 al 5 de Septiembre del 2002.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	6,2mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	5,5h
Volumen de Precipitación	0,49Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	1,25h
Duración Episodio	13,75h	t_{picos}	1,5h
Volumen de escorrentía	0,353Hm ³	Escorrentía	71,56%
Volumen Q_{base}	0,009Hm ³	Escorrentía directa	69,73%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,344Hm ³	Escorrentía indirecta	1,83%
$Q_{\text{máx}}$	28,6m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla V.22 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 4 al 5 de Septiembre del 2002; Cuenca del Susía.

Al igual que el sub-episodio anterior este sub-episodio es provocado por una lluvia intensa y el umbral indicado en la tabla V.22 no es el que se ha tenido en cuenta a la hora del análisis de los resultados. La precipitación intensa se registra en los pluviómetros P028, E046 en diferentes instantes, el momento en el que el aguacero alcanza su máximo de intensidad es cuando pasa por la zona del pluviómetro de Mediano en el que se llega a registrar una precipitación de 5,5 mm 30 minutos.

V.III.VI Episodio del 29 al 30 de Mayo del 2004

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Escanilla durante este episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	27,4mm
	Mediano (E046)	1,9mm
	Boltaña (A040)	2,8mm
	Cinca Escalona (A051)	0mm
	El Grado (E047)	0,8mm
	Volumen total Escanilla (A257)	0,46Hm ³

Tabla V.23 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, episodio del 29 al 30 de Mayo del 2004.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

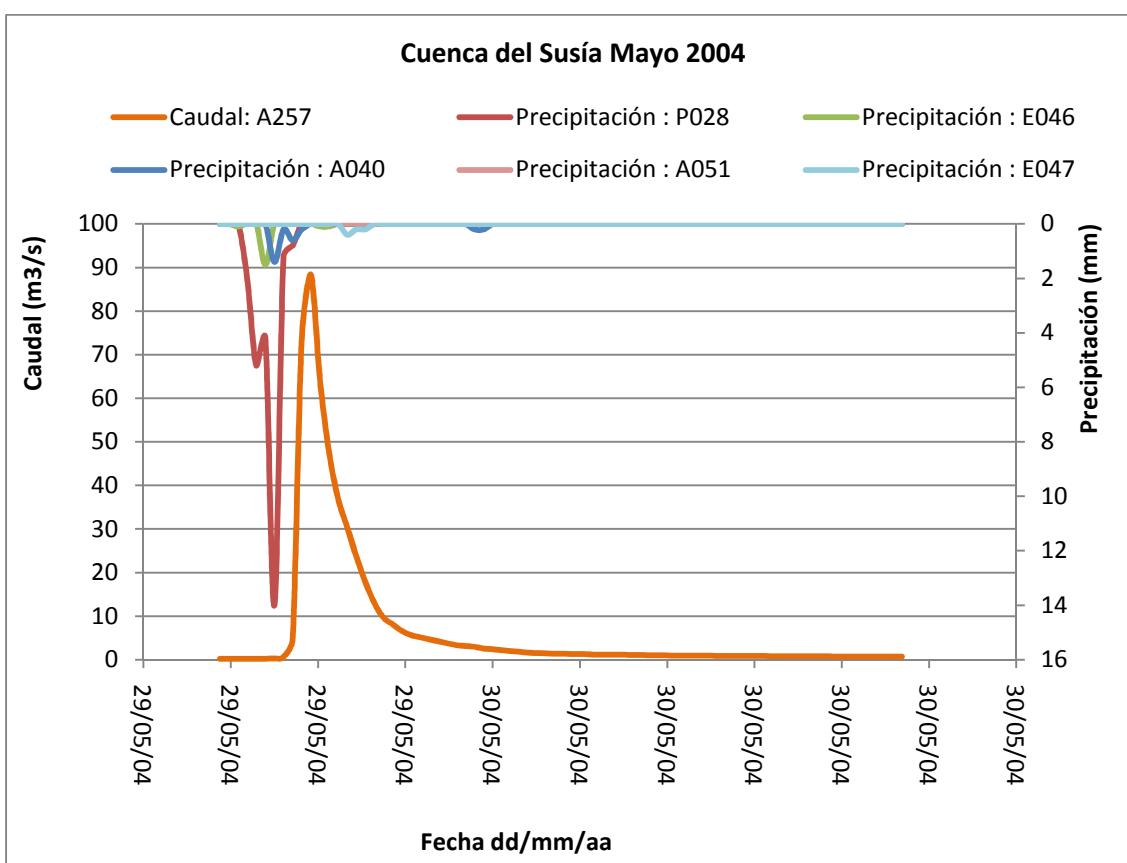


Figura V.13 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 29 al 30 de Mayo del 2004.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

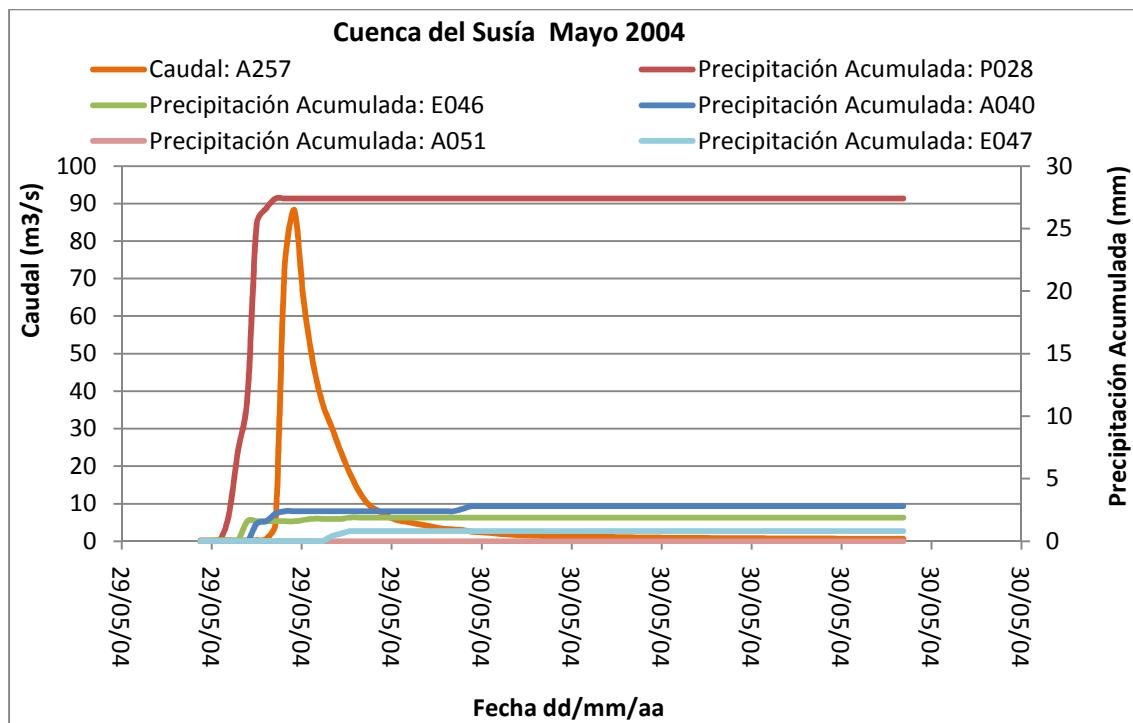


Figura V.14 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 29 al 30 de Mayo del 2004.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	14,65mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	5h
Volumen de Precipitación	1,17Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	1h
Duración Episodio	18,75h	t_{picos}	0,75h
Volumen de escorrentía	0,41Hm ³	Escorrentía	35,4%
Volumen Q_{base}	0,04Hm ³	Escorrentía directa	31,87%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,37Hm ³	Escorrentía indirecta	3,53%
$Q_{\text{máx}}$	73,54m ³ /s	Umbbral precipitación	6,5mm

Tabla V.24 Resultados obtenidos en el episodio del 29 al 30 de Mayo del 2004; Cuenca del Susía.

El episodio es provocado por una lluvia de alta intensidad y el umbral indicado de 6,5 mm es la lluvia media calculada con la cantidad de precipitación que han registrado los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa y no lo tomaremos como tal a la hora del análisis de los resultados ya que se produce escorrentía porque la intensidad de la lluvia supera la tasa de infiltración del suelo. La máxima intensidad del aguacero es registrada en el pluviómetro del Coscollar (P028) en el que se llega a registrar una precipitación de 14 mm en tan sólo 15 minutos.

V.III.VII Episodio del 7 de Septiembre del 2004

En la siguiente tabla partimos como datos de entrada de la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como del volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Escanilla durante este episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	34,6mm
	Mediano (E046)	27,9mm
	Boltaña (A040)	44,8mm
	Cinca Escalona (A051)	40,9mm
	El Grado (E047)	3,2mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 0,81Hm ³

Tabla V.25 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, episodio del 7 de Septiembre del 2004.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

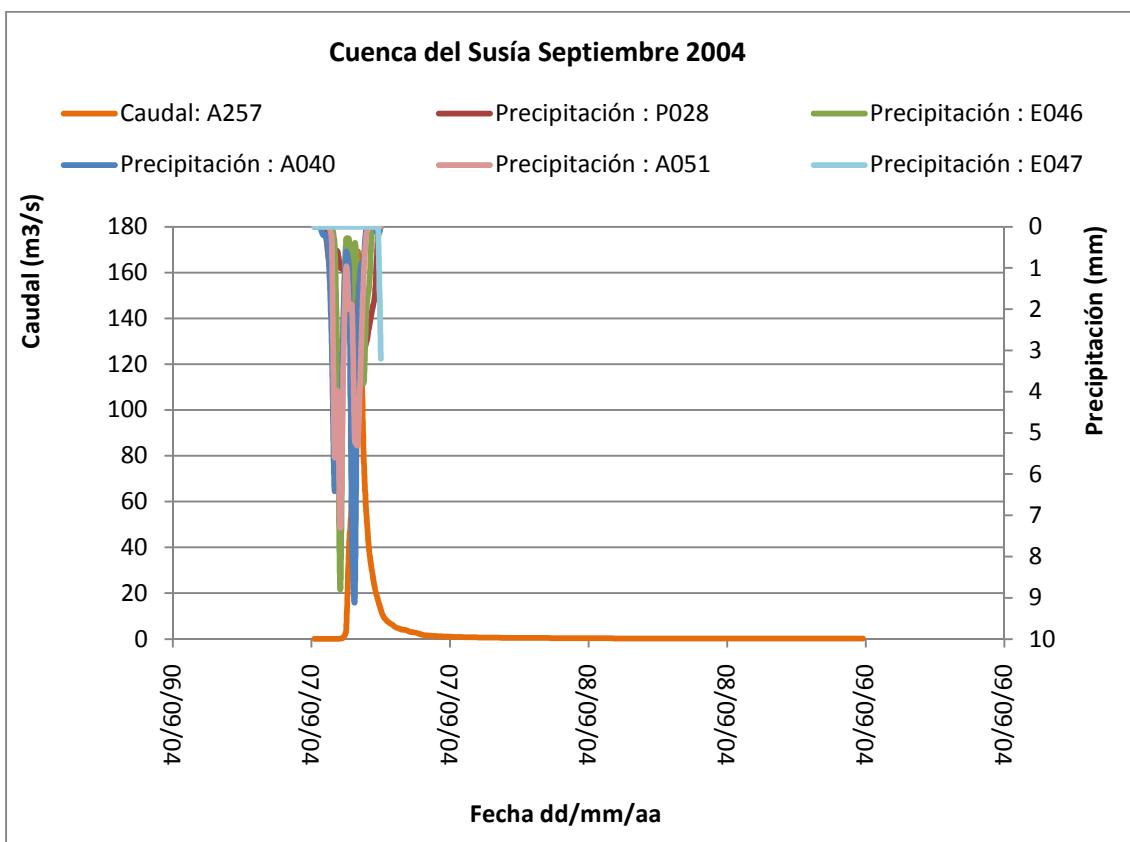


Figura V.15 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 7 de Septiembre del 2004.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

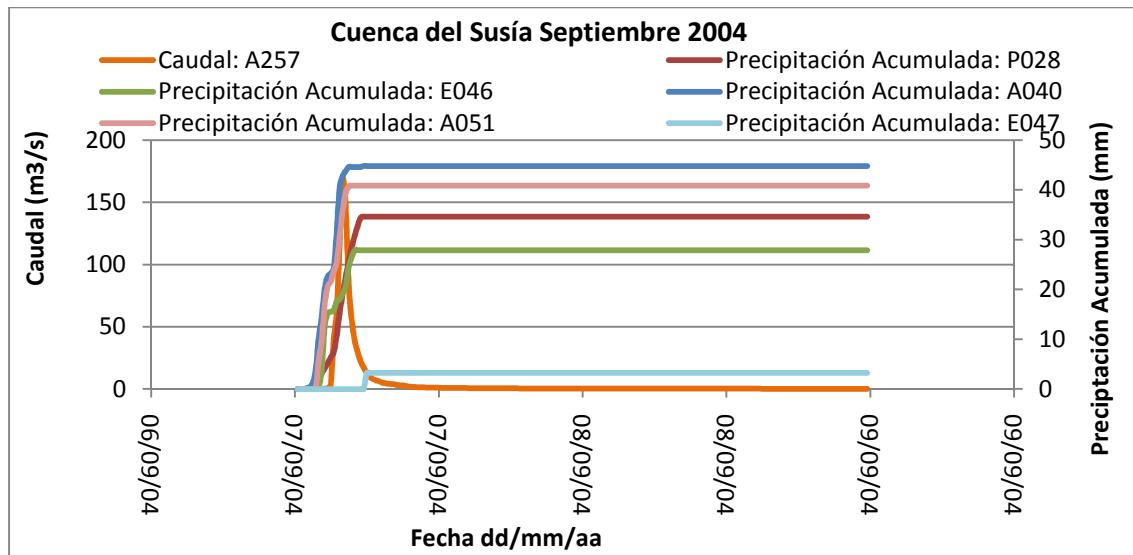


Figura V.16 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 7 de Septiembre del 2004.

Una vez analizados los datos de partida se realizan los cálculos tal y como se explica en el capítulo 4 de la memoria que permitan obtener los datos que caractericen este episodio. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	31,25mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	4,25h
Volumen de Precipitación	2,5Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	1,5h
Duración Episodio	31,5h	t_{picos}	1,5h
Volumen de escorrentía	0,8Hm ³	Escorrentía	32,16%
Volumen Q_{base}	0,06Hm ³	Escorrentía directa	29,68%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,74Hm ³	Escorrentía indirecta	2,48%
$Q_{\text{máx}}$	168,75m ³ /s	Umbral precipitación	8,45mm

Tabla V.26 Resultados obtenidos en el episodio del 7 de Septiembre del 2004; Cuenca del Susía.

A la hora de analizar los resultados se debe tener en cuenta que las precipitaciones producidas a partir del día 7 de Septiembre a las 6:00h no se han incluido en el cálculo del volumen de precipitación que produjo este episodio ya que se considera que no afectan al hidrograma de caudal.

V.III.VIII Episodio del 22 al 23 de Septiembre del 2006

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Escanilla durante este episodio:

Precipitación	El Coscollar (P028)	49,8mm
	Mediano (E046)	49,9mm
	Boltaña (A040)	48,8mm
	Cinca Escalona (A051)	55,6mm
	El Grado (E047)	53,8mm
	Volumen total	Escanilla (A257) 0,63Hm ³

Tabla V.27 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Susía, episodio del 22 al 23 de Septiembre del 2006.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

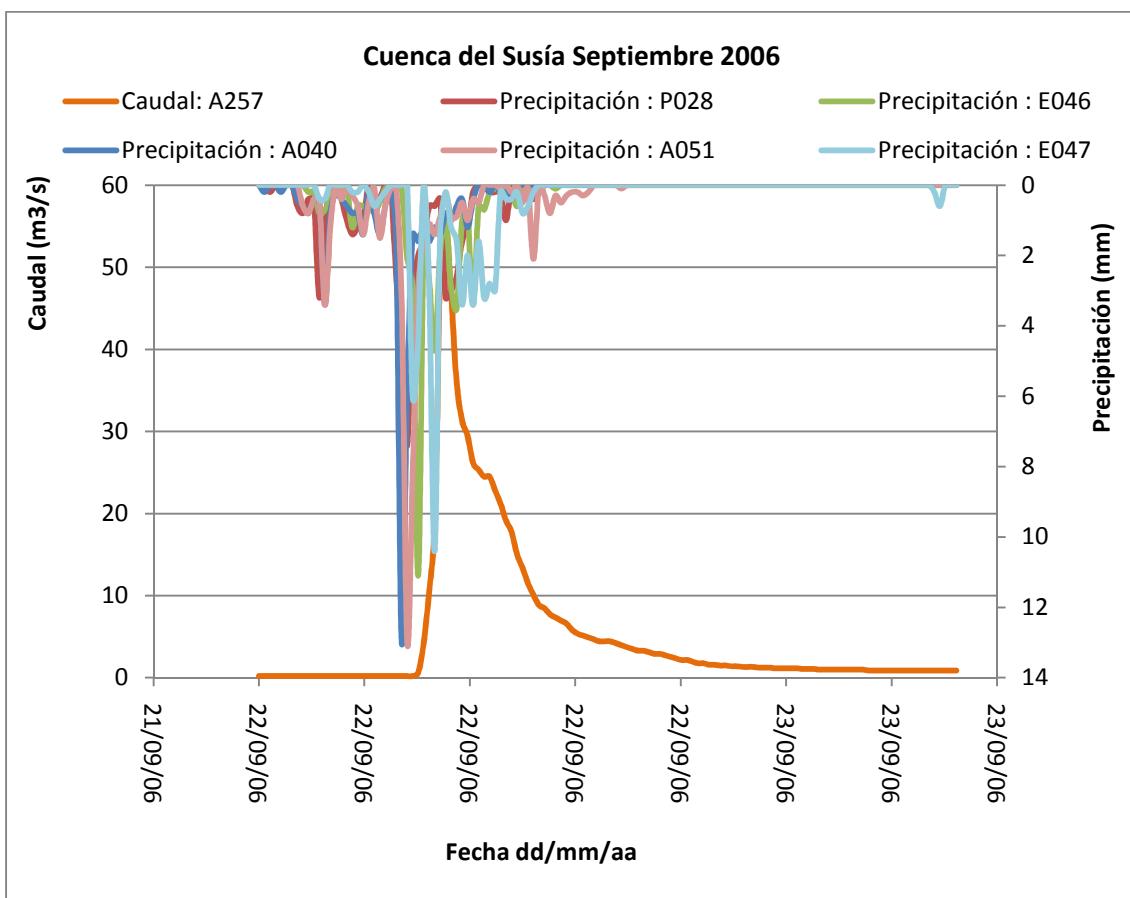


Figura V.17 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 22 al 23 de Septiembre del 2006.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

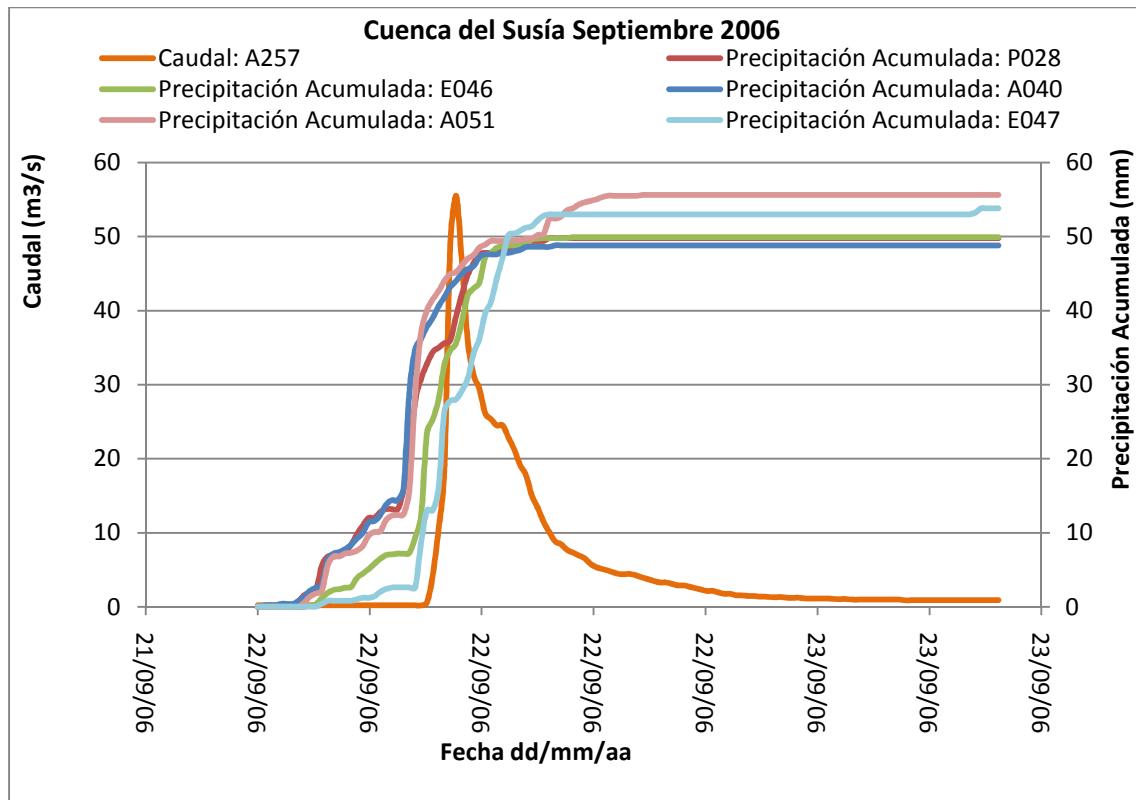


Figura V.18 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Susía, episodio del 22 al 23 de Septiembre del 2006.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	49,8mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	7h
Volumen de Precipitación	$3,97\text{Hm}^3$	$t_{\text{Precipitación}}$	10,5h
Duración Episodio	24,75h	t_{picos}	1,25h
Volumen de escorrentía	$0,6\text{Hm}^3$	Escorrentía	15,32%
Volumen Q_{base}	$0,11\text{Hm}^3$	Escorrentía directa	12,54%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	$0,49\text{Hm}^3$	Escorrentía indirecta	2,78%
$Q_{\text{máx}}$	$55,5\text{m}^3/\text{s}$	Umbral precipitación	10,2mm

Tabla V.28 Resultados obtenidos en el episodio del 22 al 23 de Septiembre del 2006; Cuenca del Susía.

Al analizar los resultados tenemos en cuenta que se trata de un episodio provocado por una precipitación intensa pero que va acompañada por precipitaciones más uniformes.

V.IV Conclusiones

A continuación, una vez analizados todos los episodios relevantes, y a la vista de los cálculos realizados podemos establecer algunas conclusiones de las pautas de comportamiento de la subcuenca en cuanto a la respuesta hidrológica que tiene en función de la precipitación. En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos de los resultados obtenidos de los episodios analizados:

Episodio (fecha)	Qmáx (m ³ /s)	Duración Qmáx (h)	Vol. Qmáx (Hm ³)	Vol. Base (Hm ³)	Vol. Escorrentía A257 (Hm ³)	T Precip. (h)	P028 (mm)	E046 (mm)	Vol. Precip. (Hm ³)	Escorrentía (%)	T entre picos (h)
9 al 12 Julio 1997	37,86	7,25	0,3	0,05	0,35	1	44,1	36,7	3,22	11	1,75
	22	5,5	0,16	0,03	0,19	2,25	18	0,7	0,74	25,5	0,5
16 al 19 Diciembre 1997	91	33,5	2,87	0,81	3,68	37	125,8	110,7	9,42	39,07	3,75
	131,25	14	2,78	0,7	3,48	11,5	68,1	50,1	4,71	73,87	1,5
	120,3	9,25	0,66	0,56	1,22	3,5	22,5	14,8	1,49	82,17	3,75
29 Abril al 1 Mayo 2001	6,6	6,75	0,06	0,02	0,08	9,25	44,7	28,9	2,93	3	1,5
	36,93	13,75	0,8	0,16	0,96	8,75	45,9	49,5	3,8	25,2	2
1 al 4 Mayo 2001	6,975	9,25	0,08	0,03	0,11	5,75	6,8	3,6	0,41	26,8	2
	26,15	16,25	0,44	0,16	0,6	9	23	6,3	1,17	52,6	1,5
4 al 5 Septiembre 2002	39,9	6	0,2	0,01	0,21	1,75	6,7	20	1,06	20,4	1,25
	28,6	5,5	0,344	0,009	0,353	1,25	5,7	6,7	0,49	71,56	1,5
29 al 30 Mayo 2004	73,54	5	0,37	0,04	0,41	1	27,4	1,9	1,17	35,4	0,75
7 Septiembre 2004	168,75	4,25	0,74	0,06	0,8	1,5	34,6	27,9	2,5	32,16	1,5
22 al 23 Septiembre 2006	55,5	7	0,49	0,11	0,6	10,5	49,8	49,9	3,97	15,32	1,25

Tabla V.29 Resumen de resultados de la cuenca del Susía.

Y las conclusiones son:

- En los episodios analizados se observa que partiendo de condiciones iniciales de terreno seco aproximadamente los 10 primeros mm de lluvia son absorbidos por el terreno, constituyendo este valor un umbral a partir del cual los depósitos superficiales se saturan y el río comienza a responder. Este umbral puede disminuir e incluso ser nulo en el caso de que se parta de condiciones iniciales de terreno húmedo.

En el caso de que los cambios registrados en la estación de aforo de Escanilla sean provocados por precipitaciones intensas sobre la cuenca, aunque éstas sean de corta duración, se concluye que una precipitación media sobre la cuenca de alrededor de 7mm en 15 minutos tiene una intensidad mayor a la capacidad de infiltración, lo que provoca un escurrimiento directo que se refleja en un aumento del caudal medido en la estación de Escanilla.

- Al analizar los hidrogramas de caudal junto a sus correspondientes hietogramas de precipitación se observa que los picos de los hidrogramas son provocados por el grueso de precipitación de los hietogramas.

En los episodios analizados se observa que el tiempo transcurrido entre el centro de gravedad del hietograma de precipitación y el momento en el que se registra el máximo caudal en la estación de aforo del Susía en Escanilla oscila entre 30 minutos y 4 horas en función de lo cerca que se esté produciendo la precipitación de la estación de aforo.

- Tanto el caudal máximo como el volumen de la crecida quedan determinados por la distribución de las intensidades de las precipitaciones a lo largo del tiempo, es decir por la forma del correspondiente hietograma de precipitación.

La duración del pico de la avenida es un parámetro muy variable, oscilando entre 4 y 33 horas, siendo las precipitaciones prolongadas en el tiempo las que provocan una duración mayor del pico de la avenida.

Por otro lado, cuanto más intensa es la precipitación, mayor caudal punta es registrado en la estación de aforo aunque si ésta es concentrada en el tiempo el volumen de la riada no es un parámetro excesivamente alto.

- Se estima que el tiempo de concentración de la cuenca es aproximadamente 4 horas, lo que significa que los caudales máximos de crecida que se pueden registrar para la cuenca serán producidos por las cantidades de precipitación más grandes que se puedan dar en este tiempo.

- Las escorrentías calculadas para los diferentes episodios así como los coeficientes de escorrentía calculados como el volumen registrado en la estación de aforo dividido entre el volumen de precipitación estimado para toda la cuenca, muestran que:

- Para precipitaciones de intensidad moderada, para lluvias de hasta unos 15 mm, la escorrentía es casi inexistente. Si existe una pequeña variación en el flujo base del río es debido a las escorrentías subterráneas; lluvias de hasta unos 50 mm pueden dar unos coeficientes de escorrentía cercanos al 15%, aumentando este coeficiente hasta valores del 40% para lluvias de hasta 120mm.

-En el caso de lluvias de gran intensidad: una lluvia de 14 mm en 1 hora puede producir un coeficiente de escorrentía en torno al 20% y lluvias de hasta 32,5mm en 2,5 horas pueden producir coeficientes del 33%.

-Para ambos tipos de lluvias, los coeficientes de escorrentía aumentan si se parte de condiciones de terreno húmedo. En casos extremos de humedad se pueden alcanzar unos coeficientes de escorrentía de alrededor del 65% con precipitación no superiores a 10mm. El caso más desfavorable se dio en Diciembre de 1997, que partiendo de condiciones muy húmedas se produjo una lluvia intensa (en torno a 19 mm en menos de 4 horas) alcanzando un coeficiente de escorrentía del 82%.

-Es posible que para episodios mayores a los estudiados, y en otras situaciones muy favorables para ello, se pudiesen producir escorrentías superiores a las citadas.

- Al diferenciar el volumen bajo la curva del hidrograma entre el volumen asociado a escorrentías directas y el asociado a aportaciones de flujos subterráneos e hipodérmicos se obtiene que el primero siempre es mayor que el segundo siendo en algunos episodios en los que se parte de condiciones muy húmedas o en los episodios provocados por precipitaciones muy intensas el volumen asociado a flujos superficiales prácticamente el 100% del volumen del hidrograma.

El máximo coeficiente de escorrentía directa alcanzado es del 70%, en Septiembre de 2002, episodio en el que se tienen condiciones iniciales muy húmedas y las precipitaciones que provocan la avenida son muy intensas por lo que prácticamente sólo se produce escorrimento directo.

Con respecto a los coeficientes de escorrentía indirecta, el máximo alcanzado es en Diciembre de 1997 llegando a tomar un valor del 38%.

- Debido a la uniformidad de las precipitaciones registradas en todos los pluviómetros en el primer sub-episodio de la avenida de Septiembre del 2004, en el que se ha estimado una precipitación media acumulada de unos 31,25 mm, lo que representaría un volumen de agua de $2,5 \text{ Hm}^3$, de los cuales 0,8 se midieron en la estación de Escanilla, se estima un coeficiente de escorrentía medio para toda la cuenca de aproximadamente 0,32.
- De cara a evaluar los volúmenes de agua esperables en la estación de aforo de Escanilla en el caso de una lluvia prevista, en el episodio de Diciembre de 1997, el mayor registrado, se recogieron hasta 200 l/m^2 de media en 3 días, lo que originó un volumen de más de 15 Hm^3 , de los cuales 6 Hm^3 se recogieron en poco más de 2 días y medio.

ANEXO VI: CUENCA DEL OMECILLO**VI.I Descripción**

El río Omenillo nace en la sierra de Bóveda y se une con el río Ebro en el límite de las provincias de Álava y Burgos. Tiene como principales afluentes los ríos Pinedo, Tumecillo, Nagrara y Barrio.

La cuenca del río Omenillo se sitúa en el extremo oeste del Territorio de Álava, discurriendo parte de la cuenca media por territorio burgalés. [<http://hedatuz.euskomedia.org>].

Tiene una superficie aproximada de 349,034 Km² [<http://www.chebro.es>].

En la siguiente figura donde se representa la cuenca del Ebro, la superficie coloreada en amarillo, muestra la situación de la subcuenca del río Omenillo.

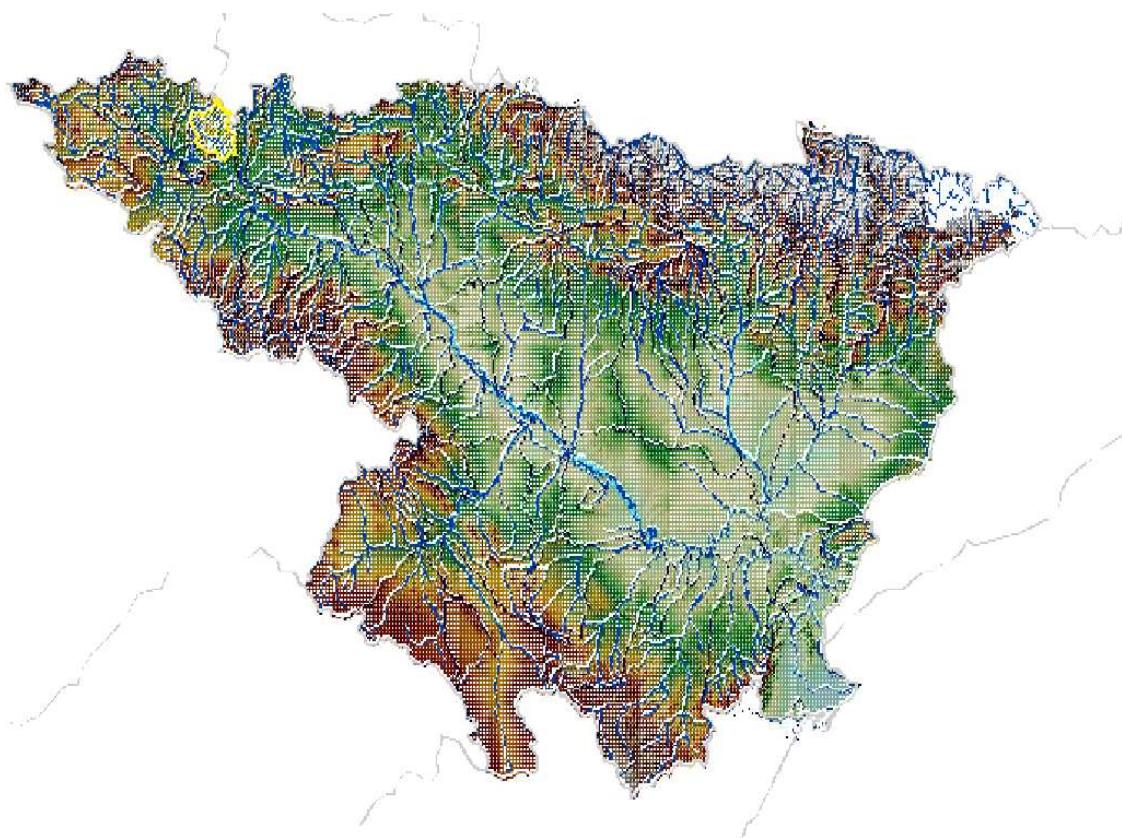


Figura VI.1 Localización geográfica; Cuenca del Omenillo.

VI.II Datos de partida

Con el objeto de conocer mejor la respuesta hidrológica de la subcuenca del río Omenillo, se han analizado los datos quince-minutales de la base histórica del SAIH tanto del caudal medido en la estación de aforo A188 Omenillo en Berguenda que se encuentra a la salida de la subcuenca y los datos de precipitación registrados en las estaciones pluviométricas P005 en Berberana, E005 en el embalse de Sobrón y P061 en Corro.

La localización geográfica de las estaciones citadas así como la localización del río Omenillo, el cual se representa mediante una línea de mayor grosor, se presentan en la siguiente figura:

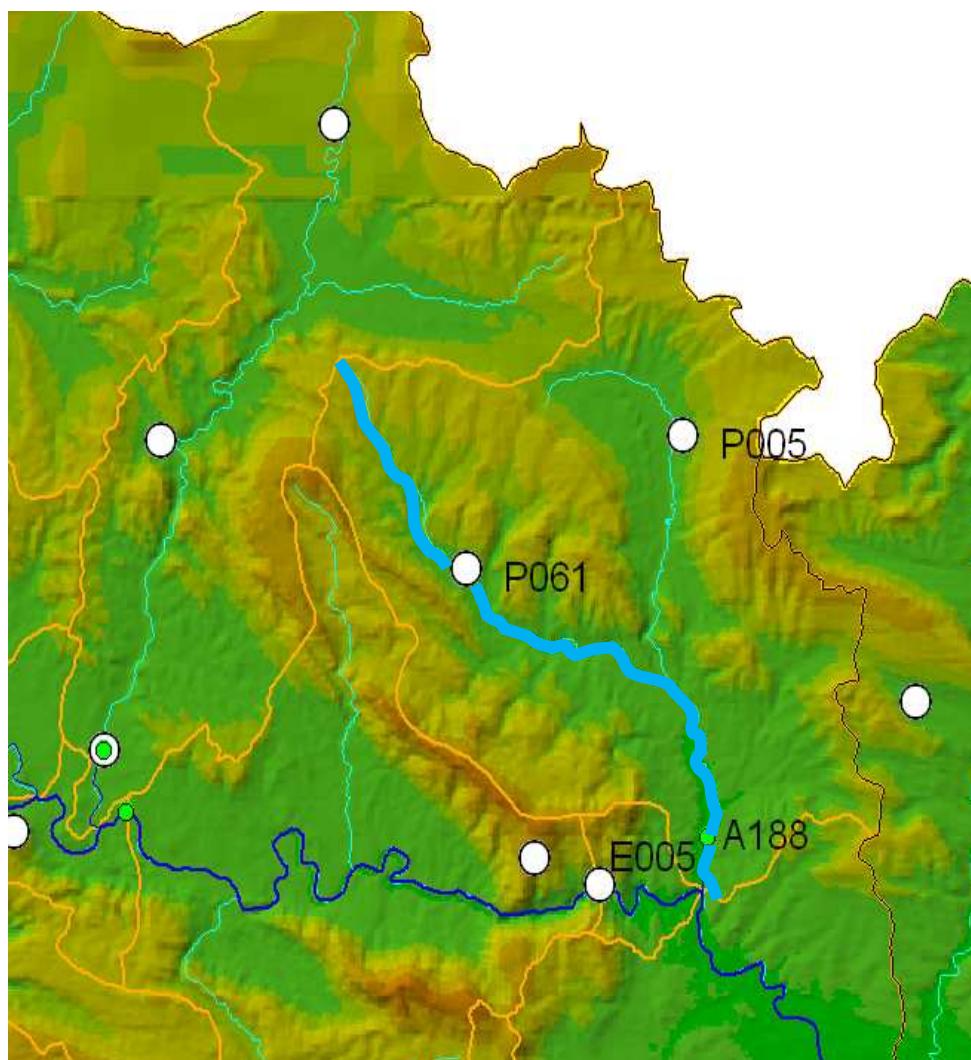


Figura VI.2 Localización de estaciones; Cuenca del Omenillo.

A partir del estudio de los datos recogidos en la estación de aforo de Berguenda se comprueba que desde 1997 se han producido numerosos episodios de avenida, encontrándose con más de 20 ocasiones en las que el caudal registrado en la estación de Berguenda aumentó bruscamente.

Del análisis de las precipitaciones registradas en los pluviómetros situados en esta subcuenca, se concluye que los tres pluviómetros son igual de importantes, y el cálculo de la lluvia media se realiza en función del área que cubren cada uno, considerando el 100% la superficie de la subcuenca.

Debido a que el pluviómetro del Corro (P061) no fue instalado hasta Septiembre del 2009, la lluvia media para toda la subcuenca sin datos del pluviómetro P061 se calcula como sigue:

$$\text{Lluvia media} = \text{Precip. E005 (mm)} \cdot \frac{1}{2} + \text{Precip. P005 (mm)} \cdot \frac{1}{2}$$

Y si se dispone de datos del pluviómetro del Corro:

$$\text{Lluvia media} = (\text{Precip. E005 (mm)} + \text{Precip. P005 (mm)} + \text{Precip. P061 (mm)}) \cdot \frac{1}{3}$$

Siendo 1/2 y 1/3, los coeficientes de proporcionalidad correspondientes a cada pluviómetro, según la superficie sobre la que influye cada uno y Precip. E005 (mm), Precip. P005 (mm), Precip. P061 (mm), la cantidad de precipitación registrada en cada uno de los pluviómetros para cada episodio en milímetros.

De entre todos los episodios registrados históricamente en esta subcuenca, se han seleccionado 9 para analizarlos en profundidad y establecer unas pautas de comportamiento en la relación precipitación-escorrentía para esta subcuenca.

Los episodios analizados son:

- Del 16 al 23 de Julio 1997: $Q_{\text{máx}} \approx 32 \text{ m}^3/\text{s}.$
- Del 6 al 13 de Mayo del 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 30 \text{ m}^3/\text{s}.$
- Del 17 al 25 de Mayo del 2005: $Q_{\text{máx}} \approx 53 \text{ m}^3/\text{s}.$
- Del 17 al 21 de Febrero del 2007: $Q_{\text{máx}} \approx 58 \text{ m}^3/\text{s}.$
- Del 1 al 8 de Junio de 2008: $Q_{\text{máx}} \approx 135 \text{ m}^3/\text{s}.$
- Del 14 de Enero al 4 de Febrero de 2009: $Q_{\text{máx}} \approx 63 \text{ m}^3/\text{s}.$
- Del 7 al 20 de Febrero de 2009: $Q_{\text{máx}} \approx 42 \text{ m}^3/\text{s}.$
- Del 12 al 23 de Enero de 2010: $Q_{\text{máx}} \approx 69 \text{ m}^3/\text{s}.$
- Del 9 al 22 de Junio 2010: $Q_{\text{máx}} \approx 29 \text{ m}^3/\text{s}.$

VI.III Análisis de episodios

VI.III.I Episodio del 16 al 23 de Julio de 1997

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Berguenda durante este episodio:

Precipitación	Berberana (P005)	61,6mm
	Sobrón (E005)	1,5mm
	Corro (P061)	
Volumen total	Berguenda (A188)	3,04Hm ³

Tabla VI.1 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, episodio del 16 al 23 de Julio de 1997.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 16 al 23 de Julio de 1997.

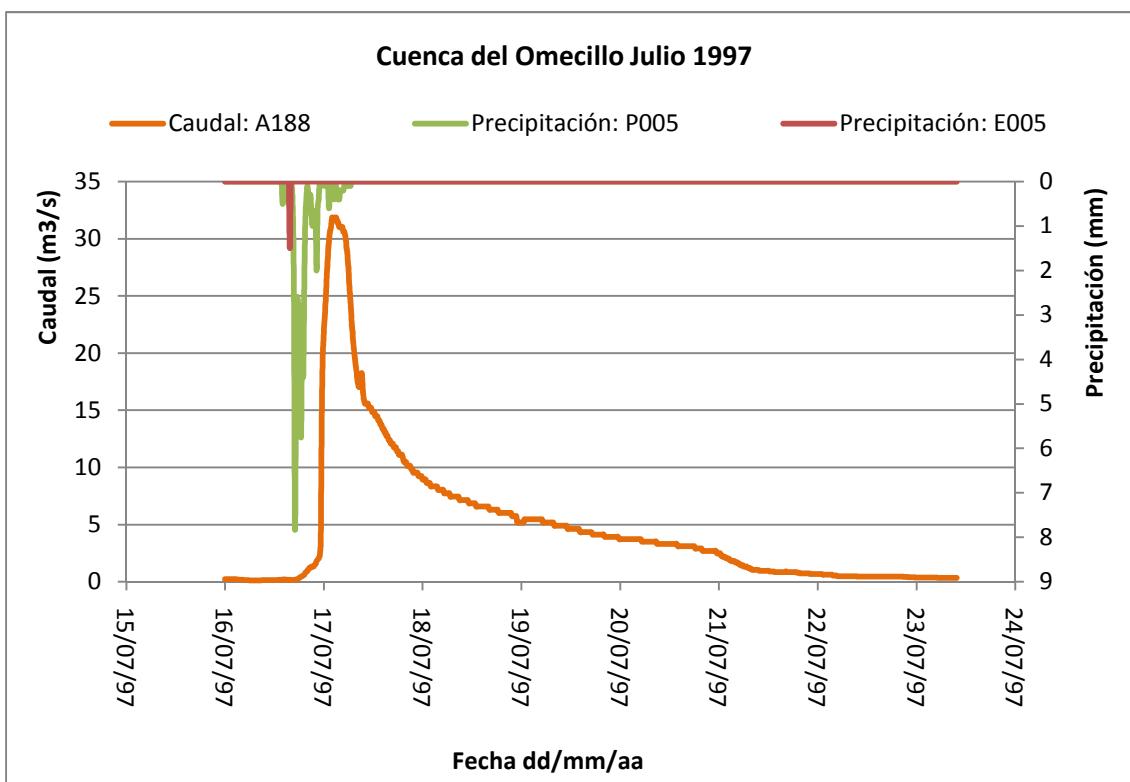


Figura VI.3 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 16 al 23 de Julio de 1997.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros del 16 al 26 de Julio de 1997:

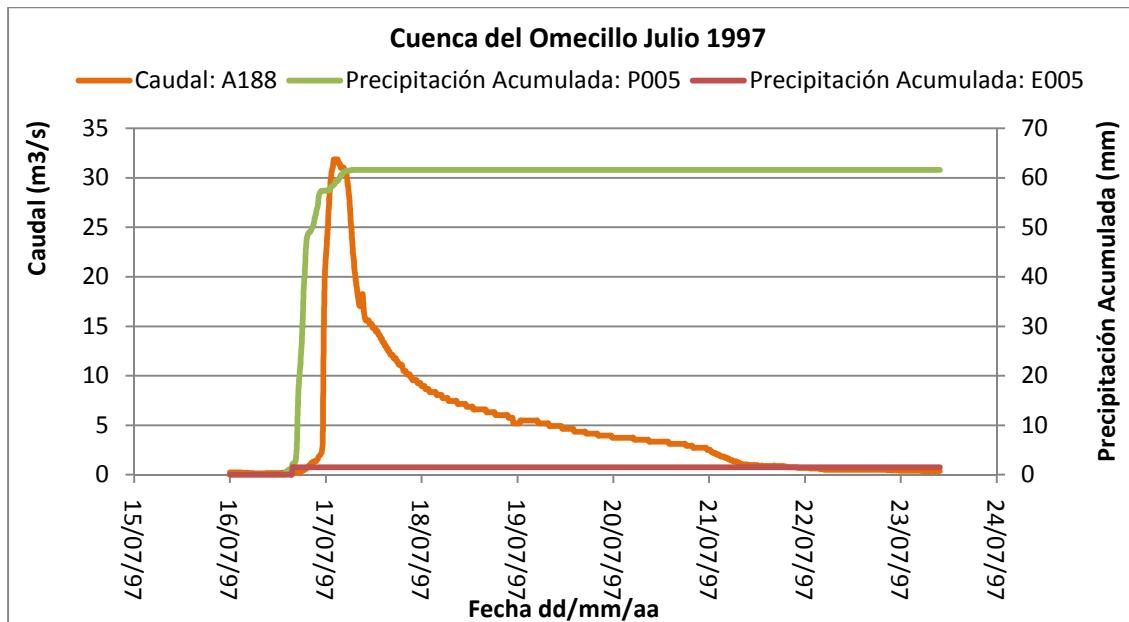


Figura VI.4 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Omeccillo, episodio del 16 al 23 de Julio de 1997.

Una vez extraídos los datos de partida (tabla VI.1) se realizan los cálculos indicados en el capítulo 4 de la memoria. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Lluvia media	61,6mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	35,75h
Volumen de Precipitación	21,5Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	15h
Duración Episodio	155,75h	t_{picos}	6,75h
Volumen de escorrentía	2,91Hm ³	Escorrentía	13,56%
Volumen Q_{base}	1,18Hm ³	Escorrentía directa	8,06%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	1,73Hm ³	Escorrentía indirecta	5,5%
$Q_{\text{máx}}$	31,86m ³ /s	Umbral precipitación	18,6mm

Tabla VI.2 Resultados obtenidos en el episodio del 16 al 23 de Julio de 1997; Cuenca del Omeccillo.

Se considera que tan sólo las lluvias producidas alrededor del pluviómetro de Berberana son las que contribuyen a la escorrentía, por lo que excepcionalmente se le atribuye al pluviómetro de Berberana un coeficiente de proporcionalidad igual a 1.

A la hora de realizar el análisis se debe tener en cuenta que la avenida es provocada por una lluvia intensa pero ésta va acompañada por precipitaciones menos intensas y el umbral de precipitación indicado en la tabla VI.2 es la lluvia media calculada con las precipitaciones registradas durante el intervalo del aguacero en el que las precipitaciones no fueron tan intensas, es decir la franja de precipitación en la que se considera que la intensidad de las lluvias no es superior a la capacidad de infiltración del suelo.

VI.III.II Episodio del 6 al 13 de Mayo del 2003

Según los datos recogidos, en la siguiente tabla se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Berguenda durante este episodio:

Precipitación	Berberana (P055)	73,5mm
	Sobrón (E005)	50,9mm
	Corro (P061)	
Volumen total	Berguenda (A188)	3,21Hm ³

Tabla VI.3 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, episodio del 6 al 13 de Mayo del 2003.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

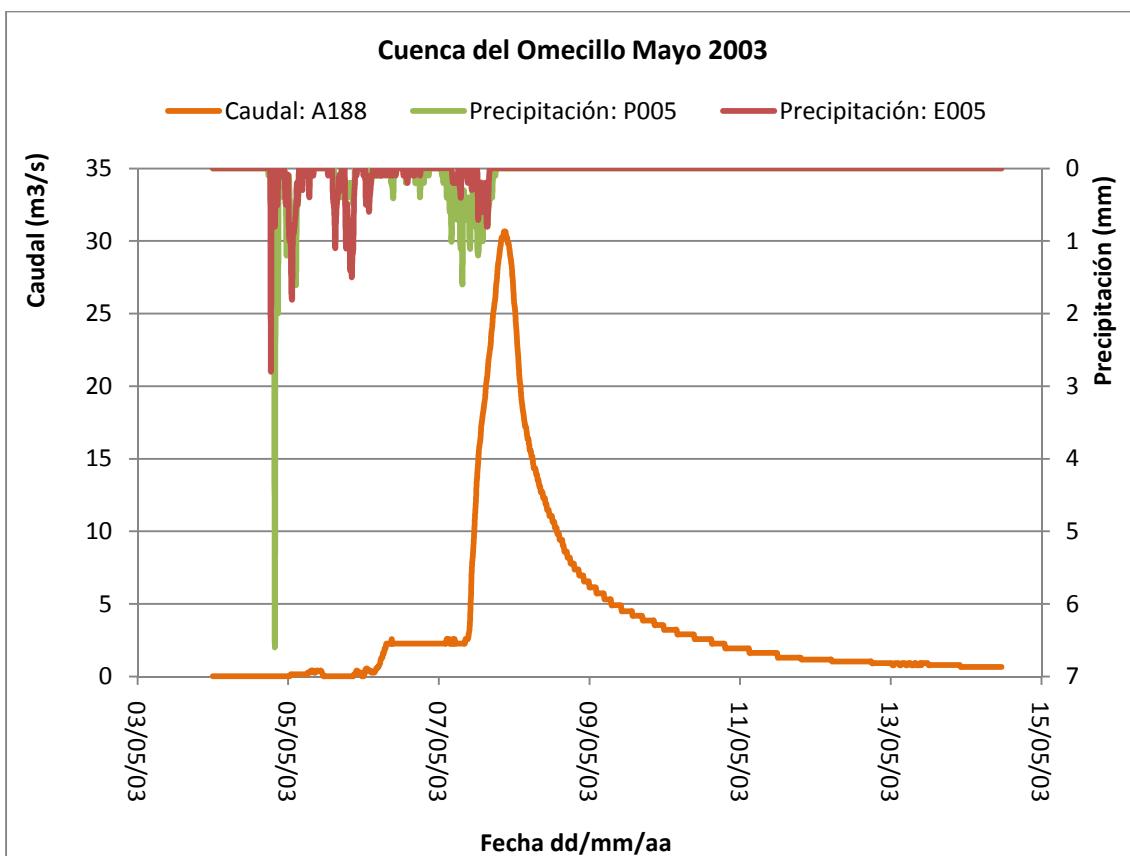


Figura VI.5 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 6 al 13 de Mayo del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

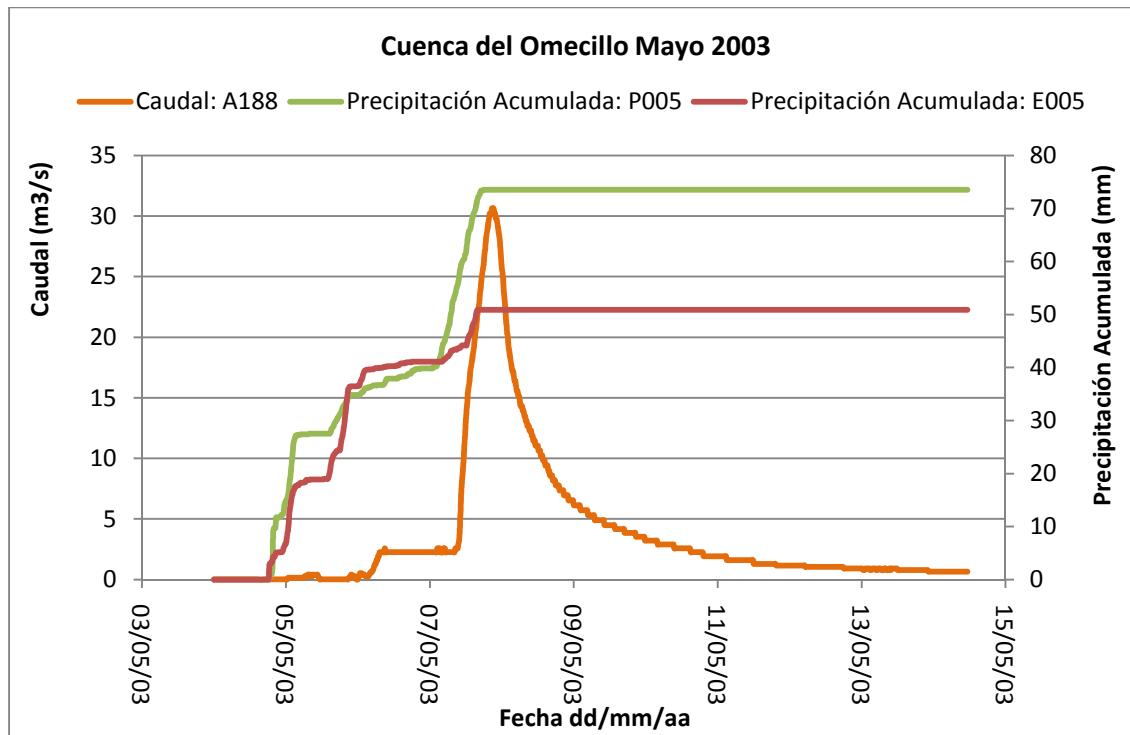


Figura VI.6 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 6 al 13 de Mayo del 2003.

Con los datos registrados, se procede a realizar los cálculos que caracterizan este episodio y que se encuentran detallados en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	62,2mm	Duración Q_{\max}	41h
Volumen de Precipitación	$21,7Hm^3$	$t_{\text{Precipitación}}$	32,75h
Duración Episodio	186h	t_{picos}	3,5h
Volumen de escorrentía	$2,94Hm^3$	Escorrentía	13,57%
Volumen Q_{base}	$0,64Hm^3$	Escorrentía directa	9,82%
Volumen Q_{\max}	$2,13Hm^3$	Escorrentía indirecta	2,97%
Q_{\max}	$30,64m^3/s$	Umbral precipitación	35,65mm

Tabla VI.4 Resultados obtenidos en el episodio del 6 al 13 de Mayo del 2003; Cuenca del Omenillo.

Como se puede ver en la tabla anterior, el volumen total de escorrentía es algo mayor que la suma del volumen del caudal base y el volumen del caudal máximo, esto es debido a que al principio del episodio aumenta en pequeña proporción el caudal registrado en la estación de aforo pero no comienza el pico del hidrograma, como se puede apreciar en las gráficas anteriores (véase figuras VI.5 y VI.6).

VI.III.III Episodio del 17 al 25 de Mayo del 2005

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Berguenda durante este episodio:

Precipitación	Berberana (P055)	66,2mm
	Sobrón (E005)	59,2mm
	Corro (P061)	
Volumen total	Berguenda (A188)	3,6 Hm ³

Tabla VI.5 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, episodio del 17 al 25 de Mayo del 2005.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

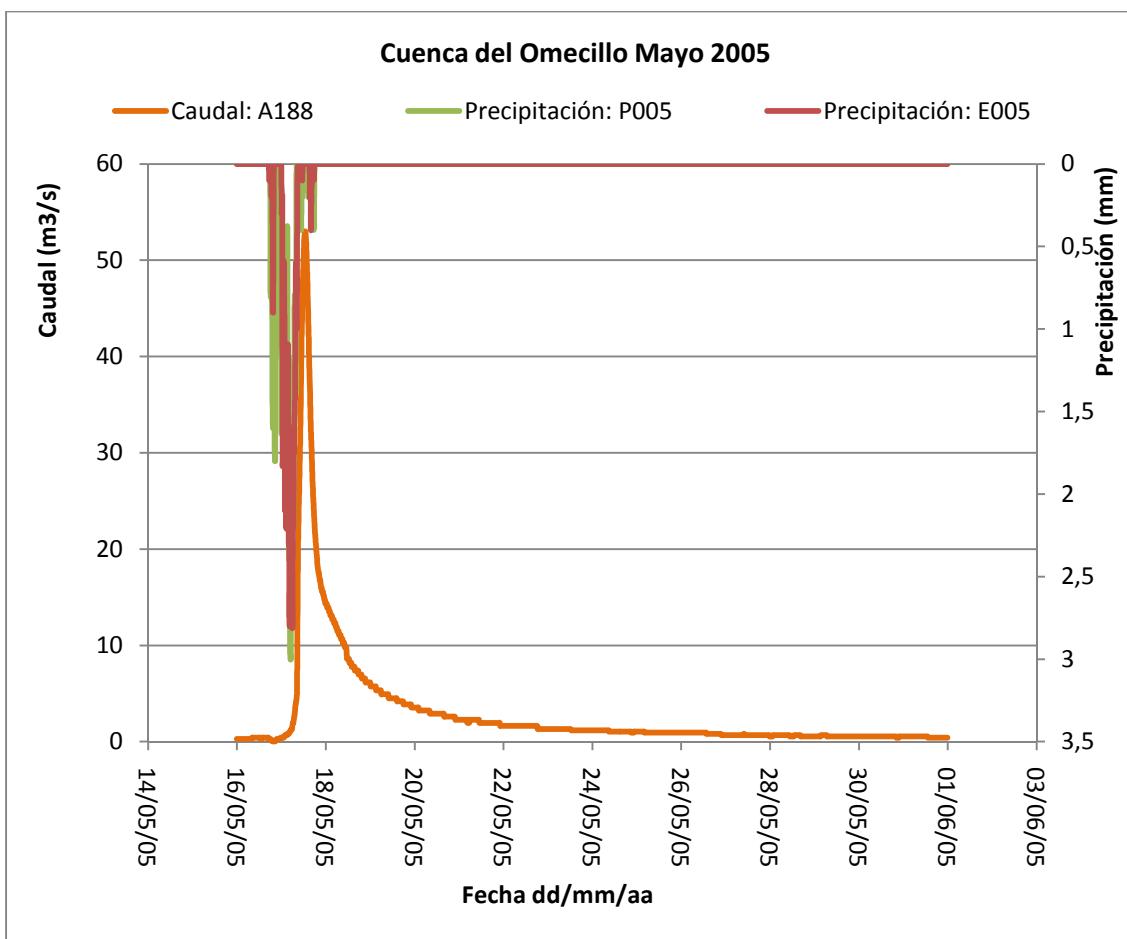


Figura VI.7 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 17 al 25 de Mayo del 2005.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

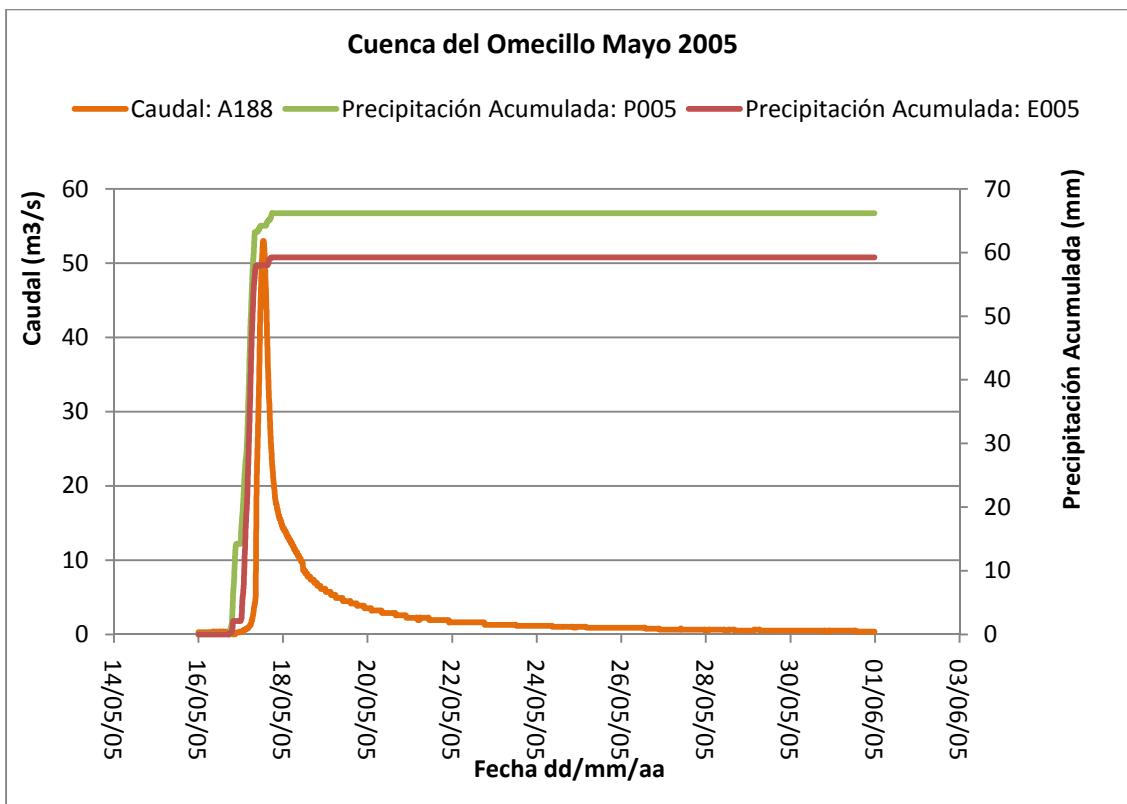


Figura VI.8 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 17 al 25 de Mayo del 2005.

Una vez realizados los cálculos que caracterizarán este episodio (véase capítulo 4 de la memoria), los resultados de estos cálculos se recogen en la siguiente tabla.

Lluvia media	62,7mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	33,25h
Volumen de Precipitación	$21,88\text{Hm}^3$	$t_{\text{Precipitación}}$	14,5h
Duración Episodio	193h	t_{picos}	5h
Volumen de escorrentía	$3,11\text{Hm}^3$	Escorrentía	14,2%
Volumen Q_{base}	1Hm^3	Escorrentía directa	9,66%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	$2,11\text{Hm}^3$	Escorrentía indirecta	4,54%
$Q_{\text{máx}}$	$53\text{m}^3/\text{s}$	Umbral precipitación	21,75mm

Tabla VI.6 Resultados obtenidos en el episodio del 17 al 25 de Mayo del 2005; Cuenca del Omenillo.

VI.III.IV Episodio del 17 al 21 de Febrero del 2007

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Berguenda durante este episodio:

Precipitación	Berberana (P055)	43,4mm
	Sobrón (E005)	57,9mm
	Corro (P061)	
Volumen total	Berguenda (A188)	5,7Hm ³

Tabla VI.7 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, episodio del 17 al 21 de Febrero del 2007.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

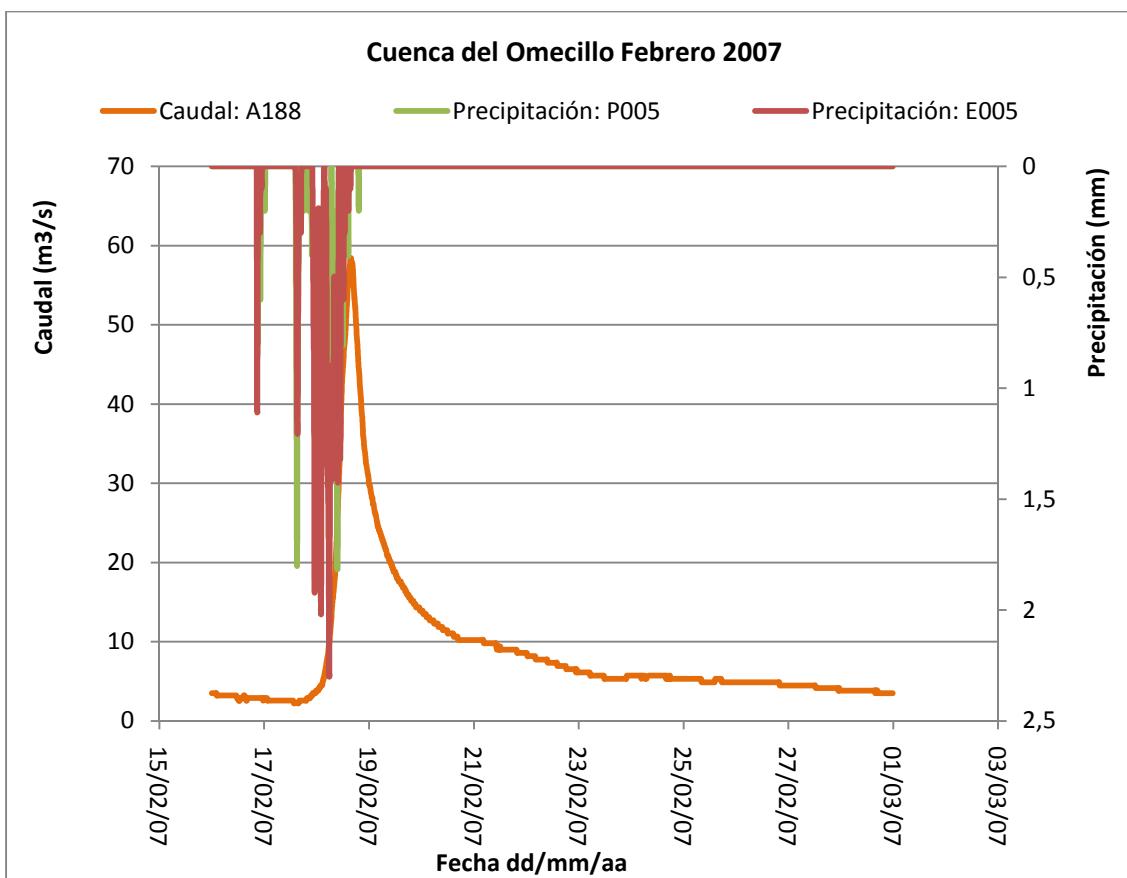


Figura VI.9 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo episodio del 17 al 21 de Febrero del 2007.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

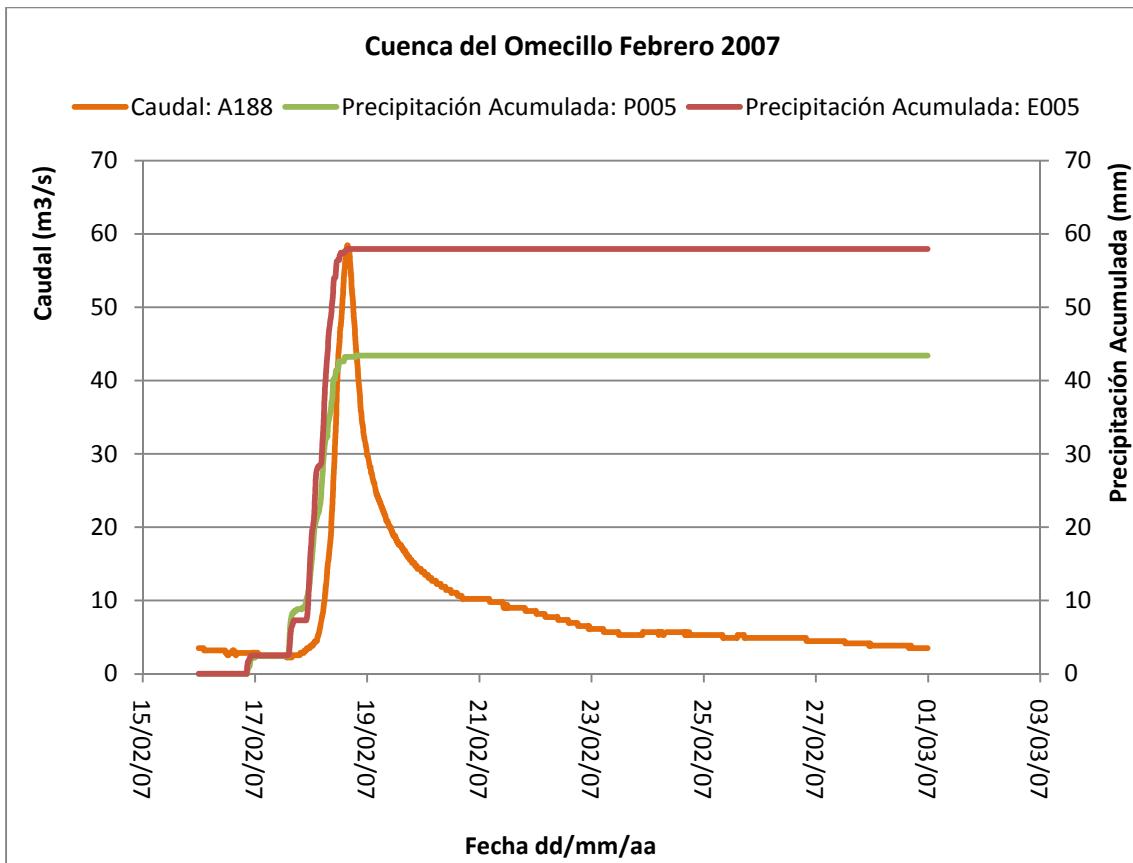


Figura VI.10 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 17 al 21 de Febrero del 2007.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	50,65mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	55h
Volumen de Precipitación	17,68 Hm^3	$t_{\text{Precipitación}}$	19,25h
Duración Episodio	268,75h	t_{picos}	5,75h
Volumen de escorrentía	4,82 Hm^3	Escorrentía	27,3%
Volumen Q_{base}	0,83 Hm^3	Escorrentía directa	22,6%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	3,99 Hm^3	Escorrentía indirecta	4,7%
$Q_{\text{máx}}$	58,4 m^3/s	Umbral precipitación	10,1mm

Tabla VI.8 Resultados obtenidos en el episodio del 17 al 21 de Febrero del 2007; Cuenca del Omenillo.

A la hora del análisis de los resultados se debe tener en cuenta que durante el mes de Febrero del 2007 se produjeron muchas lluvias sobre las subcuenca.

VI.III.V Episodio del 1 al 8 de Junio de 2008

Los datos de partida para el análisis de este episodio, la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Berguenda desde el 1 al 8 de Julio del 2008 se muestran en la siguiente tabla:

Precipitación	Berberana (P055)	75mm
	Sobrón (E005)	66,5mm
	Corro (P061)	
Volumen total	Berguenda (A188)	14,45Hm ³

Tabla VI.9 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, episodio del 1 al 8 de Junio del 2008.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 30 de Mayo hasta el 8 de Junio de 2008.

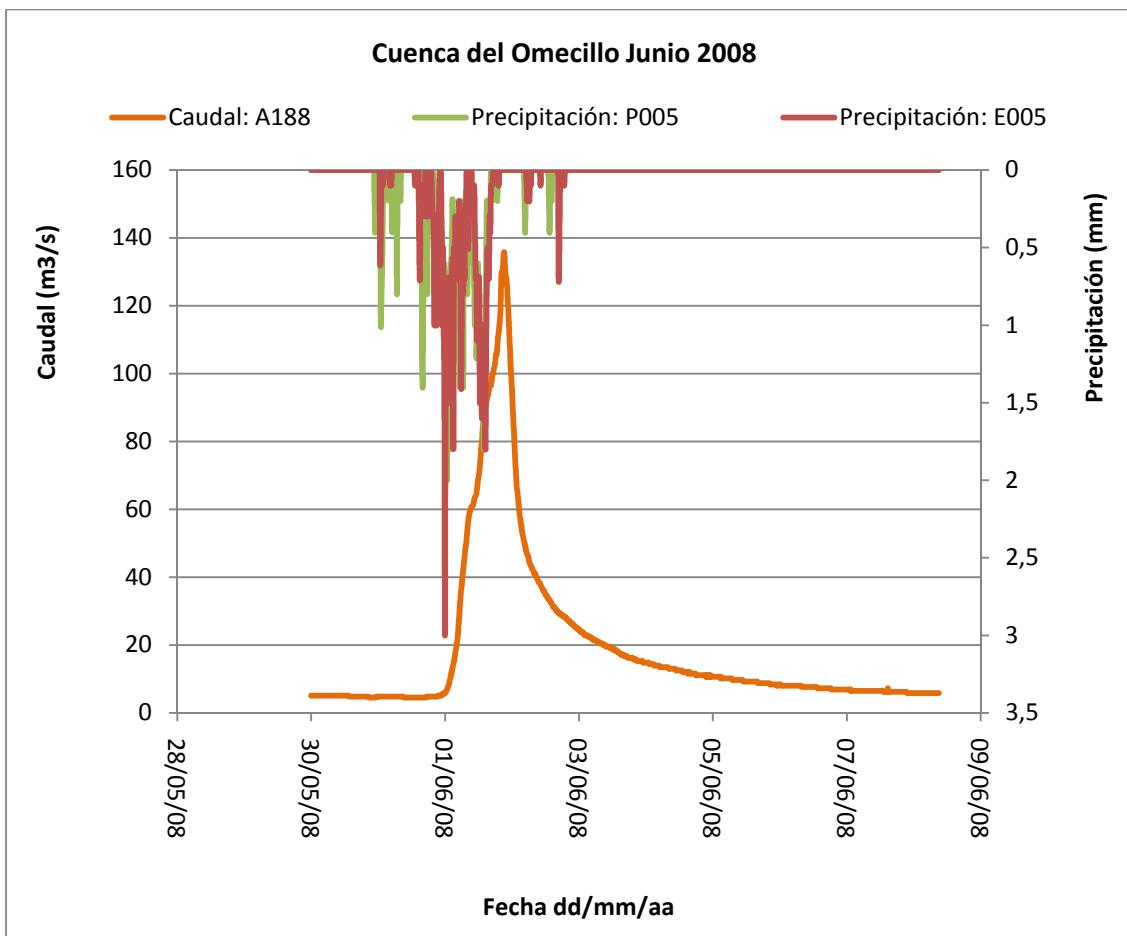


Figura VI.11 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo episodio del 1 al 8 de Junio del 2008.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

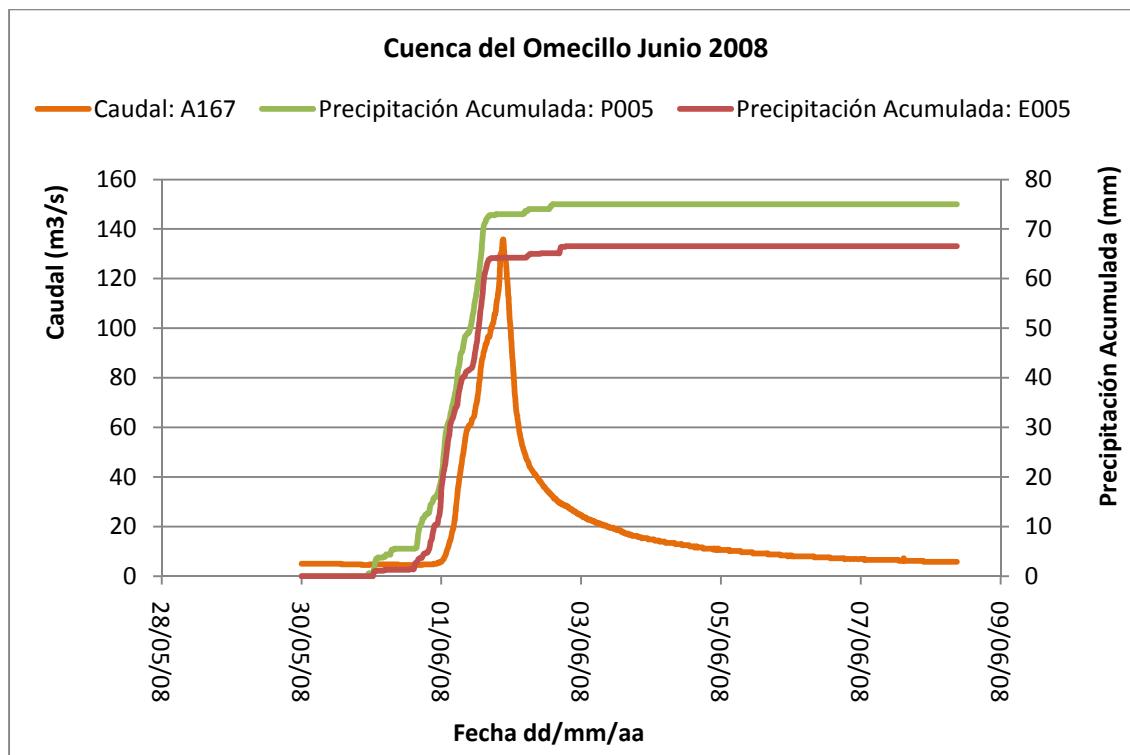


Figura VI.12 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 1 al 8 de Junio del 2008.

Los resultados de los cálculos realizados para caracterizar el episodio se recogen en la siguiente tabla:

Lluvia media	70,75mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	45,25h
Volumen de Precipitación	24,69Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	26,25h
Duración Episodio	177,5h	t_{picos}	4h
Volumen de escorrentía	10,74Hm ³	Escorrentía	43,5%
Volumen Q_{base}	2,44Hm ³	Escorrentía directa	35,57%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	8,3Hm ³	Escorrentía indirecta	9,93%
$Q_{\text{máx}}$	135m ³ /s	Umbral precipitación	12,4mm

Tabla VI.10 Resultados obtenidos en el episodio del 1 al 8 de Junio del 2008; Cuenca del Omenillo.

En este caso hay que advertir que las condiciones iniciales del terreno antes de este episodio eran húmedas ya que durante el mes de Mayo del 2008 se produjeron muchas precipitaciones sobre esta subcuenca.

VI.III.VI Episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009

A la vista de las gráficas donde se representa el evento de este episodio (véase figuras VI.13 y VI.14), se ha dividido en tres el episodio de avenida y se han analizado los datos como tres sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 7 de Enero hasta el 6 de Febrero del 2009.

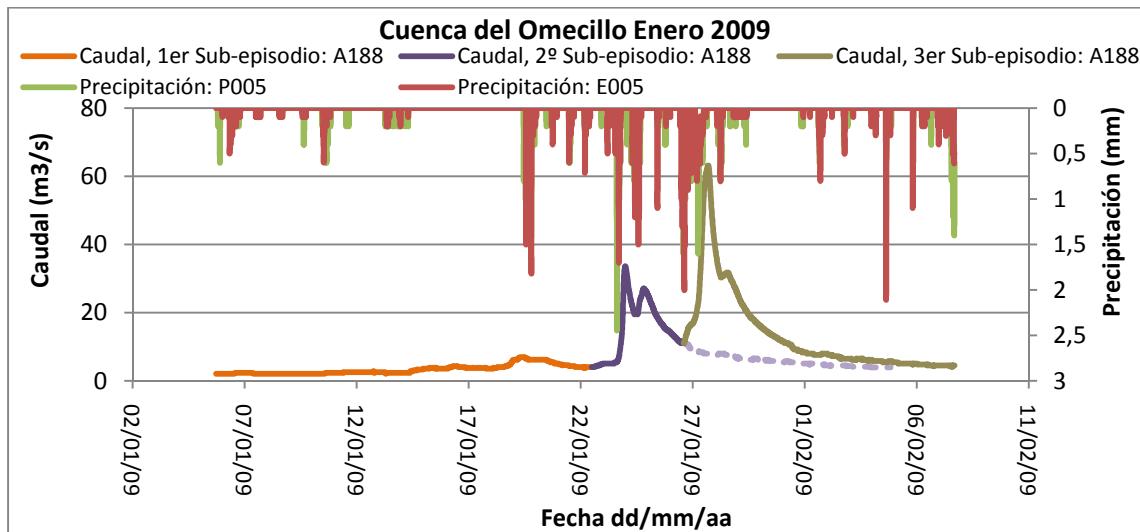


Figura VI.13 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omeccillo, episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

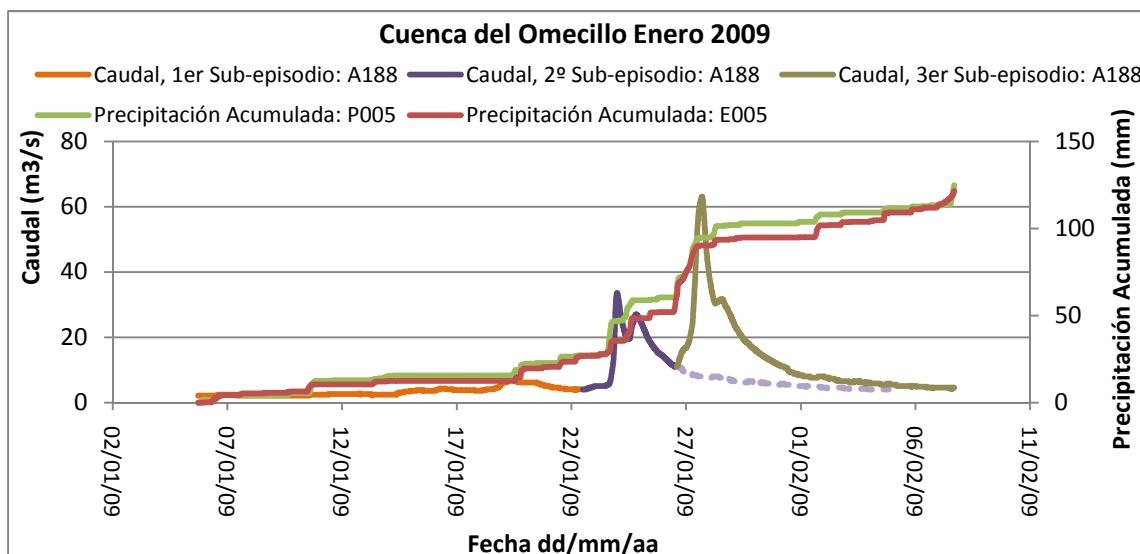


Figura VI.14 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omeccillo, episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Berguenda y este aumento se produjo entre el 16 y el 22 de Enero del 2009.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Berberana (P055)	27mm
	Sobrón (E005)	26,3mm
	Corro (P061)	
	Volumen total	Berguenda (A188) 2,4 Hm ³

Tabla VI.11 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, primer sub-episodio del episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	26,65mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	
Volumen de Precipitación	9,3Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	18,5h
Duración Episodio	176h	t_{picos}	
Volumen de escorrentía	0,65Hm ³	Escorrentía	6,96%
Volumen Q_{base}		Escorrentía directa	
Volumen $Q_{\text{máx}}$		Escorrentía indirecta	
$Q_{\text{máx}}$		Umbral precipitación	25mm

Tabla VI.12 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009; Cuenca del Omenillo.

No se forma un pico bien definido por lo que no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen $Q_{\text{máx}}$ y por consiguiente tampoco se distingue entre escorrentía directa y escorrentía indirecta. Por otra parte a la hora de realizar los cálculos la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 22 de Enero a las 7:00h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio de forma aislada tendría lugar entre el 22 de Enero y el 4 de Febrero del 2009, momento en el cuál se recuperaría el flujo base que se tenía en el Omenillo antes del aguacero. Al analizarlo como independiente hemos supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua (véase figuras VI.13 y VI.14), para así poder realizar los cálculos.

Los datos de partida para el análisis de este sub-episodio se recogen en la siguiente tabla que muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Berberana (P055)	31,8mm
	Sobrón (E005)	22,3mm
	Corro (P061)	
Volumen total	Berguenda (A188)	10,05Hm ³

Tabla VI.13 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, segundo sub-episodio del episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	27,05mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	98,25h
Volumen de Precipitación	9,44Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	16,5h
Duración Episodio	319,75h	t_{picos}	4,25h
Volumen de escorrentía	5,45Hm ³	Escorrentía	57,74%
Volumen Q_{base}	1,51Hm ³	Escorrentía directa	41,7%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	3,94Hm ³	Escorrentía indirecta	16,04%
$Q_{\text{máx}}$	33,59m ³ /s	Umbral precipitación	2,45mm

Tabla VI.14 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009; Cuenca del Omenillo.

Al analizar los resultados se debe tener en cuenta que las condiciones del terreno son húmedas y que la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la que se produce entre el final de las precipitaciones pertenecientes al primer sub-episodio hasta el 25 de Enero a las 7:45h.

Análisis del tercer sub-episodio:

Independientemente, este sub-episodio tiene lugar entre el 26 de Enero y el 4 de Febrero del 2009.

La siguiente tabla se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Berberana (P055)	22,8mm
	Sobrón (E005)	46,2mm
	Corro (P061)	
Volumen total	Berguenda (A188)	12,4Hm ³

Tabla VI.15 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, tercer sub-episodio del episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	34,5mm	Duración Q _{máx}	77,25h
Volumen de Precipitación	12,04Hm ³	t _{Precipitación}	28,5h
Duración Episodio	221,25h	t _{picos}	4,75h
Volumen de escorrentía	7,69Hm ³	Escorrentía	63,82%
Volumen Q _{base}	1,65Hm ³	Escorrentía directa	50,14%
Volumen Q _{máx}	6,04Hm ³	Escorrentía indirecta	13,68%
Q _{máx}	63,13m ³ /s	Umbral precipitación	2,55mm

Tabla VI.16 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009; Cuenca del Omenillo.

En este caso el terreno también se encuentra en condiciones iniciales húmedas.

VI.III.VII Episodio del 7 al 20 de Febrero del 2009

Examinando los datos disponibles de precipitación-escorrentía para las tres primeras semanas del mes de Febrero del 2009, se observa que se produce un episodio con varias subidas y bajadas. En lugar de analizarlo como un todo se ha creído conveniente analizarlo en dos sub-episodios independientes.

Vamos a representar los datos registrados entre el 1 y el 20 de Febrero del 2009. En la figura se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas durante estas fechas y donde se aprecia claramente, cómo se puede dividir en dos episodios independientes:

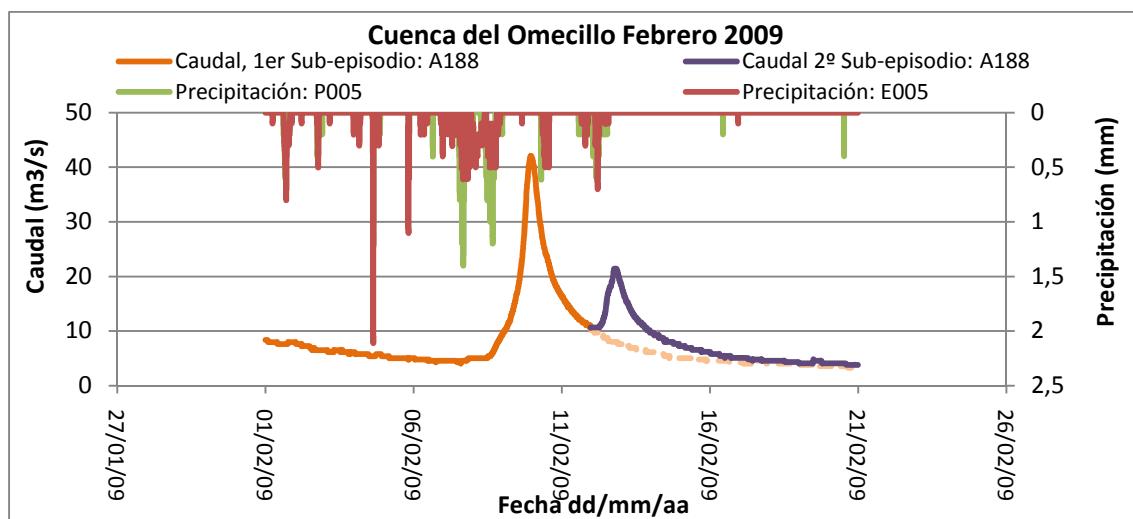


Figura VI.15 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 7 al 20 de Febrero del 2009.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

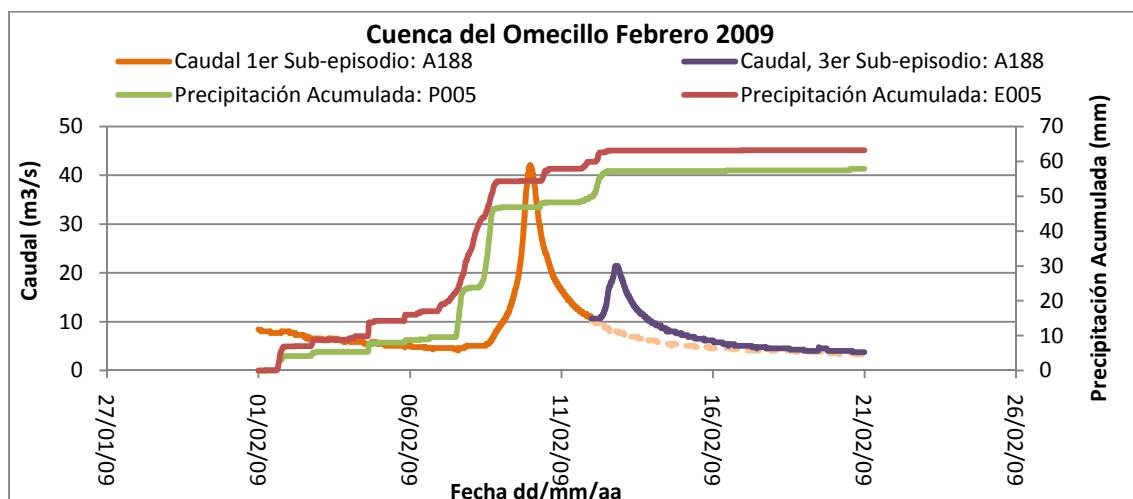


Figura VI.16 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 7 al 20 de Febrero del 2009.

Análisis del primer sub-episodio:

Analizando independientemente este sub-episodio tiene lugar entre el 7 y el 20 de Febrero del 2009. Para poder realizar los cálculos hemos supuesto parte del hidrograma del caudal, que se puede ver en las figuras anteriores con trazo discontinuo.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Berberana (P055)	46,8mm
	Sobrón (E005)	54,4mm
	Corro (P061)	
Volumen total	Berguenda (A188)	8,16Hm ³

Tabla VI.17 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, primer sub-episodio del episodio del 7 al 20 de Febrero del 2009.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	50,6mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	168,5h
Volumen de Precipitación	17,67Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	46,5h
Duración Episodio	317h	t_{picos}	27h
Volumen de escorrentía	5,96Hm ³	Escorrentía	33,76%
Volumen Q_{base}	0,45Hm ³	Escorrentía directa	31,22%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	5,51Hm ³	Escorrentía indirecta	2,54%
$Q_{\text{máx}}$	42,03m ³ /s	Umbrales precipitación	13,3mm

Tabla VI.18 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 7 al 20 de Febrero del 2009; Cuenca del Omenillo.

Las condiciones iniciales del terreno antes del sub-episodio eran húmedas ya que en los días anteriores se produjeron precipitaciones sobre la subcuenca.

También se va a tener en cuenta que la cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta que aproximadamente el momento en el que se registra el caudal máximo en la estación de aforo (exactamente hasta el día 10 de Febrero a las 6:00h).

Análisis del segundo sub-episodio:

Analizando independientemente, este sub-episodio tiene lugar entre el 11 y el 20 de Febrero del 2009.

En la siguiente tabla partimos como datos de entrada de la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Berberana (P055)	10,4mm
	Sobrón (E005)	8,7mm
	Corro (P061)	
Volumen total	Berguenda (A188)	5,73Hm ³

Tabla VI.19 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, segundo sub-episodio del episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009.

Al igual que en los otros casos, los resultados obtenidos de los cálculos para este sub-episodio son:

Lluvia media	9,55mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	45,25h
Volumen de Precipitación	3,3Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	6,75h
Duración Episodio	216,25h	t_{picos}	6,5h
Volumen de escorrentía	1,75Hm ³	Escorrentía	52,46%
Volumen Q_{base}	0,7Hm ³	Escorrentía directa	31,5%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	1,05Hm ³	Escorrentía indirecta	20,96%
$Q_{\text{máx}}$	21,41m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla VI.20 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 16 de Enero al 4 de Febrero del 2009; Cuenca del Omenillo.

El estado antecedente de humedad del suelo es muy elevado.

VI.III.VIII Episodio del 12 al 23 de Enero del 2010

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Berguenda durante este episodio:

Precipitación	Berberana (P055)	49mm
	Sobrón (E005)	83,7mm
	Corro (P061)	72,4mm
Volumen total	Berguenda (A188)	13,4Hm ³

Tabla VI.21 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, episodio del 12 al 23 de Enero del 2010.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida producido en Enero del 2010.

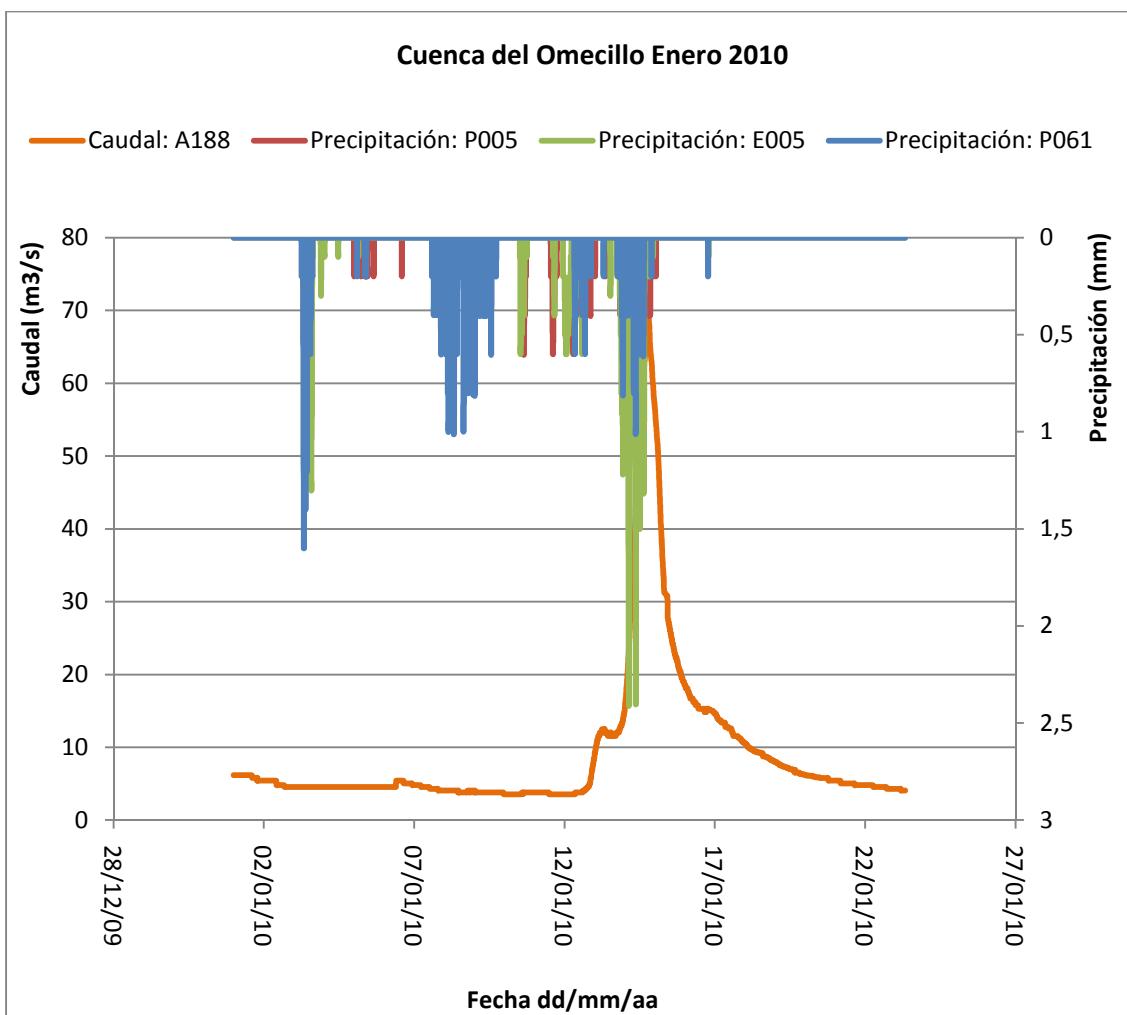


Figura VI.17 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 12 al 23 de Enero del 2010.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

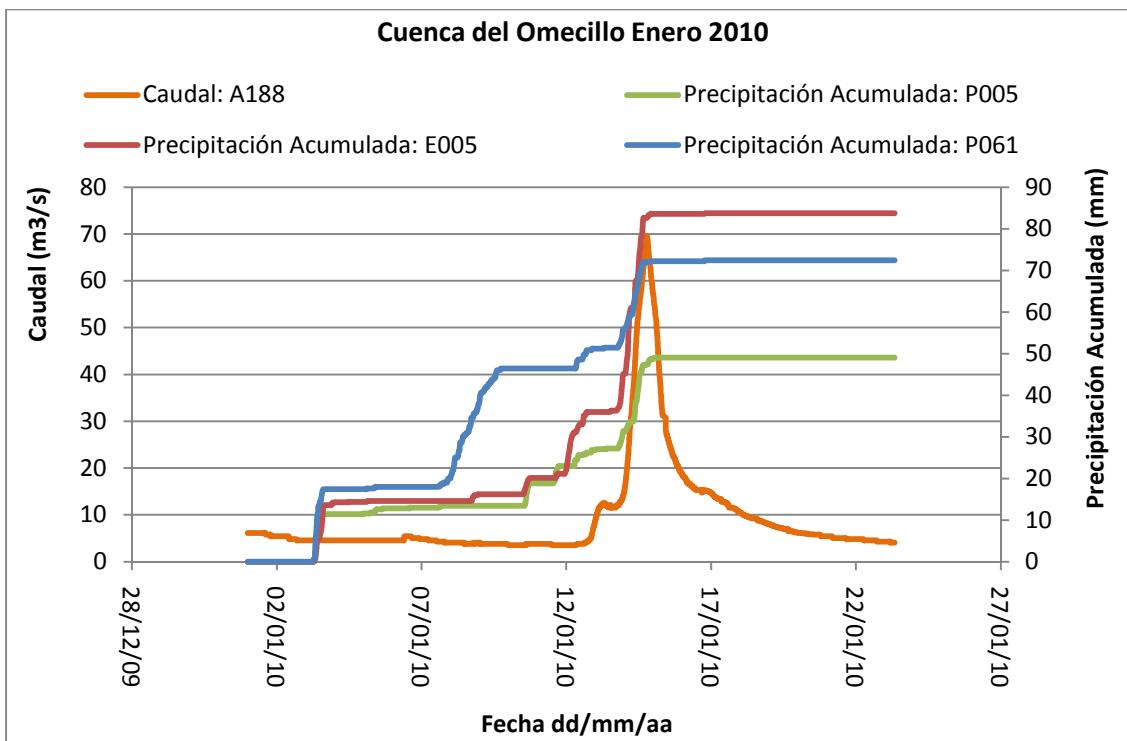


Figura VI.18 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 12 al 23 de Enero del 2010.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los cálculos para este episodio:

Lluvia media	68,36mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	88,75h
Volumen de Precipitación	23,86Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	30,5h
Duración Episodio	263,75h	t_{picos}	3,5h
Volumen de escorrentía	9,99Hm ³	Escorrentía	41,9%
Volumen Q_{base}	2,92Hm ³	Escorrentía directa	29,64%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	7,07Hm ³	Escorrentía indirecta	12,26%
$Q_{\text{máx}}$	69,48m ³ /s	Umbral precipitación	32,5mm

Tabla VI.22 Resultados obtenidos en el episodio del 12 al 23 de Enero del 2010; Cuenca del Omenillo.

VI.III.IX Episodio del 9 al 22 de Junio del 2010

En este caso el episodio de avenida se analiza en tres sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 9 al 24 de Junio del 2010. En esta figura se puede observar como existen tres episodios independientes:

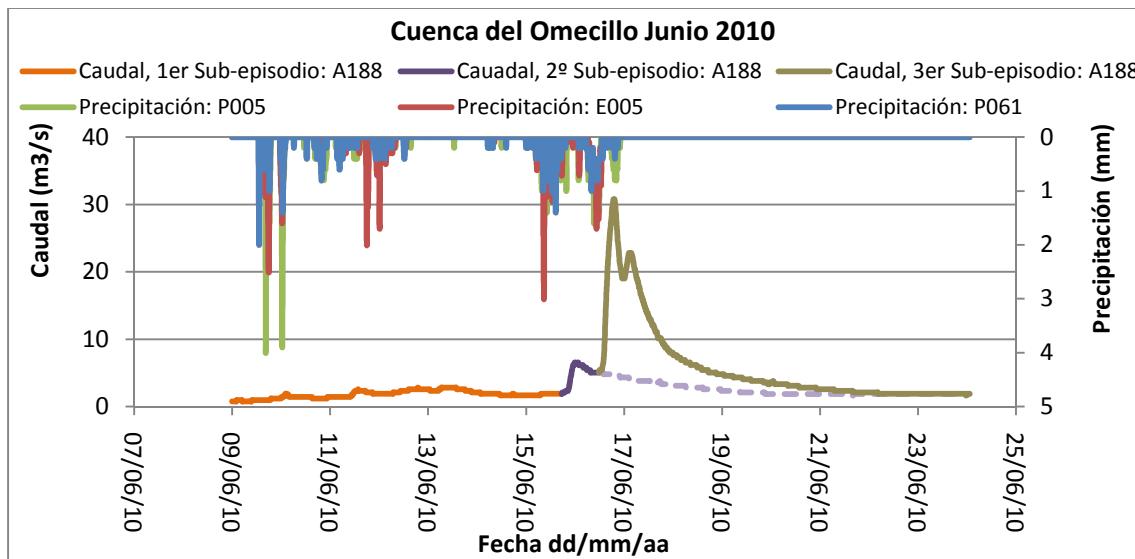


Figura VI.19 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 9 al 22 de Junio del 2010.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante el episodio completo:

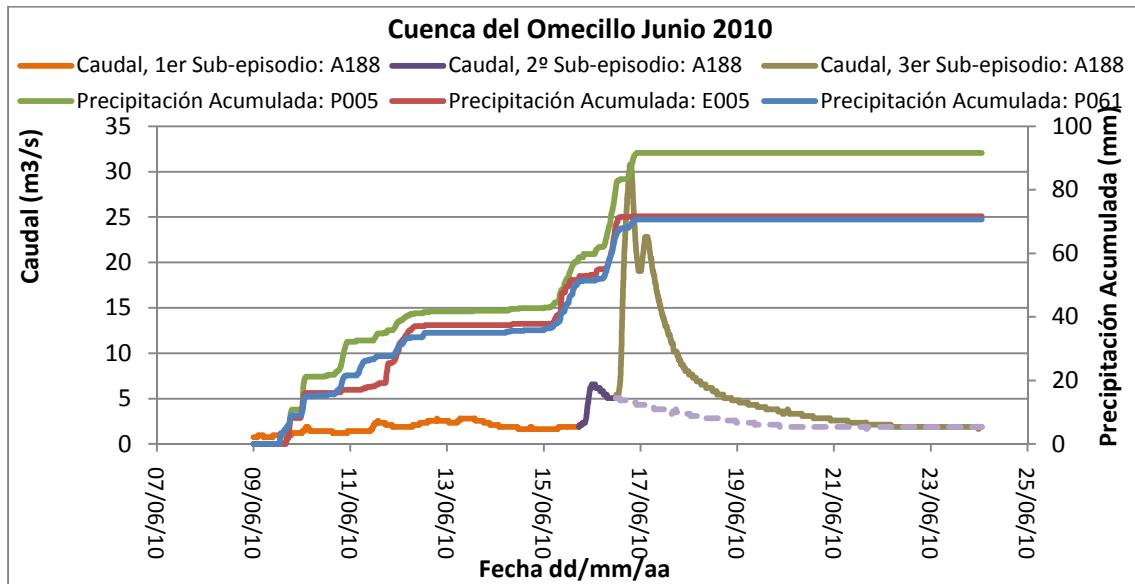


Figura VI.20 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Omenillo, episodio del 9 al 22 de Junio del 2010.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Berguenda y que se produjo entre el 9 y el 15 de Junio del 2010.

Los datos de partida para el análisis de este sub-episodio, es decir, la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio, se muestran en la siguiente tabla:

Precipitación	Berberana (P055)	42mm
	Sobrón (E005)	37,4mm
	Corro (P061)	35mm
	Volumen total	Berguenda (A188) 1,04Hm ³

Tabla VI.23 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, primer sub-episodio del episodio del 9 al 22 de Junio del 2010.

Una vez realizados los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria, los resultados obtenidos para este sub-episodio se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	38,13mm	Duración Q _{máx}	
Volumen de Precipitación	13,31Hm ³	t _{Precipitación}	17,5h
Duración Episodio	161,5h	t _{picos}	
Volumen de escorrentía	0,61Hm ³	Escorrentía	4,6%
Volumen Q _{base}		Escorrentía directa	
Volumen Q _{máx}		Escorrentía indirecta	
Q _{máx}		Umbrales precipitación	25,4mm

Tabla VI.24 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 9 al 22 de Junio del 2010; Cuenca del Omenillo.

Al no formarse un pico bien definido, no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen Q_{máx} y por consiguiente tampoco se distingue entre escorrentía directa y escorrentía indirecta. Por otra parte, a la hora de realizar los cálculos, la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 13 de Junio a las 22:30h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio analizado independientemente tiene lugar entre el 15 y el 22 de Junio del 2010. Como se puede observar en las gráficas donde se representa el evento completo se ha supuesto un caudal de bajada del hidrograma para así poder realizar los cálculos (figuras VI.19 y VI.20, línea discontinua color purpura claro).

Los datos de partida para el análisis de este sub-episodio son: la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio y los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Precipitación	Berberana (P055)	17,8mm
	Sobrón (E005)	15,9mm
	Corro (P061)	16,4mm
Volumen total	Berguenda (A188)	1,63Hm ³

Tabla VI.25 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, segundo sub-episodio del episodio del 9 al 22 de Junio del 2010.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este sub-episodio:

Lluvia media	16,7mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	43,25h
Volumen de Precipitación	5,83Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	14h
Duración Episodio	155h	t_{picos}	7h
Volumen de escorrentía	0,58Hm ³	Escorrentía	10,05%
Volumen Q_{base}	0,16Hm ³	Escorrentía directa	7,23%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,42Hm ³	Escorrentía indirecta	2,82%
$Q_{\text{máx}}$	6,54m ³ /s	Umbral precipitación	10,67mm

Tabla VI.26 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 9 al 22 de Junio del 2010; Cuenca del Omenillo.

El estado antecedente de humedad del suelo es muy elevado.

Las precipitaciones registradas a partir del día 15 de Junio a las 23:45h no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos que caracterizan este sub-episodio. Se toma que a partir de este instante las precipitaciones provocarán el tercer sub-episodio.

Análisis del tercer sub-episodio:

Al analizar aisladamente, este sub-episodio se produciría entre el 16 y el 22 de Junio del 2010.

En cuanto a los datos iniciales, partimos de la siguiente tabla que nos muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Berberana (P055)	31,8mm
	Sobrón (E005)	18,4mm
	Corro (P061)	19,2mm
Volumen total	Berguenda (A188)	3,5 Hm ³

Tabla VI.27 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Omenillo, tercer sub-episodio del episodio del 9 al 22 de Junio del 2010.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	23,13mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	90,5h
Volumen de Precipitación	8,07Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	24,25h
Duración Episodio	136,75h	t_{picos}	4,5h
Volumen de escorrentía	2,16Hm ³	Escorrentía	26,84%
Volumen Q_{base}	0,55Hm ³	Escorrentía directa	20,01%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	1,61Hm ³	Escorrentía indirecta	6,83%
$Q_{\text{máx}}$	30,78m ³ /s	Umbrales precipitación	7,23mm

Tabla VI.28 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio del 9 al 22 de Junio del 2010; Cuenca del Omenillo.

A la hora de analizar los resultados de este sub-episodio se debe tener en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno muy húmedo.

VI.IV Conclusiones

A continuación, una vez analizados todos los episodios relevantes, y a la vista de los cálculos realizados podemos establecer algunas conclusiones de las pautas de comportamiento de la cuenca del Omenillo en cuanto a la respuesta hidrológica que tiene en función de la precipitación. En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos de los resultados obtenidos de los episodios analizados:

Episodio (fecha)	Qmáx (m ³ /s)	Duración Qmáx (h)	Vol. Qmáx (Hm ³)	Vol. Base (Hm ³)	Vol. Escorrentía A188 (Hm ³)	T Precip. (h)	P055 (mm)	E005 (mm)	P061 (mm)	Vol. Precip. (Hm ³)	Escorrentia (%)	T entre picos (h)
16 al 23 Julio 1997	31,86	35,75	1,73	1,18	2,91	15	61,6	1,5		21,5	13,56	6,75
6 al 13 Mayo 2003	30,64	41	2,13	0,64	2,94	32,75	73,5	50,9		21,7	13,57	3,5
17 al 25 Mayo 2005	53	33,25	2,11	1	3,11	14,5	66,2	59,2		21,88	14,2	5
17 al 21 Febrero 2007	58,4	55	3,99	0,83	4,82	19,25	43,4	57,9		17,68	27,3	5,75
1 al 8 Junio 2008	135	45,25	8,3	2,44	10,74	26,25	75	66,5		24,69	43,5	4
16 de Enero al 4 de Febrero 2009					0,65	18,5	27	26,3		9,3	6,96	
	33,59	98,25	3,94	1,51	5,45	16,5	31,8	22,3		9,44	57,74	4,25
	63,13	77,25	6,04	1,65	7,69	28,5	22,8	46,2		12,04	63,82	4,75
7 al 20 Febrero 2009	42,03	168,5	5,51	0,45	5,96	46,5	46,8	54,4		17,67	33,76	27
	21,41	45,25	1,05	0,7	1,75	6,75	10,4	8,7		3,3	52,46	6,5
12 al 23 Enero 2010	69,48	88,75	7,07	2,92	9,99	30,5	49	83,7	72,4	23,86	41,9	3,5
9 al 22 Junio 2010					0,61	17,5	42	37,4	35	13,31	4,6	
	6,54	43,25	0,42	0,16	0,58	14	17,8	15,9	16,4	5,83	10,05	7
	30,78	90,5	1,61	0,55	2,16	24,25	31,8	18,4	19,2	8,07	26,84	4,5

Tabla VI.29 Resumen de resultados de la cuenca del Omenillo.

Y las conclusiones son:

- En el caso de que se parta de unas condiciones iniciales de terreno seco (esto es, que no se hayan registrado precipitaciones importantes en los días previos), en los episodios analizados se observa que aproximadamente los primeros 25 mm de lluvia son absorbidos por el terreno sin que llegue a observarse incremento del caudal en el aforo de Berguenda. Este valor constituye un umbral a partir del cual los depósitos superficiales se saturan y el río empieza a responder. En el caso de que la lluvia sea de poca intensidad este umbral puede aumentar llegando a alcanzar valores de 35mm. Por el contrario, si se han producido lluvias en los días anteriores, este valor se reduce a un valor de alrededor de 10mm e incluso existen episodios en los que se producen lluvias en las horas previas al episodio en cuestión y este umbral llega a ser prácticamente nulo.
- Analizando los hietogramas de precipitación junto a sus hidrogramas de caudal asociados se observa que los momentos en los que se produce el grueso de precipitación (por lo general los momentos en los que se registra la máxima intensidad de precipitación mantenida durante varias horas) son los que dan lugar a los diversos picos del hidrograma.

En los episodios analizados se observa que el tiempo transcurrido entre el centro de gravedad del hietograma y la punta del correspondiente hidrograma oscila entre 3,5 y 7 horas en función de lo cerca que se estén produciendo las precipitaciones de la estación de aforo.

Como caso particular, es importante destacar el primer sub-episodio de Febrero de 2009, en el cuál este tiempo asciende a un valor de 27 horas. Esto puede ser debido a que la precipitación sea en forma de nieve, por lo que el escurrimiento superficial no se produzca hasta que se funda la nieve, por lo que el tiempo transcurrido entre momento en el que se registra la precipitación en los pluviómetros y en el que se incrementa el caudal medido en la estación de aforo aumenta, aumentando también el tiempo transcurrido entre en el centro de gravedad del hietograma y el pico del hidrograma.

- La distribución de las intensidades de la precipitación en el tiempo es lo que determina el caudal máximo de la crecida y el volumen de la misma. Cuanto más intensa y concentrada en menos tiempo sea la lluvia, más alto será el hidrograma aunque, por otro lado, si su duración es reducida, su volumen no será demasiado alto. Por este motivo, el tiempo que dura el pico del hidrograma de avenida (que determina el tiempo durante el cual se va a concentrar la mayor parte del volumen por unidad de tiempo de la riada) es un parámetro muy variable, que en los episodios estudiados varía entre 33 y 170 horas.
- A partir del episodio de Julio de 1997, en el cual toda la precipitación que provoca la crecida se encuentra en el pluviómetro de Berberana que se encuentra en la cabecera de la subcuenca, se estima que el tiempo de concentración de la subcuenca es como mínimo 7h, lo que significa que los caudales máximos de crecida que se pueden registrar para la cuenca serán producidos por las cantidades de precipitación más grandes que se puedan dar en este tiempo.

- De los coeficientes de escorrentía calculados, para los diferentes episodios, como el volumen de agua registrado en la estación de aforo dividido entre el volumen de precipitación estimado para toda la cuenca, se puede concluir que:

- Partiendo de condiciones iniciales de terreno seco:

- Con lluvias de hasta 25 mm, la escorrentía es prácticamente inexistente. Si existe una pequeña variación en el flujo base del río es debido a los flujos subterráneos e hipodérmicos.
- Con lluvias de hasta 40 mm, se dan coeficientes de escorrentía entorno al 7%.
- Con lluvias de hasta 60 mm se pueden obtener coeficientes de escorrentía del 14%.
- Estos coeficientes de escorrentía pueden aumentar si las lluvias se dan mayoritariamente en puntos muy cercanos a la estación de aforo de Berguenda, es decir si se registra la mayor cantidad de precipitación en el pluviómetro situado en el embalse de Sobrón, obteniendo coeficientes de escorrentía de en torno al 4% con lluvias de 70mm.

- En el caso de que partamos de condiciones iniciales húmedas, los coeficientes de escorrentía aumentan. Este aumento depende de la cantidad de humedad que tenga el terreno al inicio del episodio:

- Si se han dado lluvias importantes en los días previos, lluvias de hasta 50mm pueden producir coeficientes de escorrentía de 34%,
- En el caso de que se hayan dado lluvias en las horas anteriores, lluvias de hasta 35mm pueden producir coeficientes de escorrentía del 64%.

- Es posible que para episodios mayores a los estudiados y en otras situaciones muy favorables para ello, se pudiesen producir escorrentías superiores a las citadas.

- Al diferenciar el volumen bajo la curva del hidrograma entre el volumen asociado a escorrentías directas y el asociado a aportaciones de flujos subterráneos e hipodérmicos, se obtiene que el primero siempre es mayor que el segundo. El coeficiente de escorrentía directa alcanza su máximo valor en el tercer sub-episodio de Enero del 2009, en el que partimos de condiciones iniciales de terreno muy húmedo y se llega obtener un valor del 50,14%. El coeficiente de escorrentía indirecta alcanza su máximo valor en el segundo sub-episodio de Febrero del 2009, tomando un valor del 20,96%.
- Debido a la uniformidad de las lluvias en el primer sub-episodio analizado del episodio de Febrero del 2009, sub-episodio en el que se ha estimado una precipitación media acumulada de unos 50,6mm, lo que representaría un volumen de agua de 17,67 Hm^3 , de los cuales 5,96 se midieron en la estación de Berguenda, se estima un coeficiente de escorrentía medio para toda la subcuenca de aproximadamente 0,3376.
- De cara a evaluar los volúmenes de agua esperables en la estación de aforo de Berguenda en el caso de una lluvia prevista, el episodio de mayor caudal se obtuvo para una precipitación media ponderada para toda la cuenca de unos 70,75 mm, la cual originó un volumen de escorrentía de unos 10,75 Hm^3 , de los cuales 8,3 se recogieron en Berguenda en 45 horas.

ANEXO VII: CUENCA DEL MANUBLES**VII.I Descripción**

El río Manubles nace al pie de la Sierra de Tablado, en la provincia de Soria limitando con la provincia de Zaragoza. En su nacimiento recibe las escorrentías del Moncayo. Ya en la provincia de Zaragoza fluye al Jalón por su margen izquierdo en el término de Ateca [<http://es.wikipedia.org>].

La cuenca del Manubles tiene un área de 436,813803 Km² cuya mayor parte del terreno se consagra en agricultura de secano [<http://www.chebro.es>].

En la siguiente figura se muestra la localización de la subcuenca del Manubles (mediante la superficie coloreada en amarillo) dentro de la cuenca del Ebro:

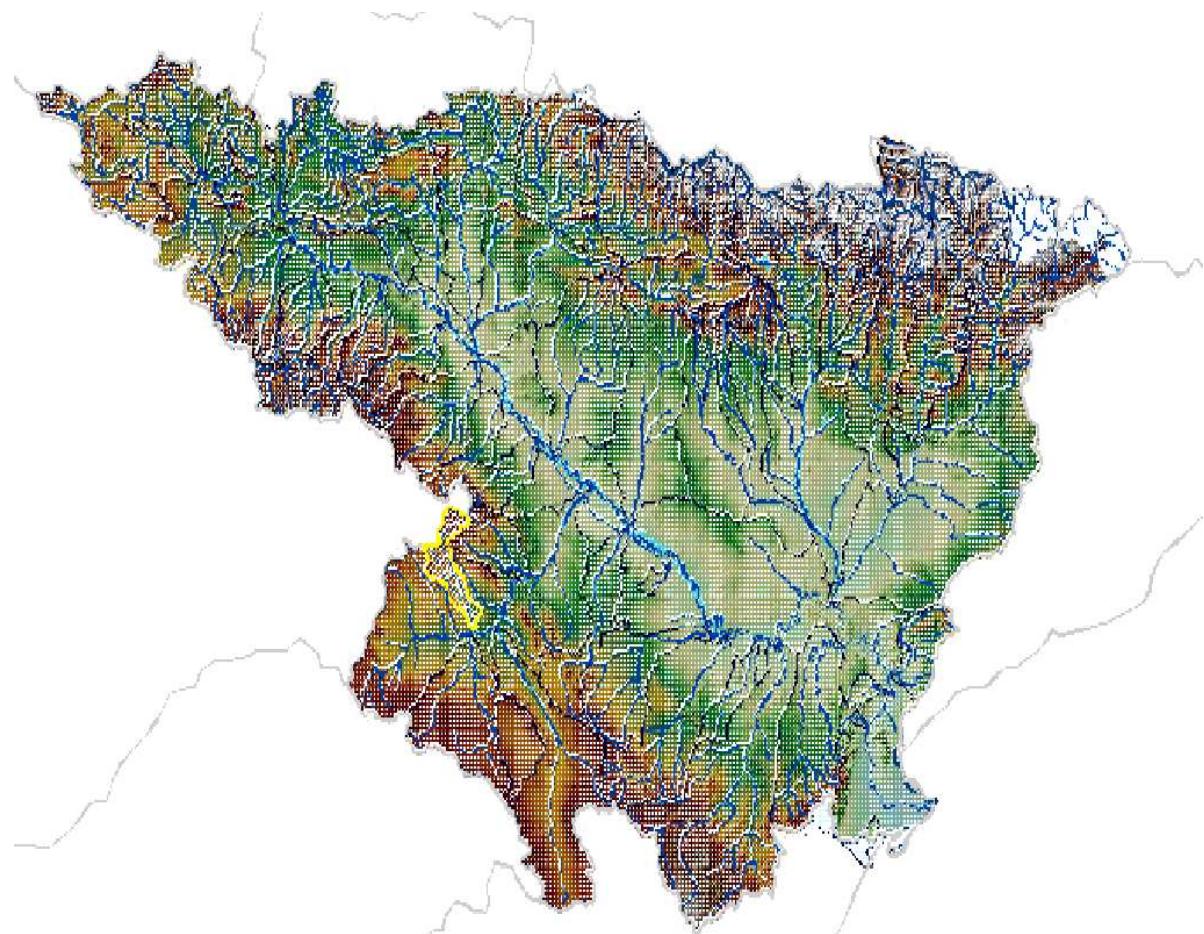


Figura VII.1 Localización geográfica; Cuenca del Manubles

VII.II Datos de partida

Con el objeto de conocer mejor la respuesta hidrológica de la cuenca del río Manubles se han analizado los datos quince-minutales de la base histórica del SAIH tanto del caudal medido en la estación de aforo A184 Manubles en Ateca, como de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas P018 Beratón, P020 Alzamul y E283 Monteagudo de las Vicarías.

La localización geográfica de las estaciones citadas así como la localización del río Manubles desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Jalón, el cual se representa mediante una línea de mayor grosor, se presentan en la figura siguiente:



Figura VII.2 Localización de estaciones; Cuenca del Manubles.

Del análisis de las precipitaciones registradas en los pluviómetros situados en esta subcuenca, se concluye que los tres pluviómetros son igual de importantes, y el cálculo de la lluvia media se realiza en función del área que cubren. Considerando el 100% la superficie de la subcuenca, la expresión utilizada para el cálculo de la lluvia media es:

$$\text{Lluvia media} = \text{Precip. P018 (mm)} \cdot 0,7 + \text{Precip. E283 (mm)} \cdot 0,15 + \text{Precip. P020 (mm)} \cdot 0,15$$

Siendo 0,7 y 0,15 los coeficientes de proporcionalidad correspondientes a cada pluviómetro, según la superficie sobre la que influye cada uno y Precip. P018 (mm), Precip. E283 (mm), Precip. P020 (mm), la cantidad de precipitación registrada en cada uno de los pluviómetros para cada episodio en milímetros.

De entre todos los episodios acontecidos históricamente en esta subcuenca se han seleccionado siete para analizarlos en profundidad y poder establecer pautas de comportamiento en la relación precipitación-escorrentía en esta cuenca.

Son los siguientes:

- Episodio del 17 al 25 de Abril de 1997: $Q_{\text{máx}} \approx 23 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 4 al 5 de Junio de 1997: $Q_{\text{máx}} \approx 45 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 23 al 27 Julio de 1997: $Q_{\text{máx}} \approx 16 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 17 al 21 de Diciembre de 1997: $Q_{\text{máx}} \approx 13 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 4 al 6 de Junio del 2000: $Q_{\text{máx}} \approx 18 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 25 al 28 de Febrero del 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 136 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 3 al 8 de Septiembre del 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 13 \text{ m}^3/\text{s}$.

VII.III Análisis de episodios

VII.III.I Episodio del 17 al 25 de Abril de 1997

Los datos de partida para el análisis se muestran en la siguiente tabla en la que figura la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Ateca durante este episodio:

Precipitación	Monteagudo (E283)	25mm
	Beratón (P018)	18mm
	Alzamul (P020)	0mm
Volumen total	Ateca (A184)	2,37Hm ³

Tabla VII.1 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, episodio del 17 al 25 de Abril de 1997.

Los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida se representan en la siguiente gráfica.

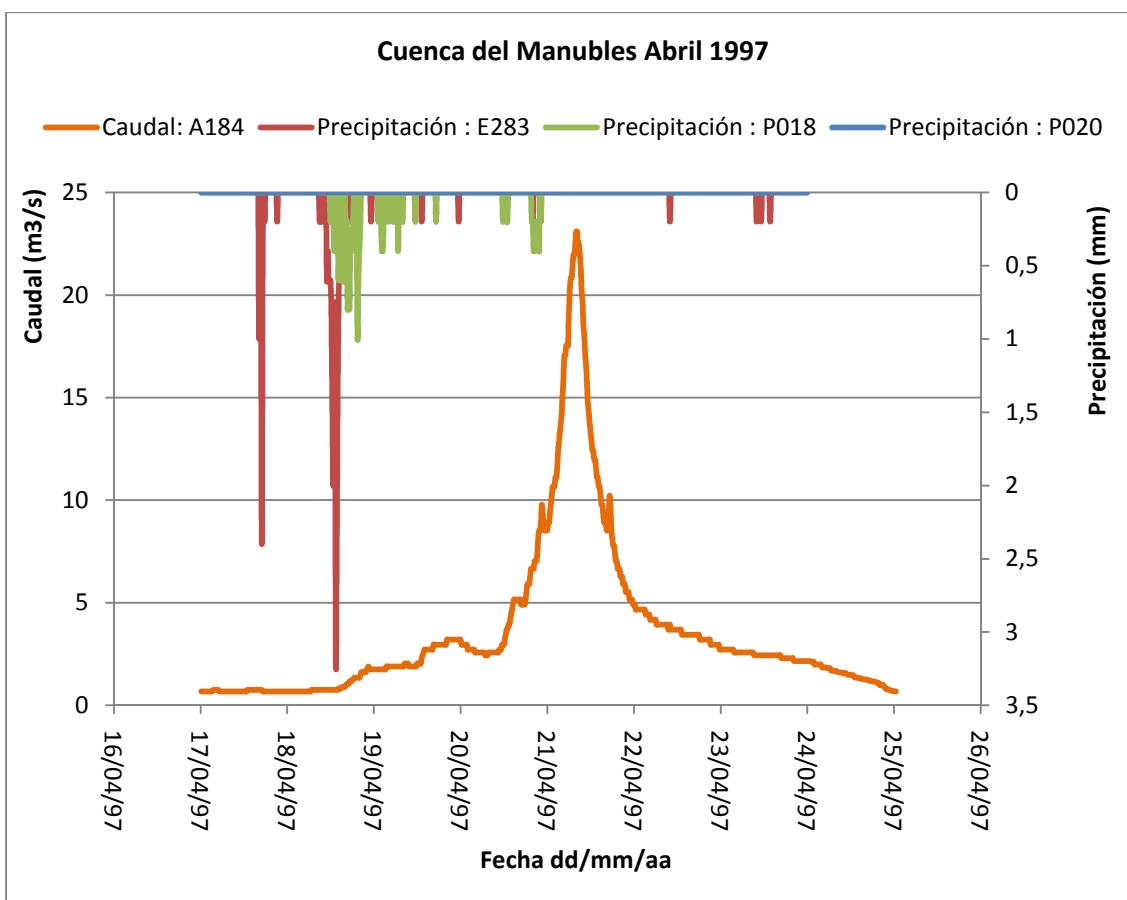


Figura VII.3 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles episodio del 17 al 25 de Abril de 1997.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

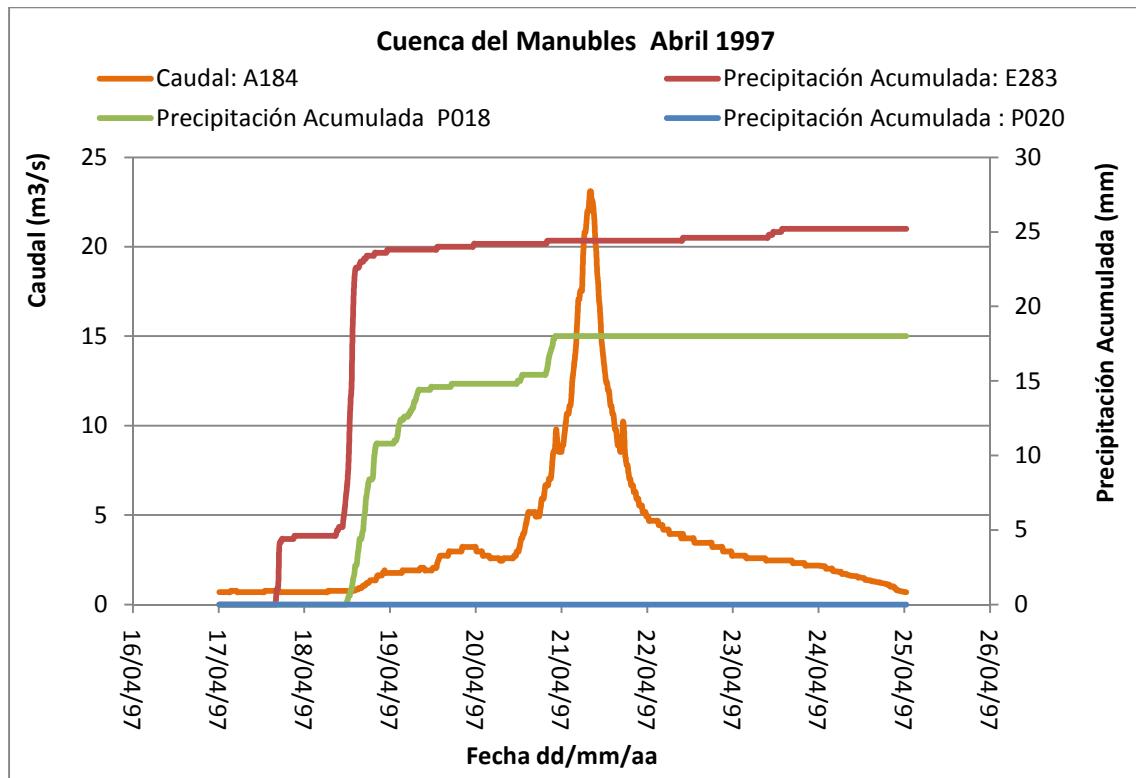


Figura VII.4 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles, episodio del 17 al 25 de Abril de 1997.

A partir de los datos de partida, se realizan los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria y que nos ayudarán a caracterizar este episodio. Los resultados de estos cálculos se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	20,1mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	88,25h
Volumen de Precipitación	8,78Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	11,25h
Duración Episodio	162h	t_{picos}	10,25h
Volumen de escorrentía	1,97Hm ³	Escorrentía	22,5%
Volumen Q_{base}	0,5Hm ³	Escorrentía directa	16,78%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	1,47Hm ³	Escorrentía indirecta	5,72%
$Q_{\text{máx}}$	23,09m ³ /s	Umbral precipitación	14,64mm

Tabla VII.2 Resultados obtenidos en el episodio del 17 al 25 de Abril de 1997; Cuenca del Manubles.

El pluviómetro P020 no registra prácticamente precipitación por lo que se supone que existe algún problema de funcionamiento y para calcular la lluvia media en la subcuenca excepcionalmente se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = \text{Precip. P018(mm)} \cdot 0,7 + \text{Precip. E283(mm)} \cdot 0,3$$

VII.III.II Episodio del 4 al 5 de Junio de 1997

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Ateca durante este episodio:

Precipitación	Monteagudo (E283)	0,4mm
	Beratón (P018)	21,6mm
	Alzamul (P020)	0,4mm
Volumen total	Ateca (A184)	3,11Hm ³

Tabla VII.3 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, episodio del 4 al 5 de Junio de 1997.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 4 al 5 de Junio de 1997.

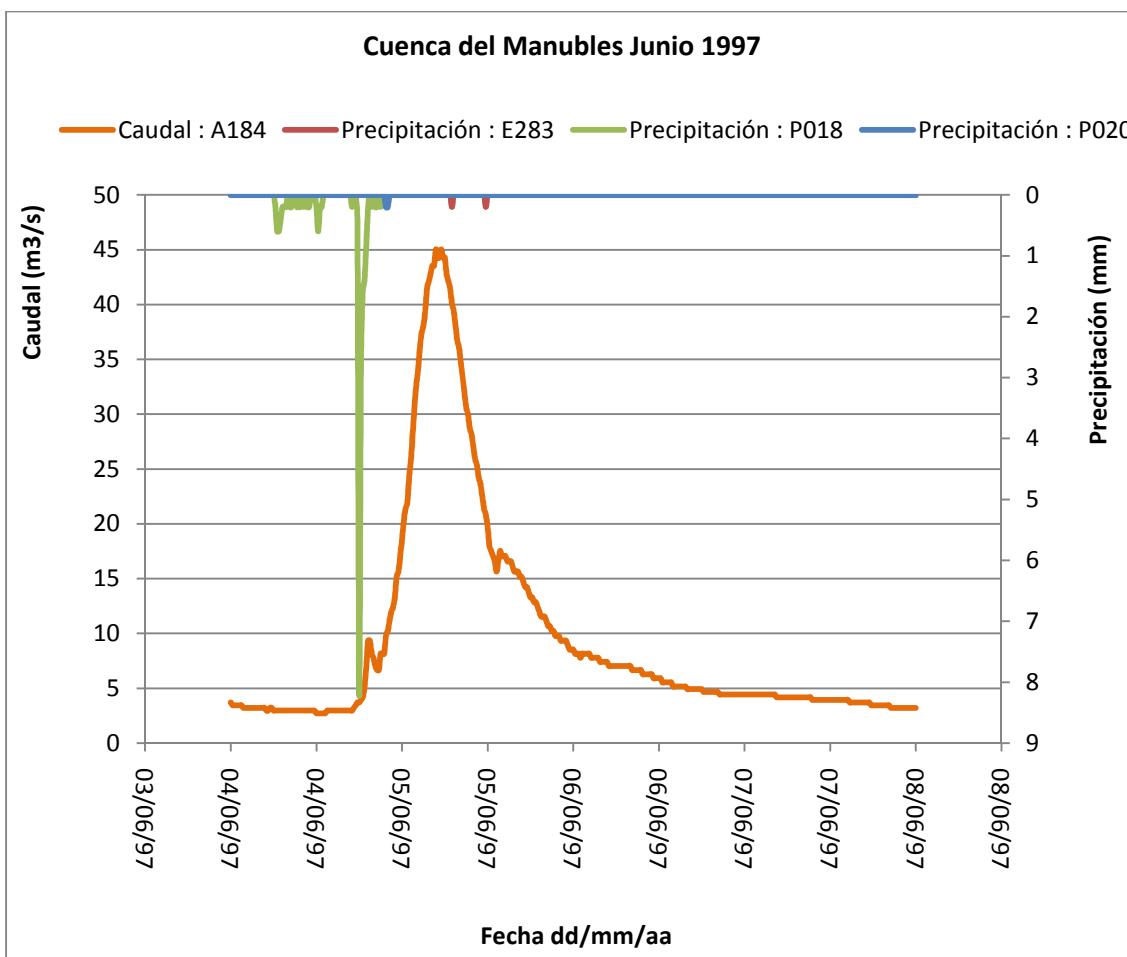


Figura VII.5 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles episodio del 4 al 5 de Junio de 1997.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

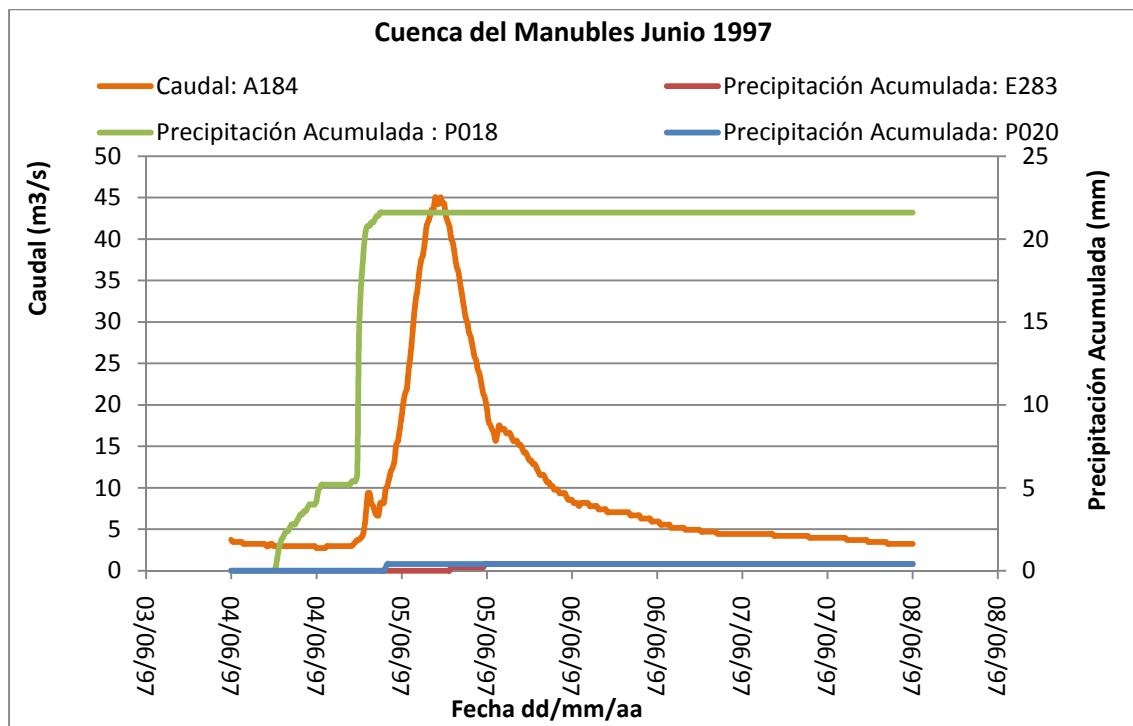


Figura VII.6 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles, episodio del 4 al 5 de Junio de 1997.

Se realizan los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria y en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	21,6mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	26,25h
Volumen de Precipitación	9,44Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	3,5h
Duración Episodio	79,25h	t_{picos}	10,75h
Volumen de escorrentía	2,26Hm ³	Escorrentía	23,99%
Volumen Q_{base}	0,46Hm ³	Escorrentía directa	19,03%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	1,8Hm ³	Escorrentía indirecta	4,96%
$Q_{\text{máx}}$	45,05m ³ /s	Umbral precipitación	14mm

Tabla VII.4 Resultados obtenidos en el episodio del 4 al 5 de Junio de 1997; Cuenca del Manubles.

Al registrarse precipitación únicamente en el pluviómetro de Beratón (P018), esta es la única que causa la escorrentía y excepcionalmente para calcular la lluvia media se le asigna al pluviómetro P018 un coeficiente de proporcionalidad de 1.

VII.III.III Episodio del 23 al 27 de Julio de 1997

Examinando los datos disponibles de precipitación-escorrentía de los últimos diez días de Julio de 1997 se observa que se produce un episodio con varias subidas y bajadas. En lugar de analizarlo como un todo se ha creído conveniente analizarlo en cuatro sub-episodios independientes.

Vamos a presentar los datos registrados entre el 21 y el 27 de Julio de 1997. En la figura se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas durante esta fecha y donde se aprecia claramente, cómo puede dividirse el episodio completo en cuatro sub-episodios independientes:

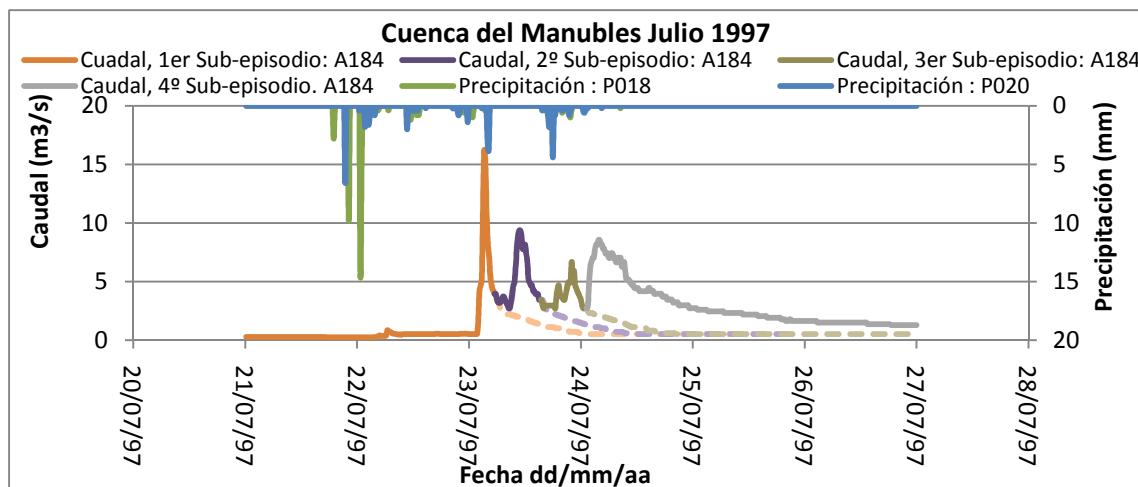


Figura VII.7 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles, episodio 23 al 27 de Julio de 1997.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

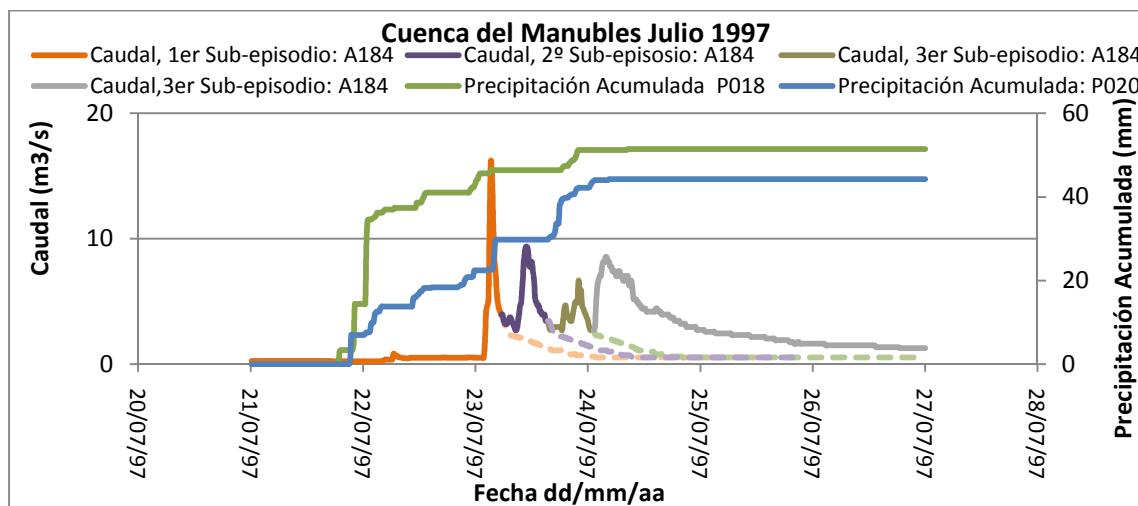


Figura VII.8 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles, episodio 23 al 27 de Julio de 1997.

Antes de pasar a realizar los cálculos correspondientes y que nos permitirán caracterizar cada sub-episodio, señalar que en los cuatro sub-episodios el pluviómetro E283 no registra precipitación, lo que se atribuye a algún problema de funcionamiento por lo que para calcular la lluvia media se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = \text{Precip. P018(mm)} \cdot 0,7 + \text{Precip. P020(mm)} \cdot 0,3$$

Análisis del primer sub-episodio:

Analizado independientemente, este sub-episodio tiene lugar entre el 23 y el 27 de Julio de 1997. Al analizarlo como independiente hemos supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua en color naranja claro, para así poder realizar los cálculos. Con los datos que tenemos hemos realizado los cálculos correspondientes a este análisis siguiendo los pasos del capítulo 4 de la memoria.

En la siguiente tabla partimos como datos de entrada de la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como del volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Monteagudo (E283)	0mm
	Beratón (P018)	41mm
	Alzamul (P020)	18,4mm
	Volumen total	Ateca (A184) 0,26Hm ³

Tabla VII.5 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, primer sub-episodio del episodio 23 al 27 de Julio de 1997.

Los resultados de los cálculos de este sub-episodio se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	34,22mm	Duración Q _{máx}	3,75h
Volumen de Precipitación	14,94Hm ³	t _{Precipitación}	2,5h
Duración Episodio	58h	t _{picos}	6,75h
Volumen de escorrentía	0,155Hm ³	Escorrentía	1,05%
Volumen Q _{base}	0,065Hm ³	Escorrentía directa	0,6%
Volumen Q _{máx}	0,09Hm ³	Escorrentía indirecta	0,45%
Q _{máx}	16,12m ³ /s	Umbrales precipitación	3,86mm

Tabla VII.6 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio 23 al 27 de Julio de 1997; Cuenca del Manubles.

Es un episodio provocado por una lluvia de alta intensidad y el umbral indicado en la tabla VII.6 (3,86mm) es la lluvia media en la subcuenca calculada con la cantidad de precipitación registrada antes de producirse la precipitación intensa, precipitación en la que se llega a registrar una precipitación de 14,6 mm en tan sólo 15 minutos en el pluviómetro de Beratón (P018).

Por otro lado, se debe tener en cuenta que la precipitación registrada a partir del 22 a las 18:45h se considera que afecta a la parte del hidrograma correspondiente al segundo sub-episodio.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio analizado independientemente tiene lugar entre el 24 y el 25 de Julio de 1997. Como se puede observar en la siguiente figura, en este caso también se ha supuesto un caudal de bajada de hidrograma para realizar los cálculos (figuras VII.7 y VII.8, línea discontinua color purpura claro).

Los datos de los que se parte para realizar este análisis figuran en la siguiente tabla en la que se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Monteagudo (E283)	0mm
	Beratón (P018)	5,4mm
	Alzamul (P020)	11,4mm
	Volumen total	Ateca (A184) $0,32\text{Hm}^3$

Tabla VII.7 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, segundo sub-episodio del episodio 23 al 27 de Julio de 1997.

Y en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este sub-episodio:

Lluvia media	7,2mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	10h
Volumen de Precipitación	$3,15\text{Hm}^3$	$t_{\text{Precipitación}}$	4,5h
Duración Episodio	54h	t_{picos}	6,5h
Volumen de escorrentía	$0,16\text{Hm}^3$	Escorrentía	5,08%
Volumen Q_{base}	$0,05\text{Hm}^3$	Escorrentía directa	3,42%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	$0,11\text{Hm}^3$	Escorrentía indirecta	1,66%
$Q_{\text{máx}}$	$9,34\text{m}^3/\text{s}$	Umbral precipitación	4,32mm

Tabla VII.8 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio 23 al 27 de Julio de 1997; Cuenca del Manubles.

A la hora de analizar los resultados se debe tener en cuenta que el estado antecedente de humedad del suelo es elevado y que las precipitaciones producidas a partir del 23 de Julio a las 15:30h no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos, debido a que se estima que no afectan al flujo base supuesto para este sub-episodio. Se toma que a partir de este instante las precipitaciones provocan el tercer sub-episodio.

Análisis del tercer sub-episodio:

Al analizar este sub-episodio independientemente se produciría desde el 23 hasta el 25 de Julio de 1997. Parte de la rama de bajada del hidrograma de caudal ha sido supuesto para así poder realizar los cálculos.

En cuanto a datos iniciales partimos de la siguiente tabla que nos muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Monteagudo (E283)	0mm
	Beratón (P018)	1mm
	Alzamul (P020)	10mm
Volumen total	Ateca (A184)	0,25Hm ³

Tabla VII.9 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, tercer sub-episodio del episodio 23 al 27 de Julio de 1997.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub- episodio:

Lluvia media	3,7mm	Duración Q_{\max}	9,5h
Volumen de Precipitación	1,62Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	3,5h
Duración Episodio	44h	t_{picos}	3,25h
Volumen de escorrentía	0,1Hm ³	Escorrentía	6,24%
Volumen Q_{base}	0,04Hm ³	Escorrentía directa	3,68%
Volumen Q_{\max}	0,06Hm ³	Escorrentía indirecta	2,56%
Q_{\max}	6,66m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla VII.10 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio 23 al 27 de Julio de 1997; Cuenca del Manubles.

Se debe tener en cuenta que las condiciones iniciales del terreno son muy húmedas.

Por otro lado indicar que la cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta un poco más tarde del momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo (exactamente hasta el 23 a las 19:30h).

Análisis del cuarto sub-episodio:

Aisladamente este sub-episodio transcurriría del 24 al 27 de Julio del 1997.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Monteagudo (E283)	0mm
	Beratón (P018)	4mm
	Alzamul (P020)	4,4mm
Volumen total	Ateca (A184)	0,6Hm ³

Tabla VII.11 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, cuarto sub-episodio del episodio 23 al 27 de Julio de 1997.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub- episodio:

Lluvia media	4,12mm	Duración Q _{máx}	9,5h
Volumen de Precipitación	1,8Hm ³	t _{Precipitación}	1,75h
Duración Episodio	70,75h	t _{picos}	6h
Volumen de escorrentía	0,52Hm ³	Escorrentía	29,36%
Volumen Q _{base}	0,22Hm ³	Escorrentía directa	16,94%
Volumen Q _{máx}	0,3Hm ³	Escorrentía indirecta	12,42%
Q _{máx}	8,53m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla VII.12 Resultados obtenidos en el cuarto sub-episodio del episodio 23 al 27 de Julio de 1997; Cuenca del Manubles.

El estado antecedente de humedad del terreno también es muy alto.

VII.III.IV Episodio del 17 al 21 de Diciembre de 1997

Antes de realizar los cálculos necesarios para caracterizar este episodio; se puede observar en las siguientes gráficas, que parte del caudal de la rama de bajada ha sido supuesto, línea discontinua en las graficas (véase figura VII.9 y figura VII.10) debido a que se produjeron precipitaciones después del pico y provocaron un nuevo aumento en el caudal registrado en Ateca pero éstas no han sido tenidas en cuenta a la hora de calcular el volumen de precipitación en la subcuenca (exactamente se han tenido en cuenta las precipitaciones hasta el día 20 a las 8:15h).

Los datos de partida para el análisis de este episodio se encuentran en la siguiente tabla, dónde se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Ateca durante este episodio:

Precipitación	Monteagudo (E283)	0mm
	Beratón (P018)	33mm
	Alzamul (P020)	33,8mm
	Volumen total	Ateca (A184) 2,13Hm ³

Tabla VII.13 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, episodio del 17 al 21 de Diciembre de 1997.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

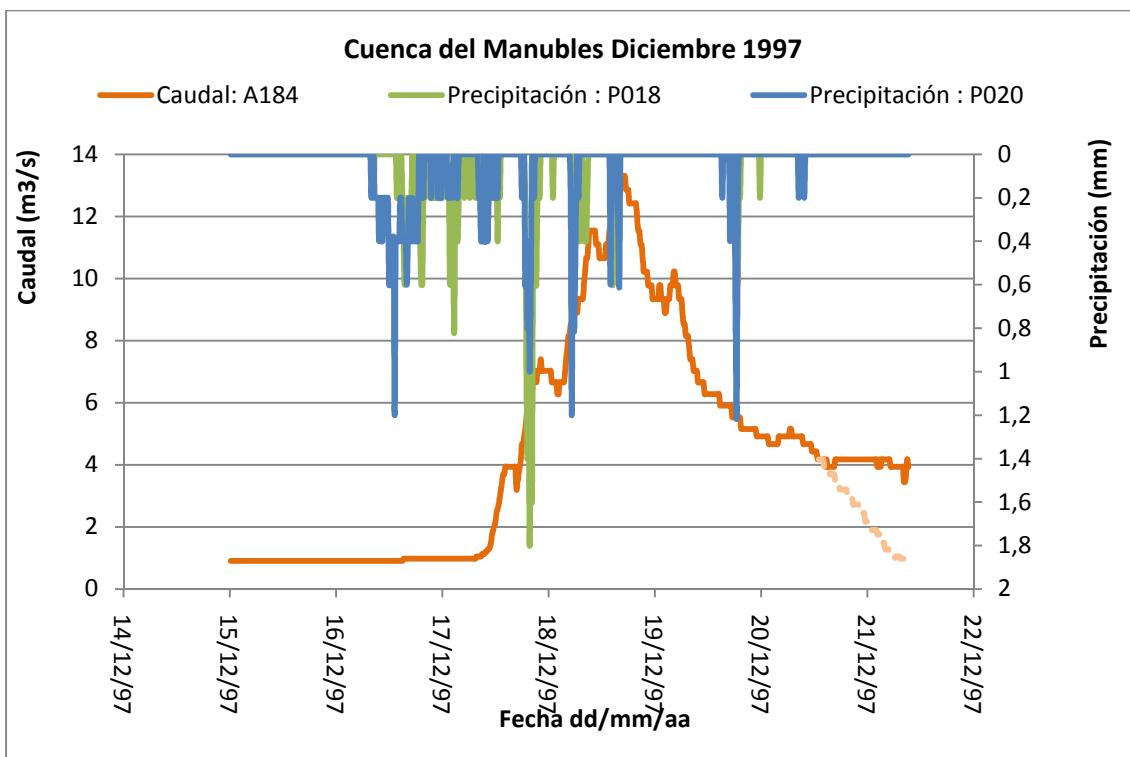


Figura VII.9 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles episodio del 17 al 21 de Diciembre de 1997.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

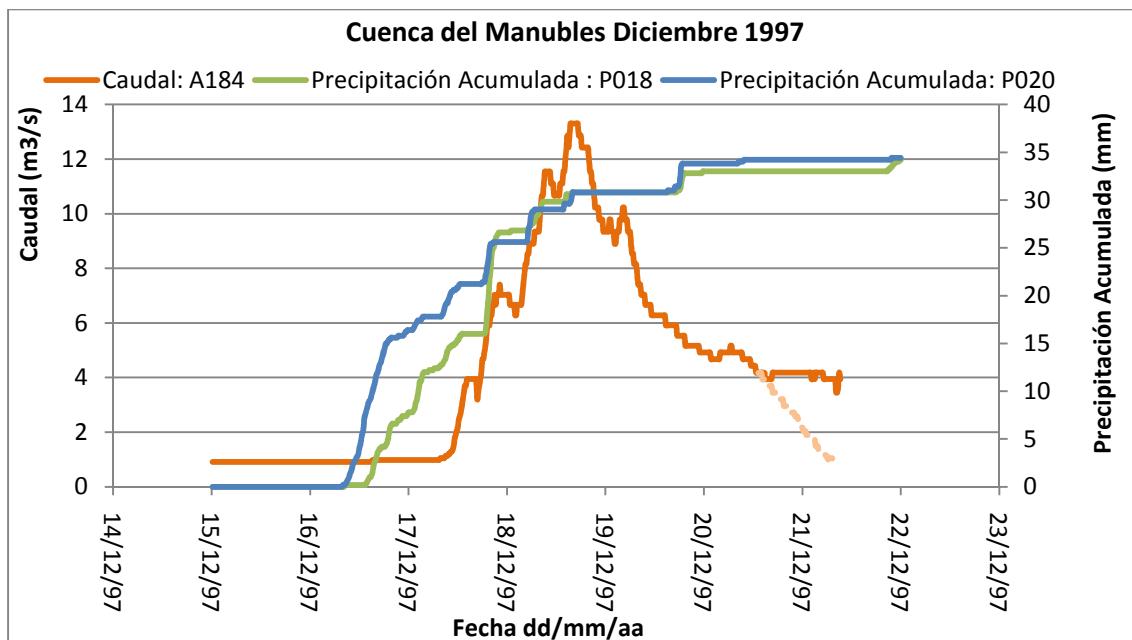


Figura VII.10 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles, episodio del 17 al 21 de Diciembre de 1997.

Los resultados obtenidos de los cálculos que se detallan en el capítulo 4 de la memoria se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	33,24mm	Duración Q_{\max}	52,75h
Volumen de Precipitación	14,5Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	41h
Duración Episodio	98,5h	t_{picos}	12h
Volumen de escorrentía	1,79Hm ³	Escorrentía	12,28%
Volumen Q_{base}	0,49Hm ³	Escorrentía directa	8,98%
Volumen Q_{\max}	1,3Hm ³	Escorrentía indirecta	3,3%
Q_{\max}	13,3m ³ /s	Umbral precipitación	13,48mm

Tabla VII.14 Resultados obtenidos en el episodio del 17 al 21 de Diciembre de 1997; Cuenca del Manubles.

Debido a que el pluviómetro P020 no registra precipitación lo que se atribuye a algún problema de funcionamiento, la lluvia media para toda la subcuenca se ha calculado mediante la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = \text{Precip. P018 (mm)} \cdot 0,7 + \text{Precip. E283 (mm)} \cdot 0,3$$

VII.III.V Episodio del 4 al 6 de Junio del 2000

En este caso el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes debido a que, aunque sólo se aprecia un pico bien delimitado antes de las precipitaciones que provocan el aumento brusco del caudal registrado en la estación de aforo, se produjeron unas precipitaciones que provocaron una escorrentía prácticamente inexistente y se ha considerado interesante estudiarlo de manera independiente (véase figuras VII.11 y VII.12).

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 4 hasta el 6 de Junio del 2000.

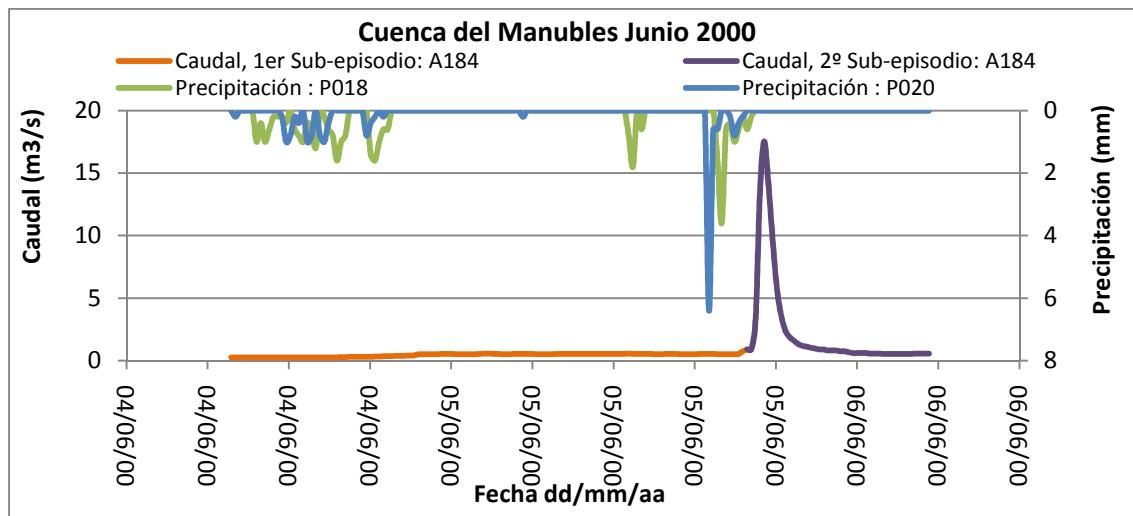


Figura VII.11 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles, episodio 4 al 6 de Junio del 2000.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante el episodio completo:

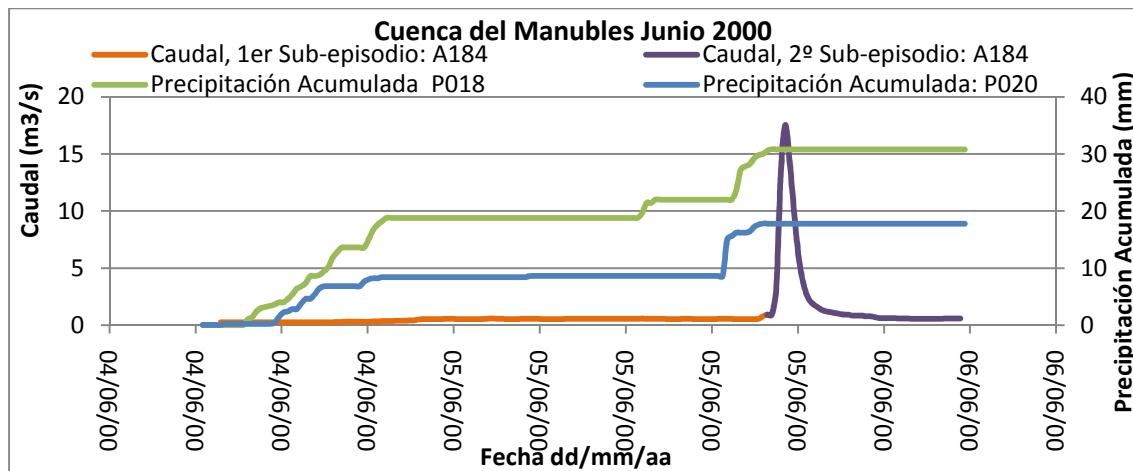


Figura VII.12 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles, episodio 4 al 6 de Junio del 2000.

Antes de pasar a realizar los cálculos correspondientes y que nos permitirán analizar cada sub-episodio, señalar que en los dos sub-episodios el pluviómetro E283 no registra precipitación, lo que se atribuye a algún problema de funcionamiento por lo que para calcular la lluvia media se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = \text{Precip. P018 (mm)} \cdot 0,7 + \text{Precip. P020 (mm)} \cdot 0,3$$

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Ateca y que se produjo entre el 4 y el 5 de Junio del 2000.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Monteagudo (E283)	0mm
	Beratón (P018)	18,8mm
	Alzamul (P020)	8,4mm
Volumen total	Ateca (A184)	0,04Hm ³

Tabla VII.15 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, primer sub-episodio del episodio 4 al 6 de Junio del 2000.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub- episodio:

Lluvia media	15,68mm	Duración Q _{máx}	
Volumen de Precipitación	6,85Hm ³	t _{Precipitación}	9,25h
Duración Episodio	36,5h	t _{picos}	
Volumen de escorrentía	0,02Hm ³	Escorrentía	0,32%
Volumen Q _{base}		Escorrentía directa	
Volumen Q _{máx}		Escorrentía indirecta	
Q _{máx}		Umbral precipitación	13,16mm

Tabla VII.16 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio 4 al 6 de Junio del 2000; Cuenca del Manubles.

Debido a que no se forma un pico bien definido no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen Q_{máx} y por consiguiente tampoco se diferencia entre escorrentía directa y escorrentía indirecta.

La cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el 4 a las 20:30h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio analizado independientemente se produjo entre el 5 y el 6 de Junio del 2000.

Según los datos recogidos, en la siguiente tabla se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Monteagudo (E283)	0mm
	Beratón (P018)	12mm
	Alzamul (P020)	9,4mm
Volumen total	Ateca (A184)	0,07Hm ³

Tabla VII.17 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, segundo sub-episodio del episodio 4 al 6 de Junio del 2000.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub- episodio:

Lluvia media	11,22mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	2,75h
Volumen de Precipitación	4,11Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	2,5h
Duración Episodio	9h	t_{picos}	2,5h
Volumen de escorrentía	0,0596Hm ³	Escorrentía	1,46%
Volumen Q_{base}	0,058Hm ³	Escorrentía directa	1,42%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,0016Hm ³	Escorrentía indirecta	0,04%
$Q_{\text{máx}}$	17,53m ³ /s	Umbral precipitación	6,3mm

Tabla VII.18 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio 4 al 6 de Junio del 2000; Cuenca del Manubles.

Se trata de un episodio provocado por una lluvia de alta intensidad, por lo que el umbral indicado de 6, mm es la lluvia media calculada con la cantidad de precipitación registrada en los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa pero es la precipitación intensa la que produjo la escorrentía. Esta alcanza su máxima intensidad en la zona del pluviómetro de Alzamul (P020) donde se registra una precipitación de 6,4 mm en tan sólo 15 minutos.

VII.III.VI Episodio del 25 al 28 de Febrero del 2003

La siguiente tabla muestra los datos de partida para el análisis de este episodio, en la que se recoge la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Ateca desde el 25 al 28 de Febrero del 2003:

Precipitación	Monteagudo (E283)	27,8mm
	Beratón (P018)	51,4mm
	Alzamul (P020)	45,8mm
Volumen total	Ateca (A184)	8,04Hm ³

Tabla VII.19 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, episodio del 25 al 28 de Febrero del 2003.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

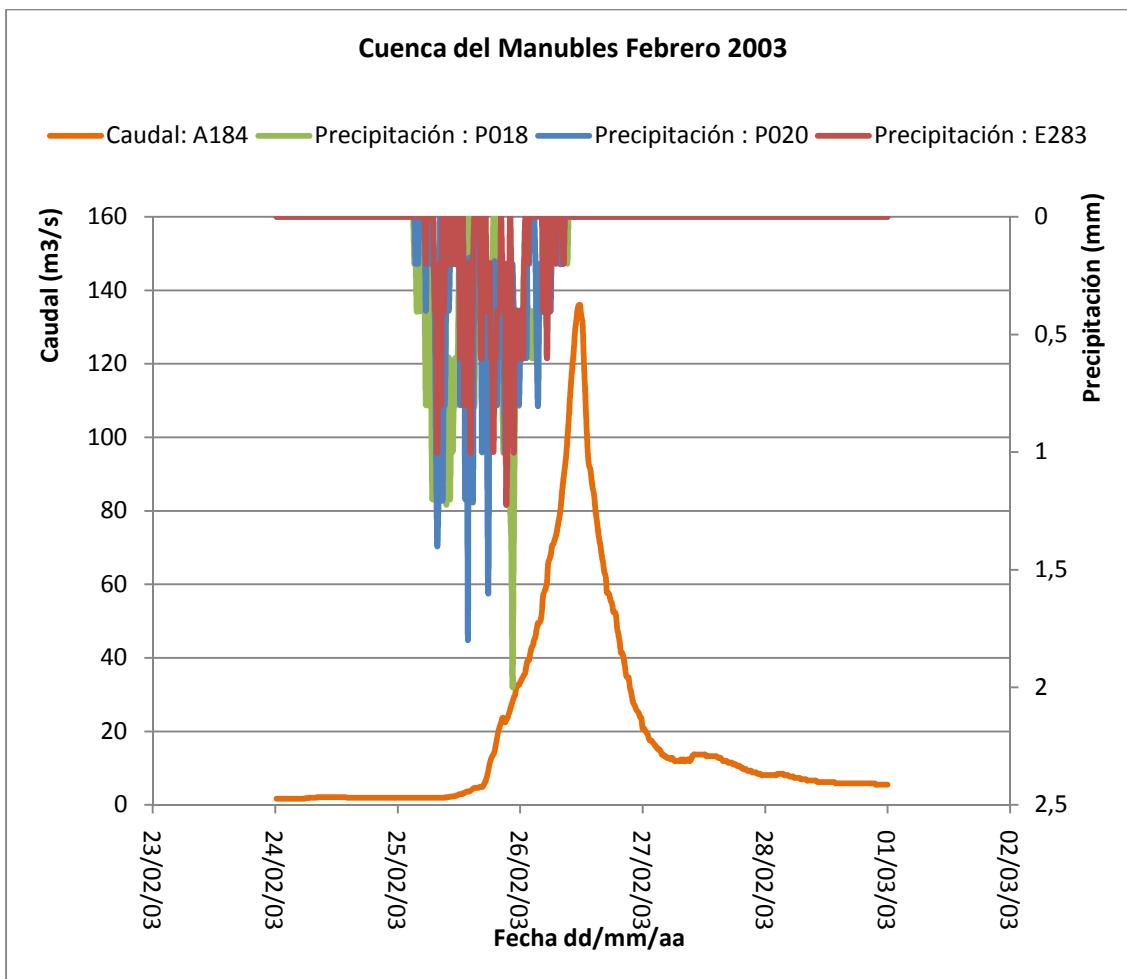


Figura VII.13 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles episodio del 25 al 28 de Febrero del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

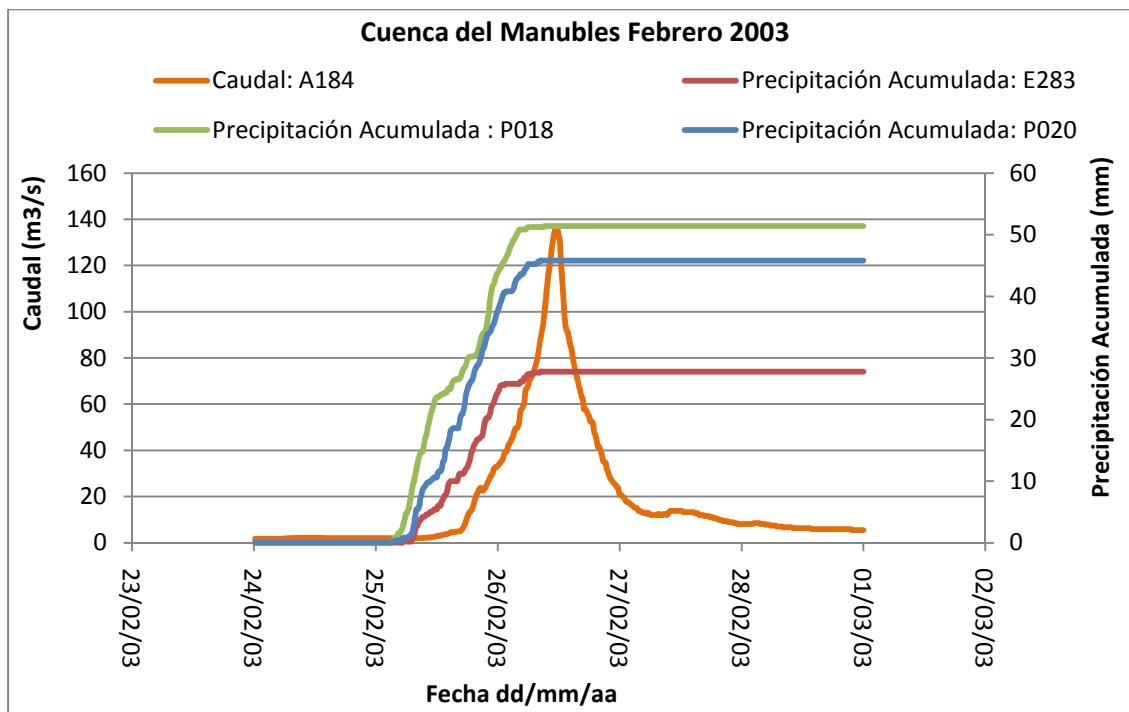


Figura VII.14 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles, episodio del 25 al 28 de Febrero del 2003.

A partir de los datos de partida indicados en la tabla VII.19, se procede a realizar los cálculos que se indican en el capítulo 4 de la memoria y así poder caracterizar este episodio. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para los cálculos de este episodio:

Lluvia media	47,02mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	38,25h
Volumen de Precipitación	20,01Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	35,75h
Duración Episodio	95,25h	t_{picos}	13,5h
Volumen de escorrentía	7,36Hm ³	Escorrentía	36,8%
Volumen Q_{base}	1,28Hm ³	Escorrentía directa	30,4%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	6,08Hm ³	Escorrentía indirecta	6,4%
$Q_{\text{máx}}$	136m ³ /s	Umbral precipitación	13,18mm

Tabla VII.20 Resultados obtenidos en el episodio del 25 al 28 de Febrero del 2003; Cuenca del Manubles.

VII.III.VII Episodio del 3 al 8 de Septiembre del 2003

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Ateca durante este episodio:

Precipitación	Monteagudo (E283)	15,8mm
	Beratón (P018)	44,8mm
	Alzamul (P020)	26,4mm
Volumen total	Ateca (A184)	0,8Hm ³

Tabla VII.21 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Manubles, episodio del 3 al 8 de Septiembre del 2003.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

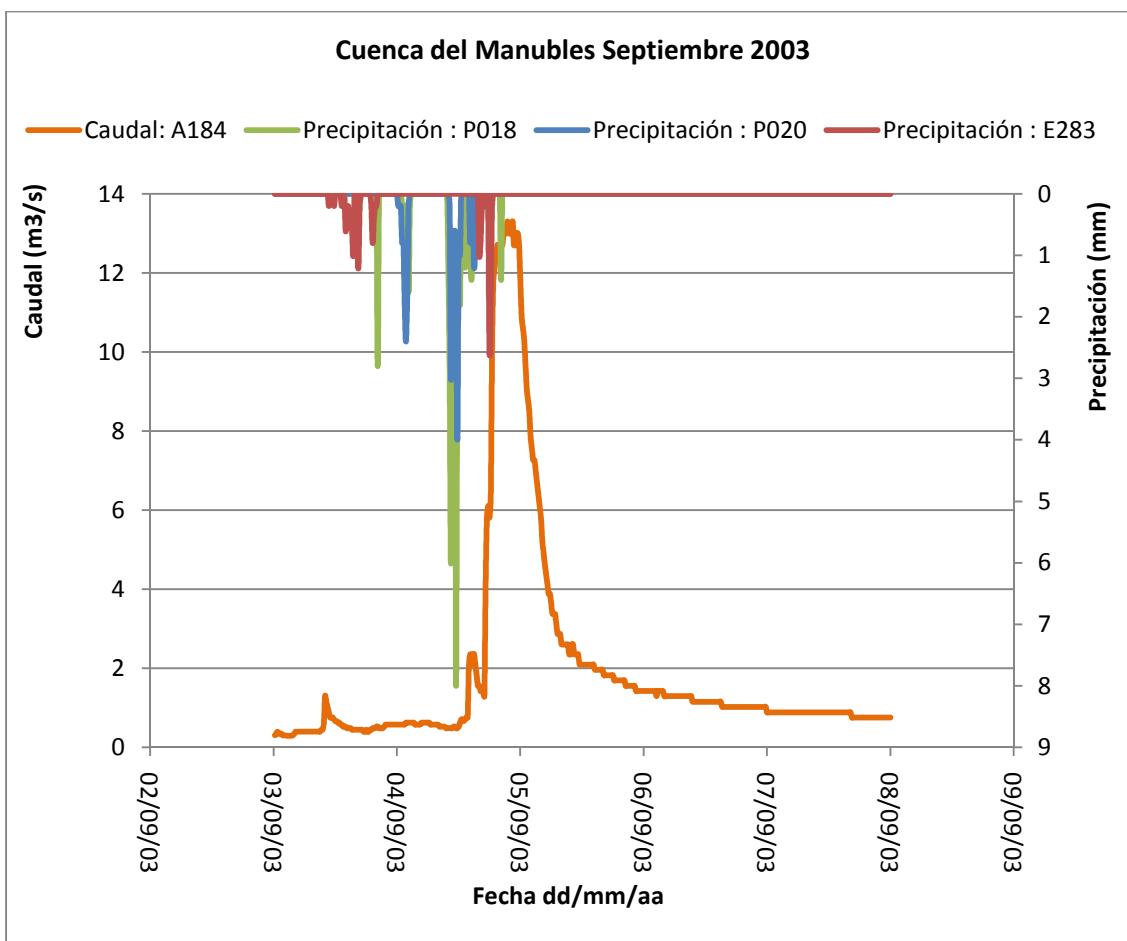


Figura VII.15 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles, episodio del 3 al 8 de Septiembre del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

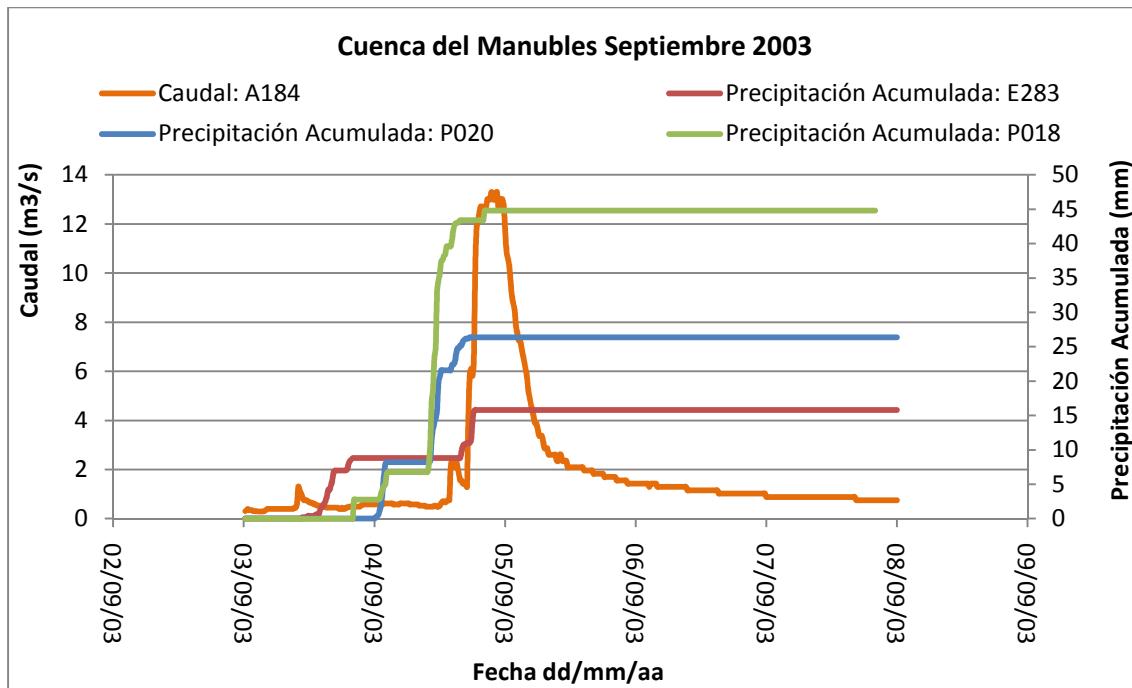


Figura VII.16 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Manubles, episodio del 3 al 8 de Septiembre del 2003.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	37,69mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	16,75h
Volumen de Precipitación	11,53Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	41,25h
Duración Episodio	100,25h	t_{picos}	11h
Volumen de escorrentía	0,62Hm ³	Escorrentía	5,43%
Volumen Q_{base}	0,21Hm ³	Escorrentía directa	3,66%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,41Hm ³	Escorrentía indirecta	1,77%
$Q_{\text{máx}}$	13,3m ³ /s	Umbrales precipitación	8,76mm

Tabla VII.22 Resultados obtenidos en el episodio del 3 al 8 de Septiembre del 2003; Cuenca del Manubles.

Se trata de un episodio provocado por una lluvia de alta intensidad (aunque esta vaya acompañada de precipitaciones menos intensas), por lo que el umbral indicado de 8,76mm es la cantidad de precipitación que se ha dado sobre la cuenca antes de producirse la precipitación intensa pero lo que produjo el episodio es la precipitación intensa, la cual registró su máxima intensidad en el pluviómetro P020 en el que se llega a registrar una precipitación de 15,8mm en 1 hora.

VII.IV Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de los episodios, se determinan unas pautas de comportamiento de la subcuenca del Manubles con respecto a su respuesta hidrológica ante una precipitación.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos de los resultados obtenidos de los episodios analizados:

Episodio (fecha)	Qmáx (m ³ /s)	Duración Qmáx (h)	Vol. Qmáx (Hm ³)	Vol. Base (Hm ³)	Vol. Escorrentía A184 (Hm ³)	T Precip. (h)	E283 (mm)	P018 (mm)	P020 (mm)	Vol. Precip. (Hm ³)	Escorrentía (%)	T entre picos (h)
17 al 25 de Abril 1977	23,09	88,25	1,47	0,5	1,97	11,25	25	18	0	8,78	22,5	10,25
4 al 5 de Junio 1997	45,05	26,25	1,8	0,46	2,26	3,5	0,4	21,6	0,4	9,44	23,99	10,75
23 al 27 Julio 1997	16,12	3,75	0,09	0,065	0,155	2,5	0	41	18,4	14,94	1,05	6,75
	9,34	10	0,11	0,05	0,16	4,5	0	5,4	11,4	3,15	5,08	6,5
	6,66	9,5	0,06	0,04	0,1	3,5	0	1	10	1,62	6,24	3,25
	8,53	9,5	0,3	0,22	0,52	1,75	0	4	4,4	1,8	29,36	6
17 al 21 Diciembre 1997	13,3	52,75	1,3	0,49	1,79	41	0	33	33,8	14,5	12,28	12
4 al 6					0,02	9,25	0	18,8	8,4	6,85	0,32	
Junio 2000	17,53	2,75	0,058	0,0016	0,0596	2,5	0	12	9,4	4,11	1,46	2,5
25 al 28 Febrero 2003	136	38,25	6,08	1,28	7,36	35,75	27,8	51,4	45,8	20,01	36,8	13,5
3 al 8 Septiembre 2003	13,3	16,75	0,41	0,21	0,62	41,25	15,8	44,8	26,4	11,53	5,43	11

Tabla VII.23 Resultados de la Cuenca del Manubles.

Las conclusiones son:

- En los episodios analizados se observa que, partiendo de condiciones iniciales secas, aproximadamente los primeros 14 mm de lluvia son absorbidos por el terreno sin que llegue a observarse un escurrimiento directo que provoque aumentos importantes en

el caudal medido en la estación de aforo del Manubles en Ateca. Este valor constituye un umbral a partir del cual el río empieza a responder porque los depósitos superficiales se han saturado. Este umbral puede variar, aumentando en el caso de que las lluvias fueran de poca intensidad, pero por el contrario si partimos de que se han producido lluvias anteriores, este umbral se reduce e incluso en determinados episodios llega a ser nulo.

Por otro lado, existen episodios en los que el aumento del caudal medido en la estación de aforo del Manubles es producido por lluvias muy intensas aunque sean de corta duración. Del estudio de estos se llega a la conclusión de que una precipitación de aproximadamente unos 10mm en 15 minutos tiene una intensidad mayor a la capacidad de infiltración del suelo, por lo cual escurre por la superficie provocando un aumento en el caudal medido en la estación de aforo.

- Analizando los hietogramas de precipitación junto a sus hidrogramas de caudal asociados se observa que los momentos en los que se produce el grueso de precipitación (por lo general, los momentos en los que se registra la máxima intensidad de precipitación mantenida durante varias horas) son los que dan lugar a los diversos picos.

En los episodios analizados se observa que el tiempo transcurrido entre el centro de gravedad del hietograma y la punta del correspondiente hidrograma oscila entre 6 y 13,5 horas en función de lo cerca que se estén produciendo las precipitaciones de la estación de aforo.

En el episodio de Junio del 2000 este tiempo es extremadamente pequeño. Esto puede ser debido a que las precipitaciones se den muy cerca de la estación de aforo.

- El caudal máximo de crecida así como el volumen de la misma depende de la forma del hietograma de precipitación.

En general, se ve que cuanto más intensa es la lluvia, mayor caudal máximo se registra en la estación de aforo y cuanto más corta es la lluvia, menos tiempo dura el pico del hidrograma de avenida y su volumen también es menor. La duración del pico del hidrograma de avenida es un parámetro muy variable que en la mayoría de los episodios analizados varía entre 3 y 50 horas.

Como excepción tenemos el episodio de Abril de 1997 en el que el tiempo de duración del caudal máximo es muy alto. Esto es debido a que, después de una precipitación intensa la cual produce el pico del hidrograma, se producen precipitaciones de poca intensidad que también escurrirán superficialmente provocando que la rama de bajada del hidrograma tenga mucha menos pendiente y se tarde más tiempo en volver al flujo base en el que se encontraba el río antes del episodio y además de este escurrimiento directo también puede que existan aportaciones de escorrentías subterráneas que provoquen esta recuperación del flujo inicial más lenta.

- Debido a que dos de los pluviómetros con los que hemos trabajado se encuentran en la cabecera de la cuenca (el P018 y el P020); directamente de los episodios analizados se concluye que el tiempo de concentración de la cuenca varía de 11 a 14 horas.
- Las escorrentías calculadas para los diferentes episodios, así como los coeficientes de escorrentía calculados como el volumen registrado en la estación de aforo dividido entre el volumen de precipitación estimado para toda la cuenca, muestran que:
 - Para lluvias de intensidad moderada y de hasta unos 18mm la escorrentía es casi inexistente. Si existe una pequeña variación en el flujo base del río es debido a las escorrentías subterráneas.
 - Lluvias intensas que registran volúmenes de hasta 28mm en aproximadamente 2 horas producen caudales máximos altos pero tienen coeficientes de escorrentía que varían de un 1% hasta un 3%.
 - Para lluvias de hasta aproximadamente 30 mm con una intensidad uniforme el coeficiente de escorrentía varía entre un 13% y un 25%.
 - En el caso de lluvias superiores a 45mm, la escorrentía puede superar estos valores del 25 % aproximándose al 37%.
 - En el caso de que se dieran lluvias superiores a las estudiadas en los episodios puede ocurrir que se produjese escorrentías superiores al 37% citado.
- Al diferenciar el volumen registrado en la estación de aforo entre el asociado a los flujos superficiales (escorrentías directas) y el asociado a flujos hipodérmicos y subterráneos se obtiene que en general el primero es de hasta tres veces mayor que el segundo y; al calcular los dos coeficientes de escorrentía por separado, se concluye que en general el coeficiente de escorrentía directa es mayor que el coeficiente de escorrentía subterránea, alcanzando el primero un máximo de un 30% en uno de los episodios analizados. El coeficiente de escorrentía indirecta alcanza su máximo valor en el cuarto sub-episodio del episodio de Julio de 1997 llegando a tomar un valor del 12,4%.

Como caso particular, el segundo sub-episodio de Junio del 2000, en el que partimos de condiciones húmedas y la lluvia que provoca la crecida es muy intensa y en el que el volumen asociado a flujos superficiales es prácticamente el 100% del hidrograma, alrededor de 36 veces mayor.

- Debido a la uniformidad de las precipitaciones registradas en todos los pluviómetros en el episodio de Febrero de 2003, en el que se ha estimado una precipitación media acumulada de unos 47 mm, lo que representaría un volumen de agua de 20 Hm^3 , de los cuales 7,3 se midieron en la estación de Ateca, se estima un coeficiente de escorrentía medio para toda la cuenca de aproximadamente 0,36.
- De cara a evaluar los volúmenes de agua esperables en la estación de aforo de Ateca en el caso de una lluvia prevista, el episodio de mayor caudal se obtuvo para una precipitación media para toda la cuenca de unos 50 mm, la cual originó un volumen de unos 7 Hm^3 , de los cuales 6 se recogieron en 38 horas.

ANEXO VIII: CUENCA DEL ISÁBENA**VIII.I Descripción**

El Isábena es el principal afluente del Ésera (a su vez, afluente del Cinca y del Ebro). Nace en el pirineo aragonés y transcurre por la comarca aragonesa de la Ribagorza. Está comprendido entre las regiones biogeográficas Alpina y Mediterránea (65 y 35 % respectivamente) [<http://portal.aragon.es>].

La superficie de la cuenca del Isábena es de aproximadamente 440,151 Km² [<http://www.chebro.es>].

En la siguiente figura se muestra la localización de la subcuenca del Isábena (mediante la superficie coloreada en amarillo) dentro de la cuenca del Ebro:

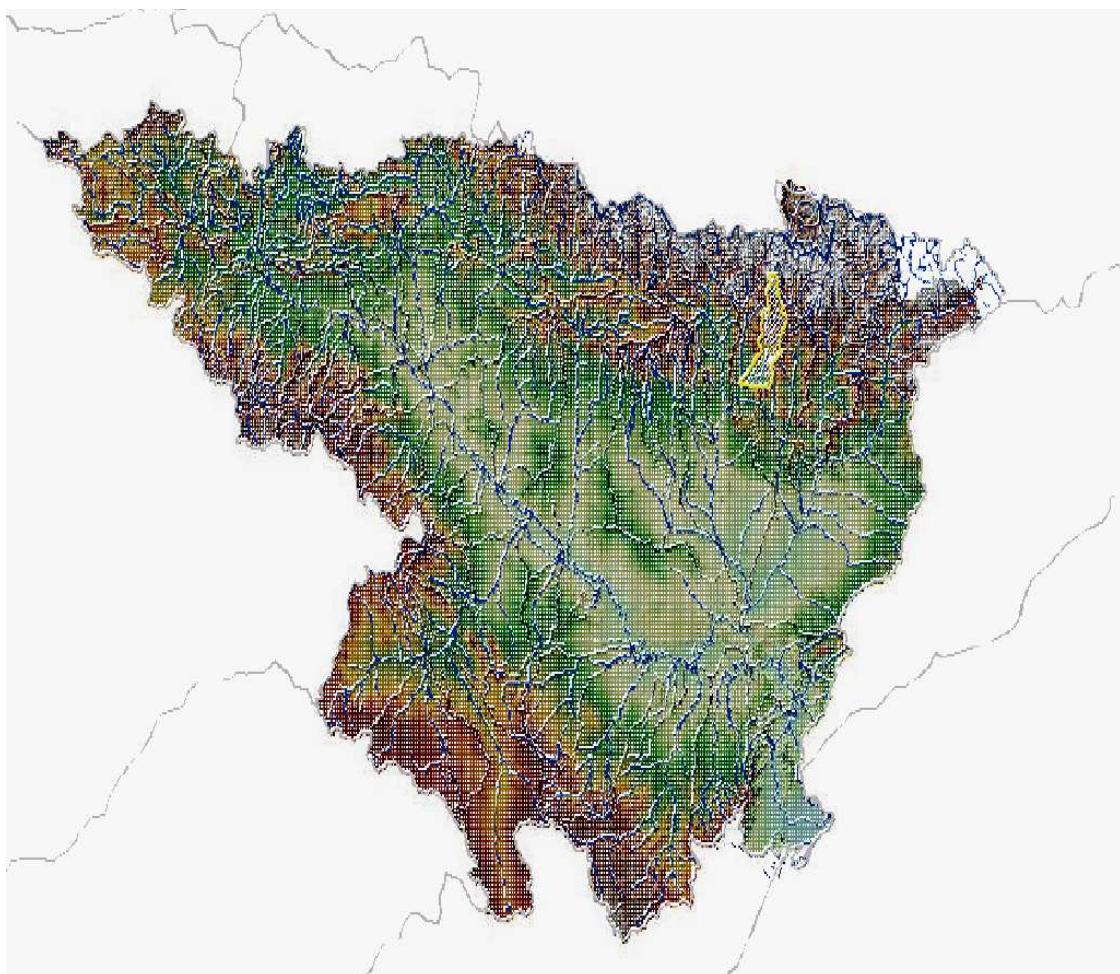


Figura VIII.1 Localización geográfica; Cuenca del Isábena.

VIII.II Datos de partida

Con objeto de conocer mejor la respuesta hidrológica de la cuenca del Isábena, se han analizado los datos quince-minutales de la base histórica del SAIH, tanto del caudal medido en la estación de aforo del Isábena en Capella (A047) situada a la salida de la cuenca, como los datos de precipitación registrados en las estaciones pluviométricas de Castigaleu (P032), Casa Llera (P031), en Capella (A047), en las Paules (P030), en el Chordal (R063) y en Calvera (R065).

La localización geográfica de las estaciones citadas se presenta en la figura siguiente:

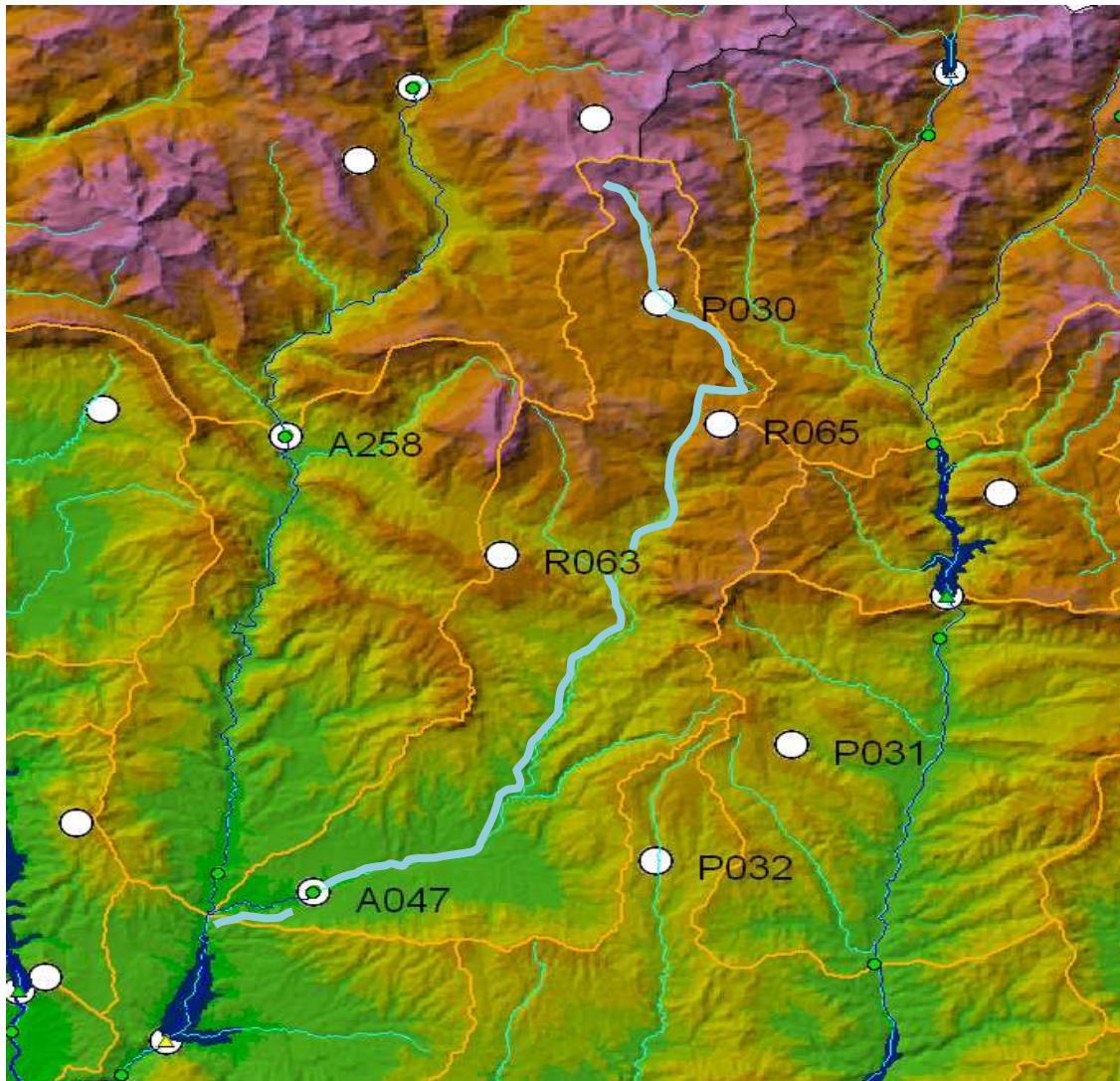


Figura VIII.2 Situación de estaciones; Cuenca del Isábena.

En la figura anterior (figura VIII.2) se representa el cauce del río Isábena mediante un trazo de mayor grosor.

A partir del estudio de los datos recogidos en la estación de aforo de Capella se comprueba que desde 1997 se han producido numerosos episodios de avenida, encontrándose con más de 20 riadas en las que el caudal registrado en la estación de Capella fue superior a los $40 \text{ m}^3/\text{s}$ y con más de 9 en las que se registró un caudal superior a los $80 \text{ m}^3/\text{s}$.

A partir del análisis de los datos extraídos de las estaciones pluviométricas, en función de la cantidad de precipitación que se suele registrar en cada pluviómetro y teniendo en cuenta la zona en que se sitúan, se concluye que:

- En la mayoría de los casos, todos los pluviómetros son igual de importantes, con el único problema de que los pluviómetros del Chordal y Calvera son muy recientes, teniendo datos de este último a partir del 20 de Enero del 2010 y al no analizar ningún episodio del 2010 no se utilizan los datos del pluviómetro situado en Calvera.

Por lo dicho anteriormente, salvo que se indique lo contrario, la manera de calcular la lluvia media para toda la subcuenca sin datos del pluviómetro situado en el Chordal (R063) es:

$$\begin{aligned} \text{Lluvia media} = & (\text{Precip. P031 (mm)} + \text{Precip. P032 (mm)} + \text{Precip. A047 (mm)} \\ & + \text{Precip. P030 (mm)} + \text{Precip. A258 (mm)}) \cdot 0,2 \end{aligned}$$

Y si se dispone de datos del pluviómetro del Chordal la forma de calcular la lluvia media para toda la subcuenca es:

$$\begin{aligned} \text{Lluvia media} = & (\text{Precip. P031 (mm)} + \text{Precip. P032 (mm)} + \text{Precip. A047 (mm)} \\ & + \text{Precip. P030 (mm)} + \text{Precip. A258 (mm)} + \text{Precip. R063 (mm)}) \cdot \frac{1}{6} \end{aligned}$$

Siendo 0,2 y 1/6 los coeficientes de proporcionalidad correspondientes a cada pluviómetro y Precip.P031 (mm), Precip.P032 (mm), Precip.A047 (mm), Precip.P030 (mm), Precip.A258 (mm), Precip.R063 (mm) la cantidad de precipitación registrada en cada uno de los pluviómetros para cada episodio en milímetros.

De entre todos los episodios registrados históricamente en esta subcuenca se han seleccionado ocho para analizarlos en profundidad y poder establecer pautas de comportamiento en la relación precipitación-escorrentía en esta subcuenca. Estos son los siguientes:

- Episodio del 16 al 24 de Diciembre de 1997: $Q_{\text{máx}} \approx 212 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 16 al 24 de Abril 2000: $Q_{\text{máx}} \approx 89 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 9 al 17 de Junio del 2000: $Q_{\text{máx}} \approx 95 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 7 al 12 de Marzo del 2001: $Q_{\text{máx}} \approx 95 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 25 de Febrero al 3 de Marzo del 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 53 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 26 de Octubre al 5 de Noviembre del 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 95 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 1 al 8 de Noviembre de 2008: $Q_{\text{máx}} \approx 40 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009: $Q_{\text{máx}} \approx 85 \text{ m}^3/\text{s}$.

VIII.III Análisis de Episodios

VIII.III.I Episodio del 16 al 24 de Diciembre de 1997

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Capella durante este episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	119,6mm
	Castigaleu (P032)	141,6mm
	Capella (A047)	93,9mm
	Las Paules (P030)	0mm
	El Campo (A258)	12mm
	El Chordal (R063)	
	Volumen total	Capella (A047) 20,8 Hm ³

Tabla VIII.1 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, episodio del 16 al 24 de Diciembre de 1997.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

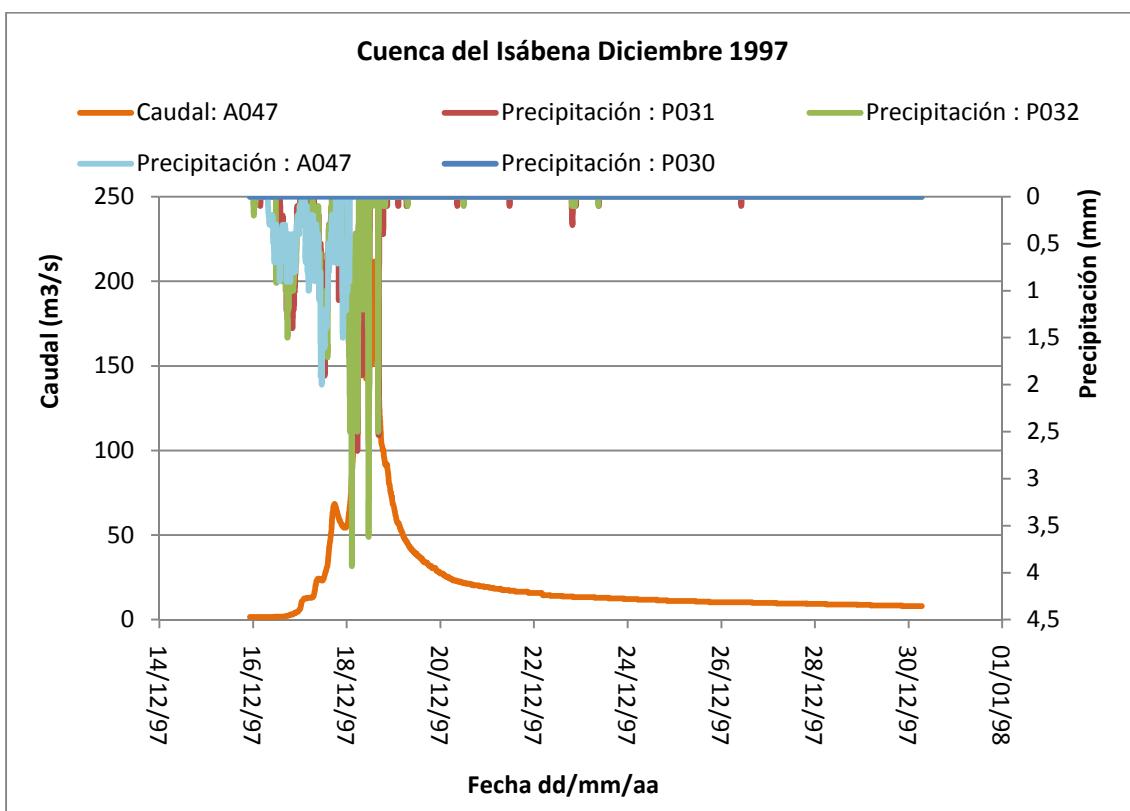


Figura VIII.3 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 16 al 24 de Diciembre de 1997.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

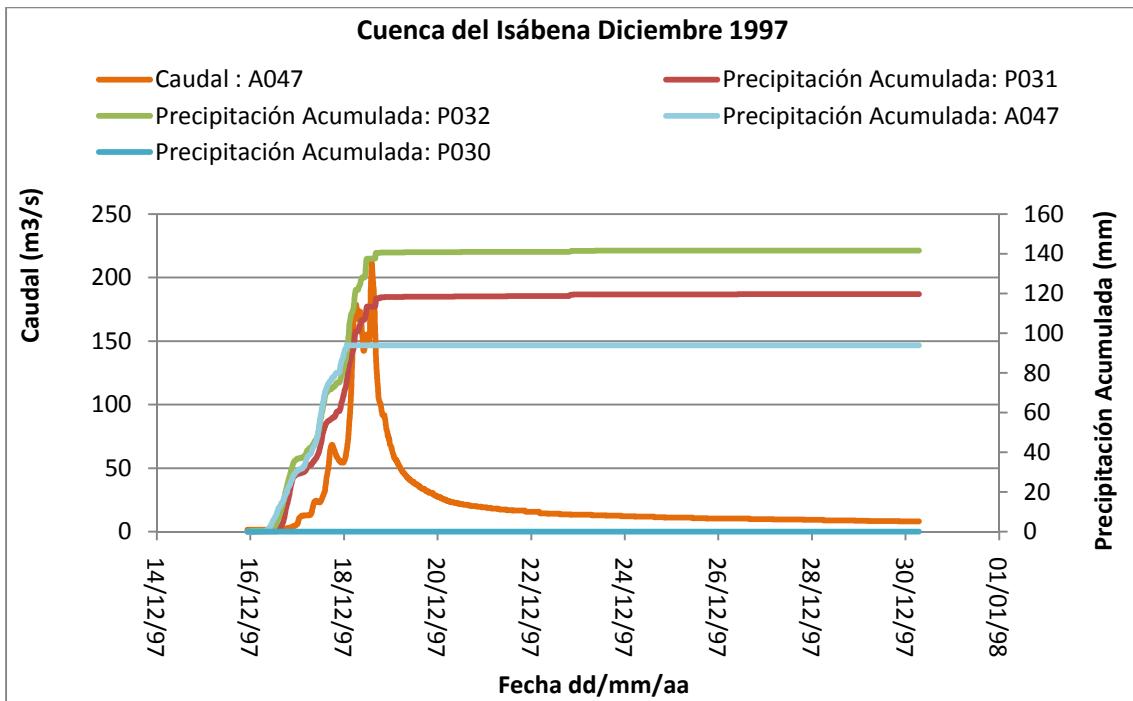


Figura VIII.4 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 16 al 24 de Diciembre de 1997.

A partir de los datos de partida indicados en la tabla VIII.1 Se procede a realizar los cálculos que se indican en el capítulo 4 de la memoria y así poder caracterizar este episodio. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para los cálculos de este episodio:

Lluvia media	112,25mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	89,25h
Volumen de Precipitación	49,4Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	52,25h
Duración Episodio	189,75h	t_{picos}	8,25h
Volumen de escorrentía	19,7Hm ³	Escorrentía	39,8%
Volumen Q_{base}	2,3Hm ³	Escorrentía directa	35,3%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	17,4Hm ³	Escorrentía indirecta	4,5%
$Q_{\text{máx}}$	211,56m ³ /s	Umbrales precipitación	25,77mm

Tabla VIII.2 Resultados obtenidos en el episodio del 16 al 24 de Diciembre de 1997; Cuenca del Isábena.

Debido a que todas las lluvias que producen el pico de la riada se concentran en una parte de la cuenca y son únicamente estas las que provocan la escorrentía que produce el aumento del caudal registrado en la estación de aforo de Capella, excepcionalmente se usa la siguiente ecuación para el cálculo de la lluvia media en la cuenca:

$$\text{Lluvia media} = \text{Precip. P031 (mm)} \cdot 0,25 + \text{Precip. P032(mm)} \cdot 0,25 + \text{Precip. A047(mm)} \cdot 0,5$$

VIII.III.II Episodio del 16 al 24 de Abril del 2000

Antes de pasar a realizar los cálculos correspondientes que caracterizarán este episodio, se debe tener en cuenta que debido a que después de este episodio se produjeron precipitaciones sobre esta subcuenca y a la hora de calcular el volumen de precipitación no se han tenido en cuenta, se ha prolongado virtualmente como sería la rama de bajada del hidrograma del caudal hasta alcanzar el flujo base que se tenía al principio del episodio.

Los datos de partida para el análisis de este episodio se recogen en la siguiente tabla en la que se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Capella durante este episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	27,3mm
	Castigaleu (P032)	29,3mm
	Capella (A047)	28,8mm
	Las Paules (P030)	71,6mm
	El Campo (A258)	42,8mm
	El Chordal (R063)	
	Volumen total	Capella (A047) 19,42Hm ³

Tabla VIII.3 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, episodio del 16 al 24 Abril del 2000.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

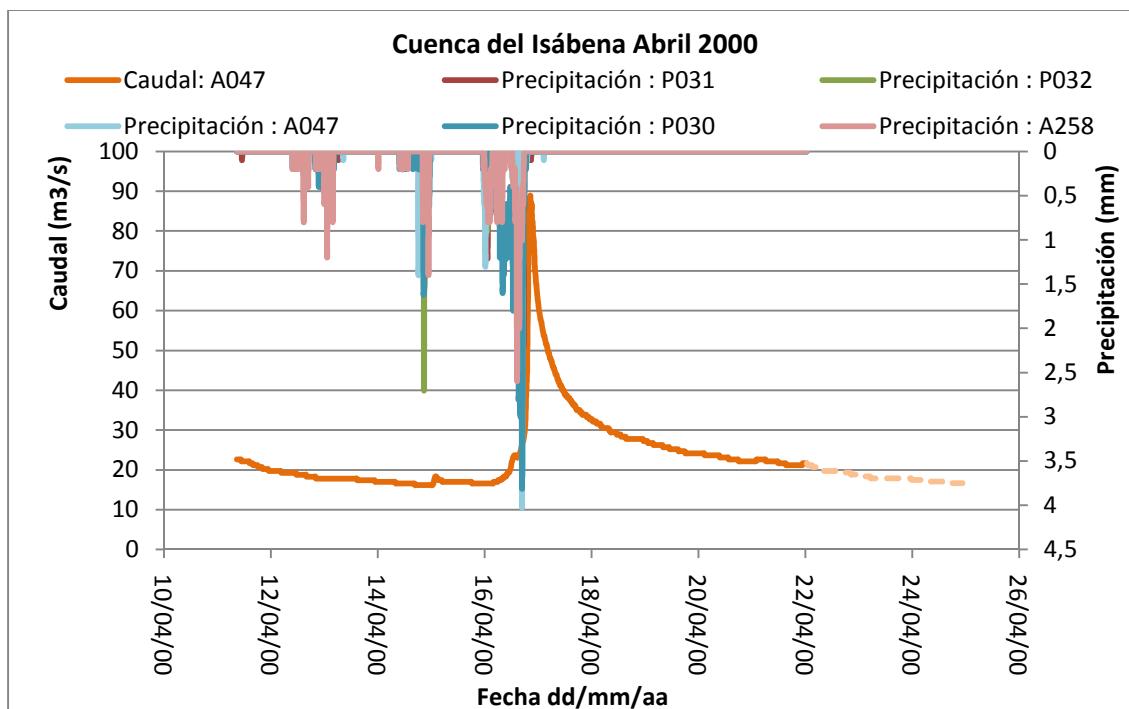


Figura VIII.5 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 16 al 24 Abril del 2000.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

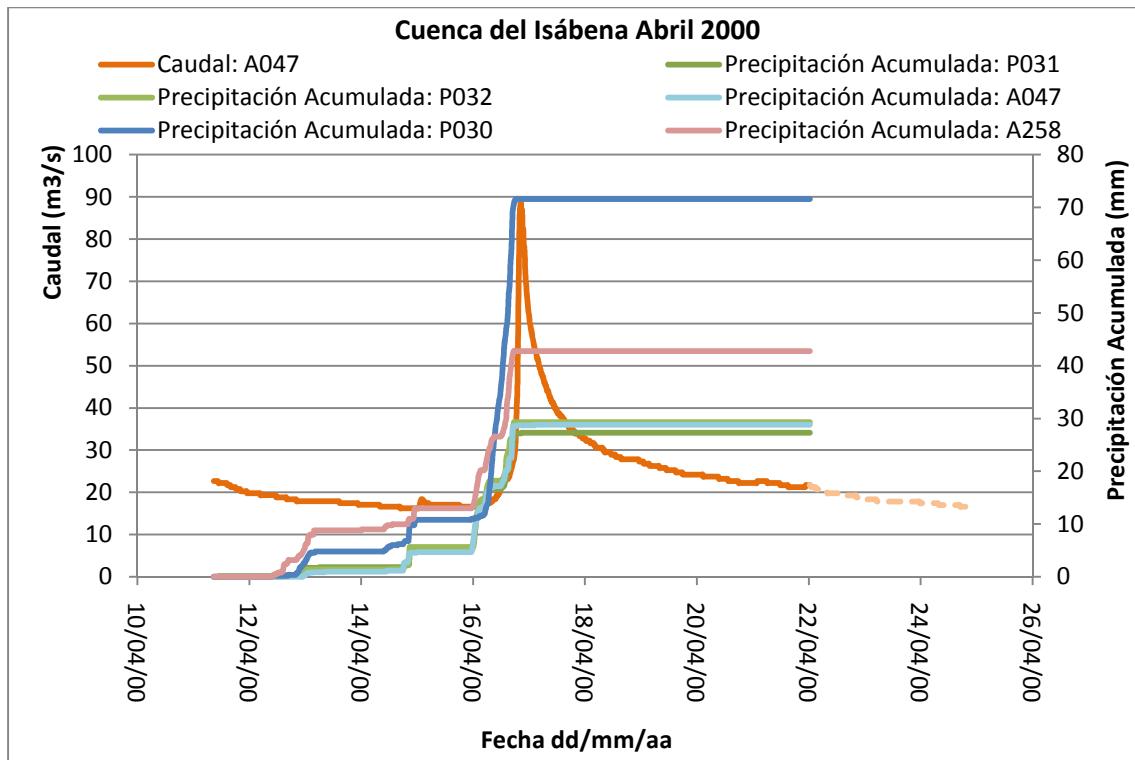


Figura VIII.6 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 16 al 24 Abril del 2000.

Una vez realizados los cálculos indicados en el capítulo 4 de la memoria, los resultados que nos ayudarán a caracterizar este episodio se muestran en la siguiente tabla.

Lluvia media	39,96mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	81,5h
Volumen de Precipitación	17,6Hm ³	$t_{\text{precipitación}}$	18h
Duración Episodio	211h	t_{picos}	10,75h
Volumen de escorrentía	6,8Hm ³	Escorrentía	38,8%
Volumen Q_{base}	1,8 Hm ³	Escorrentía directa	28,8%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	5Hm ³	Escorrentía indirecta	10%
$Q_{\text{máx}}$	88,85m ³ /s	Umbral precipitación	17,38mm

Tabla VIII.4 Resultados obtenidos en el episodio del 16 al 24 Abril del 2000; Cuenca del Isábena.

A la hora de analizar los resultados se debe de tener en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo ya que unas horas antes del inicio de este episodio se produjo un aguacero sobre la cuenca.

VIII.III.III Episodio del 9 al 17 de Junio del 2000

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Capella durante este episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	2,4mm
	Castigaleu (P032)	71,6mm
	Capella (A047)	91mm
	Las Paules (P030)	30,8mm
	El Campo (A258)	93,2mm
	El Chordal (R063)	
Volumen total	Capella (A047)	9,61Hm ³

Tabla VIII.5 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, episodio del 9 al 17 de Junio del 2000.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

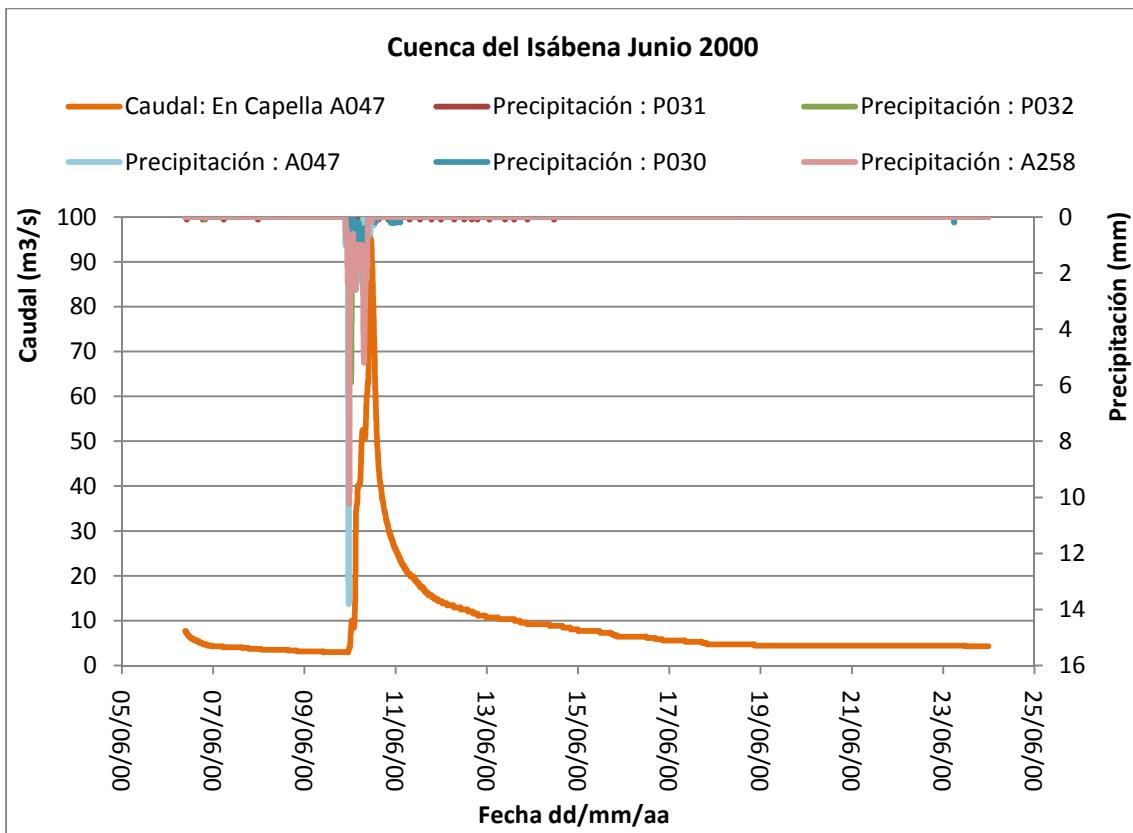


Figura VIII.7 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 9 al 17 de Junio del 2000.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

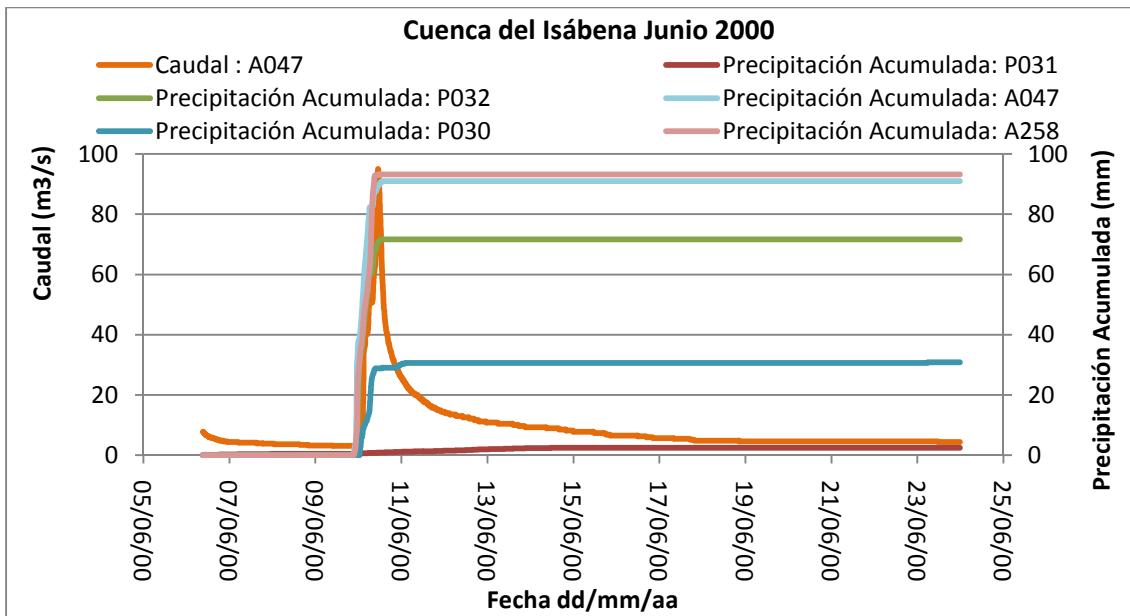


Figura VIII.8 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 9 al 17 de Junio del 2000.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	71,65mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	46,5h
Volumen de Precipitación	31,54Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	14,75h
Duración Episodio	189h	t_{picos}	3,75h
Volumen de escorrentía	7,5Hm ³	Escorrentía	23,96%
Volumen Q_{base}	1,9Hm ³	Escorrentía directa	17,89%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	5,6Hm ³	Escorrentía indirecta	6,07%
$Q_{\text{máx}}$	95 m ³ /s	Umbral precipitación	21,2mm

Tabla VIII.6 Resultados obtenidos en el episodio del 9 al 17 de Junio del 2000; Cuenca del Isábena.

Debido a que el pluviómetro P031 no registra casi precipitación lo que se atribuye a algún problema de funcionamiento, se considera que la precipitación que registra no es la correcta y para calcular la lluvia media sobre la subcuenca se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = (\text{Precip. P032 (mm)} + \text{Precip. A047(mm)} + \text{Precip. P030(mm)} + \text{Precip. A258(mm)}) \cdot 0,25$$

A la hora de analizar los resultados se tiene en cuenta que el episodio es provocado por una lluvia de alta intensidad y que el umbral indicado en la tabla anterior (21,2 mm) es la lluvia media calculada con la precipitación registrada por los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa, siendo esta registrada en los pluviómetros P032, A258, A047 en diferentes instantes, alcanzando su intensidad máxima en la zona del pluviómetro de Capella en el que se llega a registrar una precipitación de 26,1 mm en tan sólo 30 minutos.

VIII.III.IV Episodio del 7 al 12 de Marzo del 2001

Los datos de partida para el análisis de este episodio se muestran en la siguiente tabla, la cual recoge la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Capella durante este episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	0mm
	Castigaleu (P032)	0mm
	Capella (A047)	45mm
	Las Paules (P030)	21,6mm
	El Campo (A258)	2mm
	El Chordal (R063)	
	Volumen total	Capella (A047) 12,1Hm ³

Tabla VIII.7 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, episodio del 7 al 12 de Marzo del 2001.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

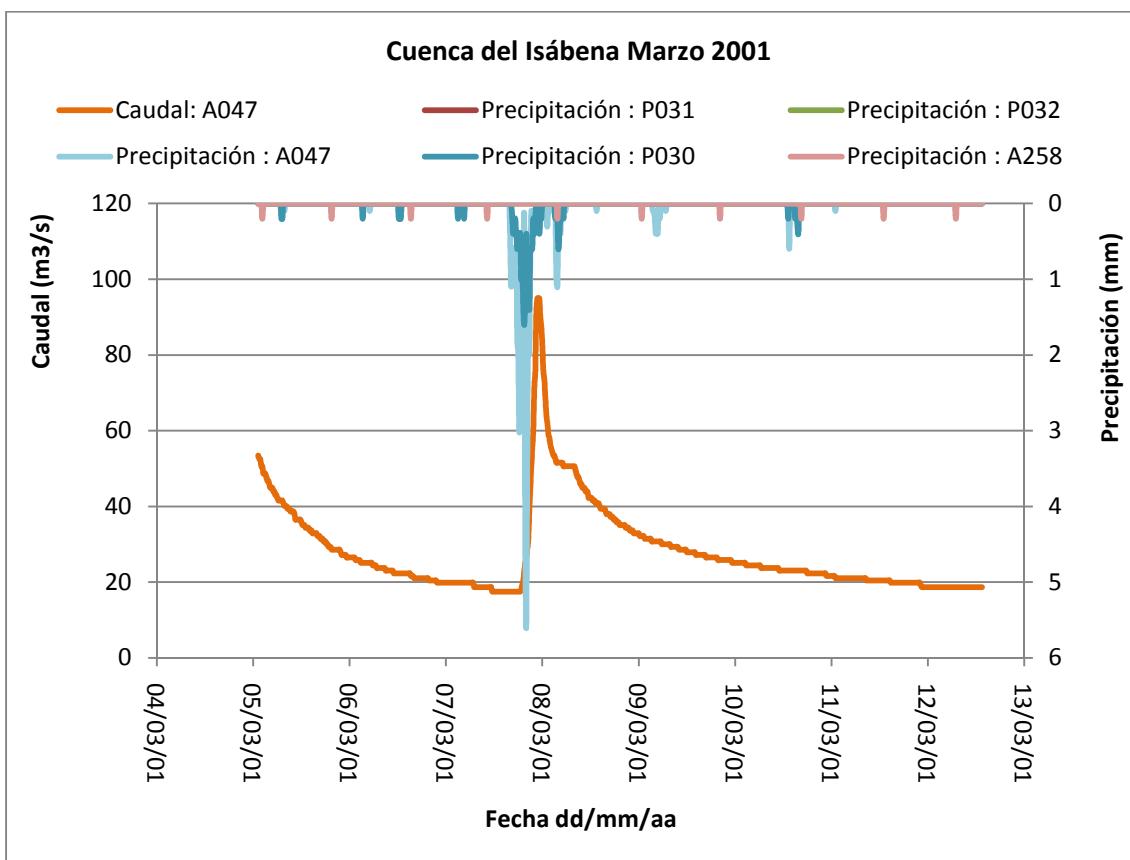


Figura VIII.9 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 7 al 12 de Marzo del 2001.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

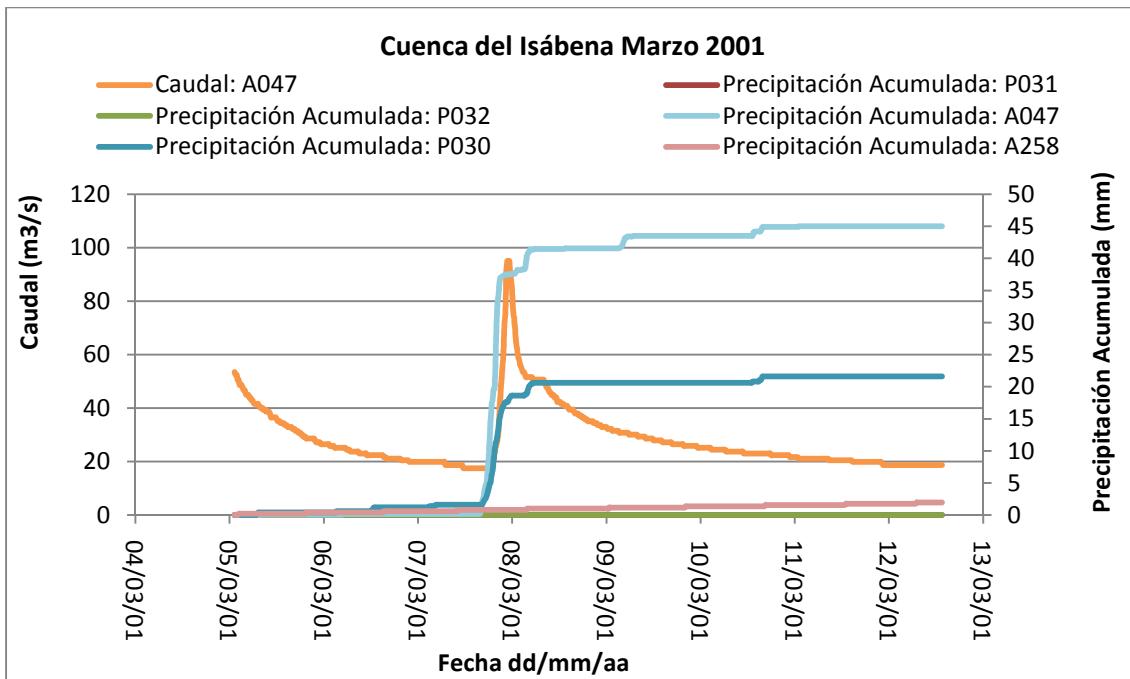


Figura VIII.10 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 7 al 12 de Marzo del 2001.

Los resultados obtenidos para este episodio son:

Lluvia media	33,33mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	32,5h
Volumen de Precipitación	14,66Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	6,25h
Duración Episodio	115h	t_{picos}	3,25h
Volumen de escorrentía	4,8Hm ³	Escorrentía	32,96%
Volumen Q_{base}	1,6Hm ³	Escorrentía directa	22,08%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	3,2Hm ³	Escorrentía indirecta	10,88%
$Q_{\text{máx}}$	95m ³ /s	Umbral precipitación	8,25mm

Tabla VIII.8 Resultados obtenidos en el episodio del 7 al 12 de Marzo del 2001; Cuenca del Isábena.

Debido a que los pluviómetros P031, P032, A258 no registran casi precipitación y el episodio es provocado por los aguaceros concentrados en la cabecera de la cuenca y en la zona de la estación de aforo para calcular la lluvia media en la subcuenca se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = (\text{Precip. A047(mm)} + \text{Precip. P030(mm)}) \cdot 0,5$$

A la hora del análisis de los resultados se tiene en cuenta que las condiciones iniciales de terreno son de bastante humedad, ya que días anteriores de producirse este episodio hubo una crecida en el río en la que se alcanzó un caudal máximo de 80 m³/s.

VIII.III.V Episodio del 25 de Febrero al 3 de Marzo del 2003

En este caso, el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes debido a que aunque sólo se aprecia un pico bien delimitado, antes de las precipitaciones que provocan el aumento brusco del caudal registrado en la estación de aforo, se produjeron otras precipitaciones que provocaron una pequeña variación del caudal registrado en Capella y se ha considerado interesante estudiarlo de manera independiente (véase figuras VIII.11 y VIII.12).

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 25 de Febrero al 3 de Marzo del 2003:

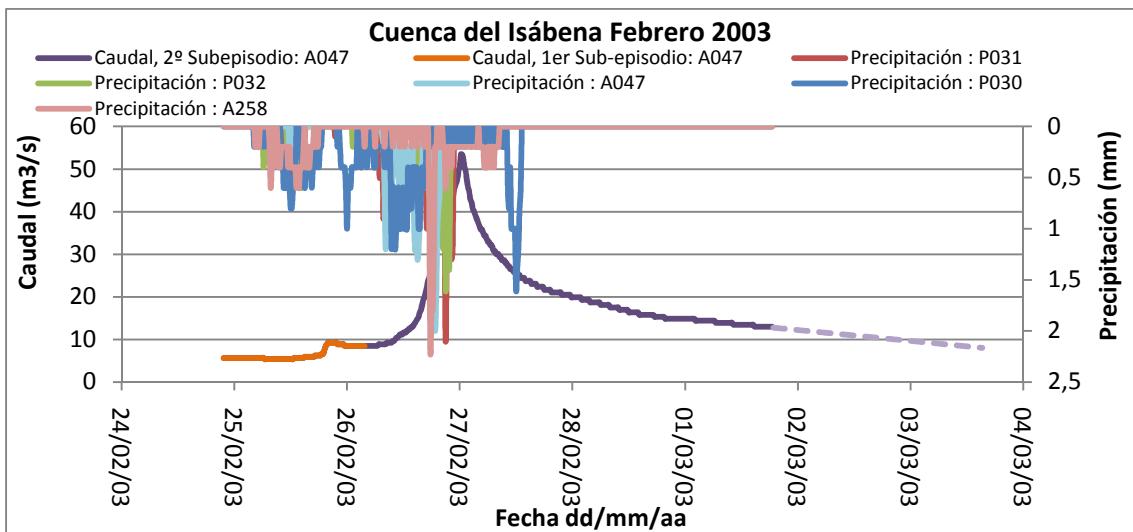


Figura VIII.11 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 25 de Febrero al 3 de Marzo del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

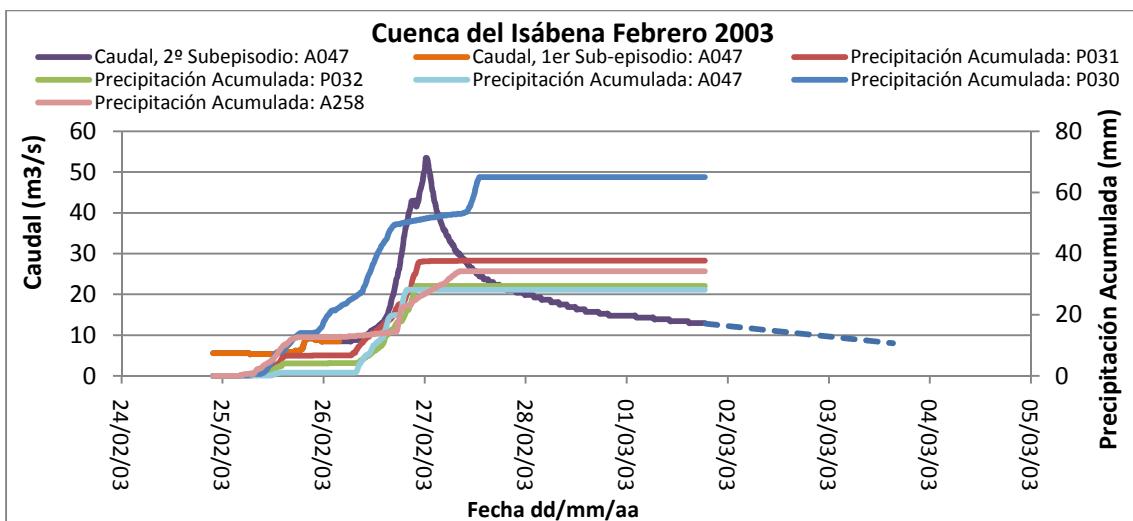


Figura VIII.12 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 25 de Febrero al 3 de Marzo del 2003.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Capella y que se produjo entre el 25 y el 26 de Febrero de 2003.

Los datos de partida para el análisis de este episodio, es decir, la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio, se muestran en la siguiente tabla:

Precipitación	Casa Llera (P031)	95mm
	Castigaleu (P032)	4mm
	Capella (A047)	1mm
	Las Paules (P030)	14mm
	El Campo (A258)	12,6mm
	El Chordal (R063)	
	Volumen total	Capella (A047) 0,41Hm ³

Tabla VIII.9 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, primer sub-episodio del episodio del 25 de Febrero al 3 de Marzo del 2003.

Una vez realizados los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria, los resultados obtenidos para este sub-episodio se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	40,53mm	Duración Q _{máx}	
Volumen de Precipitación	17,84Hm ³	t _{Precipitación}	11,75h
Duración Episodio	15,25h	t _{picos}	
Volumen de escorrentía	0,12Hm ³	Escorrentía	0,7%
Volumen Q _{base}		Escorrentía directa	
Volumen Q _{máx}		Escorrentía indirecta	
Q _{máx}		Umbral precipitación	4,6mm

Tabla VIII.10 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 25 de Febrero al 3 de Marzo del 2003; Cuenca del Isábena.

En este caso, los pluviómetros P032 y el A047 no registran casi precipitación y se atribuye a algún problema de funcionamiento y para calcular la lluvia media en la subcuenca se ha utilizado la siguiente expresión:

$$u\text{via media} = (Precip. P031(mm) + Precip. P030(mm) + Precip. A258(mm)) \cdot \frac{1}{3}$$

Al no formarse un pico bien definido no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen Q_{máx} y por consiguiente tampoco se distingue entre escorrentía directa y escorrentía indirecta. Por otra parte, a la hora de realizar los cálculos, la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 25 de Febrero a las 20:15h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Antes de pasar a realizar los cálculos correspondientes que caracterizarán este episodio, se debe tener en cuenta que debido a que después de este episodio se produjeron precipitaciones sobre esta cuenca y, a la hora de calcular el volumen de precipitación, no se han tenido en cuenta, se ha prolongado virtualmente como sería la rama de bajada del hidrograma del caudal hasta alcanzar el flujo base que se tenía al principio del episodio.

Si se analiza independientemente este sub-episodio se daría desde el 26 de Febrero hasta el 3 de Marzo del 2003, momento en el cuál se recuperaría el flujo base que se tenía el Isábena antes del aguacero.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	31,1mm
	Castigaleu (P032)	25,4mm
	Capella (A047)	27,2mm
	Las Paules (P030)	51mm
	El Campo (A258)	21,6mm
	El Chordal (R063)	
	Volumen total	Capella (A047) 9,61Hm ³

Tabla VIII.11 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, segundo sub-episodio del episodio del 25 de Febrero al 3 de Marzo del 2003.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	31,26mm	Duración Q _{máx}	67,75h
Volumen de Precipitación	13,76Hm ³	t _{Precipitación}	16h
Duración Episodio	128h	t _{picos}	6,75h
Volumen de escorrentía	4,04Hm ³	Escorrentía	29,39%
Volumen Q _{base}	0,67Hm ³	Escorrentía directa	24,51%
Volumen Q _{máx}	3,37Hm ³	Escorrentía indirecta	4,88%
Q _{máx}	53,45m ³ /s	Umbrales precipitación	1,38mm

Tabla VIII.12 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 25 de Febrero al 3 de Marzo del 2003; Cuenca del Isábena.

A la hora del análisis de los resultados de este episodio se debe tener en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo.

VIII.III.VI Episodio del 26 de Octubre al 5 de Noviembre de 2003

En este caso, a la vista de las gráficas donde se muestra el evento del episodio (figuras VIII.13 y VIII.14), se ha dividido en tres el episodio de avenida y se han analizado los datos como tres sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 22 de Octubre hasta el 5 de Noviembre.

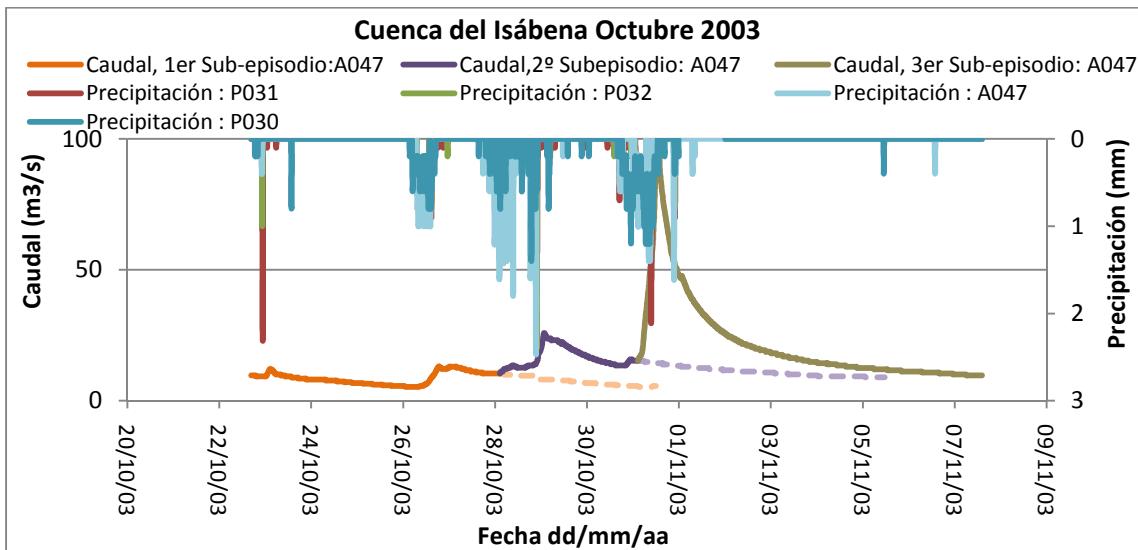


Figura VIII.13 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio 26 de Octubre al 5 de Noviembre del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

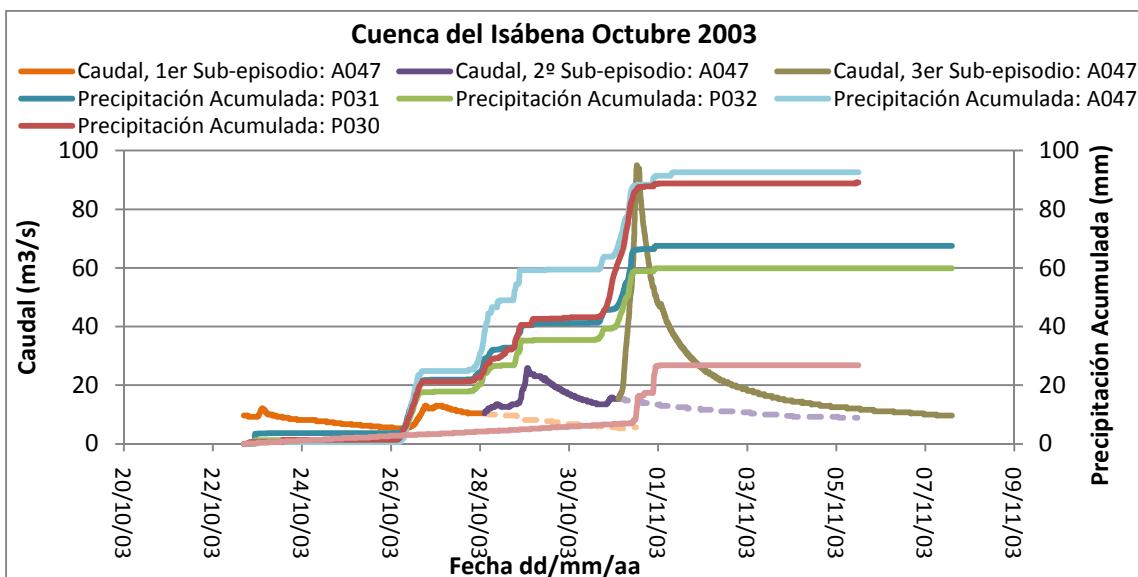


Figura VIII.14 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio 26 de Octubre al 5 de Noviembre del 2003.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio esencialmente de precipitación, en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Capella y que si se produjera aisladamente transcurriría entre el 26 y el 29 de Octubre del 2003. Al analizarlo como independiente hemos supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua en color naranja claro (véase figuras VIII.13 y VIII.14), para así poder realizar los cálculos.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	21,9mm
	Castilgaleu (P032)	17,8mm
	Capella (A047)	24,8mm
	Las Paules (P030)	21,4mm
	El Campo (A258)	4mm
	El Chordal (R063)	
	Volumen total	Capella (A047) 2,87Hm ³

Tabla VIII.13 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, primer sub-episodio del episodio del 26 de Octubre al 5 de Noviembre del 2003.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	17,98mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	40,5h
Volumen de Precipitación	7,91Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	11,5h
Duración Episodio	81h	t_{picos}	8,75h
Volumen de escorrentía	1,22Hm ³	Escorrentía	15,53%
Volumen Q_{base}	0,45Hm ³	Escorrentía directa	9,77%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,77Hm ³	Escorrentía indirecta	5,76%
$Q_{\text{máx}}$	12,99m ³ /s	Umbral precipitación	6,02mm

Tabla VIII.14 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 26 de Octubre al 5 de Noviembre del 2003; Cuenca del Isábena.

En este caso hay que advertir que las condiciones iniciales del terreno antes de este sub-episodio son húmedas ya que durante este mes se registraron bastantes precipitaciones en esta subcuenca.

También se va a tener en cuenta que la cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta aproximadamente el momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo (exactamente hasta el día 27 de Octubre a las 17:00 h).

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio analizado independientemente tiene lugar entre el 28 de Octubre y el 3 de Noviembre del 2003. Como se puede observar en las gráficas donde se representa el evento completo; en este caso, también se ha supuesto un caudal de bajada del hidrograma para poder realizar los cálculos (figuras VIII.13 y VIII.14, línea discontinua color púrpura claro).

Los datos de partida para el análisis de este sub-episodio son: la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio y los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Precipitación	Casa Llera (P031)	18,6mm
	Castigaleu (P032)	17,4mm
	Capella (A047)	34,4mm
	Las Paules (P030)	19,2mm
	El Campo (A258)	1mm
	El Chordal (R063)	
Volumen total	Capella (A047)	7,5Hm ³

Tabla VIII.15 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, segundo sub-episodio del episodio del 26 de Octubre al 5 de Noviembre del 2003.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este sub-episodio:

Lluvia media	18,12mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	73h
Volumen de Precipitación	7,98Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	9,75h
Duración Episodio	143,5h	t_{picos}	7,25h
Volumen de escorrentía	2,13Hm ³	Escorrentía	26,72%
Volumen Q_{base}	0,55Hm ³	Escorrentía directa	19,76%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	1,57Hm ³	Escorrentía indirecta	6,96%
$Q_{\text{máx}}$	25,82m ³ /s	Umbral precipitación	1,72mm

Tabla VIII.16 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 26 de Octubre al 5 de Noviembre del 2003; Cuenca del Isábena.

Al igual que en otros casos el estado antecedente de humedad del suelo es muy elevado.

Las precipitaciones registradas a partir del día 29 de Octubre a las 2:45h no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos que caracterizan este sub-episodio. Se toma que a partir de este instante las precipitaciones provocarán el tercer sub-episodio.

Análisis del tercer sub-episodio:

Al analizar aisladamente este sub-episodio, se produciría entre el 31 de Octubre y el 5 de Noviembre del 2003.

En cuanto a los datos iniciales partimos de la siguiente tabla que nos muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	25,8mm
	Castigaleu (P032)	23,6mm
	Capella (A047)	29,2mm
	Las Paules (P030)	47mm
	El Campo (A258)	11,2mm
	El Chordal (R063)	
	Volumen total	Capella (A047) 12,29Hm ³

Tabla VIII.17 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, tercer sub-episodio del episodio del 26 de Octubre al 5 de Noviembre del 2003.

Una vez realizados los cálculos, los resultados de estos se representan en la siguiente tabla:

Lluvia media	27,36mm	Duración Q _{máx}	69,5h
Volumen de Precipitación	12,04Hm ³	t _{Precipitación}	14h
Duración Episodio	125,75h	t _{picos}	12,75h
Volumen de escorrentía	7,04Hm ³	Escorrentía	58,75%
Volumen Q _{base}	1,02Hm ³	Escorrentía directa	50,04%
Volumen Q _{máx}	6,02Hm ³	Escorrentía indirecta	8,71%
Q _{máx}	95m ³ /s	Umbral precipitación	6,46mm

Tabla VIII.18 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio del 26 de Octubre al 5 de Noviembre del 2003; Cuenca del Isábena.

A la hora del análisis de los resultados se debe tener en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno muy húmedo.

VIII.III.VII Episodio del 1 al 8 de Noviembre del 2008

En este caso el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 31 de Octubre hasta el 10 de Noviembre de 2008:

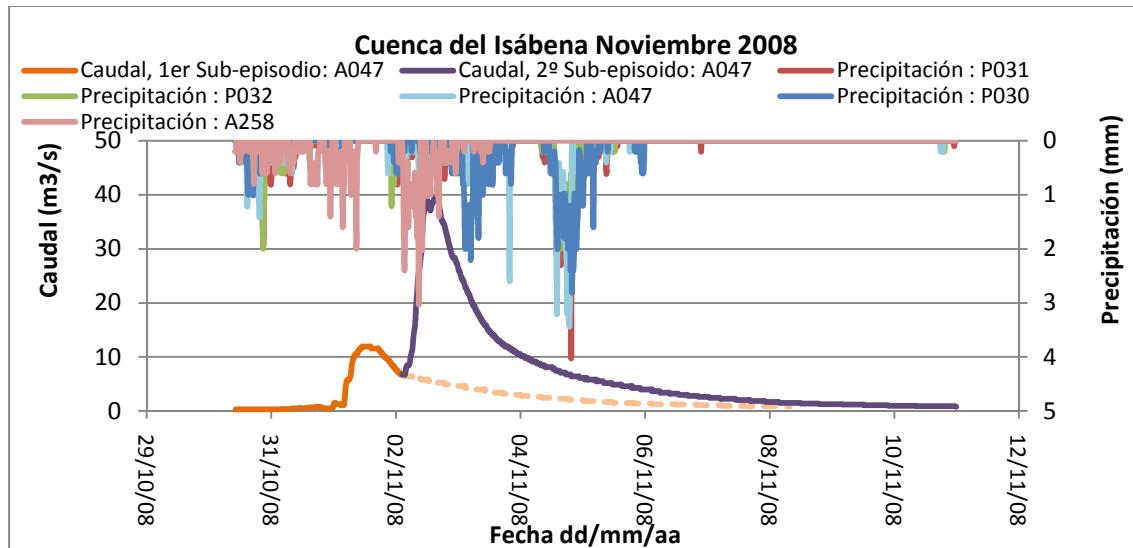


Figura VIII.15 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 1 al 8 de Noviembre del 2008.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

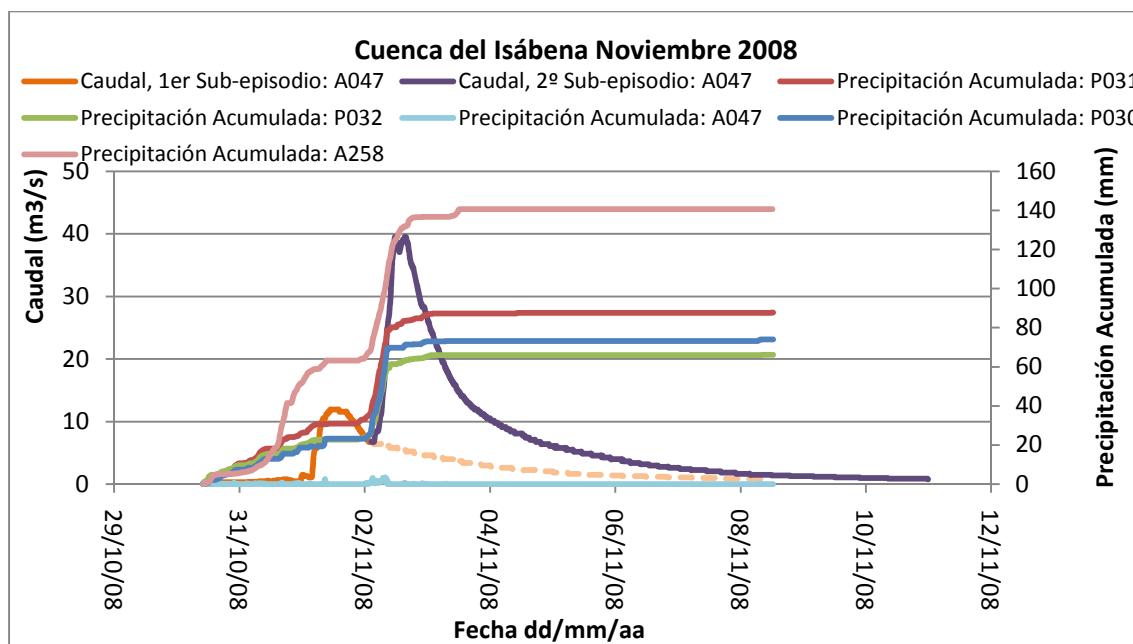


Figura VIII.16 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 1 al 8 de Noviembre del 2008.

Análisis del primer sub-episodio:

Se analiza este sub-episodio entre el 1 y el 8 de Noviembre del 2008. El caudal de bajada del hidrograma ha sido supuesto como se dibuja en la gráfica con línea discontinua (véase figuras VIII.15 y VIII.16) para así poder realizar los cálculos.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	30,9mm
	Castigaleu (P032)	22,8mm
	Capella (A047)	23,2mm
	Las Paules (P030)	63,2mm
	El Campo (A258)	53,8mm
	El Chordal (R063)	
Volumen total	Capella (A047)	2,11Hm ³

Tabla VIII.19 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, primer sub-episodio del episodio del 1 al 8 de Noviembre del 2008.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	38,78mm	Duración Q _{máx}	41h
Volumen de Precipitación	17,06Hm ³	t _{Precipitación}	29h
Duración Episodio	177h	t _{picos}	12h
Volumen de escorrentía	1,81Hm ³	Escorrentía	10,62%
Volumen Q _{base}	0,79Hm ³	Escorrentía directa	5,94%
Volumen Q _{máx}	1,02Hm ³	Escorrentía indirecta	4,68%
Q _{máx}	11,93m ³ /s	Umbral precipitación	21,36mm

Tabla VIII.20 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 1 al 8 de Noviembre del 2008; Cuenca del Isábena.

Como condiciones iniciales de partida, el terreno está húmedo debido a que alrededor del 28 de Octubre se produjeron precipitaciones importantes sobre esta subcuenca y el volumen de precipitación utilizado para el análisis de este sub-episodio es el que se registra en los pluviómetros hasta un poco más tarde del momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo (exactamente hasta el 1 a las 19:45h).

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio tomado de forma aislada transcurre del 2 al 8 de Noviembre del 2008.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	56,7	mm
	Castigaleu (P032)	43,2	mm
	Capella (A047)	50	mm
	Las Paules (P030)	77,4	mm
	EL Campo (A258)	60,8	mm
	El Chordal (R063)		mm
	Volumen total	Capella (A047)	5,14 Hm ³

Tabla VIII.21 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, segundo sub-episodio del episodio del 1 al 8 de Noviembre del 2008.

En la siguiente tabla figuran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	57,62mm	Duración Q _{máx}	62,5h
Volumen de Precipitación	25,36Hm ³	t _{Precipitación}	22,5h
Duración Episodio	148,5h	t _{picos}	3,25h
Volumen de escorrentía	3,84Hm ³	Escorrentía	15,14%
Volumen Q _{base}	0,68Hm ³	Escorrentía directa	12,45%
Volumen Q _{máx}	3,16Hm ³	Escorrentía indirecta	2,69%
Q _{máx}	39,51m ³ /s	Umbrales precipitación	0,84mm

Tabla VIII.22 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 1 al 8 de Noviembre del 2008; Cuenca del Isábena.

A la hora del análisis de los resultados de este episodio se debe tener en cuenta que las condiciones iniciales de terreno son húmedas.

VIII.III.VIII Episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009

En este caso el episodio de avenida se analiza en tres sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 20 hasta el 28 de Diciembre de 2009:

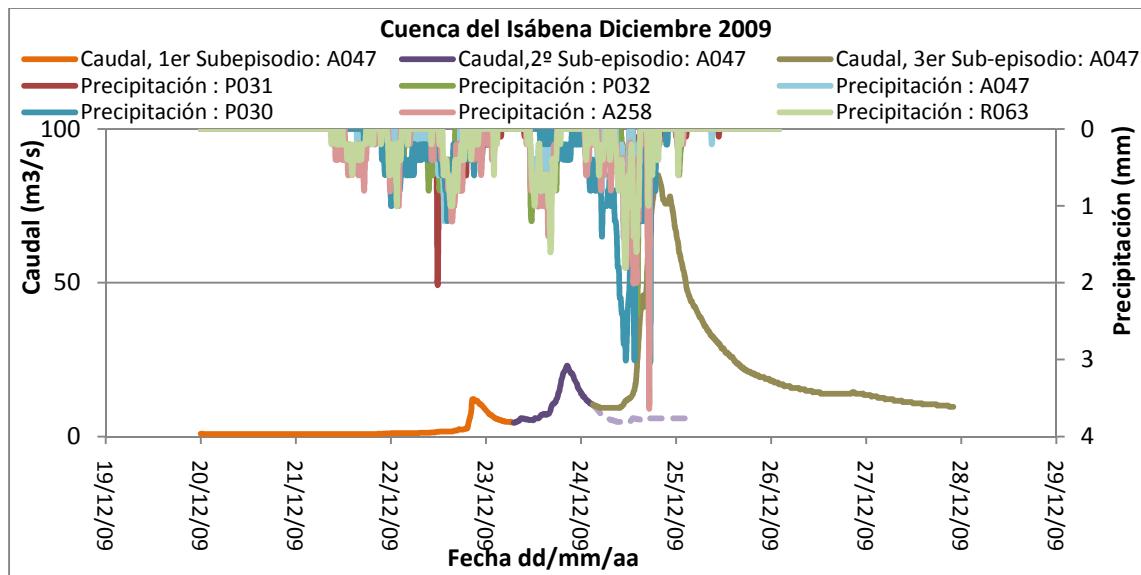


Figura VIII.17 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

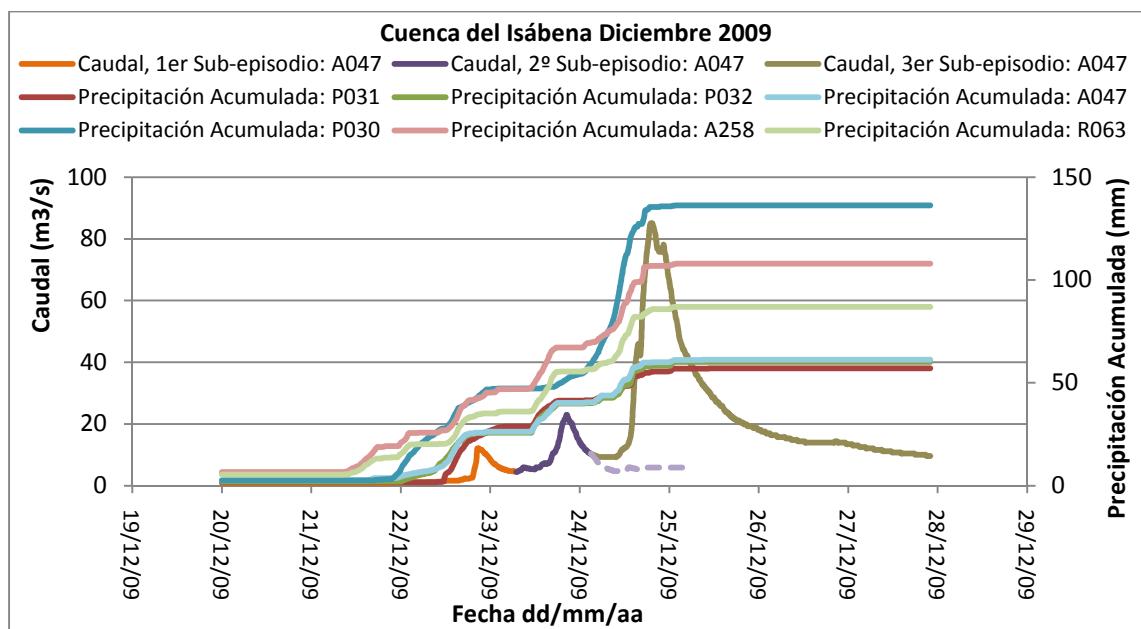


Figura VIII.18 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009.

Análisis del primer sub-episodio:

Si se produjese este episodio independientemente, transcurriría del 21 al 23 de Diciembre de 2009.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	22,7mm
	Castigaleu (P032)	23,6mm
	Capella (A047)	23,2mm
	Las Paules (P030)	41,4mm
	El Campo (A258)	36,2mm
	El Chordal (R063)	29,4mm
	Volumen total	Capella (A047) $0,34\text{Hm}^3$

Tabla VIII.23 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, primer sub-episodio del episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	29,41mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	10h
Volumen de Precipitación	$12,95\text{Hm}^3$	$t_{\text{precipitación}}$	35,25h
Duración Episodio	15,75h	t_{picos}	7h
Volumen de escorrentía	$0,245\text{Hm}^3$	Escorrentía	1,92%
Volumen Q_{base}	$0,075\text{Hm}^3$	Escorrentía directa	1,34%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	$0,17\text{Hm}^3$	Escorrentía indirecta	0,58%
$Q_{\text{máx}}$	$12,07\text{m}^3/\text{s}$	Umbral precipitación	22,05mm

Tabla VIII.24 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009; Cuenca del Isábena.

La cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta un poco más tarde del momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo, exactamente hasta el 22 a las 21:15h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Aisladamente este sub-episodio tendría lugar entre el 23 y el 27 de Diciembre de 2009. Parte del caudal de la rama de bajada ha sido supuesto para así poder realizar los cálculos (véase figuras VIII.17 y VIII.18, línea discontinua).

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	17mm
	Castigaleu (P032)	14,4mm
	Capella (A047)	14,4mm
	Las Paules (P030)	9,2mm
	El Campo (A258)	24,4mm
	El Chordal (R063)	20,8mm
	Volumen total	Capella (A047) $2,3\text{Hm}^3$

Tabla VIII.25 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, segundo sub-episodio del episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	16,7mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	20h
Volumen de Precipitación	$7,35\text{Hm}^3$	$t_{\text{Precipitación}}$	10,25h
Duración Episodio	90,25h	t_{picos}	9,75h
Volumen de escorrentía	$0,84\text{Hm}^3$	Escorrentía	11,45%
Volumen Q_{base}	$0,36\text{Hm}^3$	Escorrentía directa	6,55%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	$0,48\text{Hm}^3$	Escorrentía indirecta	4,9%
$Q_{\text{máx}}$	$20,47\text{m}^3/\text{s}$	Umbral precipitación	2,25mm

Tabla VIII.26 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009; Cuenca del Isábena.

Las condiciones de partida son de terreno húmedo.

La precipitación registrada a partir del 23 a las 22:00h se utiliza para los cálculos del tercer sub-episodio.

Análisis del tercer sub-episodio:

Este sub-episodio transcurriría del 24 al 27 de Diciembre de 2009.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Casa Llera (P031)	15,6mm
	Castigaleu (P032)	20,2mm
	Capella (A047)	20,8mm
	Las Paules (P030)	83mm
	El Campo (A258)	40,8mm
	El Chordal (R063)	31,4mm
	Volumen total	Capella (A047) 7,5Hm ³

Tabla VIII.27 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Isábena, tercer sub-episodio del episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	35,3mm	Duración Q _{máx}	41h
Volumen de Precipitación	15,54Hm ³	t _{Precipitación}	18,75h
Duración Episodio	84,75h	t _{picos}	8,25h
Volumen de escorrentía	6,13Hm ³	Escorrentía	39,49%
Volumen Q _{base}	1,32Hm ³	Escorrentía directa	30,99%
Volumen Q _{máx}	4,81Hm ³	Escorrentía indirecta	8,5%
Q _{máx}	85m ³ /s	Umbrales precipitación	5,78mm

Tabla VIII.28 Resultados obtenidos en el tercer sub-episodio del episodio del 21 al 27 de Diciembre de 2009; Cuenca del Isábena.

Debido a todo lo acontecido anteriormente las condiciones iniciales del terreno son muy húmedas.

VIII.IV Análisis del umbral de precipitación

Debido a que en esta subcuenca en muchos de los episodios estudiados se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo, para contrastar los resultados del umbral de precipitación obtenidos en el análisis de los anteriores episodios, se analiza el mes de Febrero del 2003 en el que se produjeron muchas lluvias antes de que se produjera el episodio de avenida.

VIII.IV.I Febrero del 2003

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas para el mes de Febrero de 2003:

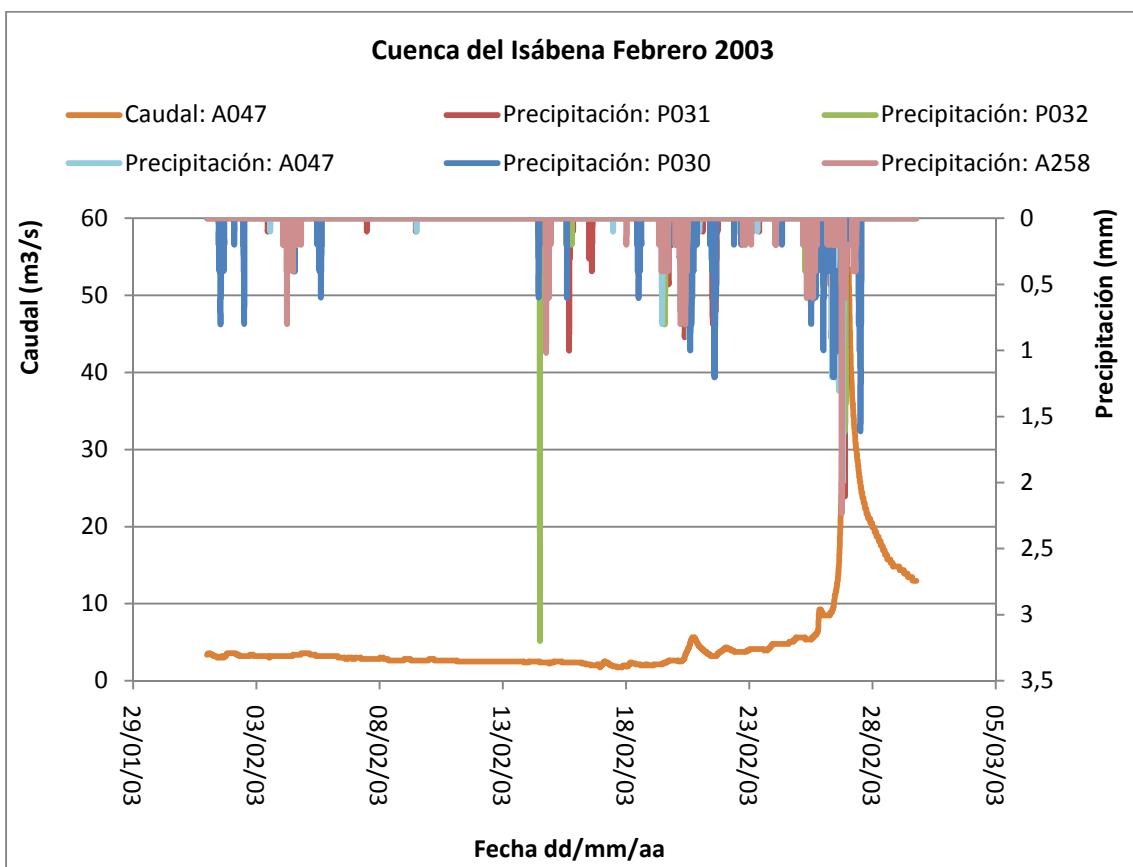


Figura VIII.19 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Isábena, Febrero de 2003.

El umbral de precipitación se calcula teniendo en cuenta tanto las precipitaciones registradas a partir del 20 de Febrero, ya que antes de esta fecha existe un intervalo de tiempo en el que no se registran precipitaciones, como el umbral de precipitación calculado para el primer sub-episodio del episodio de Febrero de 2003 ya que para este episodio se calculó un umbral de 4,6mm.

De esta manera se estima un umbral de precipitación de 26 mm.

VIII.V Conclusiones

A continuación, una vez analizados todos los episodios relevantes, y a la vista de los cálculos realizados podemos establecer algunas conclusiones de las pautas de comportamiento de la subcuenca en cuanto a la respuesta hidrológica que tiene en función de la precipitación. En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos de los resultados obtenidos de los episodios analizados:

Episodio (fecha)	Qmáx (m ³ /s)	Duración Qmáx (h)	Vol. Qmáx (Hm ³)	Vol. Base (Hm ³)	Vol. escorrentía A047 (Hm ³)	T Precip. (h)	P031 (mm)	P032 (mm)	A047 (mm)	P030 (mm)	A258 (mm)	R063 (mm)	Vol. Precip. (Hm ³)	Escorrentía (%)	T entre picos (h)
16 al 24 diciembre 1997	211,56	89,25	17,4	2,3	19,7	52,25	119,6	141,6	93,9	0	12		49,4	39,8	8,25
16 al 24 Abril 2000	88,85	81,5	5	1,8	6,8	18	27,3	29,3	28,8	71,6	42,8		17,6	38,8	10,75
9 al 17 Julio 2000	95	46,5	5,6	1,9	7,5	14,75	2,4	71,6	91	30,8	93,2		31,54	23,96	3,75
7 al 12 Marzo 2001	95	32,5	3,2	1,6	4,8	6,25	0	0	45	21,6	2		14,66	32,96	3,25
25 de Febrero al 3 de Marzo 2003					0,12	11,75	95	4	1	14	12,6		17,84	0,7	
	53,45	67,75	3,37	0,67	4,04	16	31,1	25,4	27,2	51	21,6		13,76	29,39	6,75
26 Octubre al 5 Noviembre 2003	12,99	40,5	0,77	0,45	1,22	11,5	21,9	17,8	24,8	21,4	4		7,91	15,5	8,75
	25,82	73	1,57	0,55	2,13	9,75	18,6	17,4	34,4	19,2	1		7,98	26,72	7,25
	95	69,5	6,02	1,02	7,04	14	25,8	23,6	29,2	47	11,2		12,04	58,75	12,75
1 al 8 Noviembre 2008	11,93	41	1,02	0,79	1,81	29	30,9	22,8	23,8	63,2	53,8		17,06	10,62	12
	39,51	62,5	3,16	0,68	3,84	22,5	56,7	43,2	50	77,4	60,8		25,36	15,14	3,25
21 al 27 Diciembre 2009	12,07	10	0,17	0,075	0,245	35,25	22,7	23,6	23,2	41,4	36,2	29,4	12,95	1,92	7
	20,47	20	0,48	0,36	0,81	10,25	17	14,4	14,4	9,2	24,4	20,8	7,35	11,45	9,75
	85	41	4,81	1,32	6,13	18,75	15,6	20,2	20,8	83	40,8	31,4	15,54	39,49	8,25

Tabla VIII.29 Resumen de resultados de la cuenca del Isábena.

Y las conclusiones son:

- En los episodios analizados se observa que partiendo de condiciones iniciales de terreno seco aproximadamente los primeros 25 mm de lluvia son absorbidos por el suelo sin que llegue a observarse un escurrimiento directo que provoque aumentos importantes en el caudal medido en la estación de aforo del Isábena en Capella. Este valor constituye un umbral a partir del cual el río empieza a responder debido a que los depósitos superficiales se han saturado, aumentando este valor en el caso de que las lluvias fueran de poca intensidad, pero; por el contrario, si partimos de la situación inicial en la que se han producido lluvias anteriores, este umbral se reduce considerablemente llegando a aumentar el caudal registrado en la estación de aforo con el primer milímetro de lluvia.
- Al analizar los hietogramas de precipitación junto con los hidrogramas de caudal se observa que los diversos picos en estos últimos son producidos por los momentos en los que se produce el grueso de precipitación.

En los episodios analizados se observa que el tiempo transcurrido entre el centro de gravedad del hietograma y la punta del correspondiente hidrograma oscila entre 3,25 y 12,75 horas en función de lo cerca que se estén produciendo las precipitaciones de la estación de aforo.

- Dependiendo de la distribución de las precipitaciones en el tiempo, el hidrograma de caudal tendrá diferente forma, en función de la duración de las precipitaciones y de la intensidad de éstas. La duración del pico de hidrograma será mayor o menor, por lo que éste es un parámetro muy variable que en los episodios estudiados oscila entre 10 y 90 horas.

En general, las precipitaciones que provocan los episodios analizados en esta cuenca son uniformes, por lo que a mayor duración del aguacero, mayor cantidad de lluvia neta, mayor caudal máximo es registrado en la estación de Capella, mayor volumen de escorrentía es producido, mayor volumen hay bajo la curva del hidrograma y mayor duración de la riada.

Por otro lado, existen casos en los que las avenidas son producidas por precipitaciones intensas y concentradas en el tiempo, provocando un caudal punta alto pero un volumen de riada no excesivamente alto.

- El pluviómetro P030 se encuentra en la cabecera de la cuenca y debido a que ningún episodio estudiado es provocado esencialmente por precipitaciones concentradas en esta zona, no se puede estimar ningún valor exacto del tiempo de concentración para esta subcuenca pero a partir del tercer sub-episodio del episodio de Octubre del 2003 en el que la mayoría de la precipitación se registra en el pluviómetro P030 se estima que el tiempo de concentración para esta subcuenca será próximo a 13h.
- Las escorrentías calculadas en los distintos episodios como el volumen registrado por la estación de aforo dividido por el volumen de precipitación estimado para toda la cuenca, muestran que:

-Por lo general, partiendo de condiciones secas:

- Lluvias de hasta 25 mm provocan una escorrentía prácticamente inexistente.
- Para lluvias hasta 30 mm la escorrentía no suele superar valores superiores al 2 %.
- Para lluvias de hasta 40 mm se obtienen valores entorno al 11%, alcanzando coeficientes de escorrentía del 24% para lluvias de hasta 70mm.
- Para lluvias superiores a 110mm, la escorrentía puede superar estos valores, pudiendo aproximarse al 40% en alguno de los episodios estudiados.

-En el caso de que partamos de condiciones iniciales húmedas, los coeficientes de escorrentía aumentan considerablemente. Los valores alcanzados dependen de la humedad inicial, a mayor humedad inicial mayores coeficientes, llegando a obtener coeficientes de escorrentía cercanos al 60% con lluvias menores a 30mm en casos de humedad extrema.

-Es posible que para episodios mayores a los estudiados y en otras situaciones muy favorables para ello se pudiesen producir escorrentías superiores a las citadas.

- Al diferenciar el volumen bajo la curva del hidrograma entre el volumen asociado a escorrentías directas y el asociado a aportaciones de flujos subterráneos e hipodérmicos se obtiene que el primero siempre es mayor que el segundo. El máximo coeficiente de escorrentía directa alcanzado es del 50% en Noviembre del 2003. Con respecto a los coeficientes de escorrentía indirecta, el máximo alcanzado es en Marzo del 2001 llegando a tener un valor cercano al 11%.
- Debido a que en el episodio de Diciembre de 2009 las precipitaciones registradas en los pluviómetros son más uniformes que en el resto de episodios analizados, sin dividir en sub-episodios, en el episodio completo se ha estimado una precipitación media acumulada de unos 81,4 mm, lo que representaría un volumen de agua de 35,8 Hm³, de los cuales 6,485 se midieron en la estación de Capella, se estima un coeficiente de escorrentía medio para toda la cuenca de aproximadamente 0,195.
- De cara a evaluar los volúmenes de agua esperables en la estación de aforo de Capella en el caso de una lluvia prevista, el episodio de mayor caudal se obtuvo para una precipitación media ponderada para toda la cuenca de unos 112,25mm, la cual originó un volumen de escorrentía de unos 19,7 Hm³, de los cuales 17,54 se recogieron en 89 horas.

ANEXO IX: CUENCA DEL LEZA**IX.I Descripción**

El río Leza es un corto río de La Rioja el cuál nace en la Sierra de Cameros situada en la Cordillera Ibérica y desemboca por la margen derecha en el Ebro, aguas abajo de Logroño. Su afluente principal es el río Jubera al que recibe por la derecha en Murillo de Río Leza.

La cuenca del río Leza pertenece a un clima del tipo mediterráneo templado con una gradación que va desde el fresco en cabecera (puntualmente frío en las cumbres) al mediterráneo continental templado en la zona baja [<http://www.larioja.org>].

En la siguiente figura se muestra la situación geográfica de la subcuenca del río Leza dentro de la cuenca del Ebro:

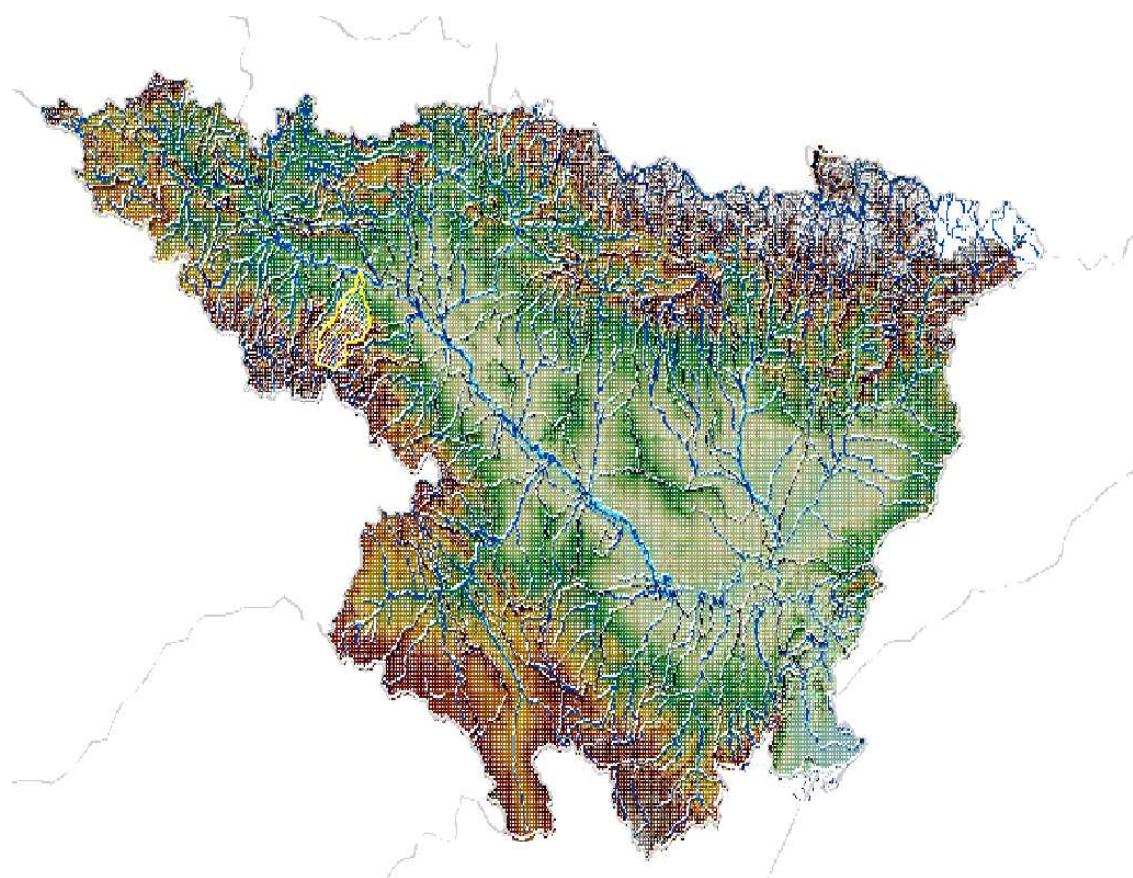


Figura IX.1 Localización geográfica; Cuenca del Leza

La cuenca vertiente del río Leza tiene una superficie de 283,813290 Km² [<http://www.chebro.es>] y dentro de la cuenca del Ebro se encuentra en la zona marcada en amarillo en la figura anterior (véase figura IX.1).

IX.II Datos de partida

Para conocer la respuesta hidrológica de la subcuenca del río Leza ante una precipitación, se analizan los datos quince-minutales de la base histórica del SAIH registrados en la estación de aforo situada a la salida de la subcuenca (En Leza), llamada Leza, A197 y las precipitaciones registradas en las siguientes estaciones pluviométricas, las cuales rodean la subcuenca: pluviómetro en Valloria (P011), pluviómetro en Villoslada (E278), pluviómetro en Gonz.Lacasa (EM11), pluviómetro en la estación de aforo de Leza (A197), pluviómetro en Arnedillo (R023), pluviómetro en EMA.Pajares (EM06) y pluviómetro en Cerrollero (R014).

La siguiente figura muestra un esquema de la situación de las estaciones utilizadas para el análisis de los episodios históricos de esta cuenca y el cauce del río Leza (línea de mayor grosor):

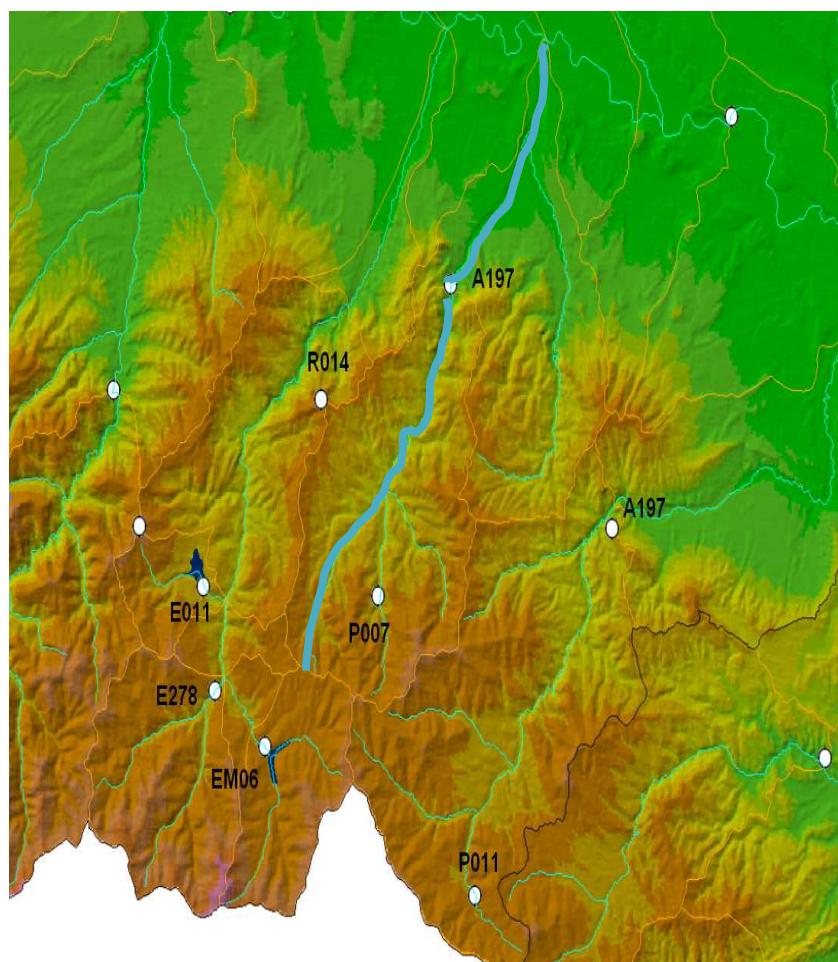


Figura IX.2 Localización de estaciones. Cuenca del Leza.

Al analizar el caudal registrado desde 1997 en la estación de aforo A197 se comprueba que en más de 20 ocasiones la estación de aforo A197 ha registrado un aumento brusco de caudal.

Por otra parte, del análisis de las precipitaciones registradas en los pluviómetros situados en esta subcuenca, se concluye que debido a su situación geográfica y teniendo en cuenta que

los pluviómetros R014 y EM06 (instalados en 2009) no registran datos para los episodios analizados, en general y salvo que se indique lo contrario la expresión utilizada para estimar la precipitación media sobre la cuenca es:

$$Lluvia\ media = (Precip.\ EM11\ (mm) + Precip.\ E278\ (mm) + Precip.\ A197\ (mm) + Precip.\ P007\ (mm) + Precip.\ R023\ (mm) + Precip.\ P011\ (mm)) \cdot \frac{1}{6}$$

Siendo 1/6 el coeficiente de proporcionalidad correspondiente a cada pluviómetro y Precip. EM11(mm), Precip. E278(mm), Precip. A197(mm), Precip. P007(mm), Precip. R023(mm), Precip. P011 (mm) la cantidad de precipitación registrada en cada uno de los pluviómetros para cada episodio en milímetros.

De entre todos los episodios registrados históricamente en esta subcuenca en total se han seleccionado diez para analizarlos en profundidad y establecer unas pautas de comportamiento en la relación escorrentía-precipitación. Los episodios seleccionados son los siguientes:

- Episodio del 11 al 14 Julio de 1999: $Q_{máx} \approx 50\ m^3/s$.
- Episodio del 8 al 18 de Mayo del 2002: $Q_{máx} \approx 25\ m^3/s$.
- Episodio del 9 al 19 de Octubre del 2002: $Q_{máx} \approx 8\ m^3/s$.
- Episodio del 5 al 12 de Mayo 2003: $Q_{máx} \approx 90\ m^3/s$.
- Episodio del 7 al 9 de Junio del 2003: $Q_{máx} \approx 15\ m^3/s$.
- Episodio del 16 al 26 de Noviembre 2003: $Q_{máx} \approx 16\ m^3/s$.
- Episodio del 10 al 13 de Junio del 2004: $Q_{máx} \approx 16\ m^3/s$.
- Episodio del 6 al 7 de Julio de 2004: $Q_{máx} \approx 91\ m^3/s$.
- Episodio del 7 al 9 de Septiembre de 2004: $Q_{máx} \approx 10\ m^3/s$.
- Episodio del 12 al 17 de Abril del 2007: $Q_{máx} \approx 39\ m^3/s$.

IX.III Análisis de episodios

IX.III.I Episodio del 11 al 14 de Julio de 1999

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Leza durante este episodio:

Precipitación	Leza (A197)	15,9mm
	Villoslada (E278)	45,6mm
	Arnedillo (R023)	
	G. Lacasa (EM11)	39mm
	Ajamil (P007)	
	Valloria (P011)	
Volumen total	Leza (A197)	0,5 Hm ³

Tabla IX.1 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, episodio del 11 al 14 de Julio de 1999.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida del 11 al 14 de Julio de 1999.

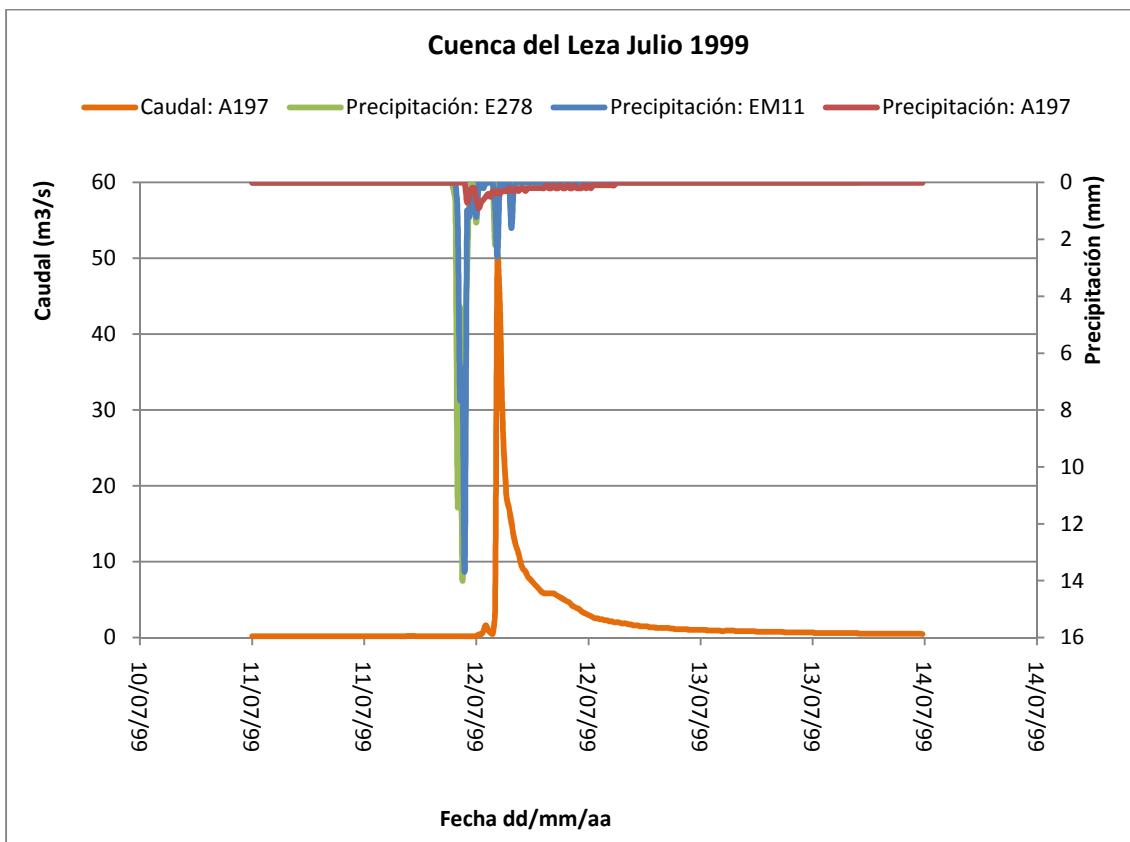


Figura IX.3 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio 11 al 14 de Julio de 1999.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

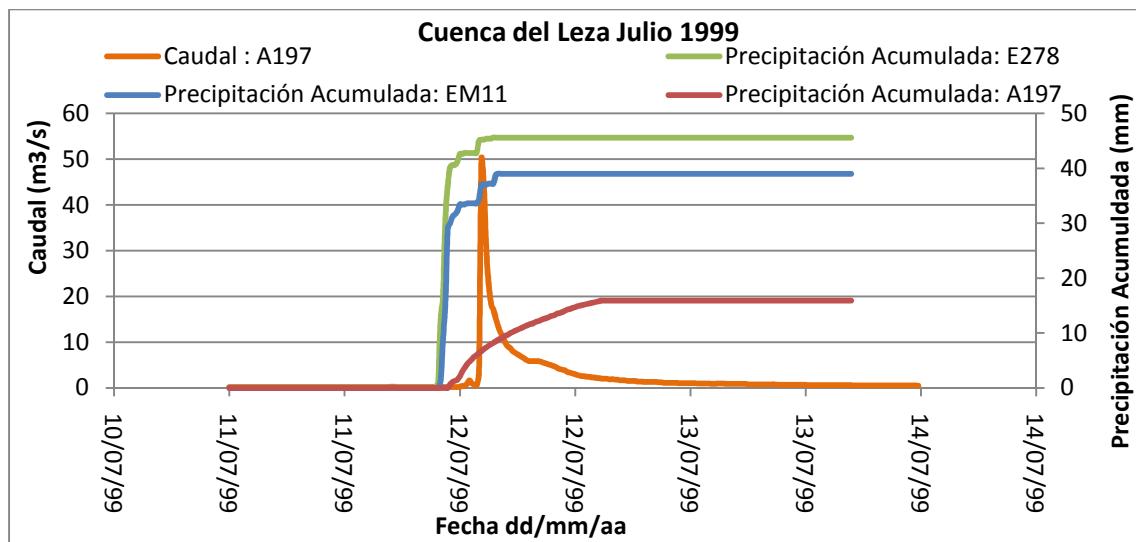


Figura IX.4 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 11 al 14 de Julio de 1999.

Una vez analizados los datos de partida se realizan los cálculos indicados en el capítulo 4 de la memoria para así poder caracterizar este episodio de avenida. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	42,3mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	4h
Volumen de Precipitación	12,01Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	3,25h
Duración Episodio	50,5h	t_{picos}	3,25h
Volumen de escorrentía	0,46Hm ³	Escorrentía	3,84%
Volumen Q_{base}	0,05Hm ³	Escorrentía directa	3,44%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,41Hm ³	Escorrentía indirecta	0,4%
$Q_{\text{máx}}$	49,76m ³ /s	Umbral precipitación	10,6mm

Tabla IX.2 Resultados obtenidos en el episodio 11 al 14 de Julio de 1999; Cuenca del Leza.

Debido a que solo existen datos de los pluviómetros A197, E278, EM11 y, a que se considera al ver las representaciones, que el pluviómetro de Leza está obstruido (véase Figura IX.4), excepcionalmente se utiliza la siguiente expresión para calcular la lluvia media para toda la subcuenca:

$$\text{Lluvia media} = \text{Precip. E278 (mm)} \cdot 0,5 + \text{Precip. EM11(mm)} \cdot 0,5$$

A la hora del análisis de los resultados se tiene en cuenta que este episodio es provocado por una lluvia de alta intensidad. El umbral indicado en la tabla IX.2, de 10,6mm, es calculado a partir de la cantidad de precipitación registrada por los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa; pero en realidad lo que provocaría la avenida sería la precipitación intensa registrada tanto en el pluviómetro E278 en el que se registran 36mm en 1 hora como en el EM11 en el que se registran 29mm en 1 hora.

IX.III.II Episodio del 8 al 18 de Mayo de 2002

Los datos de partida para el análisis de este episodio se muestran en la siguiente tabla en la que se indica la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Leza durante este episodio:

Precipitación	Leza (A197)	67,4mm
	Villalda (E278)	66,2mm
	Arnedillo (R023)	89,8mm
	G. Lacasa (EM11)	56mm
	Ajamil (P007)	73mm
	Valloria (P011)	54,4mm
	Volumen total	Leza (A197) 5,42Hm ³

Tabla IX.3 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, episodio del 8 al 18 de Mayo del 2002.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

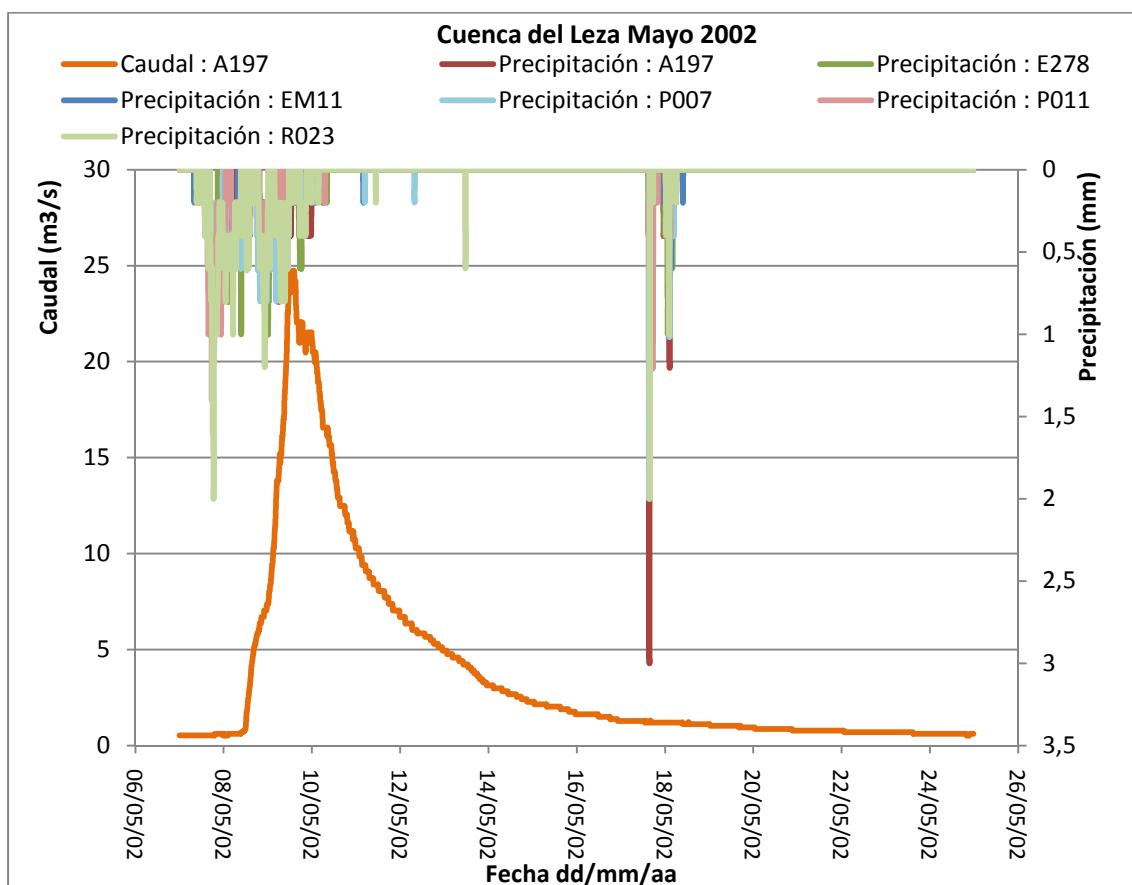


Figura IX.5 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 8 al 18 de Mayo del 2002.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

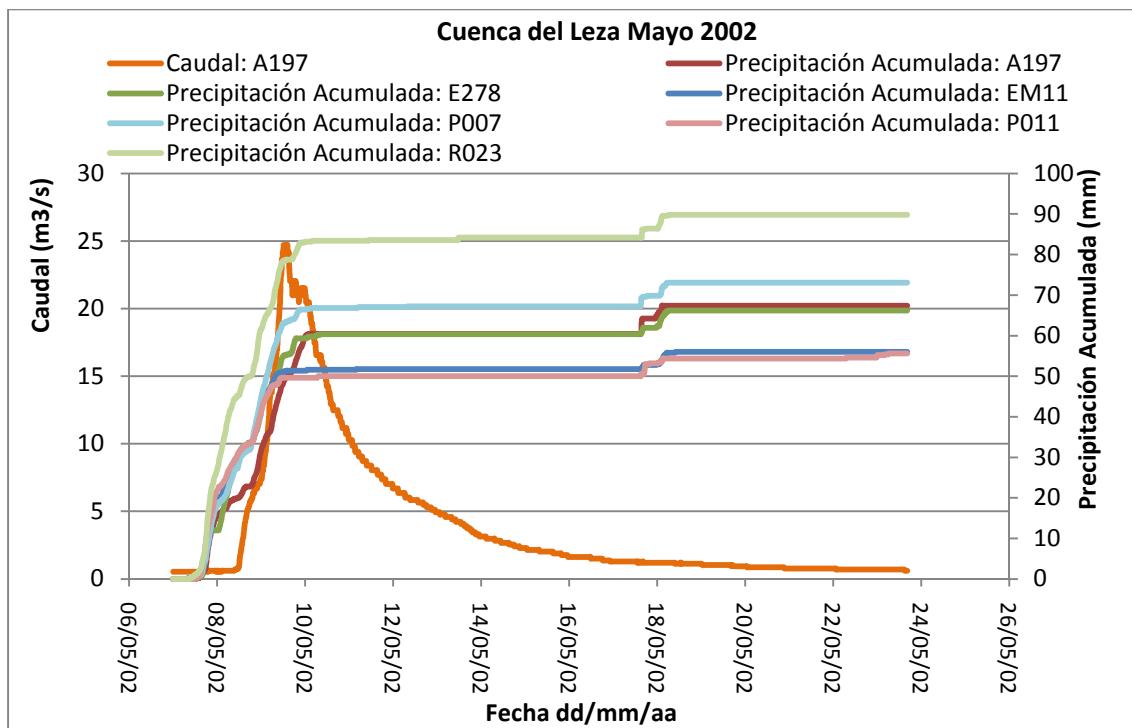


Figura IX.6 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 8 al 18 de Mayo del 2002.

Una vez extraídos los datos necesarios para analizar el episodio se realizan los cálculos que se detallan en el capítulo 4 de la memoria. Los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

Lluvia media	67,8mm	Duración $Q_{máx}$	120,5h
Volumen de Precipitación	$19,24Hm^3$	$t_{Precipitación}$	55h
Duración Episodio	255h	t_{picos}	8,5h
Volumen de escorrentía	$4,73Hm^3$	Escorrentía	24,6%
Volumen Q_{base}	$0,51Hm^3$	Escorrentía directa	21,9%
Volumen $Q_{máx}$	$4,22Hm^3$	Escorrentía indirecta	2,7%
$Q_{máx}$	$24,73m^3/s$	Umbral precipitación	19,3mm

Tabla IX.4 Resultados obtenidos en el episodio del 8 al 18 de Mayo del 2002; Cuenca del Leza.

Las precipitaciones producidas a partir del día 18 no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos, debido a que se estima que no afectan al flujo base de este episodio.

IX.III.III Episodio del 9 al 19 de Octubre del 2002

La siguiente tabla muestra los datos de partida para el análisis de este episodio en la que se recogen la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Leza desde el 9 al 19 de Octubre del 2002:

Precipitación	Leza (A197)	42,4mm
	Villoslada (E278)	38,8mm
	Arnedillo (R023)	72,8mm
	G. Lacasa (EM11)	42,44mm
	Ajamil (P007)	54,8mm
	Valloria (P011)	28,4mm
	Volumen total	Leza (A197) 0,64Hm ³

Tabla IX.5 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, episodio del 9 al 19 de Octubre del 2002.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

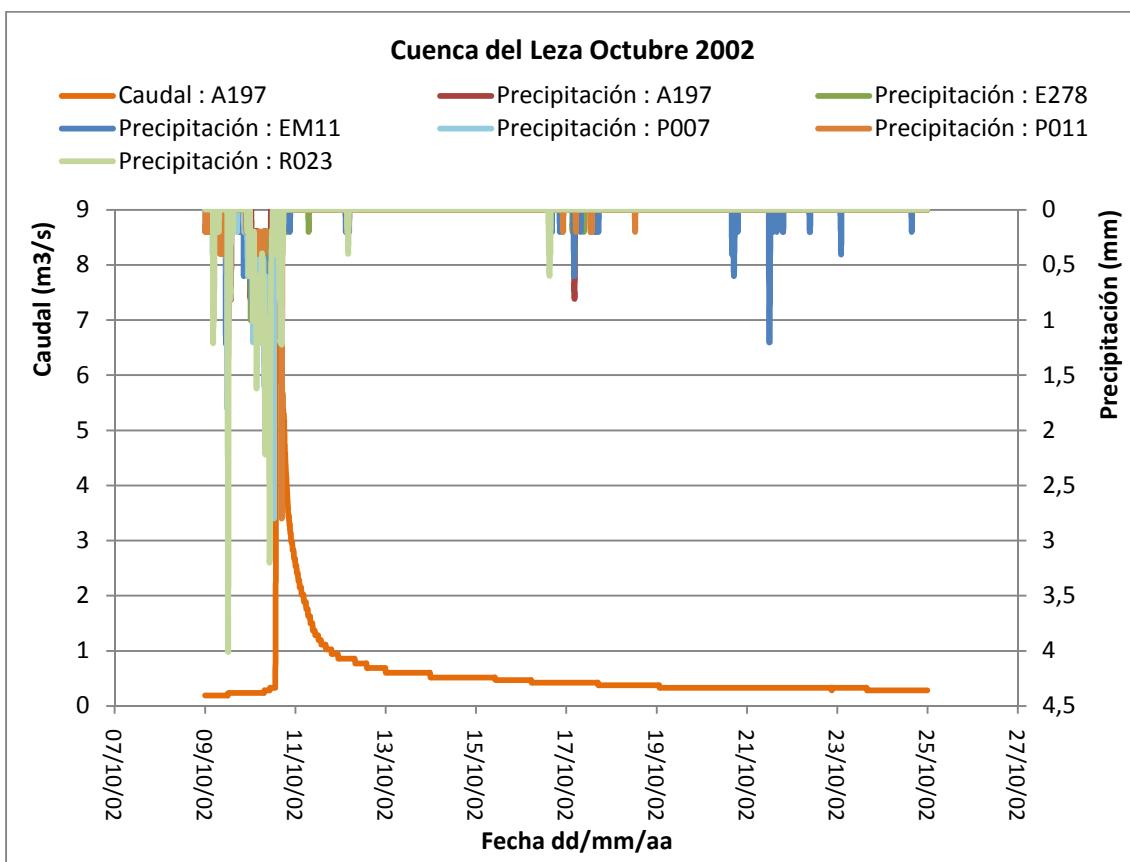


Figura IX.7 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 9 al 19 de Octubre del 2002.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

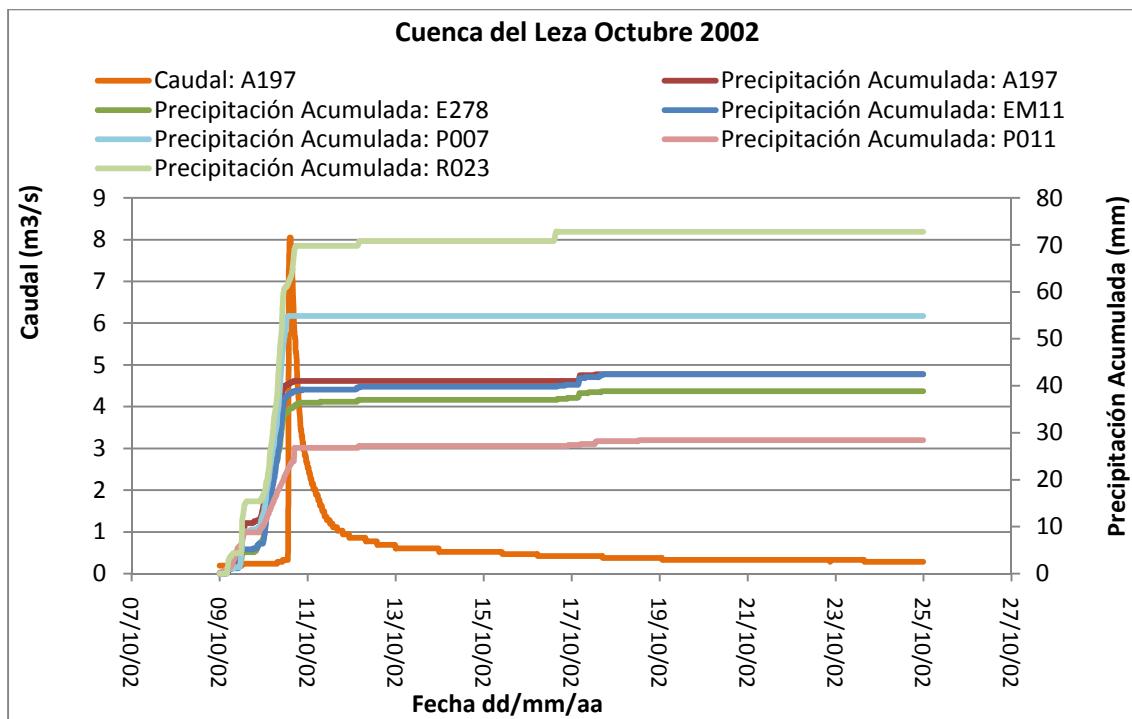


Figura IX.8 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 9 al 19 de Octubre del 2002.

Una vez realizados los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria, se obtienen los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	46,6mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	7,5h
Volumen de Precipitación	$13,22\text{Hm}^3$	$t_{\text{Precipitación}}$	17,5h
Duración Episodio	242,5h	t_{picos}	4h
Volumen de escorrentía	$0,44\text{Hm}^3$	Escorrentía	3,36%
Volumen Q_{base}	$0,18\text{Hm}^3$	Escorrentía directa	1,99%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	$0,26\text{Hm}^3$	Escorrentía indirecta	1,37%
$Q_{\text{máx}}$	$8,05\text{m}^3/\text{s}$	Umbral precipitación	24,7mm

Tabla IX.6 Resultados obtenidos en el episodio del 9 al 19 de Octubre del 2002; Cuenca del Leza.

Las precipitaciones producidas a partir del día 19 no han sido tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos debido a que se considera que no afectan al caudal registrado en la estación de aforo durante este episodio.

IX.III.IV Episodio del 5 al 12 de Mayo del 2003

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Leza durante este episodio:

Precipitación	Leza (A197)	102,6mm
	Villoslada (E278)	87,6mm
	Arnedillo (R023)	90,8mm
	G. Lacasa (EM11)	79,8mm
	Ajamil (P007)	0,2mm
	Valloria (P011)	57,8mm
	Volumen total	Leza (A197) 11,4Hm ³

Tabla IX.7 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, episodio del 5 al 12 de Mayo del 2003.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

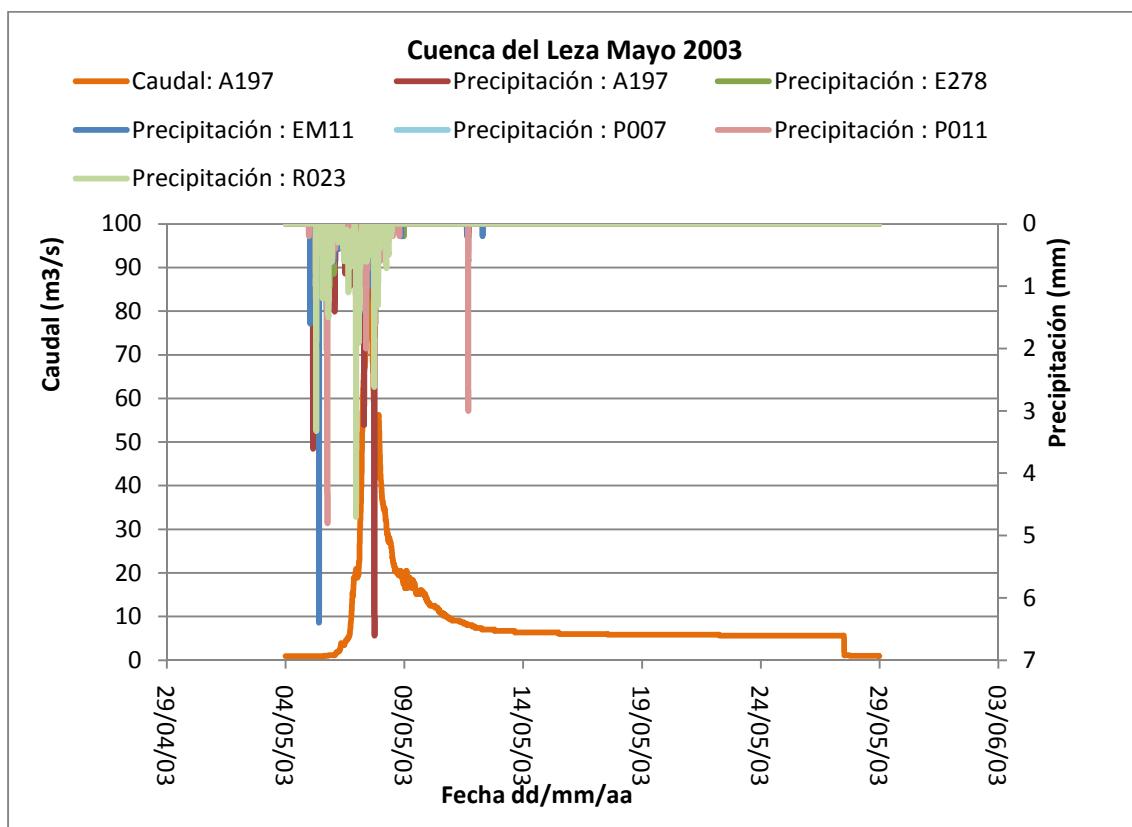


Figura IX.9 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 5 al 12 de Mayo del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

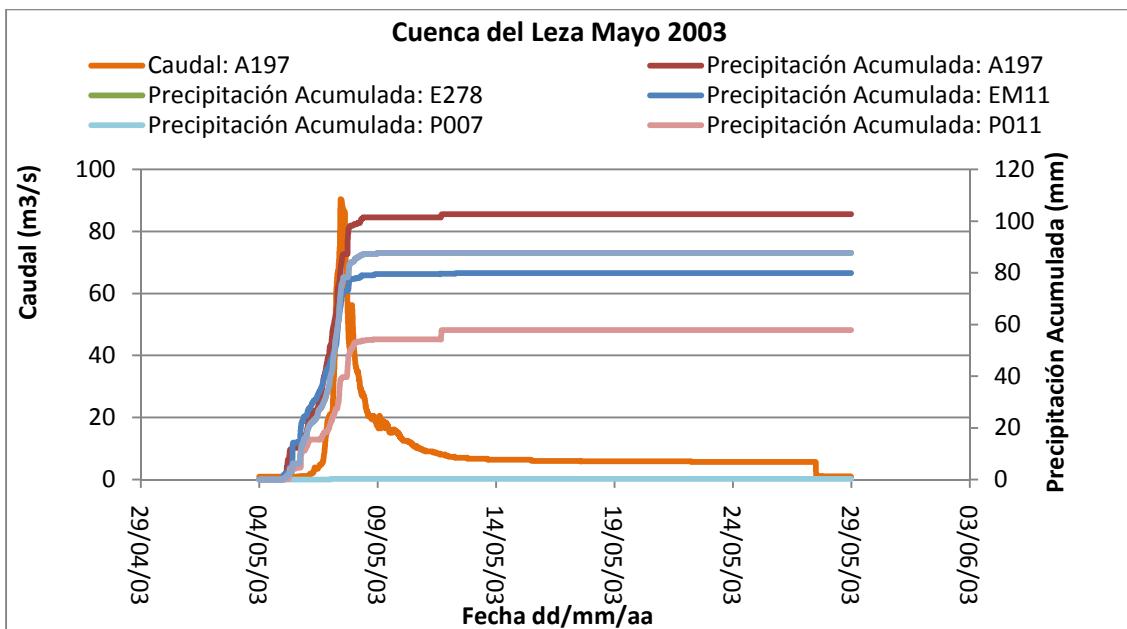


Figura IX.10 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 5 al 12 de Mayo del 2003.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este episodio:

Lluvia media	86,86mm	Duración Q_{\max}	82h
Volumen de Precipitación	24,65Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	58,75h
Duración Episodio	161,75h	t_{picos}	6h
Volumen de escorrentía	10,7Hm ³	Escorrentía	43,4%
Volumen Q_{base}	2,5Hm ³	Escorrentía directa	33,26%
Volumen Q_{\max}	8,2Hm ³	Escorrentía indirecta	10,14%
Q_{\max}	90,36m ³ /s	Umbral precipitación	15,88mm

Tabla IX.8 Resultados obtenidos en el episodio del episodio del 5 al 12 de Mayo del 2003; Cuenca del Leza.

En este caso, el pluviómetro P007 no registra casi precipitación por lo que se supone que existe algún problema de funcionamiento y que la precipitación que registra no es la correcta y para calcular la lluvia media se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = \frac{\text{Precip. A197(mm)}}{3} + \frac{\text{Precip. EM11(mm)} + \text{Precip. E278(mm)}}{6} + \frac{(\text{Precip. R023(mm)} + \text{Precip. P011(mm)})}{6}$$

Las precipitaciones registradas después del pico del hidrograma no han sido tenidas en cuenta a la hora del cálculo del volumen de precipitación.

IX.III.V Episodio del 7 al 9 de Junio del 2003

Los datos de partida para el análisis de este episodio se recogen en la siguiente tabla en la que se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Leza durante este episodio:

Precipitación	Leza (A197)	4,2mm
	Villoslada (E278)	1,8mm
	Arnedillo (R023)	8,3mm
	G. Lacasa (EM11)	3mm
	Ajamil (P007)	6,6mm
	Valloria (P011)	12,8mm
	Volumen total	Leza (A197) 0,31Hm ³

Tabla IX.9 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, episodio del 7 al 9 de Junio del 2003.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas del 7 al 10 de Junio del 2003.

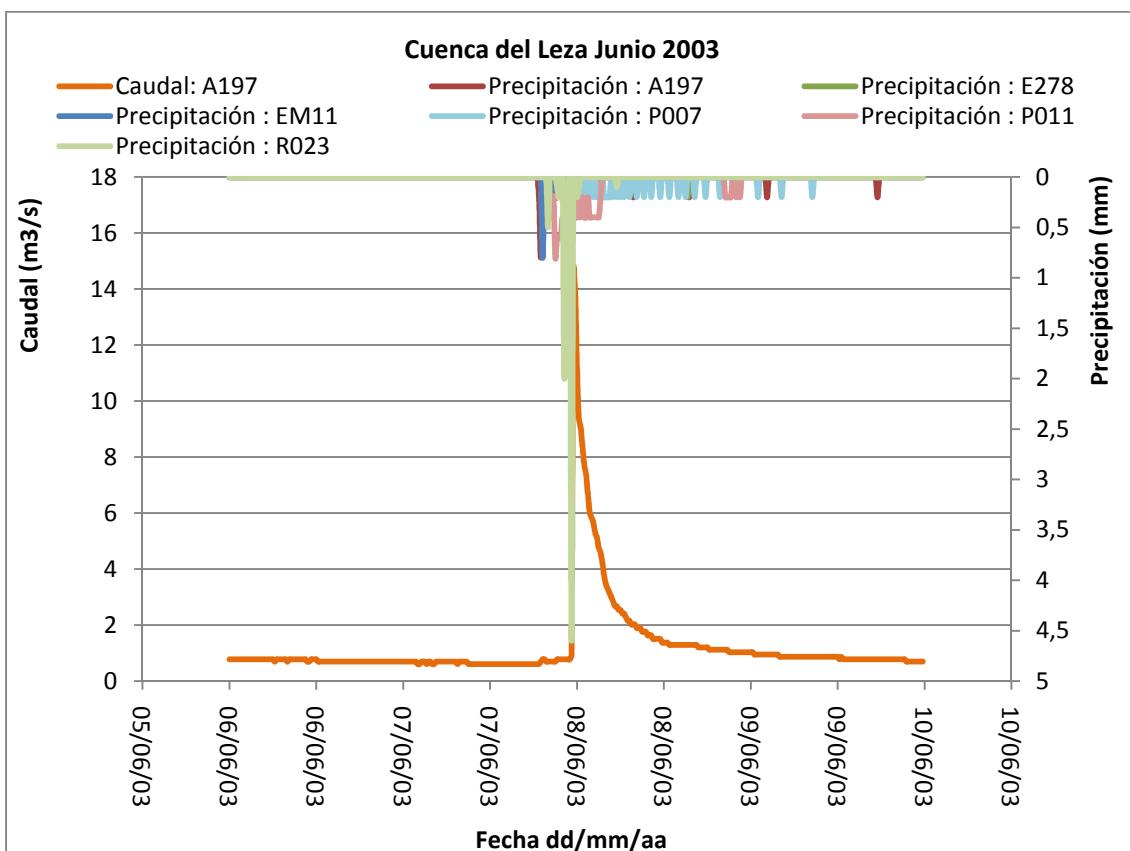


Figura IX.10 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 7 al 9 de Junio del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

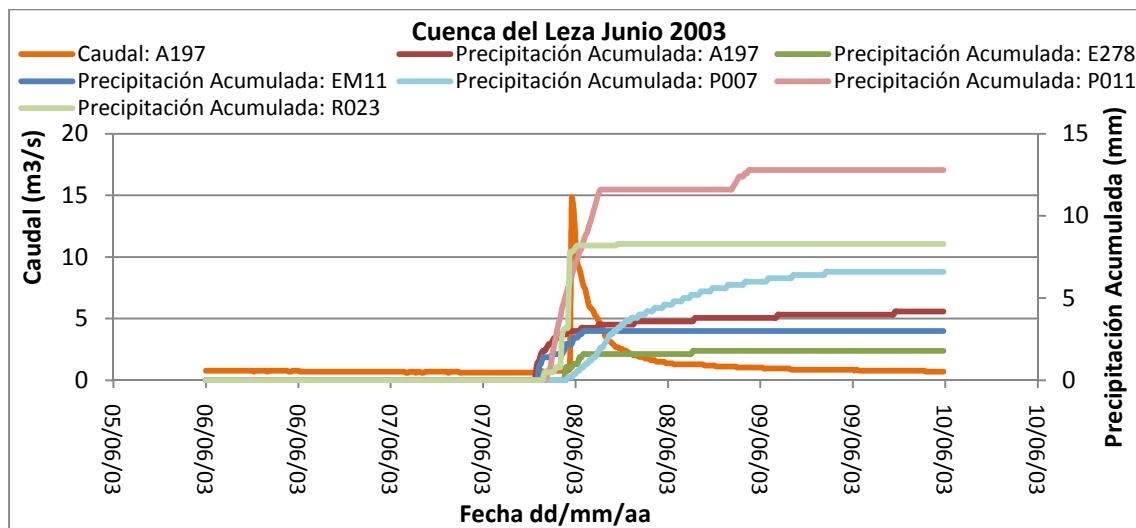


Figura IX.11 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 7 al 9 de Junio del 2003.

Como en los otros casos, en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	5,71mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	8h
Volumen de Precipitación	1,62Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	5,75h
Duración Episodio	53h	t_{picos}	1,25h
Volumen de escorrentía	0,183Hm ³	Escorrentía	11,35%
Volumen Q_{base}	0,074Hm ³	Escorrentía directa	6,77%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,109Hm ³	Escorrentía indirecta	4,58%
$Q_{\text{máx}}$	14,72m ³ /s	Umbral precipitación	3,73mm

Tabla IX.10 Resultados obtenidos en el episodio del episodio del 7 al 9 de Junio del 2003; Cuenca del Leza.

Al observar las gráficas (ver figura IX.10 y figura IX.11) se considera que el pluviómetro de Aljamil estaba obstruido y excepcionalmente para el cálculo de la lluvia media se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = \frac{\text{Precip. A197(mm)}}{3} + \frac{\text{Precip. EM11(mm)} + \text{Precip. E278(mm)}}{6} + \frac{(\text{Precip. R023(mm)} + \text{Precip. P011(mm)})}{6}$$

A la hora del análisis de los resultados se debe tener en cuenta que este episodio es provocado por una lluvia de alta intensidad. El umbral indicado de 3,73mm es la lluvia media calculada con la cantidad de precipitación registrada por los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa pero en realidad lo que provocaría la escorrentía sería la precipitación intensa registrada en el pluviómetro R023 en el que se registran 4,6mm en 15 minutos.

IX.III.VI Episodio del 16 al 26 de Noviembre del 2003

En este caso, al observar las gráficas que muestran el evento del episodio (figuras IX.12 y IX.13), se ha dividido en dos episodios la avenida y se han analizado los datos como dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 16 al 27 de Noviembre del 2003.

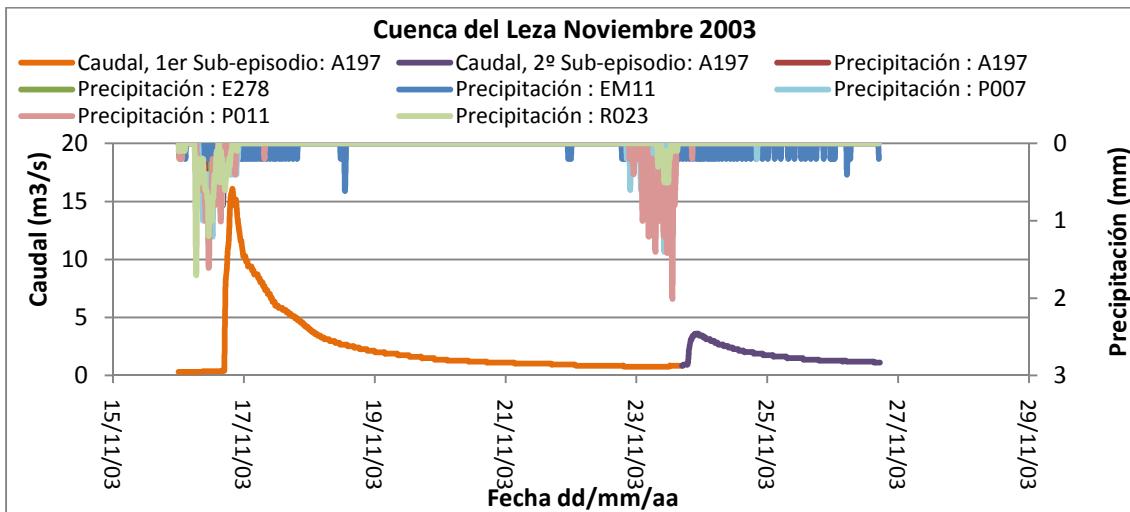


Figura IX.12 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 16 al 26 de Noviembre del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros de la subcuenca del episodio completo:

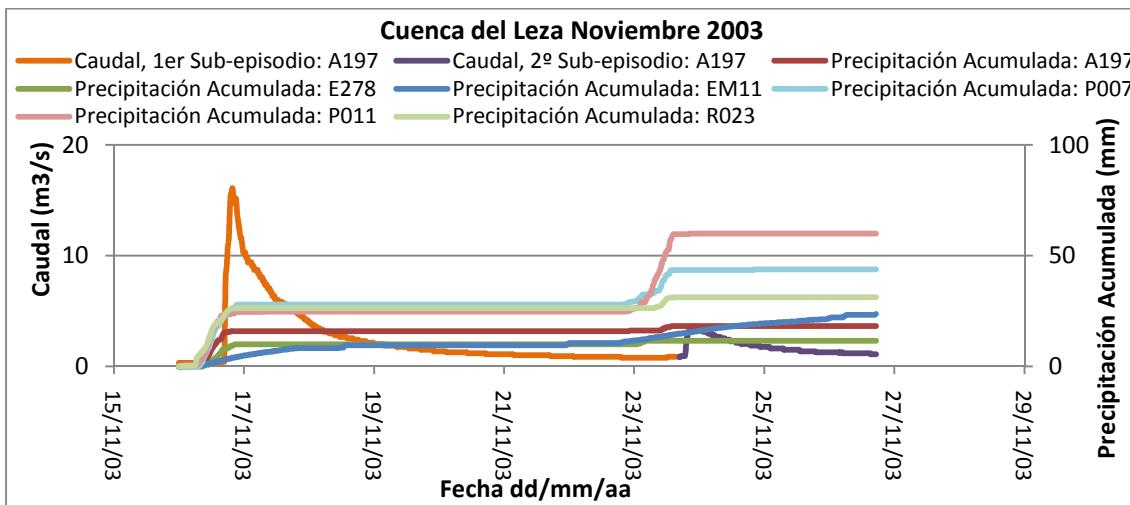


Figura IX.13 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 16 al 26 de Noviembre del 2003.

Análisis del primer sub-episodio:

Si este sub-episodio se produjese independientemente del sub-episodio posterior, la crecida en el río se daría desde el 16 hasta el 23 de Noviembre del 2003, momento en el cuál se recuperaría el flujo base que se tenía en el Leza antes del aguacero.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Leza (A197)	16mm	mm
	Villalada (E278)	10mm	mm
	Arnedillo (R023)	26,4mm	mm
	G. Lacasa (EM11)	10,6mm	mm
	Ajamil (P007)	28mm	mm
	Valloria (P011)	24,8mm	mm
	Volumen total	Leza (A197)	1,6 Hm ³

Tabla IX.11 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, primer sub-episodio del episodio del 16 al 26 de Noviembre del 2003.

Una vez extraídos los datos necesarios para analizar este sub-episodio se procede a realizar los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	19,2mm	Duración Q _{máx}	18,5h
Volumen de Precipitación	5,44Hm ³	t _{Precipitación}	21,75h
Duración Episodio	185h	t _{picos}	6,75h
Volumen de escorrentía	1,36Hm ³	Escorrentía	25,12%
Volumen Q _{base}	0,46Hm ³	Escorrentía directa	16,62%
Volumen Q _{máx}	0,9Hm ³	Escorrentía indirecta	8,5%
Q _{máx}	15,64m ³ /s	Umbrales precipitación	7,73mm

Tabla IX.12 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 16 al 26 de Noviembre del 2003; Cuenca del Leza.

En este caso se debe tener en cuenta que las condiciones iniciales del terreno antes de este sub-episodio eran húmedas debido a que durante el mes de Noviembre del 2003 se registraron abundantes precipitaciones sobre esta subcuenca y también que la cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta aproximadamente el momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo (exactamente hasta el día 22 a las 0:15h). Por otro lado, para el cálculo de la lluvia media para toda la subcuenca, se considera al ver en las representaciones (véase figura IX.13), que el pluviómetro EM11 estaba obstruido por lo que la precipitación que registró no es la correcta y excepcionalmente se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = \frac{\text{Precip. E278(mm)}}{3} + \frac{\text{Precip. A197(mm)} + \text{Precip. P007(mm)}}{6} + \frac{(\text{Precip. R023(mm)} + \text{Precip. P011(mm)})}{6}$$

Análisis del segundo sub-episodio:

Para poder analizar el sub-episodio de forma aislada se considera que se produjo entre el 22 y el 26 de Noviembre del 2003 además de tener en cuenta lo que se sabe del sub-episodio anterior para establecer unas condiciones iniciales de partida.

Según los datos recogidos, la siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el aumento en el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Leza (A197)	2,2mm
	Villalada (E278)	1,6mm
	Arnedillo (R023)	4,9mm
	G. Lacasa (EM11)	13,2mm
	Ajamil (P007)	15,8mm
	Valloria (P011)	35,2mm
	Volumen total	Leza (A197) 0,47Hm ³

Tabla IX.13 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, segundo sub-episodio del episodio del 16 al 26 de Noviembre del 2003.

Al igual que en los casos anteriores se procede a realizar los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria. Los resultados obtenidos para este sub-episodio son:

Lluvia media	10,21mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	31,5h
Volumen de Precipitación	2,89Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	17h
Duración Episodio	113h	t_{picos}	8,25h
Volumen de escorrentía	0,23Hm ³	Escorrentía	7,93%
Volumen Q_{base}	0,06Hm ³	Escorrentía directa	6,03%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,17Hm ³	Escorrentía indirecta	1,9%
$Q_{\text{máx}}$	3,6m ³ /s	Umbral precipitación	5mm

Tabla IX.14 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 16 al 26 de Noviembre del 2003; Cuenca del Leza.

A la hora del análisis de los resultados de este sub-episodio es importante tener en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno muy húmedo.

Para el cálculo de la lluvia media, igual que antes, se considera que el pluviómetro EM11 estaba obstruido y por lo tanto se utiliza la misma fórmula que en el sub-episodio anterior.

IX.III.VII Episodio del 10 al 13 de Junio del 2004

En este caso el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 10 al 13 de Junio del 2004:

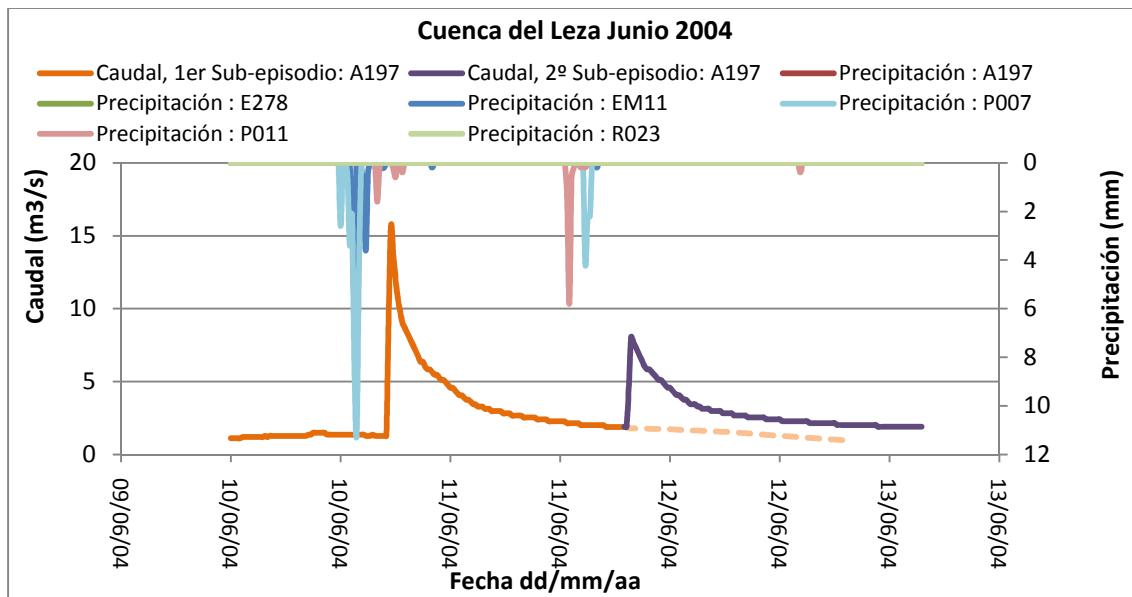


Figura IX.14 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 10 al 13 de Junio del 2004.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros:

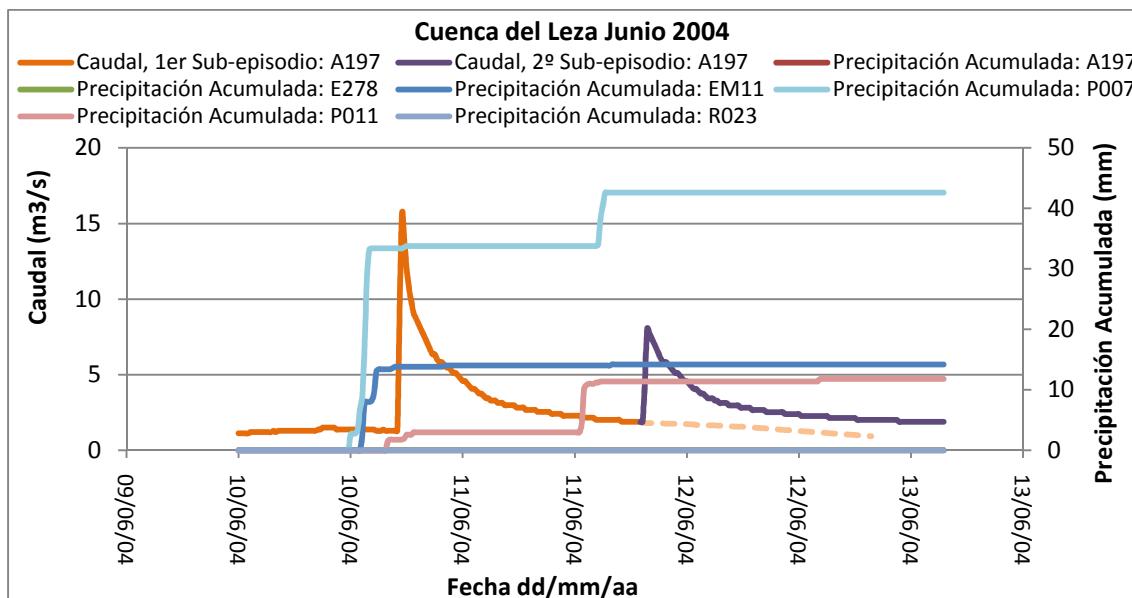


Figura IX.15 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 10 al 13 de Junio del 2004.

Análisis del primer sub-episodio:

Si se analiza este sub-episodio independientemente de la posterior crecida transcurre desde el 10 hasta el 12 de Junio del 2004. El caudal de bajada del hidrograma se ha supuesto tal y como se indica en las gráficas con línea discontinua para poder realizar los cálculos.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Leza (A197)	0mm
	Villoslada (E278)	0mm
	Arnedillo (R023)	0mm
	G. Lacasa (EM11)	13,8mm
	Ajamil (P007)	33,8mm
	Valloria (P011)	3mm
	Volumen total	Leza (A197) 0,47Hm ³

Tabla IX.15 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, primer sub-episodio del episodio del 10 al 13 de Junio del 2004.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	23,64mm	Duración Q _{máx}	7h
Volumen de Precipitación	6,71Hm ³	t _{Precipitación}	6,75h
Duración Episodio	44,25h	t _{picos}	3,75h
Volumen de escorrentía	0,26Hm ³	Escorrentía	4%
Volumen Q _{base}	0,11Hm ³	Escorrentía directa	2,35%
Volumen Q _{máx}	0,15Hm ³	Escorrentía indirecta	1,65%
Q _{máx}	15,64m ³ /s	Umbral precipitación	12,04mm

Tabla IX.16 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 10 al 13 de Junio del 2004; Cuenca del Leza.

Debido a que los pluviómetros A197, E278 y R023 no registran precipitación, se supone que existe algún problema de funcionamiento y para calcular la lluvia media se utiliza la siguiente expresión:

$$lluvia media = 0,2 \cdot \text{Precip. EM11}(mm) + 0,6 \cdot \text{Precip. P007}(mm) + 0,2 \cdot \text{Precip. P011}(mm)$$

A la hora del análisis de los resultados, se debe tener en cuenta que este sub-episodio fue provocado por una lluvia de alta intensidad, por lo que el umbral indicado en la tabla anterior de 12,04mm es la lluvia media calculada con la cantidad de precipitación que han registrado los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa; pero en realidad, lo que provocaría esta crecida sería la precipitación intensa registrada en el pluviómetro P007, en el que se registran 26,4mm en 1 hora. Por otro lado, indicar que la cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 10 a las 18:45h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio tomado de forma aislada tiene lugar entre el 10 y el 13 de Junio del 2004.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el aumento en el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Leza (A197)	0mm
	Villoslada (E278)	0mm
	Arnedillo (R023)	0mm
	G. Lacasa (EM11)	0,4mm
	Ajamil (P007)	8,8mm
	Valloria (P011)	8,8mm
	Volumen total	Leza (A197) 0,345Hm ³

Tabla IX.17 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, segundo sub-episodio del episodio del 10 al 13 de Junio del 2004.

En la siguiente tabla figuran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	7,12mm	Duración Q _{máx}	10h
Volumen de Precipitación	2,02Hm ³	t _{Precipitación}	2,5h
Duración Episodio	56,5h	t _{picos}	6,25h
Volumen de escorrentía	0,126Hm ³	Escorrentía	6,15%
Volumen Q _{base}	0,028Hm ³	Escorrentía directa	4,83%
Volumen Q _{máx}	0,098Hm ³	Escorrentía indirecta	1,32%
Q _{máx}	8,048m ³ /s	Umbral precipitación	4,72mm

Tabla IX.18 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 10 al 13 de Junio del 2004; Cuenca del Leza.

Al igual que en el sub-episodio anterior los pluviómetros A197, E278 y R023 no registran precipitación y se supone que existe algún problema de funcionamiento y para calcular la lluvia media se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = 0,2 \cdot \text{Precip. EM11(mm)} + 0,6 \cdot \text{Precip. P007(mm)} + 0,2 \cdot \text{Precip. P011(mm)}$$

Por otra parte, a la hora de analizar los resultados se tiene en cuenta que se trata de un episodio provocado por una lluvia de alta intensidad. El umbral indicado de 4,72mm es la lluvia media calculada con la precipitación registrada antes de producirse la precipitación intensa pero en realidad lo que provocaría la escorrentía sería la precipitación intensa registrada tanto en el pluviómetro P011 en el que se registran 8mm en 1 hora como en el P007 en el que se registran 8,8mm en 1 hora.

IX.III.VIII Episodio del 6 al 7 de Julio del 2004

En este caso, a la vista de las gráficas donde se representa el evento del episodio (figuras IX.16 y IX.17), se ha dividido en dos el episodio de avenida y se han analizado los datos como dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 6 al 10 de Julio del 2004:

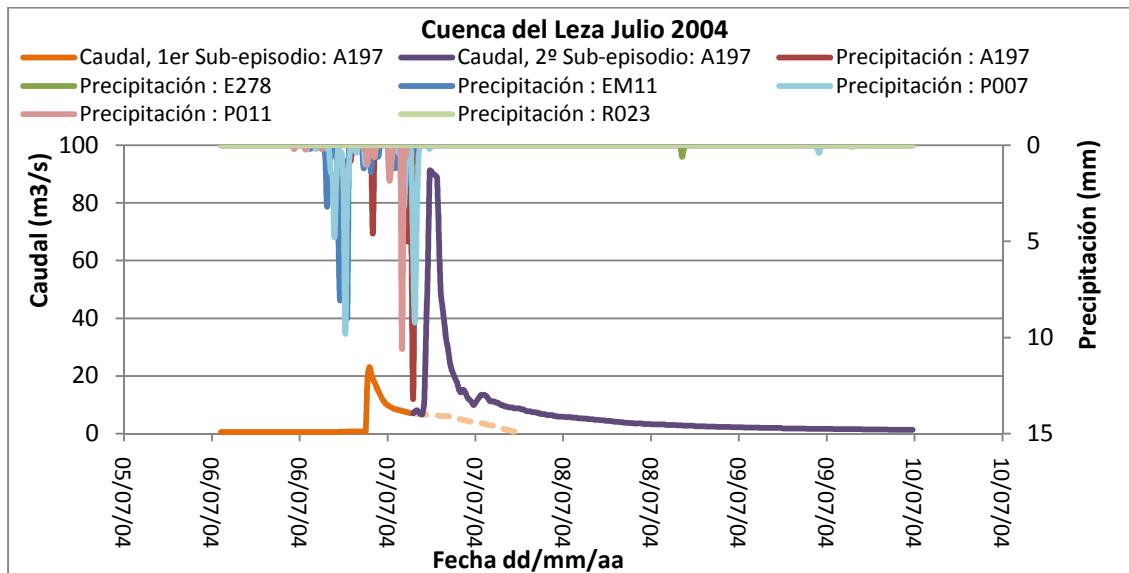


Figura IX.16 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 6 al 7 de Julio del 2004.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros de la subcuenca para el episodio completo:

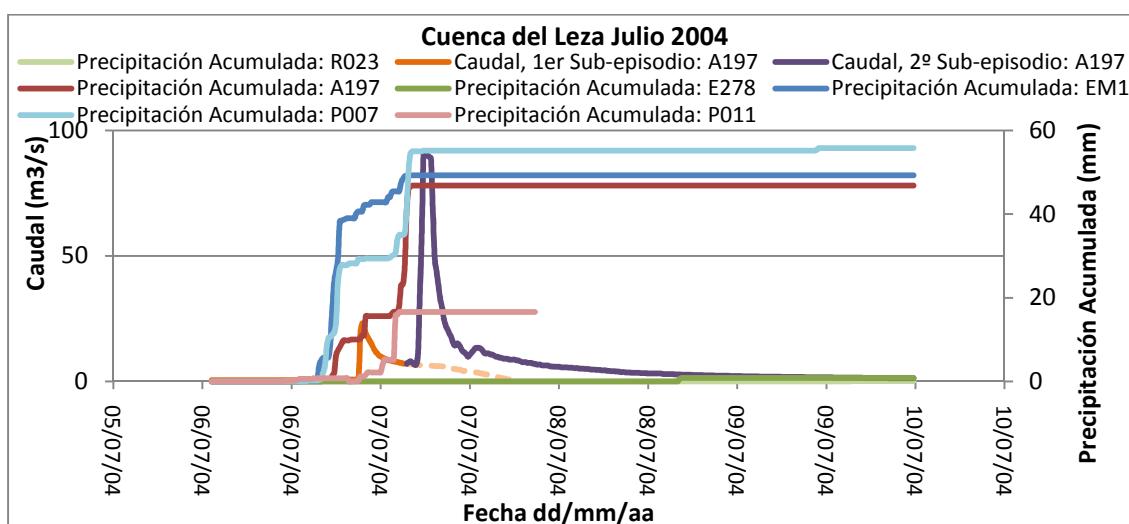


Figura IX.17 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Leza episodio del 6 al 7 de Julio del 2004.

Análisis del primer sub-episodio:

Si este sub-episodio se produjese aisladamente; es decir, independientemente del sub-episodio posterior, la crecida en el río se daría desde el 6 hasta el 7 de Julio del 2004, momento en el cuál se recuperaría el flujo base que se tenía en el Leza antes del aguacero. A la hora de realizar los cálculos y analizar el sub-episodio por separado hemos prolongado virtualmente cómo sería el caudal de bajada del hidrograma hasta alcanzar el flujo base como si sólo fuese un sub-episodio.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Leza (A197)	9,8mm
	Villoslada (E278)	0mm
	Arnedillo (R023)	0mm
	G. Lacasa (EM11)	39mm
	Ajamil (P007)	28,2mm
	Valloria (P011)	0,8mm
	Volumen total	Leza (A197) 0,5 Hm ³

Tabla IX.19 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, primer sub-episodio del episodio del 6 al 7 de Julio del 2004.

Una vez extraídos los datos necesarios para analizar este sub-episodio se han realizado los cálculos que se detallan en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	30,68mm	Duración Q _{máx}	6,5h
Volumen de Precipitación	8,71Hm ³	t _{Precipitación}	6h
Duración Episodio	23,5h	t _{picos}	3,25h
Volumen de escorrentía	0,43Hm ³	Escorrentía	5%
Volumen Q _{base}	0,18Hm ³	Escorrentía directa	2,9%
Volumen Q _{máx}	0,25Hm ³	Escorrentía indirecta	2,1%
Q _{máx}	23,08m ³ /s	Umbral precipitación	12,78mm

Tabla IX.20 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 6 al 7 de Julio del 2004; Cuenca del Leza.

Al observar los datos se constata que los pluviómetros E278 y R023 no registran precipitación por lo que se supone que existe algún problema de funcionamiento y que el P011 registra muy poca precipitación por lo que no es representativo para el análisis de este sub-episodio. Por ello, para calcular la lluvia media se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{lluvia media} = 0,1 \cdot \text{Precip. A197}(mm) + 0,5 \cdot \text{Precip. P007}(mm) + 0,4 \cdot \text{Precip. EM11}(mm)$$

Al analizar los datos se debe tener en cuenta que las precipitaciones que provocan este sub-episodio son intensas y que el umbral indicado en la tabla IX.20, como en casos anteriores, no es representativo y que la avenida es provocada por la precipitación intensa registrada en los pluviómetros EM11 (en el que se registran 26,3mm en 1 hora y media), P007 (en el que se registran 15,6mm en 1 hora) y A197 (en el que se registran 23,4mm en una hora). Por otro lado indicar que la cantidad de precipitación utilizada para el análisis de este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 6 a las 19:45h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Para analizar este sub-episodio de forma aislada se considera que se produjo entre el 6 y el 7 de Julio del 2004.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el aumento en el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Leza (A197)	37mm
	Villalda (E278)	0mm
	Arnedillo (R023)	0mm
	G. Lacasa (EM11)	10,2mm
	Ajamil (P007)	27mm
	Valloria (P011)	16,6mm
	Volumen total	Leza (A197) 1,28Hm ³

Tabla IX.21 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, segundo sub-episodio del episodio del 6 al 7 de Julio del 2004.

En la siguiente tabla figuran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	19,6mm	Duración Q _{máx}	8h
Volumen de Precipitación	5,56Hm ³	t _{Precipitación}	4,5h
Duración Episodio	24,75h	t _{picos}	1,75h
Volumen de escorrentía	0,83Hm ³	Escorrentía	15,02%
Volumen Q _{base}	0,08Hm ³	Escorrentía directa	13,57%
Volumen Q _{máx}	0,75Hm ³	Escorrentía indirecta	1,45%
Q _{máx}	91,17m ³ /s	Umbra precipitación	5,33mm

Tabla IX.22 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 6 al 7 de Julio del 2004; Cuenca del Leza.

Indicar que, para el cálculo de la lluvia media para toda la subcuenca, se utiliza la misma fórmula que se utiliza en el primer sub-episodio debido a los mismos motivos y que al tratarse de un episodio provocado por una lluvia de alta intensidad, el umbral indicado de 5,33mm es la lluvia media sobre la subcuenca calculada con la precipitación registrada hasta el momento en el que se producen las precipitaciones intensas; pero en realidad, son estas las que provocarían la crecida. Las máximas intensidades de precipitación obtenidas son: 13,2mm en 15 minutos en el A197, 9,2mm en 15 minutos en el P007 y 10,6mm en 15 minutos en el P011 y

además estas precipitaciones van acompañadas de más precipitaciones de una intensidad considerable.

IX.III.IX Episodio del 7 al 9 de Septiembre del 2004

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Leza durante este episodio:

Precipitación	Leza (A197)	14,4mm
	Villoslada (E278)	35,2mm
	Arnedillo (R023)	1,9mm
	G. Lacasa (EM11)	48,8mm
	Ajamil (P007)	26,4mm
	Valloria (P011)	1mm
	Volumen total	Leza (A197) 0,21Hm ³

Tabla IX.23 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, episodio del 7 al 9 de Septiembre de 2004.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

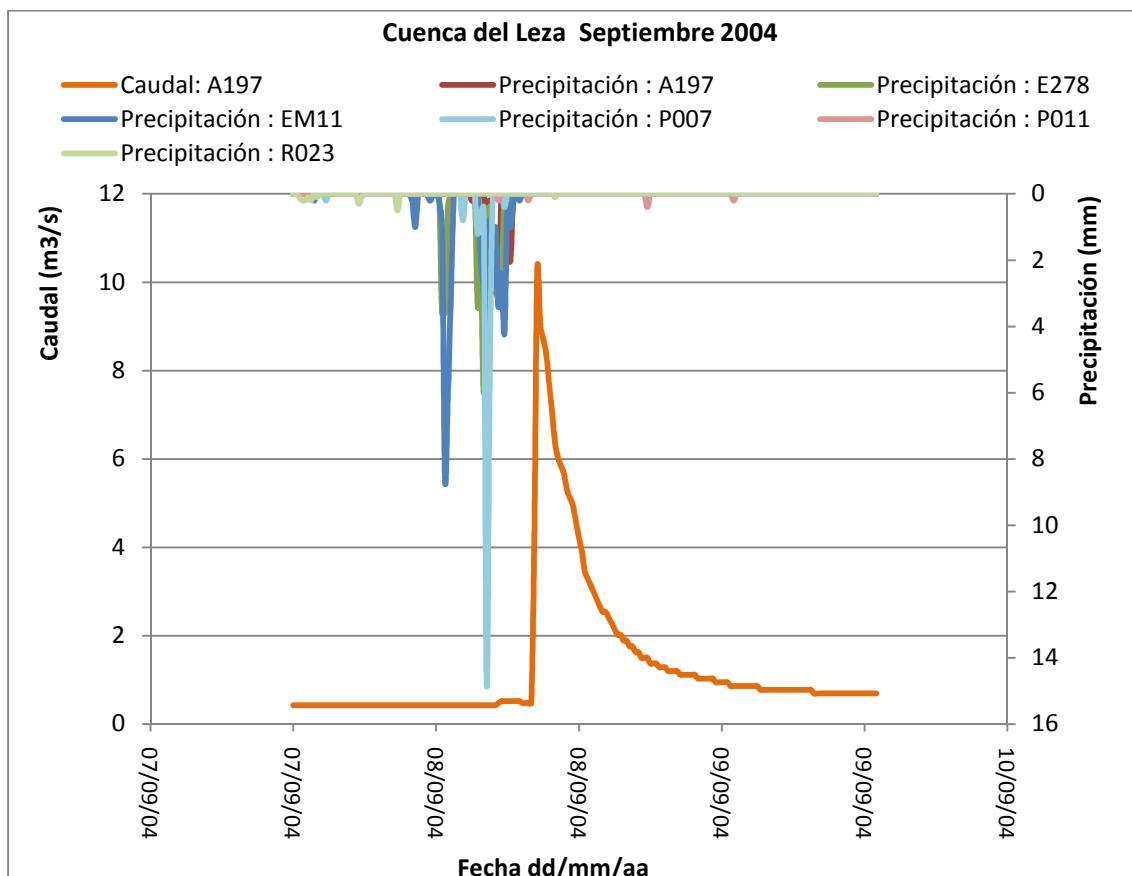


Figura IX.18 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Leza episodio del 7 al 9 de Septiembre de 2004.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

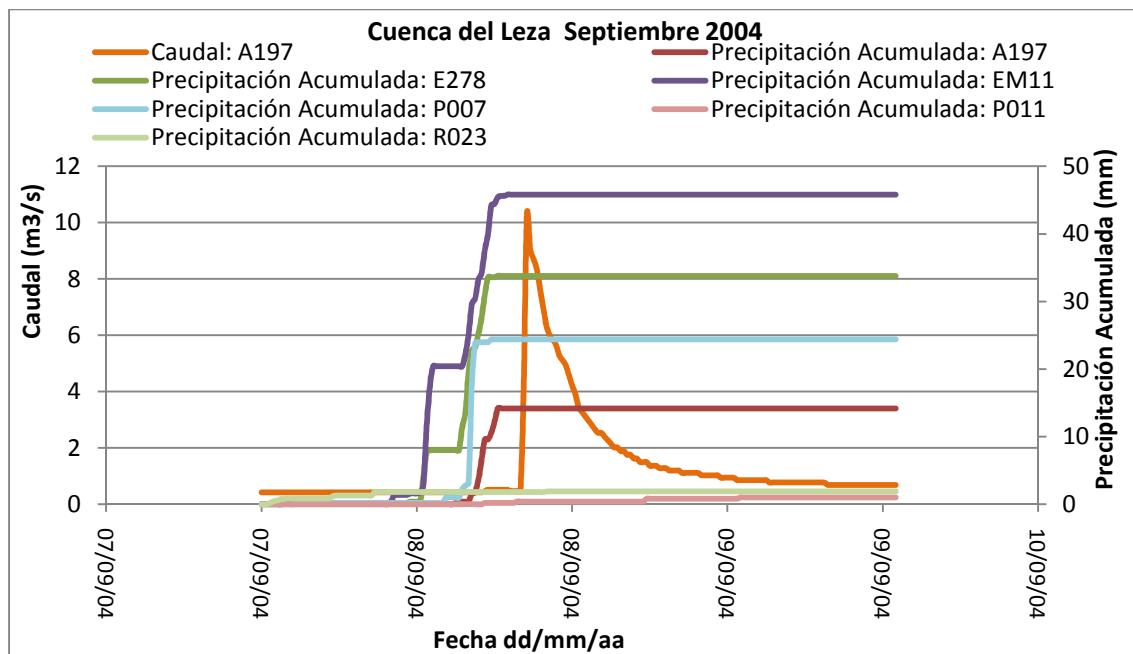


Figura IX.19 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 7 al 9 de Septiembre de 2004.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	21,28mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	15,75h
Volumen de Precipitación	6,04Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	5,5h
Duración Episodio	49,25h	t_{picos}	3,25h
Volumen de escorrentía	0,16Hm ³	Escorrentía	2,63%
Volumen Q_{base}	0,03Hm ³	Escorrentía directa	2,16%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,13Hm ³	Escorrentía indirecta	0,47%
$Q_{\text{máx}}$	10,28m ³ /s	Umbral precipitación	12,3mm

Tabla IX.24 Resultados obtenidos en el episodio del 7 al 9 de Septiembre de 2004; Cuenca del Leza.

A la hora del análisis se debe tener en cuenta las condiciones iniciales de humedad debido a que en los días anteriores al episodio se produjeron bastantes lluvias sobre la subcuenca y además que el episodio provocado por un aguacero de alta intensidad alcanza su máximo de intensidad cuando pasa por la zona del pluviómetro P007 en el que se llega a registrar una precipitación de 14,8mm en tan sólo 15 minutos.

IX.III.X Episodio del 12 al 17 del Abril de 2007

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Leza durante este episodio:

Precipitación	Leza (A197)	60,8mm
	Villoslada (E278)	16mm
	Arnedillo (R023)	18,9mm
	G. Lacasa (EM11)	13,6mm
	Ajamil (P007)	26,8mm
	Valloria (P011)	16,4mm
	Volumen total	Leza (A197) 4,8Hm ³

Tabla IX.25 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Leza, episodio del 12 al 17 de Abril del 2007.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

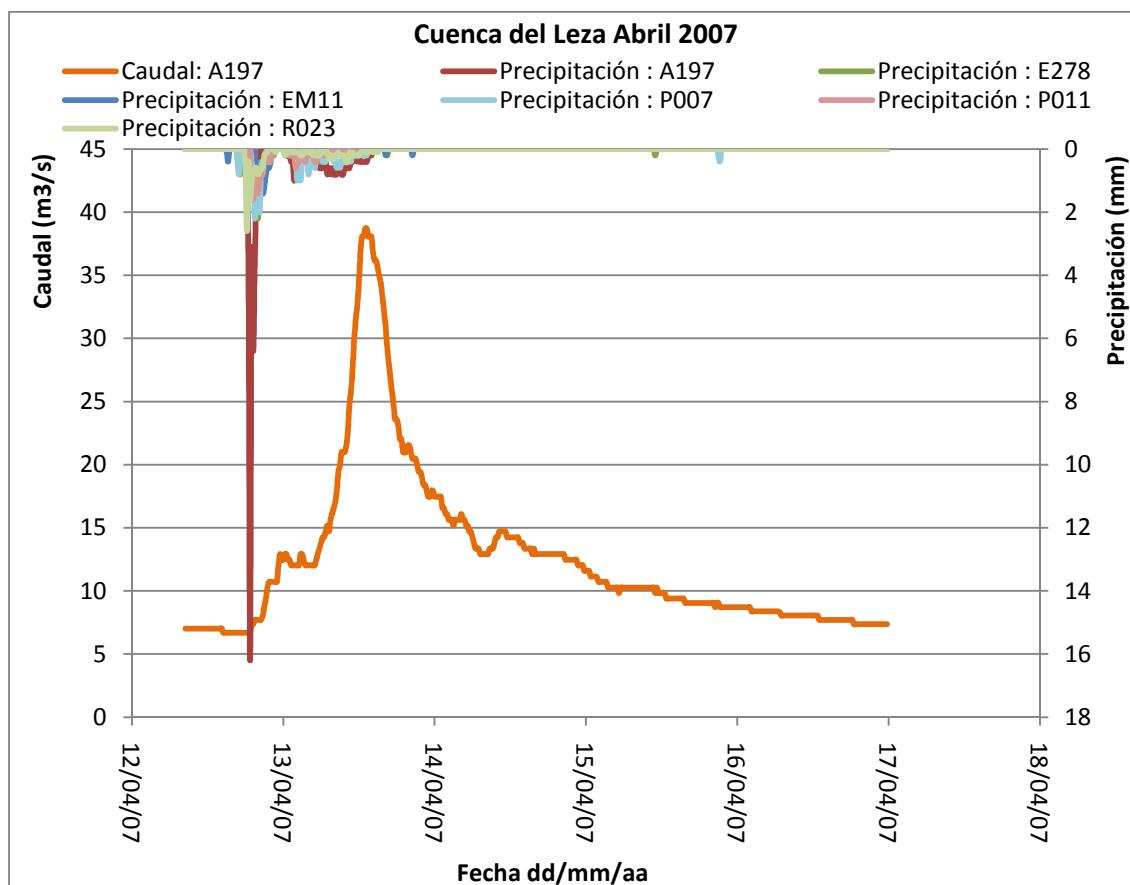


Figura IX.20 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Leza episodio del 12 al 17 de Abril del 2007.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

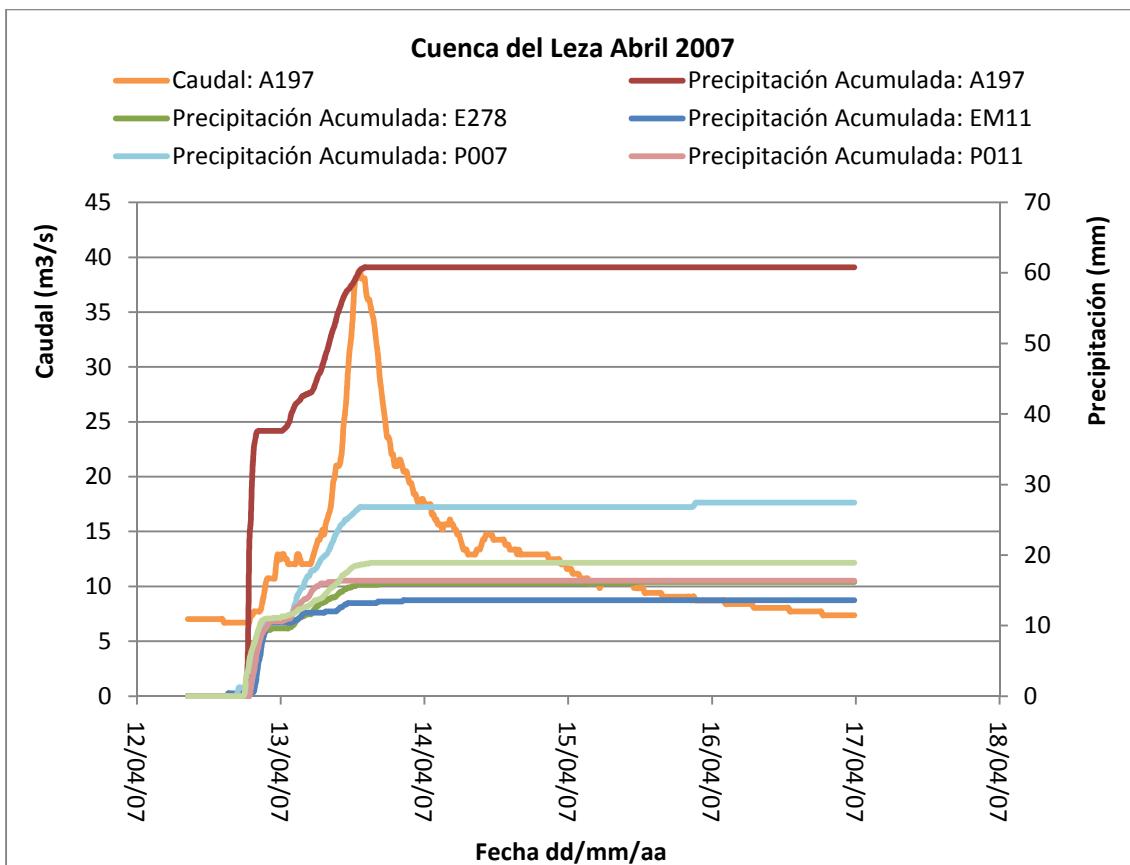


Figura IX.21 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Leza, episodio del 12 al 17 de Abril del 2007.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	25,41mm	Duración Q_{\max}	43h
Volumen de Precipitación	7,21Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	20,25h
Duración Episodio	101,5h	t_{picos}	6h
Volumen de escorrentía	2,35Hm ³	Escorrentía	32,48%
Volumen Q_{base}	0,6Hm ³	Escorrentía directa	24,26%
Volumen Q_{\max}	1,75Hm ³	Escorrentía indirecta	8,32%
Q_{\max}	38,71m ³ /s	Umbral precipitación	16,8mm

Tabla IX.26 Resultados obtenidos en el episodio del 12 al 17 de Abril del 2007; Cuenca del Leza.

Indicar que aunque se registran lluvias en todos los pluviómetros se considera que lo que provoca la avenida es la precipitación intensa registrada en el pluviómetro situado en Leza (A197) en el cual se registran 29,8mm en una hora.

IX.IV Conclusiones

A continuación y tras analizar los episodios más relevantes acontecidos en esta subcuenca desde 1997, se establecen unas conclusiones sobre el comportamiento hidrológico de esta subcuenca ante una precipitación. En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos en el análisis de los episodios:

Episodio (fecha)	Qmáx (m ³ /s)	Duración Qmáx (h)	Vol. Qmáx (Hm ³)	Vol. Base (Hm ³)	Vol. Escorrentía A197 (Hm ³)	T Precip. (h)	A197 (mm)	E278 (mm)	R023 (mm)	EM11 (mm)	P007 (mm)	P011 (mm)	Vol. Precip. (Hm ³)	Escorrentía (%)	T entre picos (h)
11 al 14 Julio 1999	49,76	4	0,41	0,05	0,46	3,25	15,9	45,6		39			12,01	3,84	3,25
8 al 18 Mayo 2002	24,73	120,5	4,22	0,51	4,73	55	67,4	66,2	89,8	56	73	54,4	19,24	24,6	8,5
9 al 19 Octubre 2002	8,05	7,5	0,26	0,18	0,44	17,5	42,4	38,8	72,8	42,4	54,8	28,4	13,22	3,36	4
5 al 12 Mayo 2003	90,36	82	8,2	2,5	10,7	58,75	102,6	87,6	90,8	79,8	0,2	57,8	24,65	43,4	6
7 al 9 Junio 2003	14,72	8	0,109	0,074	0,18	5,75	4,2	1,8	8,3	3	6,6	12,8	2,17	11,35	1,25
16 al 26 Noviembre 2003	15,64	18,5	0,9	0,46	1,36	21,75	16	10	26,4	10,6	28	24,8	5,44	25,12	6,75
	3,6	31,5	0,17	0,06	0,23	17	2,2	1,6	4,9	13,2	15,8	35,2	2,89	7,93	8,25
10 al 13 Junio 2004	15,64	7	0,15	0,11	0,26	6,75	0	0	0	13,8	33,8	3	6,71	4	3,75
	8,048	10	0,098	0,028	0,126	2,5	0	0	0	0,4	8,8	8,8	2,02	6,15	6,25
6 al 7 Julio 2004	23,08	6,5	0,25	0,18	0,43	6	9,8	0	0	39	28,2	0,8	8,71	5	3,25
	91,17	8	0,75	0,08	0,83	4,5	37	0	0	10,2	27	16,6	5,56	15,02	1,75
7 al 10 Septiembre 2004	10,28	15,75	0,13	0,03	0,16	5,5	14,4	35,2	1,9	48,8	26,4	1	6,04	2,63	3,25
12 al 17 Abril 2007	38,71	43	1,75	0,6	2,35	20,25	60,8	16	18,9	13,6	26,8	16,4	7,21	32,48	6

Tabla IX.27 Resumen de resultados de la Cuenca del Leza.

Y las conclusiones son:

- A la hora de analizar el umbral de precipitación, es importante diferenciar entre los episodios que son producidos por precipitaciones de alta intensidad aunque estas sean de corta duración y entre los episodios producidos por precipitaciones de intensidad moderada pero prolongadas en el tiempo.

Para el primer tipo de precipitaciones se observa que, partiendo de condiciones iniciales secas, empieza un aumento del caudal medido en la estación de aforo de Leza cuando la precipitación media de la cuenca es de aproximadamente 12mm, pudiendo bajar este valor si la precipitación que provoca escurrimiento directo en la cuenca es de muy alta intensidad, llegando incluso a observarse cambios en la estación de aforo cuando tenemos una precipitación media en la cuenca de 5mm.

Para episodios provocados por precipitaciones prolongadas, partiendo de condiciones iniciales secas, se observa que aproximadamente los primeros 20mm de lluvia son absorbidos por el terreno sin que llegue a producirse un escurrimiento directo que provoque un aumento importante en el caudal medido por la estación de aforo en Leza.

Tanto para el primero como para el segundo tipo de precipitaciones, si partimos de la condición inicial en que se han producido lluvias anteriores, este umbral se reduce considerablemente.

- Al analizar los hietogramas de precipitación junto con los hidrogramas de caudal se observa que los diversos picos en estos últimos son producidos por los momentos en los que se produce el grueso de precipitación.

En los episodios analizados se observa que el tiempo transcurrido entre el centro de gravedad del hietograma y la punta del correspondiente hidrograma oscila entre 2 y 8,5 horas en función de lo cerca que se estén produciendo las precipitaciones de la estación de aforo.

- Es la forma del hietograma de precipitación la que determina el Q_{\max} registrado en la estación de aforo y la duración de éste. En general, cuanto más intensa sea la precipitación mayor valor de caudal máximo será registrado en la estación de aforo y cuanto más concentrada en el tiempo sea la precipitación menor volumen tendrá el hidrograma de avenida.

Dependiendo de la precipitación, la duración del pico del hidrograma de avenida será mayor o menor. En los episodios analizados este valor varía de 4 h (es el caso extremo en el que el episodio es provocado por una precipitación muy intensa y muy concentrada en el tiempo) y 120 h (caso en el que el episodio es provocado por una precipitación muy prolongada en el tiempo pero de poca intensidad, en los que tanto la rama de subida como la de bajada del hidrograma tienen muy poca pendiente).

- El tiempo de concentración de esta cuenca es estimado a partir del pluviómetro P011 ya que se encuentra más alejado de la estación de aforo. A partir de los episodios

provocados por lluvias intensas en esta zona de la cuenca se concluye que el tiempo de concentración de la misma oscila entre 7 y 9 horas.

- Los coeficientes de escorrentía calculados como el volumen registrado en la estación de aforo dividido entre el volumen de precipitación estimado para toda la cuenca muestran que:
 - Para lluvias uniformes y continuadas en el tiempo, partiendo de condiciones iniciales secas, para lluvias de hasta 20 mm, la escorrentía es casi inexistente pudiendo bajar si se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo.
 - En el caso de lluvias concentradas en el tiempo; por lo general, para lluvias de hasta 30mm el coeficiente de escorrentía varía entre un 2,5 y un 5%.
 - Si tenemos lluvias prolongadas en el tiempo, en la mayoría de los casos el coeficiente de escorrentía no supera el 25% para lluvias de hasta 70mm existiendo excepciones en las que partamos de condiciones iniciales húmedas y lleguemos a tener escorrentías de hasta un 32% con lluvias no superiores a 25 mm.
 - En el caso de lluvias intensas y prolongadas en el tiempo, los coeficientes de escorrentía aumentan alcanzando valores del 44% con lluvias de hasta 87 mm.
 - Es posible que en un futuro se den episodios más extremos de los que se han dado hasta hoy en día y tuviéramos coeficientes de escorrentía superiores al 44%.
- Al diferenciar el volumen registrado en la estación de aforo entre el asociado a los flujos superficiales (escorrentías directas) y el asociado a flujos hipodérmicos y subterráneos se obtiene que:
 - El escurrimiento directo siempre es mayor que el escurrimiento indirecto.
 - En el caso de que el escurrimiento directo sea provocado por lluvias intensas y concentradas en el tiempo, partiendo de condiciones iniciales secas, el coeficiente de escorrentía directo no suele superar el valor del 5% y el coeficiente de escorrentía subterránea varía entre un 0,3 y un 3,5%.
 - Cuando las lluvias analizadas además de intensas son prolongadas en el tiempo, ambos coeficientes de escorrentía aumentan, siempre siendo mayor el escurrimiento directo llegando incluso a tener episodios en los que los coeficientes de escorrentía directa e indirecta toman valores del 33,3% y el 10,1% respectivamente (Mayo 2003). En este tipo de episodios la diferencia entre ambos coeficientes es mayor.
- Debido a la uniformidad de las precipitaciones registradas en todos los pluviómetros en el episodio de Abril del 2007, en el que se ha estimado una precipitación media acumulada de unos 25,4 mm, lo que representaría un volumen de agua de 7,21 Hm³,

de los cuales 2,35 se midieron en la estación de Leza, se estima un coeficiente de escorrentía medio para toda la cuenca de aproximadamente 0,3248.

- De cara a evaluar los volúmenes de agua esperables en la estación de aforo de Leza en el caso de una lluvia prevista, el episodio de mayor caudal se obtuvo para una precipitación media para toda la cuenca de unos 87 mm, la cual representa un volumen de unos 19,3 Hm³, de los cuales 8,2 se recogieron en algo más de 3 días.

ANEXO X: CUENCA DEL CIDACOS**X.I Descripción**

El río Cidacos nace al sur de la población de Los Campos, en tierras de Soria, junto al Puerto de Oncala y desemboca en el Ebro en las proximidades de la localidad riojana de Calahorra [<http://www.larioja.org>]. Sus afluentes suelen ser cortos y se destacan Baos, Ostaza y Manzanares, los cuales desembocan en el Cidacos por su margen izquierda. En su paso por Arnedillo el río Cidacos divide a su valle en dos grandes conjuntos geográficos: el de Cameros Viejo, aguas arriba y el de la Rioja Baja hasta su desembocadura [Ayala-Carcedo y Olcino 2002].

La superficie aproximada de la cuenca vertiente del río Cidacos es de 405,527 Km² [<http://www.chebro.es>].

En la siguiente figura donde se representa la cuenca del Ebro, la superficie coloreada en amarillo, muestra la situación de la subcuenca del río Cidacos.

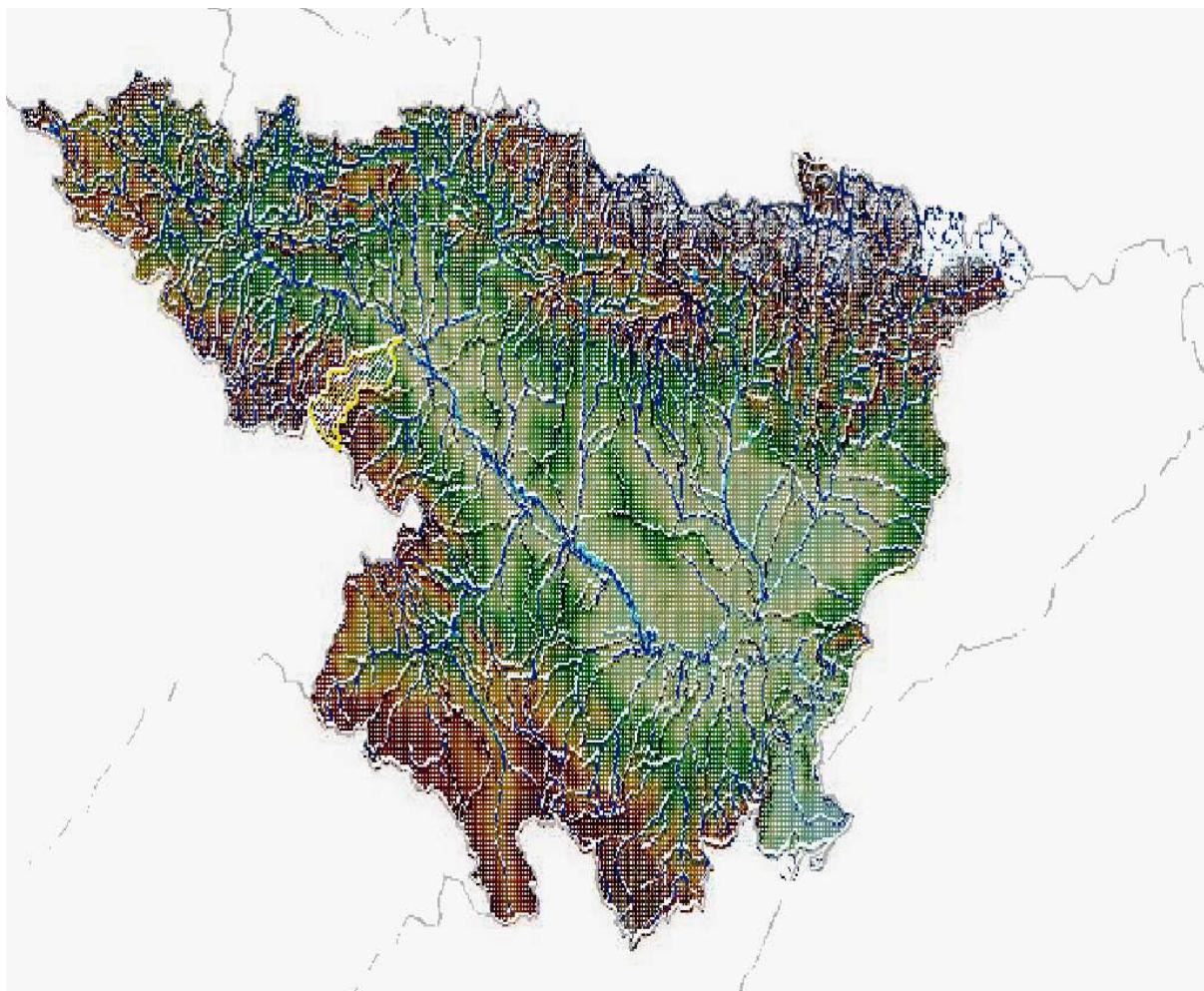


Figura X.1 Localización geográfica; Cuenca del Cidacos.

X.II Datos de partida

Con el objeto de conocer mejor la respuesta hidrológica de la subcuenca del río Cidacos se han analizado los datos quince-minutales de la base histórica del SAIH, del caudal medido en la estación de aforo A253 Cidacos El Arnedillo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas P011 Valloria, R023 Arnedillo en Cruz de Enzineta. También se han tenido en cuenta los datos quince-minutales de las precipitaciones registradas en los pluviómetros A197 Leza, P007 Ajamil, A139 Igea situados en subcuenca vecinas para así hacernos una idea de las precipitaciones producidas en los alrededores de la subcuenca estudiada.

La localización geográfica de las estaciones citadas así como la localización del río Cidacos, cuyo cauce hasta la estación de Aforo en Arnedillo (A253) se representa mediante una línea de mayor grosor, se muestran en la figura siguiente:

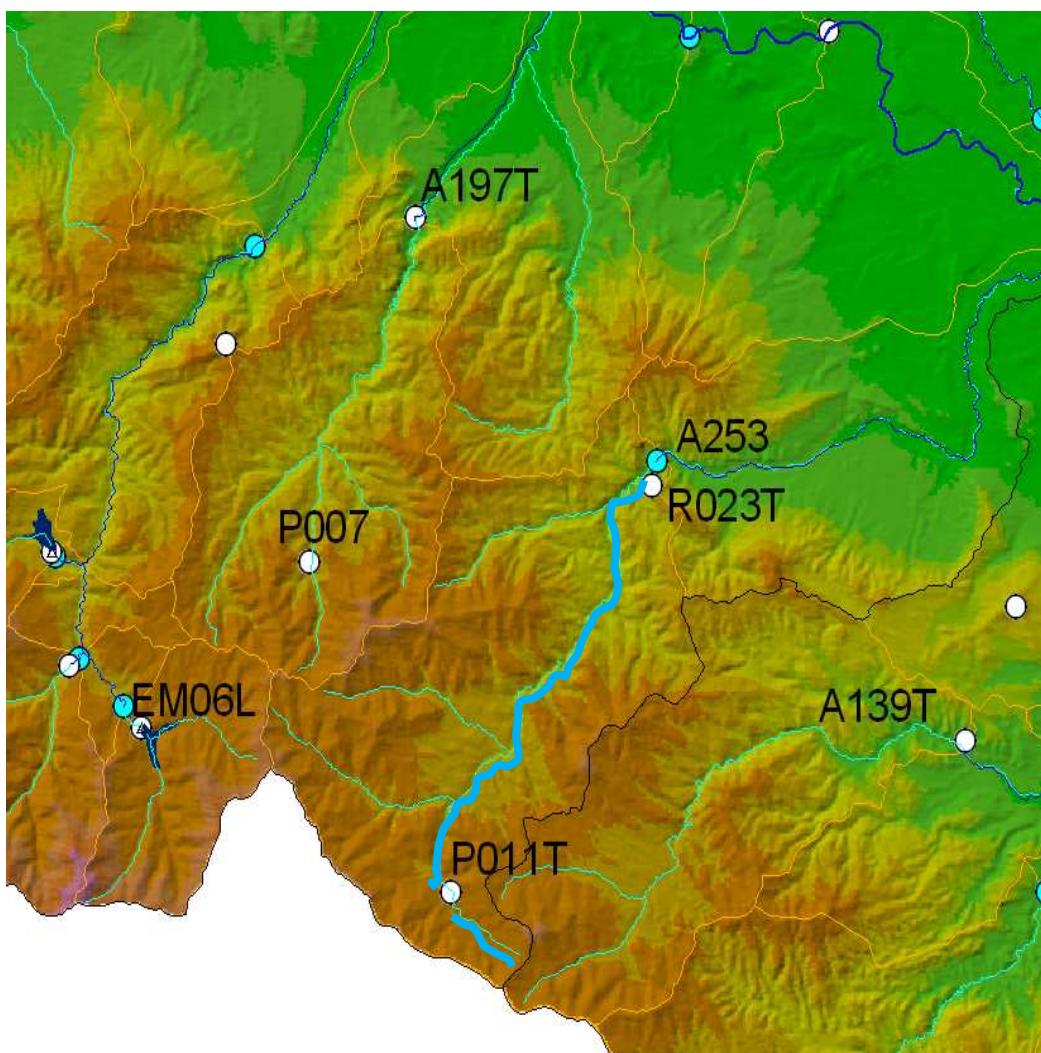


Figura X.2 Situación de estaciones; Cuenca del Cidacos

Al analizar el caudal registrado desde 1997 en la estación de aforo del Cidacos A253 se comprueba que en numerosas ocasiones la estación de aforo A253 registra un aumento brusco del caudal.

Por otra parte, para el cálculo de la lluvia media sobre la subcuenca, exclusivamente, se utilizan los datos registrados en los pluviómetros P011 y R023, ya que son los que se encuentran en la subcuenca del río Cidacos y teniendo en cuenta la superficie de la subcuenca que abarca cada uno, salvo que se indique lo contrario, la expresión utilizada para el cálculo de la lluvia media es:

$$\text{Lluvia media} = \text{Precip. R023 (mm)} \cdot 0,3 + \text{Precip. P011(mm)} \cdot 0,7$$

Siendo 0,3 y 0,7 los coeficientes de proporcionalidad correspondientes a cada pluviómetro y Precip. R023(mm), Precip. P011(mm) la cantidad de precipitación, en milímetros, registrada en cada uno de los pluviómetros para cada episodio.

De entre todos los episodios registrados históricamente en esta subcuenca se han seleccionado 7 para analizarlos en profundidad y establecer unas pautas de comportamiento en la relación precipitación-escorrentía para esta subcuenca.

Los episodios analizados son los siguientes:

- Del 2 al 31 de Marzo del 2001: $Q_{\text{máx}} \approx 21 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 100 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 6 al 20 de Mayo 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 53 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 4 al 6 de Septiembre del 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 19 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 12 al 17 de Abril de 2007: $Q_{\text{máx}} \approx 34 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 9 al 13 de Junio de 2008: $Q_{\text{máx}} \approx 28 \text{ m}^3/\text{s.}$
- Del 14 al 21 de Enero del 2010: $Q_{\text{máx}} \approx 17 \text{ m}^3/\text{s.}$

X.III Análisis de episodios

X.III.I Episodio del 2 al 31 de Marzo del 2001

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Arnedillo durante este episodio:

Precipitación	Cruz Enzineta (R023)	26mm
	Valloria (P011)	88mm
	Igea (A139)	17,4mm
	Leza (A197)	32,2mm
	Ajamil (P007)	29,2mm
	Volumen total	Arnedillo (A253) 10,39Hm ³

Tabla X.1 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Cidacos, episodio del 2 al 31 de Marzo del 2001.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes a este episodio de avenida.

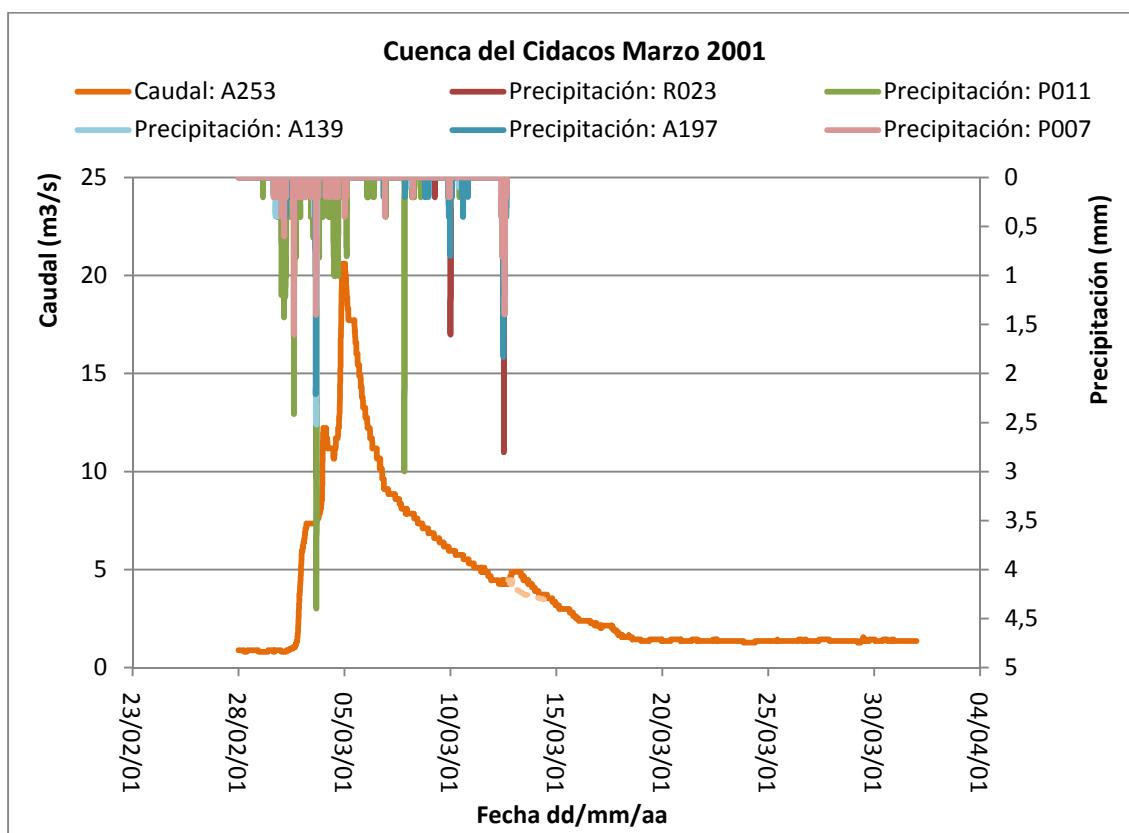


Figura X.3 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 2 al 31 de Marzo del 2001.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

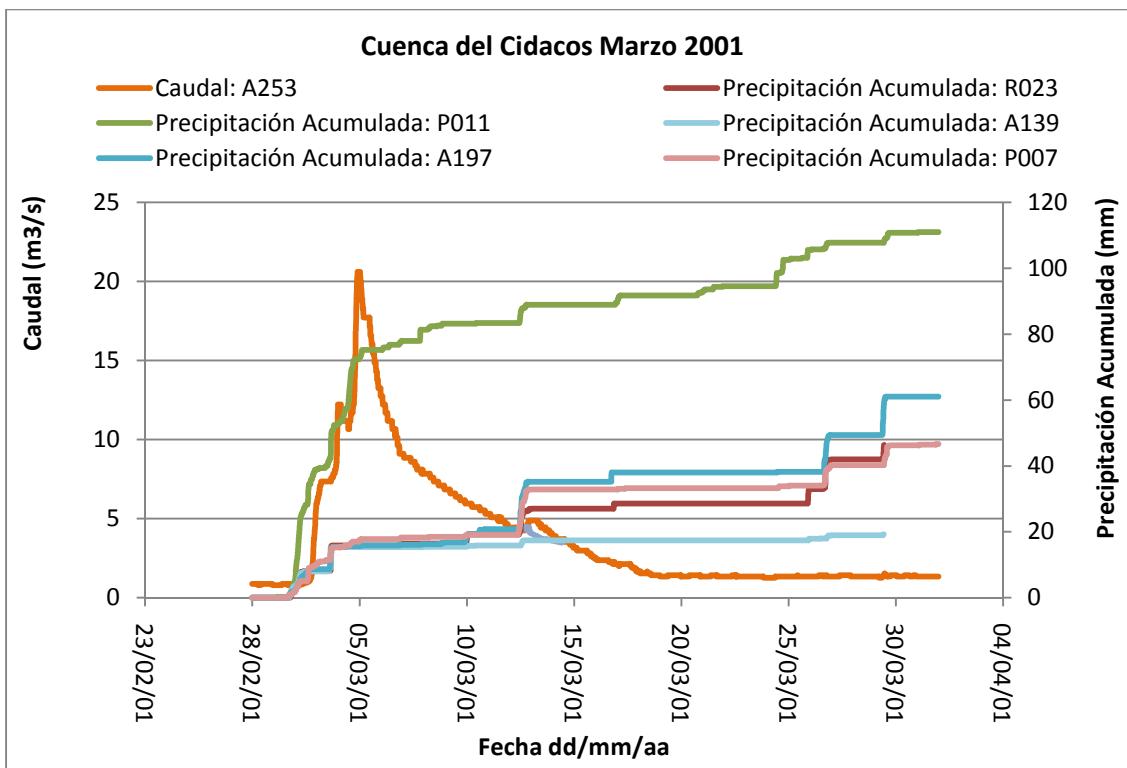


Figura X.4 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 2 al 31 de Marzo del 2001.

Una vez analizados los datos de partida se realizan los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	69,4mm	Duración Q_{\max}	254,5h
Volumen de Precipitación	28,14Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	74h
Duración Episodio	706,25h	t_{picos}	9,25h
Volumen de escorrentía	7,95Hm ³	Escorrentía	28,25%
Volumen Q_{base}	1,27Hm ³	Escorrentía directa	23,73%
Volumen Q_{\max}	6,68Hm ³	Escorrentía indirecta	4,52%
Q_{\max}	20,6m ³ /s	Umbral precipitación	19,6mm

Tabla X.2 Resultados obtenidos en el episodio del 12 al 31 de Marzo del 2001; Cuenca del Cidacos.

La cantidad de precipitación registrada a partir del día 12 a las 16:00h no es tenida en cuenta a la hora de calcular el volumen de precipitación, como tampoco se considera el aumento en el volumen de escorrentía que provoca, por lo que se ha supuesto esta parte del caudal, esto se puede ver en la figura X.3 representado en línea discontinua.

X.III.II Episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003

En este caso el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes debido a que aunque sólo se aprecia un pico bien delimitado ya que, antes de las precipitaciones que provocan el aumento brusco del caudal registrado en la estación de aforo se produjeron unas precipitaciones que provocaron una escorrentía prácticamente inexistente, se ha considerado interesante estudiarlo de manera independiente (véase figuras X.4 y X.5).

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 19 de Febrero hasta el 4 de Marzo del 2003:

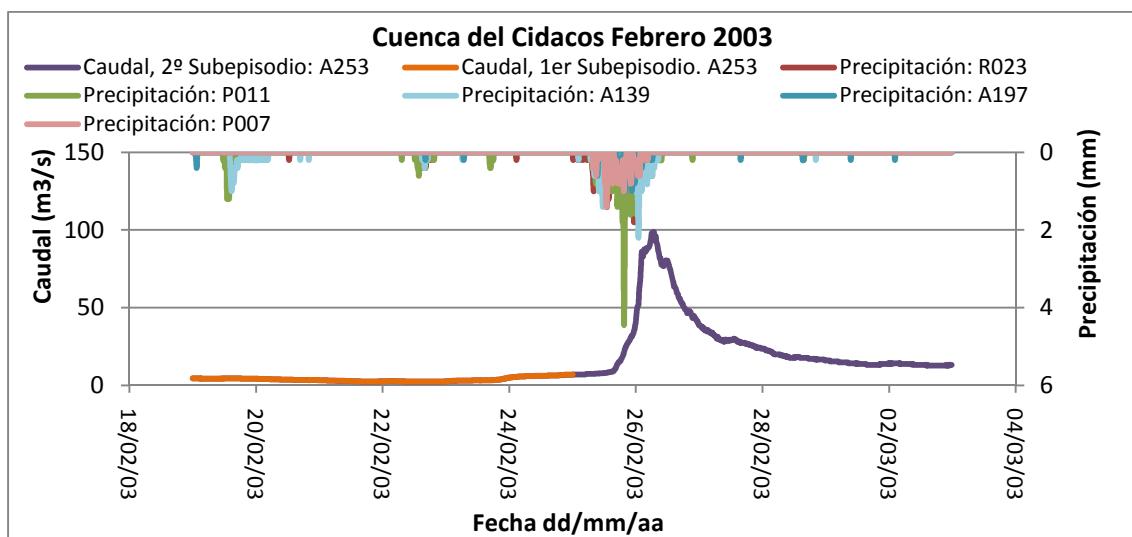


Figura X.5 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

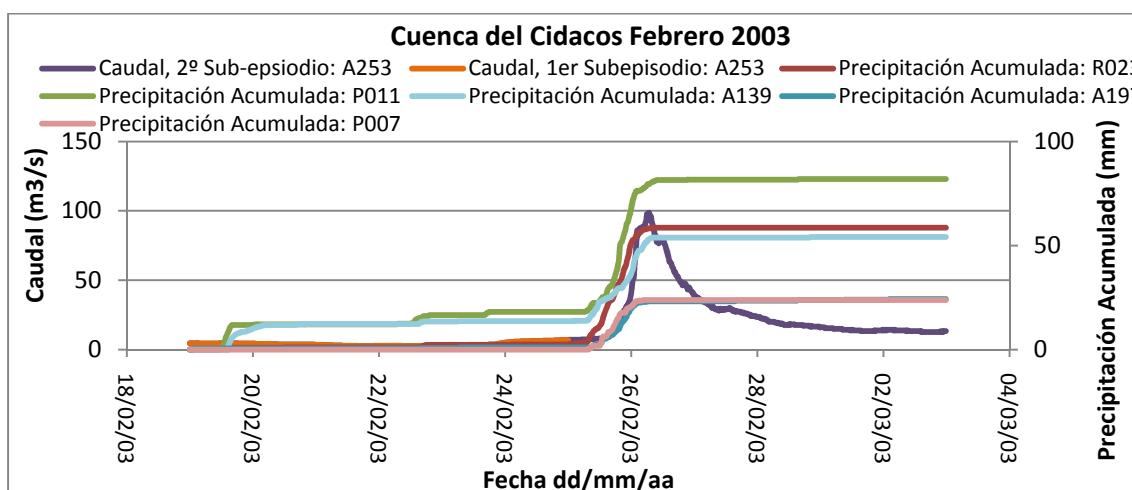


Figura X.6 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Arnedillo y que se produjo entre el 19 y el 26 de Febrero de 2003.

Según los datos recogidos, en la siguiente tabla se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Cruz Enzineta (R023)	2,2mm
	Valloria (P011)	16,6mm
	Igea (A139)	13,6mm
	Leza (A197)	1mm
	Ajamil (P007)	0mm
	Volumen total	Arnedillo (A253) 1,31Hm ³

Tabla X.3 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Cidacos, primer sub-episodio del episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003.

Una vez realizados los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria, los resultados obtenidos para este sub-episodio se muestran en la siguiente tabla:

Lluvia media	12,28mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	
Volumen de Precipitación	5Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	7,25h
Duración Episodio	29,25h	t_{picos}	
Volumen de escorrentía	0,23Hm ³	Escorrentía	7,5%
Volumen Q_{base}		Escorrentía directa	
Volumen $Q_{\text{máx}}$		Escorrentía indirecta	
$Q_{\text{máx}}$		Umbral precipitación	8,8mm

Tabla X.4 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003; Cuenca del Cidacos.

No se forma un pico bien definido por lo que no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen $Q_{\text{máx}}$ y por consiguiente tampoco se distingue entre escorrentía directa y escorrentía indirecta. Por otra parte, a la hora de realizar los cálculos, la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 23 de Febrero a las 11:00h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio de forma aislada tiene lugar entre el 26 de Febrero y el 4 de Marzo del 2003, momento en el cual se recupera el caudal base que se tenía en el Cidacos.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Enzineta (R023)	56,4mm
	Valloria (P011)	65,4mm
	Igea (A139)	40,4mm
	Leza (A197)	23,2mm
	Ajamil (P007)	23,8mm
	Volumen total	Arnedillo (A253) 13,93Hm ³

Tabla X.5 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Cidacos, segundo sub-episodio del episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo para este sub-episodio:

Lluvia media	62,7mm	Duración Q _{máx}	84h
Volumen de Precipitación	25,5Hm ³	t _{Precipitación}	27h
Duración Episodio	154,25h	t _{picos}	10,5h
Volumen de escorrentía	10,13Hm ³	Escorrentía	39,83%
Volumen Q _{base}	1,25Hm ³	Escorrentía directa	34,9%
Volumen Q _{máx}	8,87Hm ³	Escorrentía indirecta	4,93%
Q _{máx}	97,8m ³ /s	Umbral precipitación	2,7mm

Tabla X.6 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 19 de Febrero al 4 de Marzo del 2003; Cuenca del Cidacos.

A la hora del análisis de los resultados de este episodio se debe tener en cuenta que el estado antecedente de humedad es muy elevado.

X.III.III Episodio del 6 al 20 de Mayo del 2003

Los datos de partida se recogen en la siguiente tabla, que muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Arnedillo durante este episodio:

Precipitación	Cruz Enzineta (R023)	90,8mm
	Valloria (P011)	54,2mm
	Igea (A139)	59,6mm
	Leza (A197)	101,4mm
	Ajamil (P007)	0,2mm
	Volumen total	Arnedillo (A253) 13,74Hm ³

Tabla X.7 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Cidacos, episodio del 6 al 20 de Mayo del 2003.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

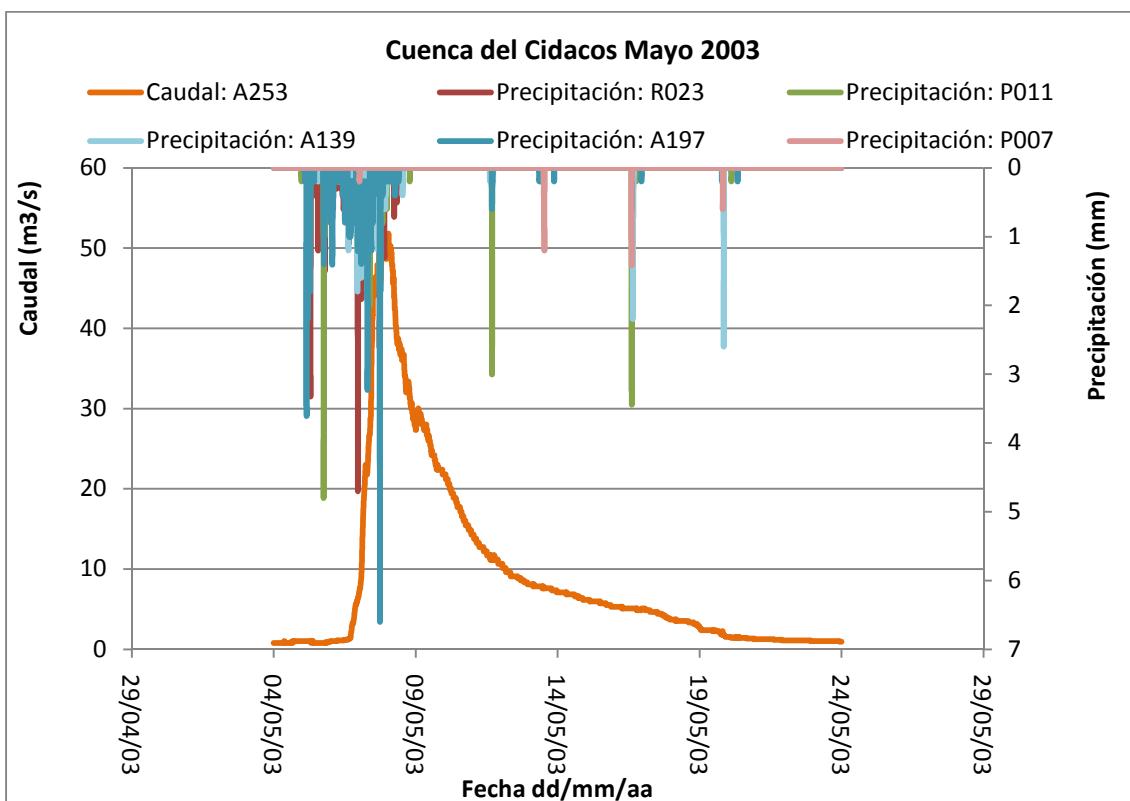


Figura X.7 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 6 al 20 de Mayo del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

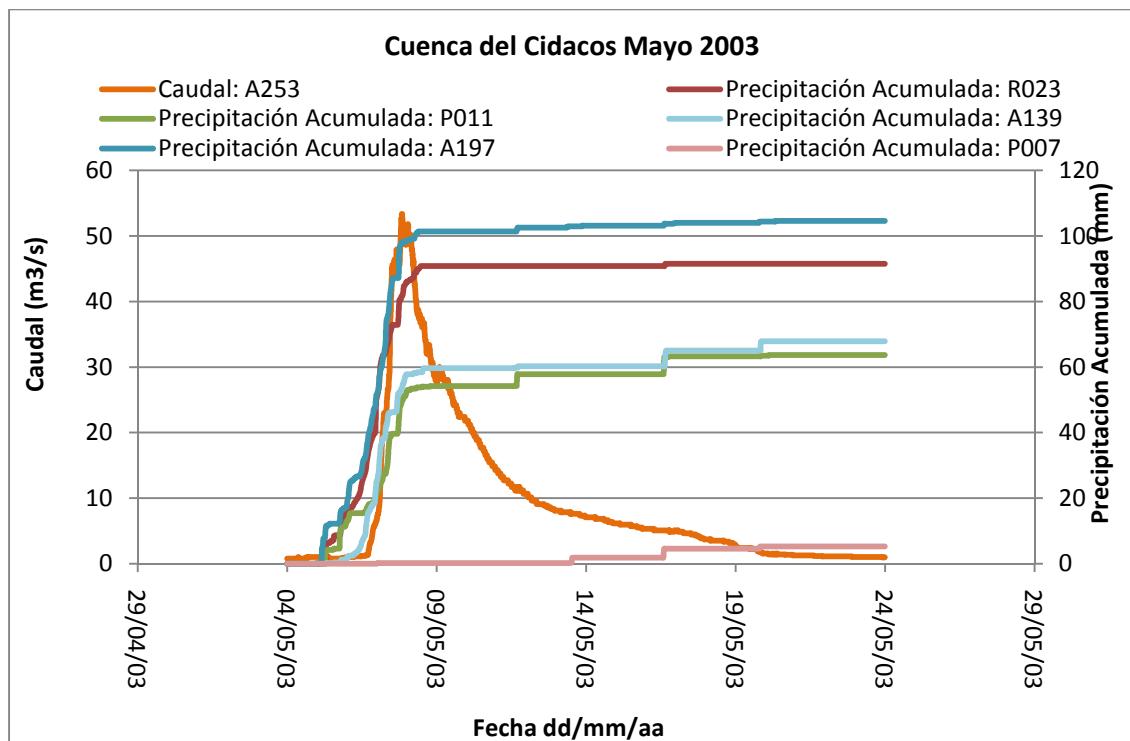


Figura X.8 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 6 al 20 de Mayo del 2003.

Una vez realizados los cálculos indicados en el capítulo 4 de la memoria, los resultados obtenidos y que caracterizaran la avenida se resumen en la siguiente tabla:

Lluvia media	79,82mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	94,75h
Volumen de Precipitación	32,37Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	77h
Duración Episodio	323,75h	t_{picos}	10,75h
Volumen de escorrentía	13,61Hm ³	Escorrentía	42,06%
Volumen Q_{base}	4,45Hm ³	Escorrentía directa	28,3%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	9,16Hm ³	Escorrentía indirecta	13,76%
$Q_{\text{máx}}$	53,35m ³ /s	Umbral precipitación	16,1mm

Tabla X.8 Resultados obtenidos en el episodio del 6 al 20 de Mayo del 2003; Cuenca del Cidacos.

Las últimas lluvias, exactamente a partir del día 10 a las 13:45, no han sido tenidas en cuenta a la hora del cálculo del volumen de precipitación debido a que no afectan al caudal de bajada del hidrograma.

X.III.IV Episodio del 4 al 6 de Septiembre del 2003

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Arnedillo durante este episodio:

Precipitación	Cruz Enzineta (R023)	43,9mm
	Valloria (P011)	4,2mm
	Igea (A139)	43mm
	Leza (A197)	42,8mm
	Ajamil (P007)	43,6mm
	Volumen total	Arnedillo (A253) $0,87\text{Hm}^3$

Tabla X.9 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Cidacos, episodio del 4 al 6 de Septiembre del 2003.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 6 hasta el 7 de Septiembre del 2003.

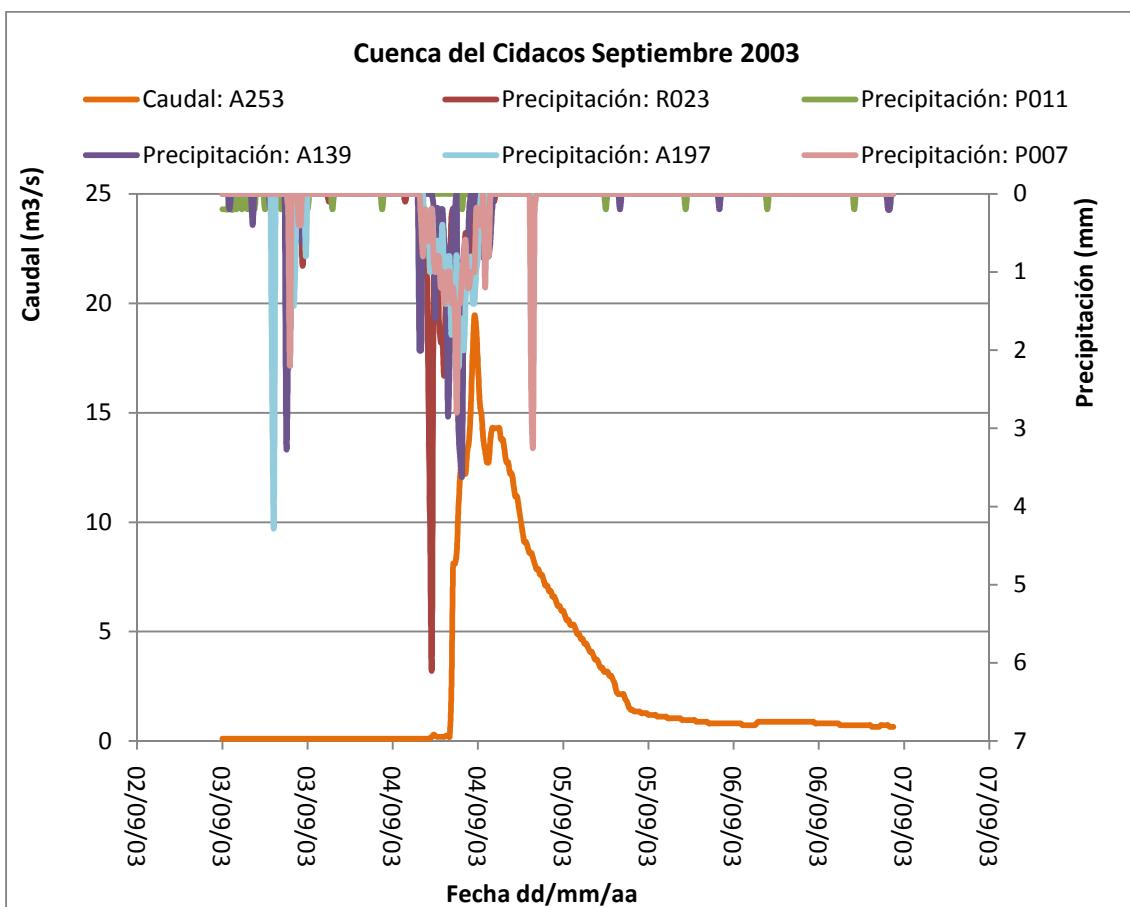


Figura X.9 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 4 al 6 de Septiembre del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

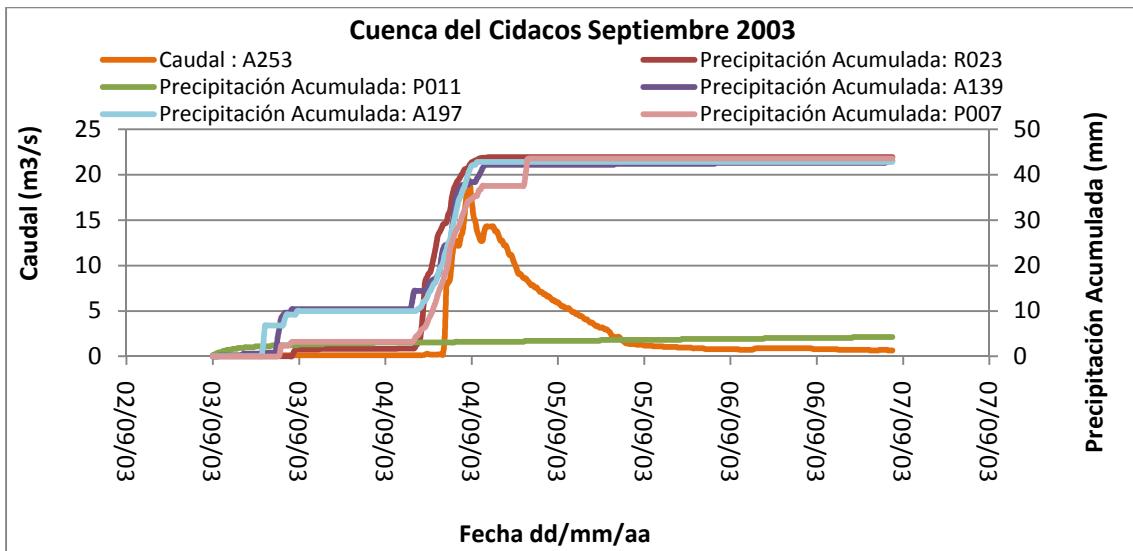


Figura X.10 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 4 al 6 de Septiembre del 2003.

Como en el resto de casos, en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	43,9mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	23,5h
Volumen de Precipitación	17,8Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	9h
Duración Episodio	62,75h	t_{picos}	5,75h
Volumen de escorrentía	0,82Hm ³	Escorrentía	4,64%
Volumen Q_{base}	0,1Hm ³	Escorrentía directa	4,05%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,72Hm ³	Escorrentía indirecta	0,59%
$Q_{\text{máx}}$	19,43m ³ /s	Umbral precipitación	16,2mm

Tabla X.10 Resultados obtenidos en el episodio del 4 al 6 de Septiembre del 2003; Cuenca del Cidacos.

Al ver las representaciones en las Figuras X.9 y X.10, se considera que el pluviómetro de P011 estaba obstruido y por tanto solo se utiliza la precipitación registrada en Cruz Enzineta (R023) para calcular la lluvia media correspondiéndole un coeficiente de proporcionalidad de 1.

A la hora de analizar los resultados se debe tener en cuenta que el episodio es provocado esencialmente por una lluvia intensa, el pluviómetro R023 registra 13,6mm en 1 hora y, aunque esta precipitación vaya acompañada de precipitaciones menos intensas, es esta la que provoca la escorrentía superficial, pudiendo explicar de esta manera el poco volumen de escorrentía registrado en el aforo. Por otro lado, tener en cuenta que las últimas lluvias, exactamente a partir del día 6 a las 22:45h, no han sido tenidas en cuenta a la hora del cálculo del volumen de precipitación.

X.III.V Episodio del 12 al 17 de Abril del 2007

Los datos de partida para el análisis de este episodio se recogen en la siguiente tabla donde se presenta la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Arnedillo durante este episodio:

Precipitación	Cruz Enzineta (R023)	18,9mm
	Valloria (P011)	16,6mm
	Igea (A139)	16,8mm
	Leza (A197)	61,6mm
	Ajamil (P007)	33mm
	Volumen total	Arnedillo (A253) 7,67Hm ³

Tabla X.11 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Cidacos, episodio del 12 al 17 de Abril del 2007.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 12 hasta el 19 de Marzo del 2007.

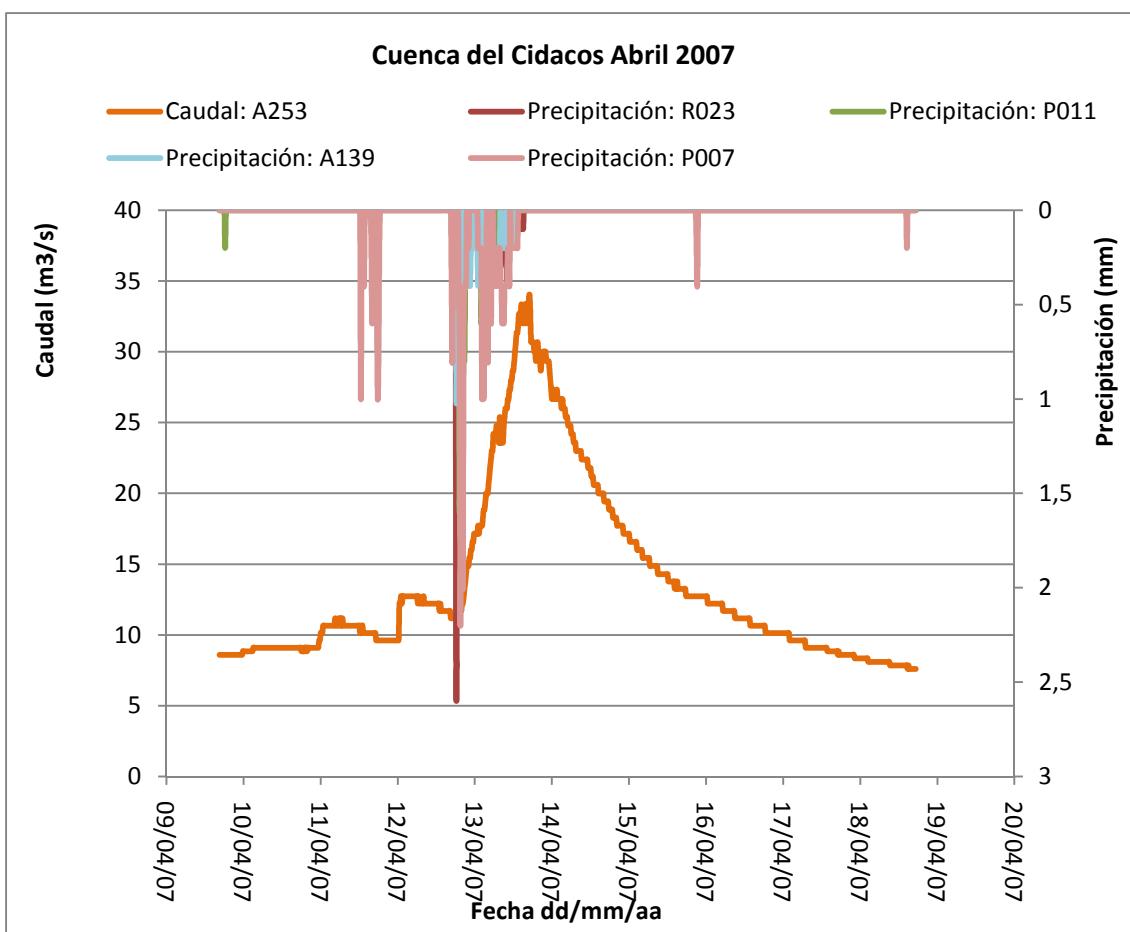


Figura X.11 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 12 al 17 de Abril del 2007.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

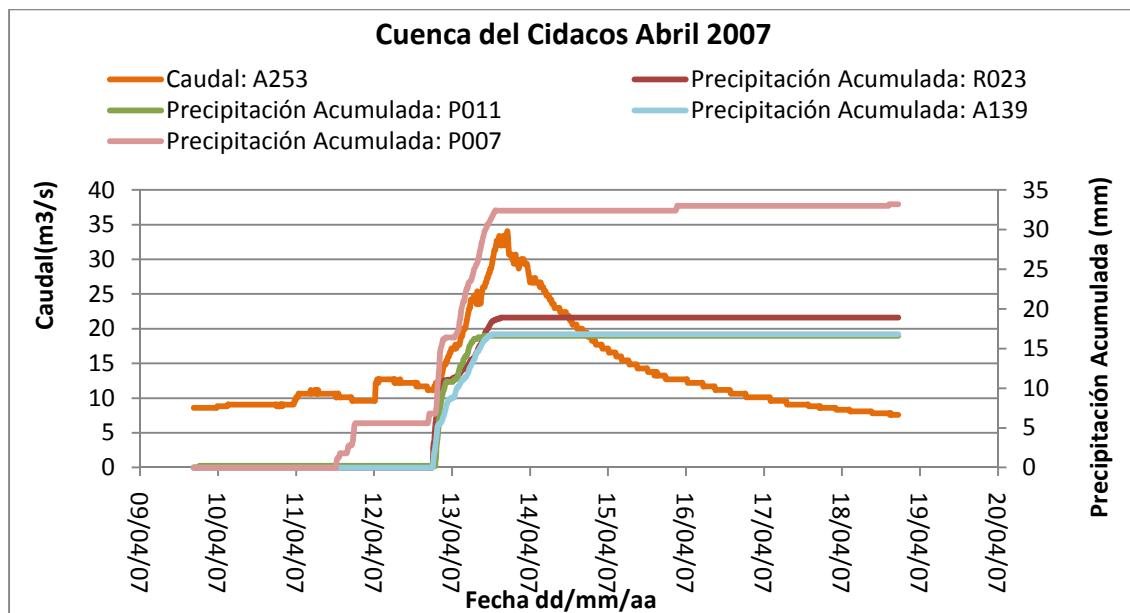


Figura X.12 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 12 al 17 de Abril del 2007.

Una vez realizados los cálculos que permiten caracterizar este episodio (véase capítulo 4 de la memoria); en la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos para estos cálculos en este episodio:

Lluvia media	17,29mm	Duración Q_{\max}	68,75h
Volumen de Precipitación	7Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	18,5h
Duración Episodio	126,5h	t_{picos}	10,5h
Volumen de escorrentía	3,3Hm ³	Escorrentía	47,23%
Volumen Q_{base}	0,61Hm ³	Escorrentía directa	38,49%
Volumen Q_{\max}	2,69Hm ³	Escorrentía indirecta	8,74%
Q_{\max}	34m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla X.12 Resultados obtenidos en el episodio del 12 al 17 de Abril del 2007; Cuenca del Cidacos.

Al analizar los resultados se debe tener en cuenta que partimos de condiciones iniciales de terreno muy húmedo ya que a lo largo del mes de Marzo del 2007 se produjeron muchas precipitaciones sobre esta subcuenca.

X.III.VI Episodio del 9 al 13 de Junio del 2008

Antes de realizar los cálculos correspondientes para caracterizar este episodio; como se puede observar en la gráficas, parte del caudal de la rama de bajada ha sido supuesto, línea discontinua en las graficas (véase figura X.13 y figura X.14) debido a que se produjeron precipitaciones después del pico y provocaron un nuevo aumento en el caudal registrado en Arnedillo pero éstas no han sido tenidas en cuenta a la hora de calcular la volumen de precipitación en la subcuenca (exactamente se han tenido en cuenta las precipitaciones hasta el día 10 a las 1:45h).

Los datos de partida para el análisis de este episodio se exponen en la siguiente tabla, en la que se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Arnedillo durante este episodio:

Precipitación	Cruz Enzineta (R023)	24,8mm
	Valloria (P011)	15,4mm
	Igea (A139)	19,2mm
	Leza (A197)	26mm
	Ajamil (P007)	24,8mm
	Volumen total	Arnedillo (A253) 2,58Hm ³

Tabla X.13 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Cidacos, episodio del 9 al 13 de Junio del 2008.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

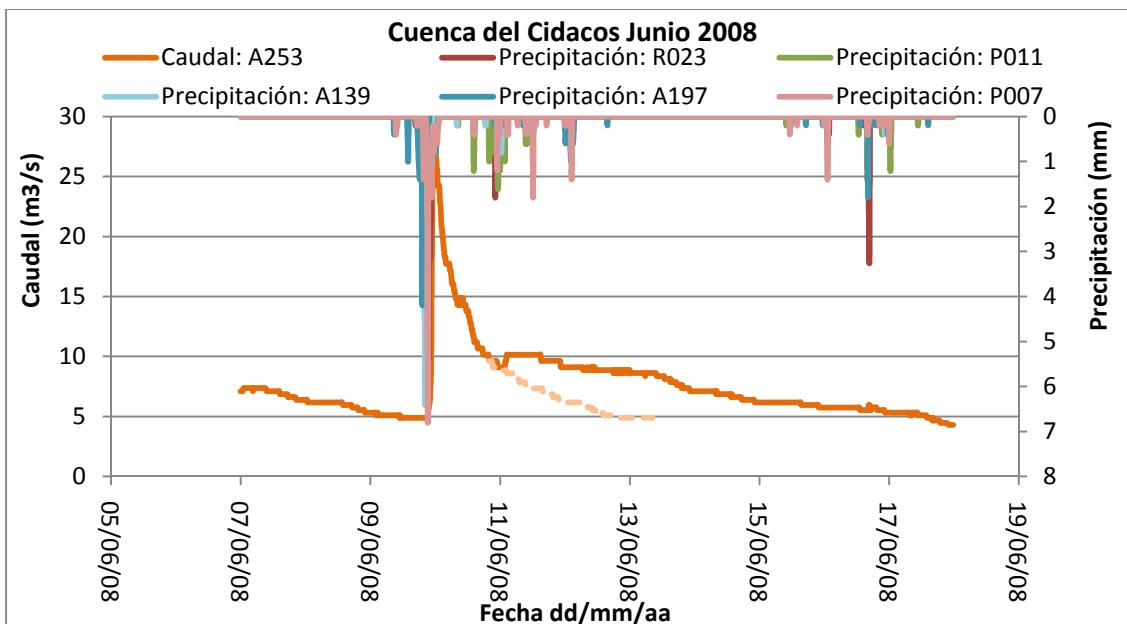


Figura X.13 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 9 al 13 de Junio del 2008.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

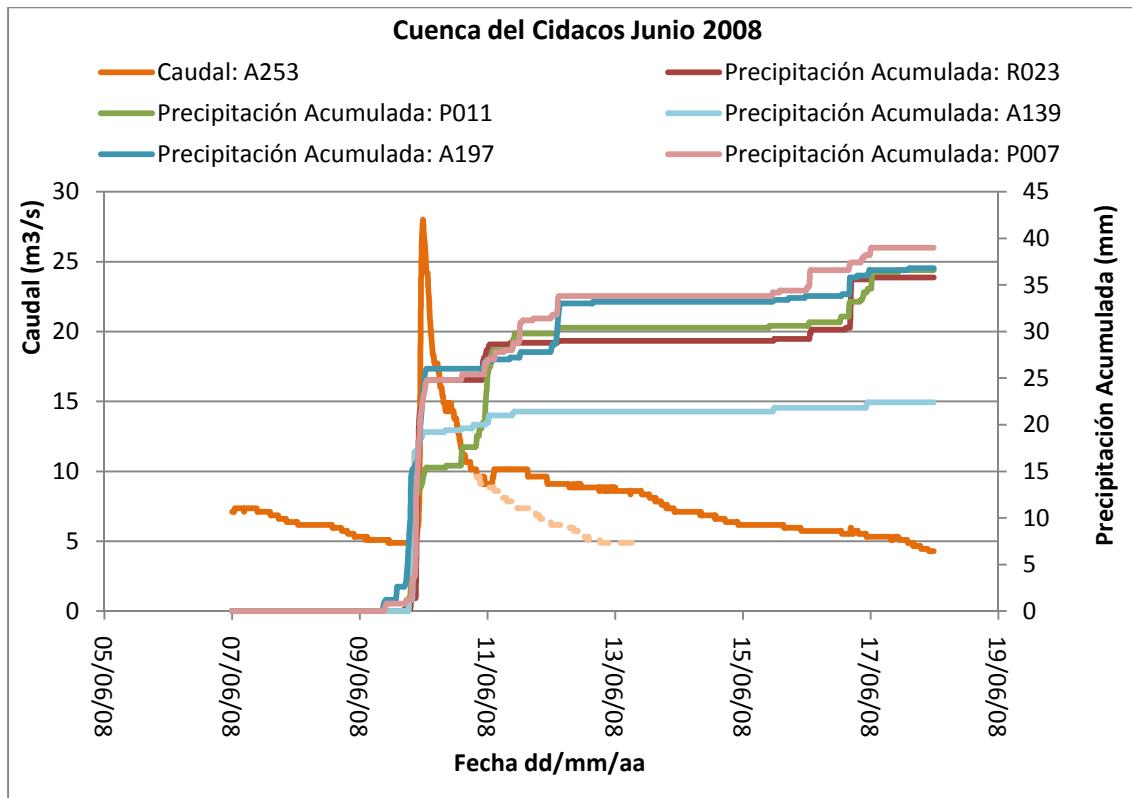


Figura X.14 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 9 al 13 de Junio del 2008.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos a partir de los cálculos indicados en el capítulo 4 de la memoria para este episodio:

Lluvia media	18,22mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	26,25h
Volumen de Precipitación	7,38Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	7,25h
Duración Episodio	77h	t_{picos}	2,25h
Volumen de escorrentía	1,22Hm ³	Escorrentía	16,61%
Volumen Q_{base}	0,32Hm ³	Escorrentía directa	12,22%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	0,9Hm ³	Escorrentía indirecta	4,39%
$Q_{\text{máx}}$	28m ³ /s	Umbrales precipitación	6,6mm

Tabla X.14 Resultados obtenidos en el episodio del 9 al 13 de Junio del 2008; Cuenca del Cidacos.

A la hora del análisis de los resultados se debe tener en cuenta que se trata de un episodio provocado por un aguacero intenso y el umbral indicado de 6, mm en la tabla X.14 es la lluvia media calculada con la cantidad de precipitación que han registrado los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa; pero es la precipitación intensa registrada en el pluviómetro R023, en el que se registran 19,8mm en una hora y media, la que realmente provocaría la avenida.

X.III.VII Episodio del 14 al 21 de Enero del 2010

Al igual que en el episodio anterior, parte del hidrograma de bajada de caudal ha sido supuesto, debido a que las lluvias que se registraron a partir del día 16 de Enero a las 5:00h no han sido tenidas en cuenta para el cálculo del volumen de precipitación y por tanto tampoco se considera el volumen de escorrentía que provocaron.

Los datos de partida para el análisis de este episodio se recogen en la siguiente tabla, que muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Arnedillo durante este episodio:

Precipitación	Cruz Enzineta (R023)	5,4mm
	Valloria (P011)	53,6mm
	Igea (A139)	9,4mm
	Leza (A197)	11,6mm
	Ajamil (P007)	15,4mm
	Volumen total	Arnedillo (A253) 2,78Hm ³

Tabla X.15 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Cidacos, episodio del 14 al 21 de Enero del 2010.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

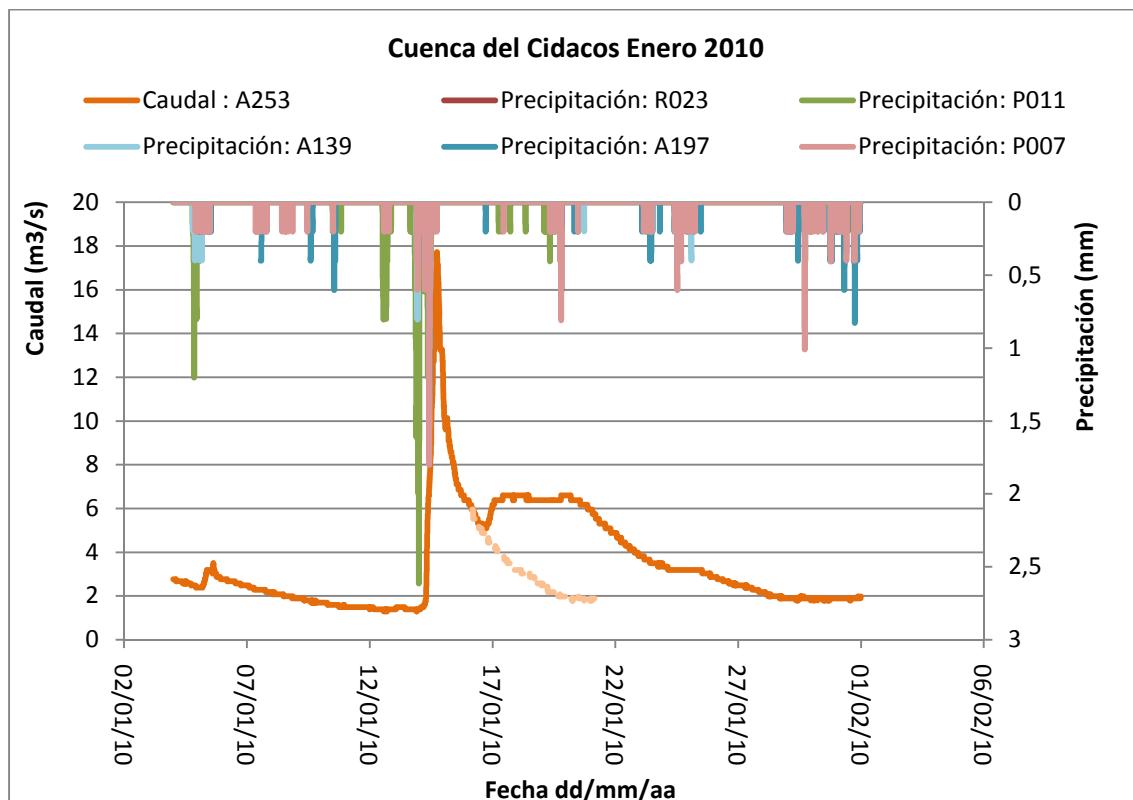


Figura X.15 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 14 al 21 de Enero del 2010.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

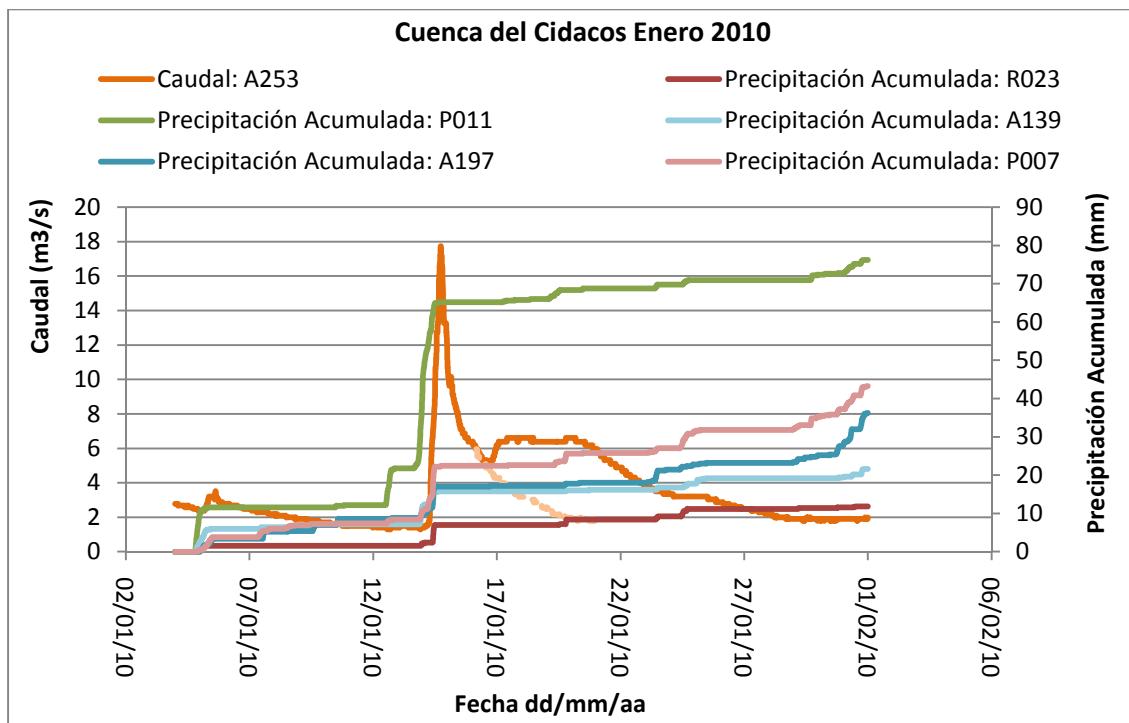


Figura X.16 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Cidacos, episodio del 14 al 21 de Enero del 2010.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	39,14mm	Duración Q_{\max}	47h
Volumen de Precipitación	15,87Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	20,5h
Duración Episodio	166h	t_{picos}	11h
Volumen de escorrentía	1,77Hm ³	Escorrentía	11,2%
Volumen Q_{base}	0,55Hm ³	Escorrentía directa	7,74%
Volumen Q_{\max}	1,2Hm ³	Escorrentía indirecta	3,46%
Q_{\max}	17,1m ³ /s	Umbral precipitación	8,1mm

Tabla X.16 Resultados obtenidos en el episodio del 14 al 21 de Enero del 2010; Cuenca del Cidacos.

A la hora del análisis de los resultados se debe tener en cuenta que durante este mes se produjeron muchas lluvias y por tanto las condiciones iniciales del terreno antes del episodio son húmedas.

X.IV Conclusiones

A continuación, una vez analizados todos los episodios relevantes, y a la vista de los cálculos realizados, podemos establecer algunas conclusiones de las pautas de comportamiento de la cuenca en cuanto a la respuesta hidrológica que tiene en función de la precipitación. En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos de los resultados obtenidos de los episodios analizados:

Episodio (fecha)	Qmáx (m ³ /s)	Duración Qmáx (h)	Vol. Qmáx (Hm ³)	Vol. Base (Hm ³)	Vol. Escorrentía A253 (Hm ³)	T Precip. (h)	R023 (mm)	P011 (mm)	Vol. Precip. (Hm ³)	Escorrentía (%)	T entre picos (h)
2 al 31 Marzo 2001	20,6	254,5	6,68	1,27	7,95	74	26	88	28,14	28,25	9,25
19 de Febrero al 4 de Marzo 2003			0,23	0,13	0,37	7,25	2,2	16,6	5	7,5	
	97,8	84	8,87	1,25	10,13	27	56,4	65,4	25,5	39,83	10,5
6 al 20 Mayo 2003	53,3	94,75	9,16	4,45	13,61	77	90,8	54,2	32,37	42,06	10,75
4 al 6 Septiembre 2003	19,4	23,5	0,72	0,1	0,82	9	43,9	4,2	17,8	4,64	5,75
12 al 17 Abril 2007	34,0	68,75	2,69	0,61	3,3	18,5	18,9	16,6	7	47,23	10,5
9 al 13 Junio 2008	28	26,25	0,9	0,32	1,22	7,25	24,8	15,4	7,38	16,61	2,25
14 al 21 Enero 2010	17,1	47	1,2	0,55	1,77	20,5	5,4	53,6	15,8	11,2	11

Tabla X.17 Resumen de resultados de la cuenca del Cidacos.

Y las conclusiones son:

- En los episodios analizados se observa que, partiendo de condiciones iniciales secas, aproximadamente los 18 primeros mm de lluvia no producen escurrimiento directo y no se registra un aumento importante del caudal medido en la estación de aforo de Arnedillo.

Del estudio de episodios provocados por precipitaciones intensas y concentradas en el tiempo se concluye que una precipitación de 13mm en una hora tiene una intensidad suficiente para que se produzca escurrimiento directo y de esta manera notar un aumento considerable del caudal medido en la estación de aforo.

En los casos en los que partimos de condiciones húmedas, este umbral puede disminuir a la mitad e incluso ser nulo y todo lo que llueve escurrir por la superficie.

- En general al analizar los episodios se observa que los picos del hidrograma están asociados al grueso de precipitación del hietograma.

En la mayoría de los episodios analizados se observa que el tiempo entre el centro de gravedad del hietograma y el momento en el que se registra el caudal máximo en la estación de aforo está entre 10 y 11 horas cuando existe una precipitación uniforme por toda la cuenca.

Este valor aumenta hasta un valor de 12 horas cuando las precipitaciones se encuentran muy alejadas de la estación de aforo y disminuye hasta un valor de 2 horas cuando las precipitaciones se producen en las cercanías de la estación de aforo de Arnedillo.

- La duración del pico del hidrograma de avenida y el caudal máximo registrado en la estación de aforo depende de la forma del hidrograma de avenida, de la duración de las lluvias y de la intensidad de las mismas.

Por lo general, se puede observar que, cuanto más intensa es la lluvia más caudal máximo se registra en la estación de aforo. Por otro lado, son las lluvias de más corta duración las que recogen menos volumen en la estación de aforos de Arnedillo.

En general, la duración del pico del hidrograma varía entre 24 y 95 horas, siendo para los episodios provocados por precipitaciones concentradas en el tiempo las duraciones del caudal máximo más cercanas a los valores de 24 horas y los provocados por las precipitaciones más prolongadas en el tiempo los que tengan una duración mayor. Es importante tener en cuenta que en el caso de que partamos de condiciones húmedas, precipitaciones concentradas en el tiempo pueden dar episodios cuyo pico del hidrograma sea de una duración más cercana a las 95 horas como es el caso del episodio de Abril de 2007.

Como caso particular se tiene el episodio que se dio en Marzo de 2001 cuya duración es muy alta, de alrededor de 10 días. Esto es debido a que la precipitación que provocó la avenida es muy prolongada en el tiempo e intercalando lluvias de muy baja intensidad con lluvias de más alta intensidad provoca que tanto la rama de subida como la de bajada del hidrograma tengan muy poca pendiente.

- Para estimar el tiempo de concentración, siendo éste el tiempo que tarda en llegar a la estación de aforo la escorrentía producida en la zona más alejada de la cuenca, utilizaremos los episodios en los cuales la mayor precipitación es producida en los alrededores del P011, estimando que el tiempo de concentración de la cuenca rondará las 11 horas.
- Del análisis de los coeficientes de escorrentía de los diferentes episodios se concluye que:

-Para lluvias de intensidad moderada:

- Partiendo de condiciones secas, aproximadamente para los primeros 18mm de lluvia, la escorrentía es prácticamente inexistente.
- Para lluvias de hasta 70mm se obtienen coeficientes de escorrentía de aproximadamente el 30%.
- Estos coeficientes pueden aumentar en el caso de lluvias superiores a 70mm encontrándonos con coeficientes de escorrentía de hasta el 33% en el caso de lluvias de hasta 80mm. Si partimos de condiciones iniciales húmedas podemos encontrarnos con coeficientes de escorrentía de hasta el 40% aproximadamente para lluvias de hasta 60 mm.

-En el caso de lluvias intensas, aunque producen caudales máximos altos, los coeficientes de escorrentía disminuyen, tomando como mucho valores alrededor del 12% pudiendo aumentar este valor en el caso de que partamos de condiciones húmedas.

-Como caso particular es el evento de Abril de 2007 en el que partimos de condiciones extremadamente húmedas y unas lluvias no superiores a 20mm provocan un coeficiente de escorrentía cercano al 50%.

- Al diferenciar el volumen bajo la curva del hidrograma entre el volumen asociado a escorrentías directas y el asociado a aportaciones de flujos subterráneos e hipodérmicos se obtiene que el primero siempre es mayor que el segundo siendo en ocasiones el volumen asociado a flujos superficiales 7 veces mayor que el asociado a flujos subterráneos e hipodérmicos. El máximo coeficiente de escorrentía directa alcanzado es del 38,5% en Abril del 2007. Con respecto a los coeficientes de escorrentía indirecta, el máximo alcanzado es en Mayo del 2003 llegando a tomar un valor del 13,75%.
- Debido a la uniformidad de las precipitaciones registradas en todos los pluviómetros en el episodio de Febrero de 2003, sin separar este episodio en dos sub-episodios, se ha considerado que se dio una precipitación media acumulada de unos 74,4mm, lo que representaría un volumen de agua de $30,18 \text{ Hm}^3$, de los cuales 10,5 se midieron en la estación de Arnedillo por lo que se estima un coeficiente de escorrentía medio para toda la cuenca de aproximadamente 0,34.
- De cara a evaluar los volúmenes de agua esperables en la estación de aforo de Arnedillo en el caso de una lluvia prevista, el episodio de mayor caudal se obtuvo para una precipitación media ponderada para toda la cuenca de unos 75 mm, la cual corresponde a un volumen de precipitación de unos 40 Hm^3 , de los cuales 8,8 se recogieron en 84 horas.

ANEXO XI: CUENCA DEL SOTÓN**XI.I Descripción**

El río Sotón desemboca en el Gállego, es un río que discurre por la comarca de la Hoya de Huesca en Aragón. La subcuenca del río Sotón es una subcuenca muy compleja. Nace en la Paúl de Aniés y desciende hacia el Llano. En las cercanías de Bolet y tras unos kilómetros en dirección sur gira al sureste hacia Gurrea de Gállego. Recoge una serie de afluentes que también descienden de las sierras [<http://portal.aragon.es>].

La subcuenca vertiente del río Sotón tiene una superficie de alrededor de 193,555 Km² [<http://www.chebro.es>].

En la siguiente figura se muestra la localización de la subcuenca del Sotón dentro de la cuenca del Ebro:

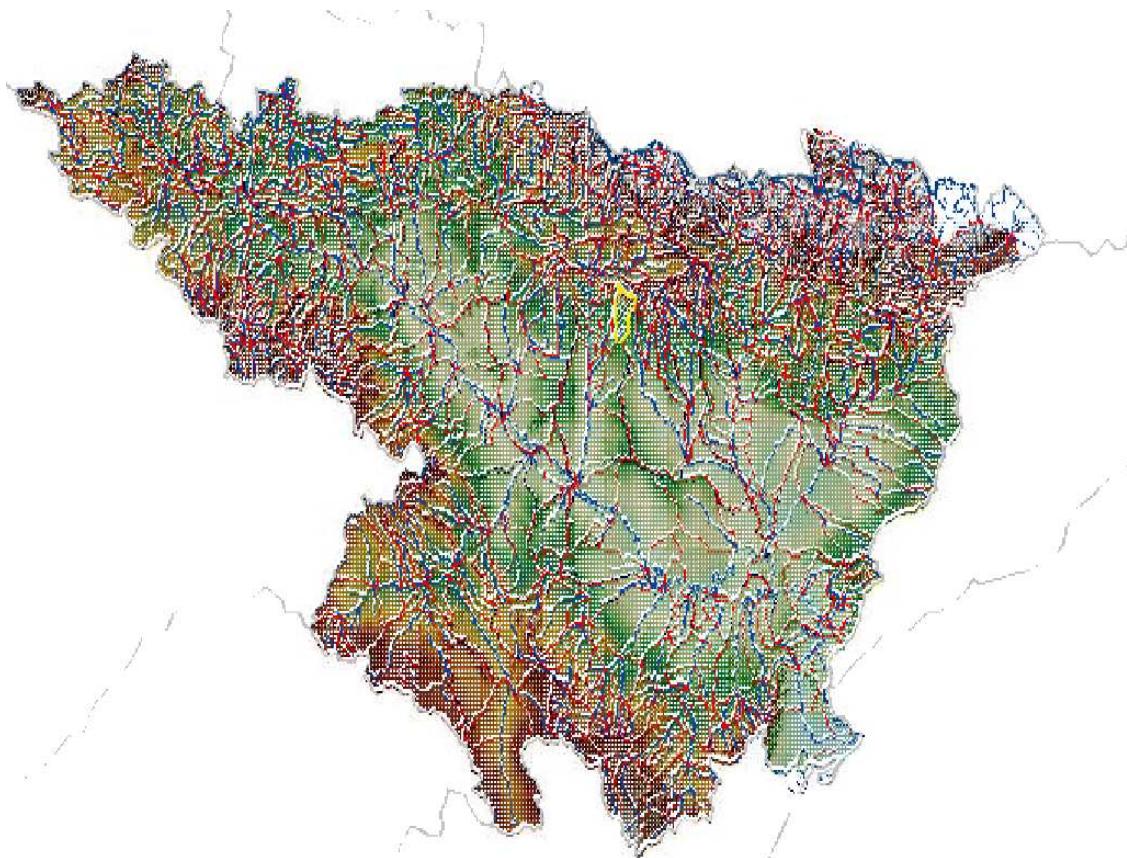


Figura XI.1 Localización geográfica; Cuenca del Sotón.

XI.II Datos de partida

Con el objeto de conocer un poco mejor la respuesta hidrológica de la subcuenca del río Sotón, se han analizado, por un lado, los caudales observados por la estación de aforo del Sotón en Ortilla (A255) situada a la salida de la subcuenca y por otro, los datos de precipitación registrados en las estaciones pluviométricas situadas en el embalse de Las Navas (E039), en el embalse de Arguís (E044), en el embalse de Sotorena (E038) y en el repetidor de Loarre (R051), las cuales rodean a la subcuenca. (Ver figura XI.2).

En la siguiente figura se muestra la localización geográfica de las estaciones citadas así como la localización del río Sotón, el cual se representa con una línea de mayor grosor:

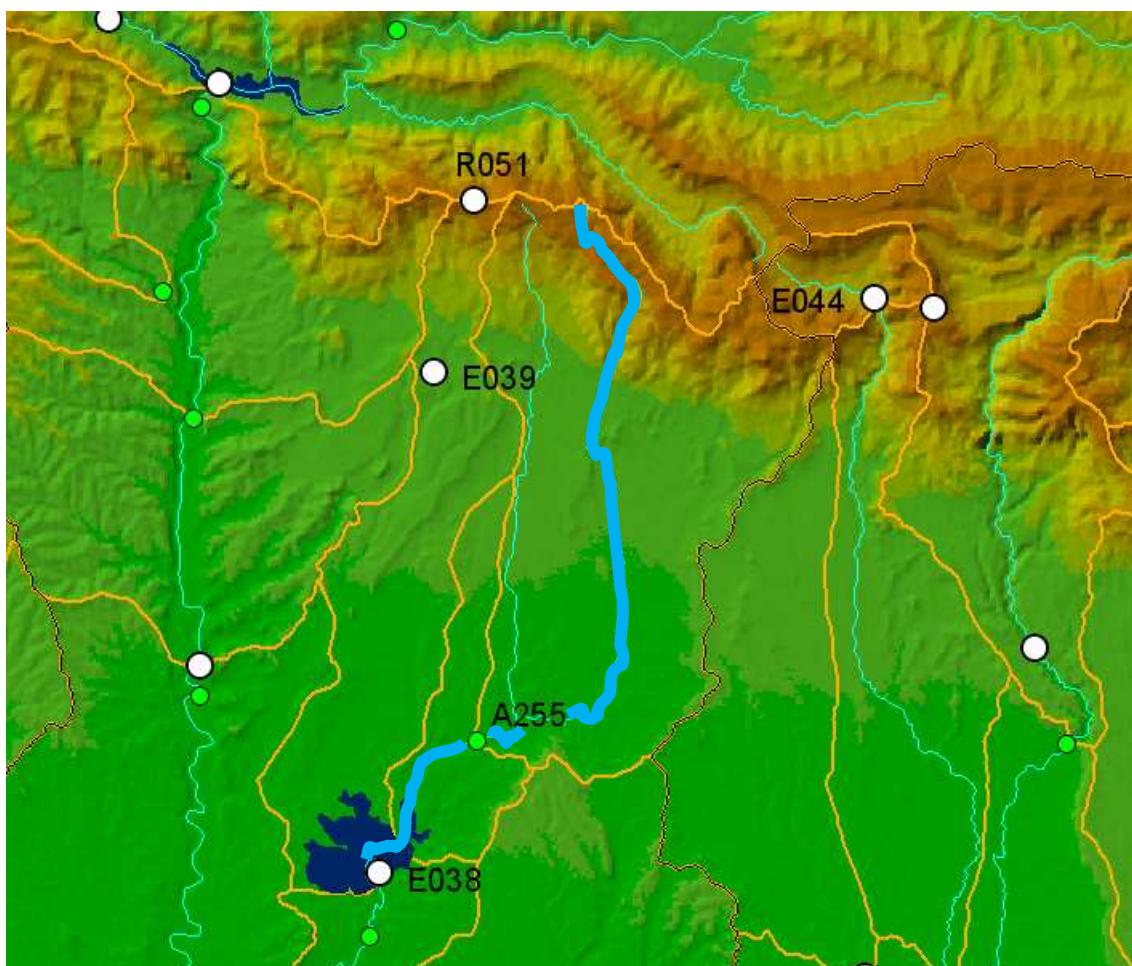


Figura XI.2 Localización de estaciones; Cuenca del Sotón.

Del análisis de las precipitaciones registradas en los pluviómetros situados en esta subcuenca, se concluye que los cuatro pluviómetros son igual de importantes, y el cálculo de la lluvia media se realiza en función del área que cubren, considerando el 100% de la superficie de la subcuenca.

Debido a que el pluviómetro del repetidor de Loarre (R051) no fue instalado hasta Mayo del 2007, la lluvia media para toda la subcuenca sin datos del pluviómetro R051 se calcula como sigue:

$$\text{Lluvia media} = \text{Precip. E039 (mm)} \cdot \frac{3}{8} + \text{Precip. E044 (mm)} \cdot \frac{3}{8} + \text{Precip. E038 (mm)} \cdot \frac{1}{4}$$

Y si se dispone de datos del pluviómetro del repetidor de Loarre, la lluvia media se calcula como:

$$\begin{aligned} \text{Lluvia media} = & (\text{Precip. E039 (mm)} + \text{Precip. R051 (mm)}) \cdot \frac{3}{16} + \text{Precip. E044 (mm)} \cdot \frac{3}{8} \\ & + \text{Precip. E038 (mm)} \cdot \frac{1}{4} \end{aligned}$$

Siendo $3/8$, $1/4$, $3/16$, los coeficientes de proporcionalidad correspondientes a cada pluviómetro, según la superficie sobre la que influye cada uno, y Precip. E039 (mm), Precip. R051 (mm), Precip. E044 (mm), Precip. E038 (mm) la cantidad de precipitación registrada en cada uno de los pluviómetros para cada episodio en milímetros.

Del análisis de los episodios acontecidos en esta subcuenca desde 1997, en total se registraron 19 crecidas en las que el caudal medido en la estación de aforo en Ortilla fue superior a los $50\text{m}^3/\text{s}$ y de entre todas ellas se han seleccionado 8 episodios para así poder establecer unas pautas de comportamiento en la relación precipitación escorrentía para esta subcuenca.

Los 8 episodios seleccionados trascurren:

- Del 31 de Diciembre de 1997 al 2 de Enero de 1998: $Q_{\text{máx}} \approx 46 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Del 9 al 11 de Junio del 2000: $Q_{\text{máx}} \approx 171 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Del 21 al 22 de Octubre del 2000: $Q_{\text{máx}} \approx 160 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Del 7 al 9 de Marzo del 2001: $Q_{\text{máx}} \approx 90 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Del 26 al 29 de Febrero de 2003: $Q_{\text{máx}} \approx 81 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Del 7 al 9 Septiembre de 2004: $Q_{\text{máx}} \approx 173 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Del 1 al 3 de Abril de 2007: $Q_{\text{máx}} \approx 99 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Del 23 al 25 de Mayo del 2008: $Q_{\text{máx}} \approx 58 \text{ m}^3/\text{s}$.

XI.III Análisis de episodios

XI.III.I Episodio del 31 de Diciembre de 1997 al 2 de Enero de 1998

En la siguiente tabla partimos como datos de entrada de la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como del volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Ortilla durante este episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	
	Arguís (E044)	46,3mm
	Sotorena (E038)	23,3mm
	Las Navas (E039)	34,1mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 2,23Hm ³

Tabla XI.1 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, episodio del 31 de Diciembre de 1997 al 2 de Enero de 1998.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 31 de Diciembre de 1997 al 2 de Enero de 1998.

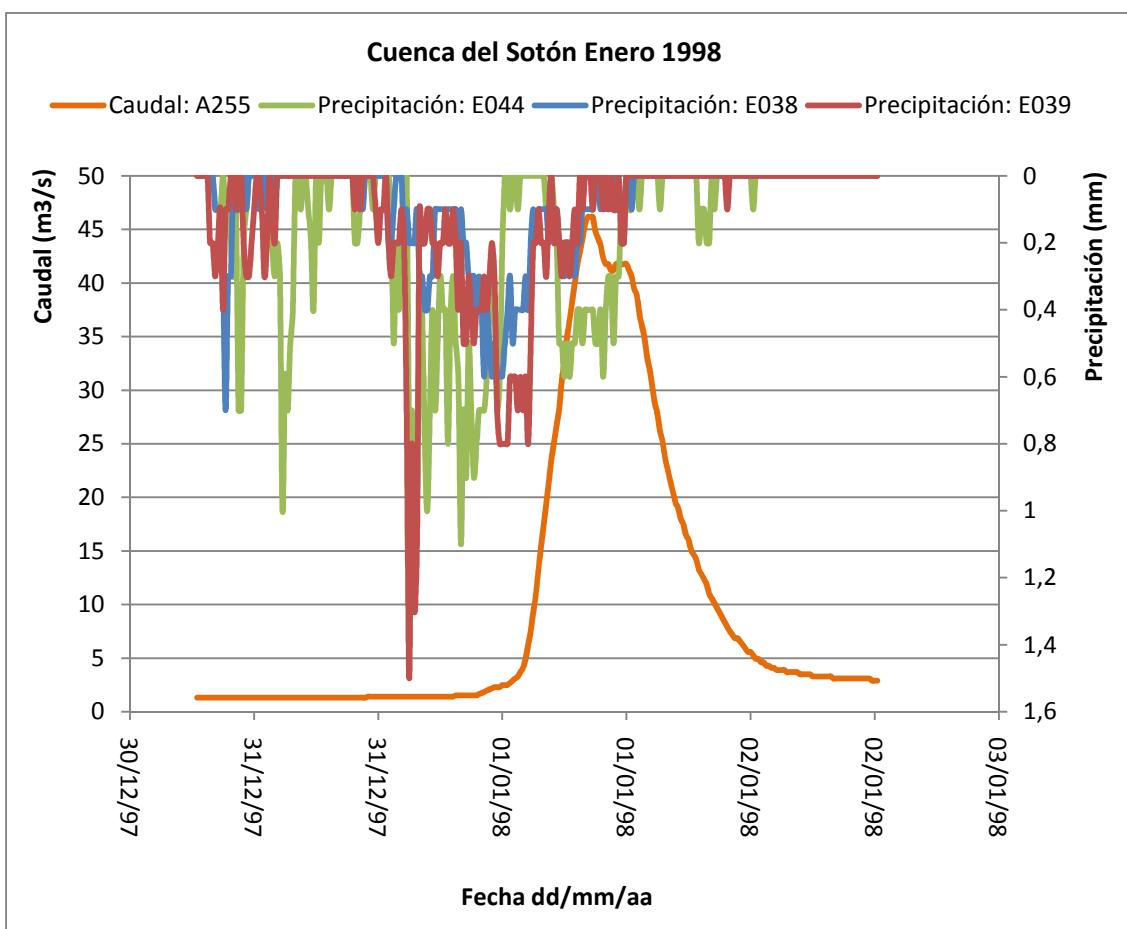


Figura XI.3 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 31 de Diciembre de 1997 al 2 de Enero de 1998.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

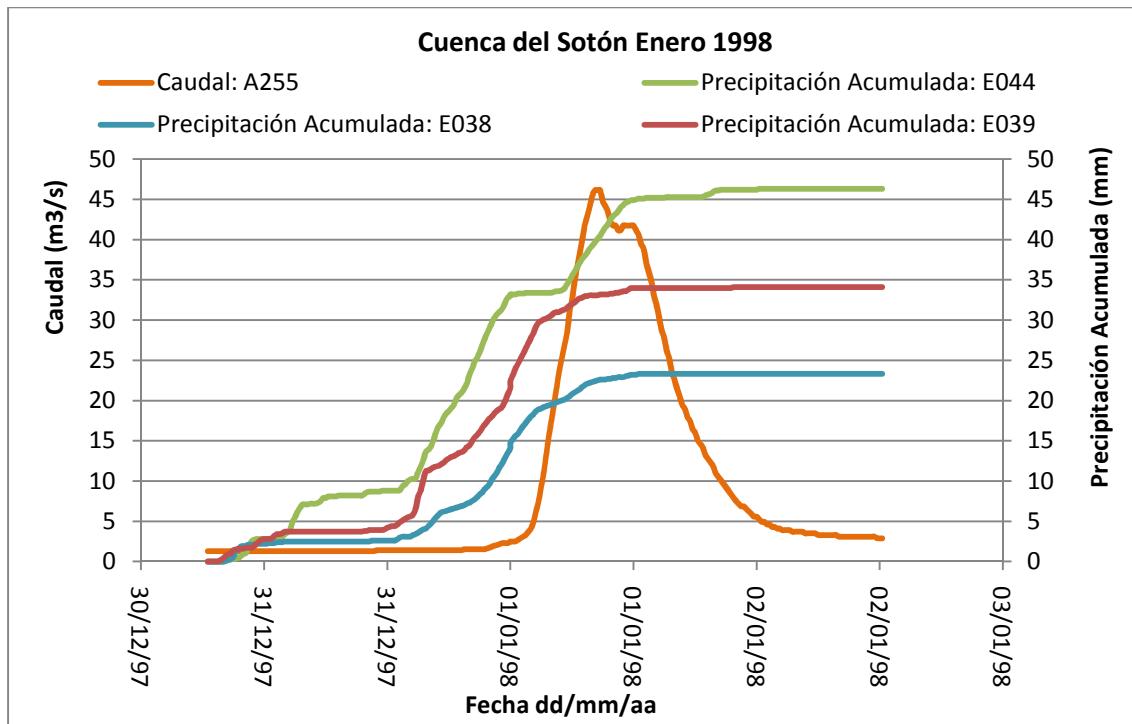


Figura XI.4 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 31 de Diciembre de 1997 al 2 de Enero de 1998.

Una vez analizados los datos de partida, se realizan los cálculos tal y como se explica en el capítulo 4 de la memoria, que permitan obtener los datos que caractericen este episodio. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	35,975mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	23h
Volumen de Precipitación	6,95Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	25,75h
Duración Episodio	46,75h	t_{picos}	5,75h
Volumen de escorrentía	1,99Hm ³	Escorrentía	28,64%
Volumen Q_{base}	0,18 Hm ³	Escorrentía directa	26,08%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	1,81Hm ³	Escorrentía indirecta	2,56%
$Q_{\text{máx}}$	46,14m ³ /s	Umbral precipitación	17mm

Tabla XI.2 Resultados obtenidos en el episodio del 31 de Diciembre de 1997 al 2 de Enero de 1998; Cuenca del Sotón.

XI.III.II Episodio del 9 al 11 de Junio del 2000

En este caso, al observar las gráficas que muestran la avenida producida entre el 9 y el 11 de Junio del 2000 (figuras XI.5 y XI.6), se ha dividido el episodio y se ha analizado como dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 9 hasta el 12 de Junio del 2000.

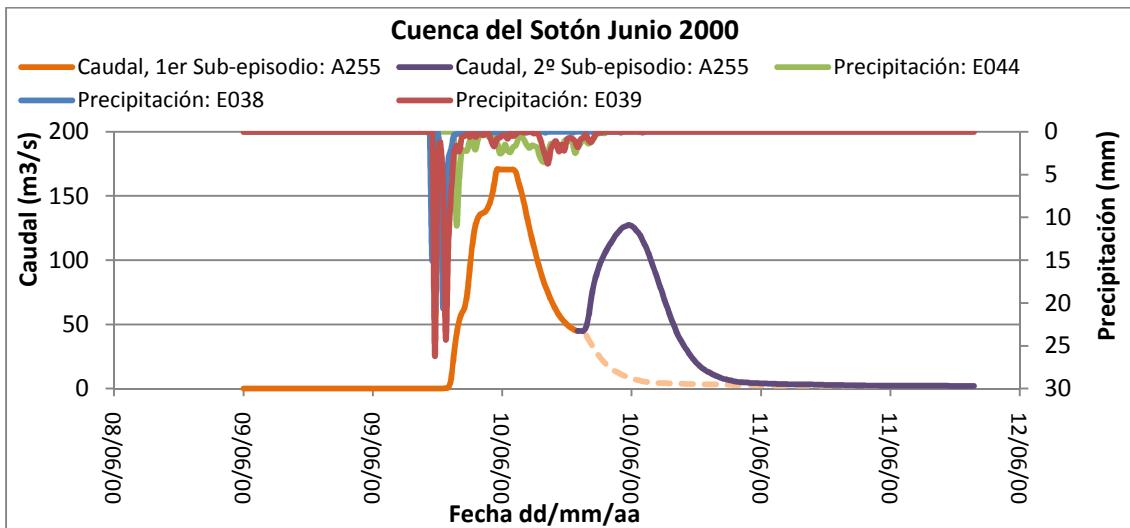


Figura XI.5 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 9 al 11 de Junio del 2000.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

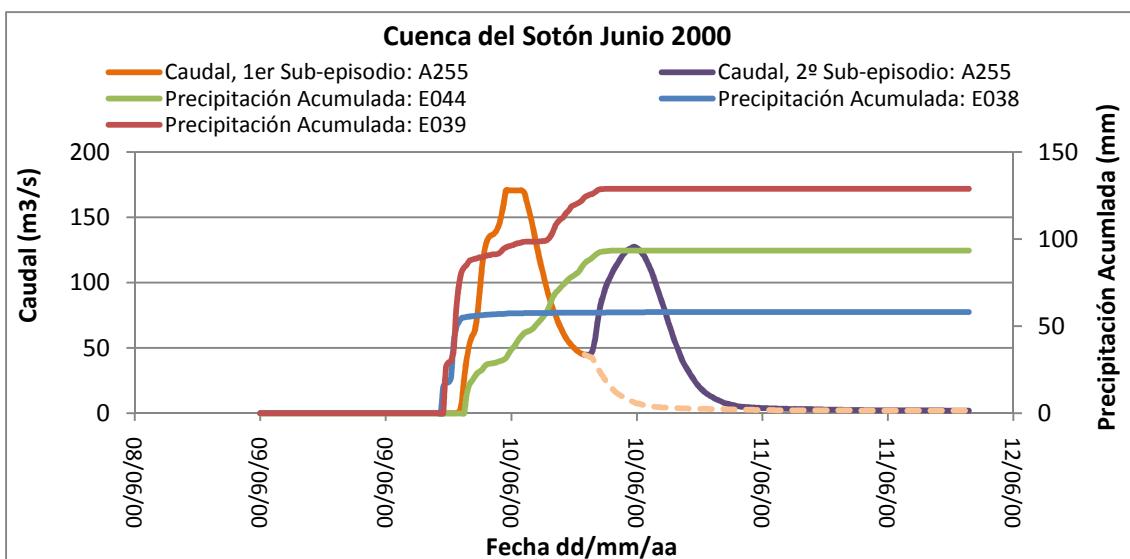


Figura XI.6 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 9 al 11 de Junio del 2000.

Análisis del primer sub-episodio:

Si se produjese este sub-episodio aisladamente, es decir independientemente del sub-episodio posterior, la crecida en el río se daría desde el 9 hasta el 11 de Junio del 2000, momento en el cual se recuperaría el flujo base que se tenía en el Sotón antes del aguacero. Para realizar los cálculos y analizar este sub-episodio por separado se ha supuesto un caudal de bajada, que es el que figura en la gráfica con línea discontinua.

En la siguiente tabla se muestran los datos de entrada para el análisis de este sub-episodio: la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	
	Arguís (E044)	28,8mm
	Sotorena (E038)	56,9mm
	Las Navas (E039)	91,3mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 5,2Hm ³

Tabla XI.3 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, primer sub-episodio del episodio del 9 al 11 de Junio del 2000.

Una vez extraídos los datos se realizan los cálculos que se indican en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	59,2mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	12,5h
Volumen de Precipitación	11,46Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	5h
Duración Episodio	49,25h	t_{picos}	3,5h
Volumen de escorrentía	5,16Hm ³	Escorrentía	45,1%
Volumen Q_{base}	0,68Hm ³	Escorrentía directa	39,15%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	4,48Hm ³	Escorrentía indirecta	5,95%
$Q_{\text{máx}}$	170,7m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla XI.4 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 9 al 11 de Junio del 2000; Cuenca del Sotón.

A la hora de establecer pautas de comportamiento o conclusiones se debe tener en cuenta que este sub-episodio es provocado por una lluvia de alta intensidad y la primera precipitación que se registra en los pluviómetros es muy intensa y escurre por la superficie: se recogen 15mm de lluvia en 15 minutos en Sotorena. El intenso aguacero se va registrando en todos los pluviómetros en diferentes instantes. El momento en el que el aguacero alcanza su máximo de intensidad es cuando se encuentra en la zona del pluviómetro de Las Navas en el que se llega a registrar una precipitación de 26,1mm en tan sólo 15 minutos.

Además, el volumen de precipitación utilizado para el análisis de este sub-episodio es el que se registra en los pluviómetros hasta aproximadamente el momento en el que en la estación de aforo se registra el caudal máximo, exactamente hasta el día 9 a las 22:15h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Este sub-episodio transcurre desde el 10 hasta el 11 de Junio del 2000 y al analizarlo se tiene en cuenta lo que sabemos del sub-episodio anterior a la hora de establecer unas condiciones iniciales de partida.

Según los datos recogidos, en la siguiente tabla se muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	
	Arguís (E044)	64,9mm
	Sotorena (E038)	1,4mm
	Las Navas (E039)	38mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 3,65Hm ³

Tabla XI.5 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, segundo sub-episodio del episodio del 9 al 11 de Junio del 2000.

Con los datos registrados se realizan los cálculos que caracterizan este sub-episodio como se detalla en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	38,93mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	9,25h
Volumen de Precipitación	7,53Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	11h
Duración Episodio	27,75h	t_{picos}	4,75h
Volumen de escorrentía	2,9Hm ³	Escorrentía	38,62%
Volumen Q_{base}	0,3Hm ³	Escorrentía directa	34,6%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	2,6Hm ³	Escorrentía indirecta	4,02%
$Q_{\text{máx}}$	127,5m ³ /s	Umbrales precipitación	11,5mm

Tabla XI.6 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del 9 al 11 de Junio del 2000; Cuenca del Sotón.

A la hora de establecer unas pautas de comportamiento o conclusiones hay que tener en cuenta que el terreno se encuentra muy húmedo ya que un día antes se ha producido un episodio.

XI.III.III Episodio del 21 al 22 de Octubre del 2000

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Ortilla durante este episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	
	Arguís (E044)	11,3mm
	Sotorena (E038)	124,2mm
	Las Navas (E039)	152,2mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 2,84Hm ³

Tabla XI.7 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, episodio del 21 al 22 de Octubre del 2000.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

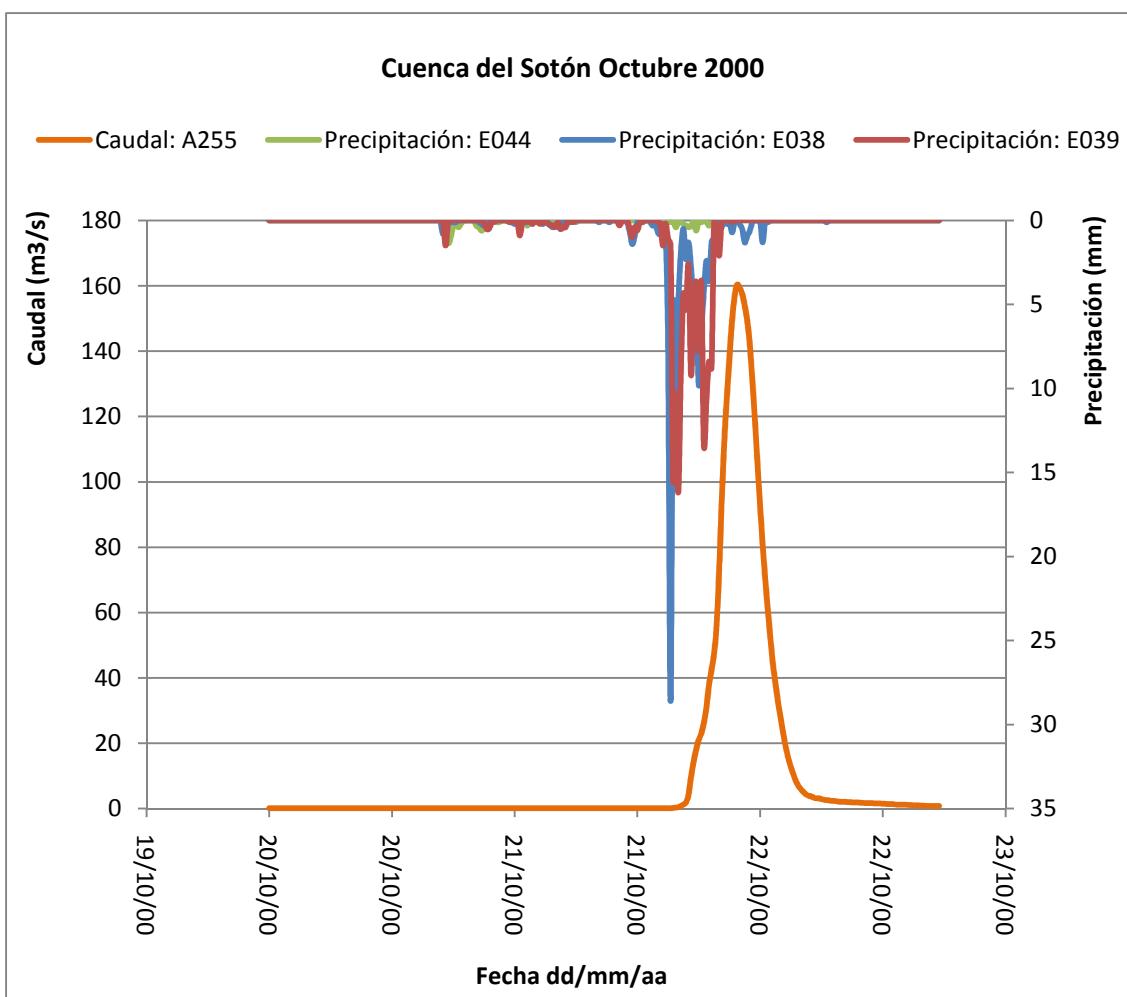


Figura XI.7 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 21 al 22 de Octubre del 2000.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

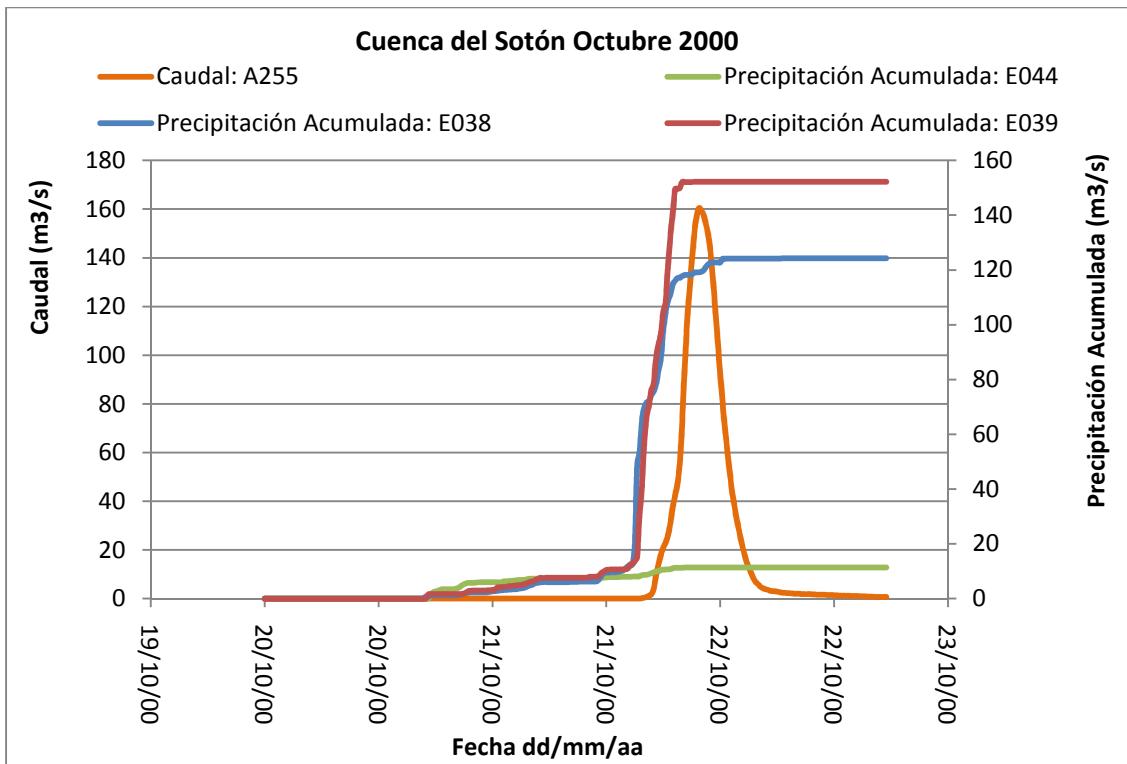


Figura XI.8 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 21 al 22 de Octubre del 2000.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio a partir de los cálculos detallados en el capítulo 4 de la memoria:

Lluvia media	92,36mm	Duración Q_{\max}	12,5h
Volumen de Precipitación	11,85Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	8,25h
Duración Episodio	26,25h	t_{picos}	5,75h
Volumen de escorrentía	2,83Hm ³	Escorrentía	15,9%
Volumen Q_{base}	0,089Hm ³	Escorrentía directa	15,4%
Volumen Q_{\max}	2,74Hm ³	Escorrentía indirecta	0,5%
Q_{\max}	160,36m ³ /s	Umbral precipitación	13,07mm

Tabla XI.8 Resultados obtenidos en el episodio del 21 al 22 de Octubre del 2000; Cuenca del Sotón.

Al establecer pautas de comportamiento y conclusiones se debe tener en cuenta que este episodio es provocado por una lluvia de alta intensidad, el umbral que se encuentra indicado en la tabla XI.8, de 13,07mm es la cantidad de precipitación que han registrado los pluviómetros antes de producirse la precipitación intensa, la cual se va registrando en los pluviómetros E044, E038, E039 en diferentes instantes. El aguacero alcanza su máximo de intensidad en la zona del pluviómetro de Sotorená en el que se registra una precipitación de 28,6mm en tan sólo 15 minutos.

XI.III.IV Episodio del 7 al 9 de Marzo del 2001

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Ortilla durante este episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	
	Arguís (E044)	17,5mm
	Sotorena (E038)	23,7mm
	Las Navas (E039)	14mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 1,97Hm ³

Tabla XI.9 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, episodio del 7 al 9 de Marzo del 2001.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

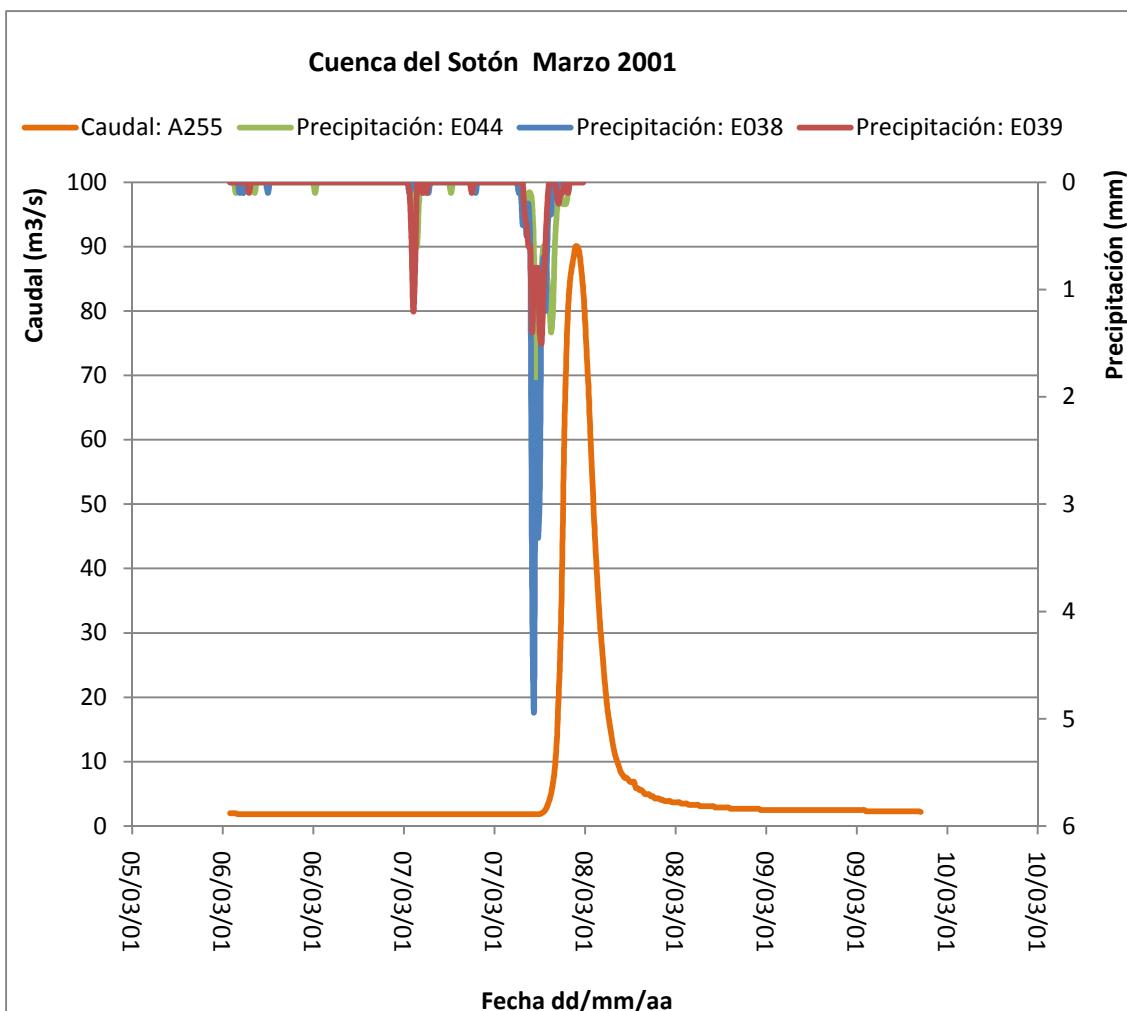


Figura XI.9 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 7 al 9 de Marzo del 2001.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

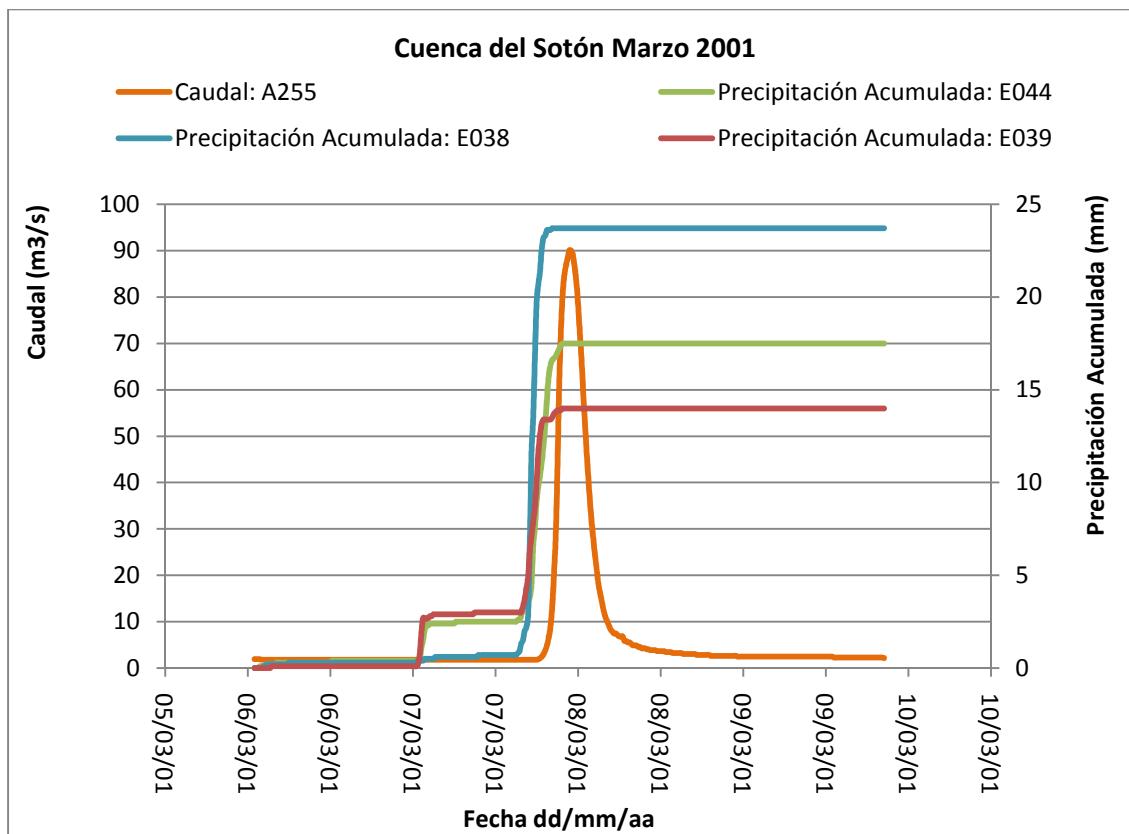


Figura XI.10 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 7 al 9 de Marzo del 2001.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	17,73mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	9,5h
Volumen de Precipitación	3,43 Hm^3	$t_{\text{Precipitación}}$	8,5h
Duración Episodio	44,75h	t_{picos}	5,5h
Volumen de escorrentía	1,64 Hm^3	Escorrentía	47,9%
Volumen Q_{base}	0,21 Hm^3	Escorrentía directa	41,6%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	1,43 Hm^3	Escorrentía indirecta	6,3%
$Q_{\text{máx}}$	90 m^3/s	Umbral precipitación	10,2mm

Tabla XI.10 Resultados obtenidos en el episodio del 7 al 9 de Marzo del 2001; Cuenca del Sotón.

Al analizar los resultados de este episodio se debe tener en cuenta que en el momento en el que los depósitos superficiales se saturan y la precipitación comienza a escurrir por la superficie, la lluvia media en la cuenca es de 10,2mm como se indica en la tabla XI.10 pero el pluviómetro de Sotorenha ya ha registrado una precipitación de 19,7mm.

XI.III.V Episodio del 26 al 29 de Febrero del 2003

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Ortilla durante este episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	
	Arguís (E044)	57,6mm
	Sotorena (E038)	26,3mm
	Las Navas (E039)	38,6mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 2,61Hm ³

Tabla XI.11 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, episodio del 26 al 29 de Febrero del 2003.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

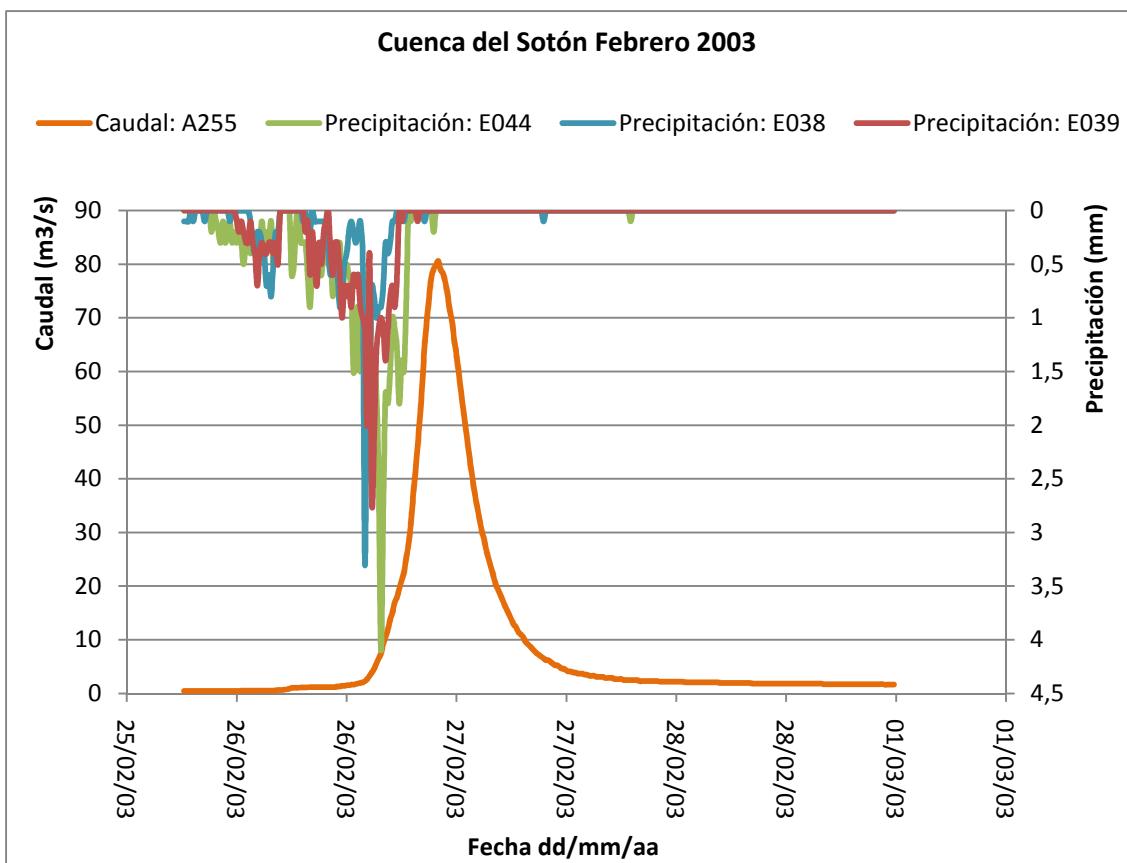


Figura XI.11 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 26 al 29 de Febrero del 2003.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

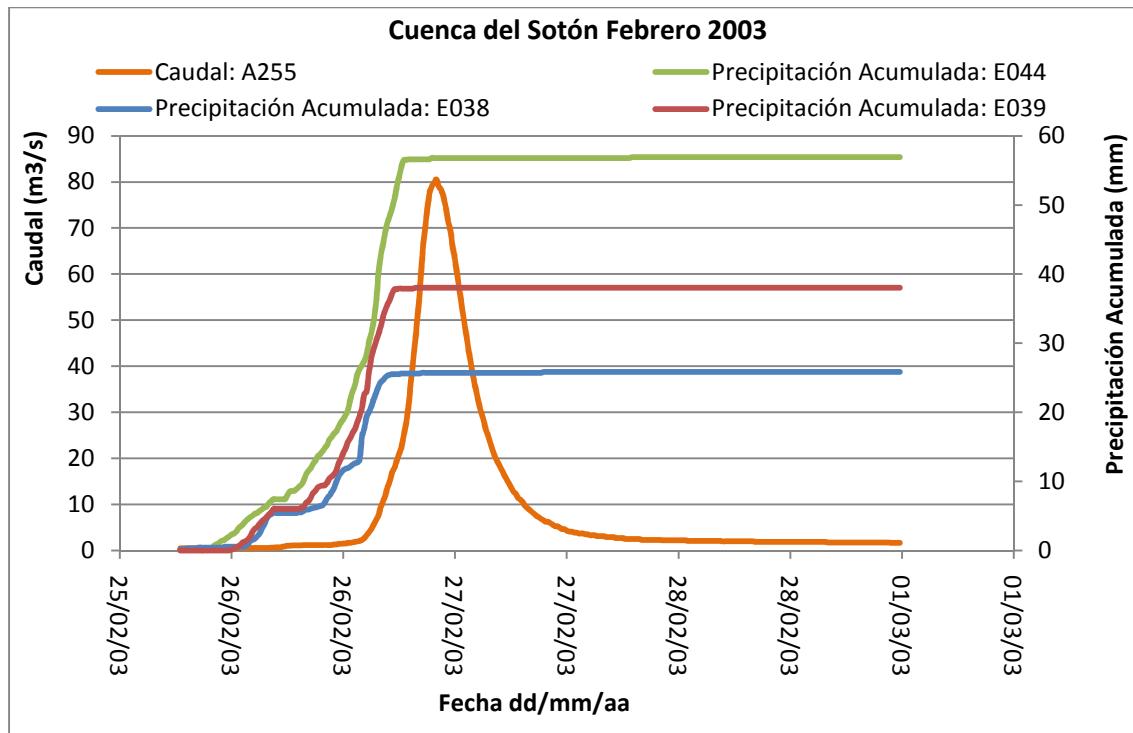


Figura XI.12 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 26 al 29 de Febrero del 2003.

Una vez analizados los datos de partida se realizan los cálculos que permitirán caracterizar este episodio tal y como se indica en el capítulo 4 de la memoria. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

Lluvia media	42,65mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	18h
Volumen de Precipitación	8,25Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	20,75h
Duración Episodio	58,75h	t_{picos}	6,25h
Volumen de escorrentía	2,23Hm ³	Escorrentía	27,2%
Volumen Q_{base}	0,14Hm ³	Escorrentía directa	25,4%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	2,09Hm ³	Escorrentía indirecta	1,8%
$Q_{\text{máx}}$	80,57m ³ /s	Umbral precipitación	15,9mm

Tabla XI.12 Resultados obtenidos en el episodio del 26 al 29 de Febrero del 2003; Cuenca del Sotón.

Como condiciones iniciales de partida tenemos que el terreno está húmedo porque en torno al 23 de este mismo mes se registraron precipitaciones importantes sobre esta subcuenca.

XI.III.VI Episodio del 7 al 9 de Septiembre del 2004

Según los datos recogidos, la siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo de Ortilla durante este episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	
	Arguís (E044)	53,2mm
	Sotorena (E038)	121,9mm
	Las Navas (E039)	102,6mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 4,8Hm ³

Tabla XI.13 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, episodio del 7 al 9 de Septiembre del 2004.

En la siguiente gráfica se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas correspondientes al episodio de avenida.

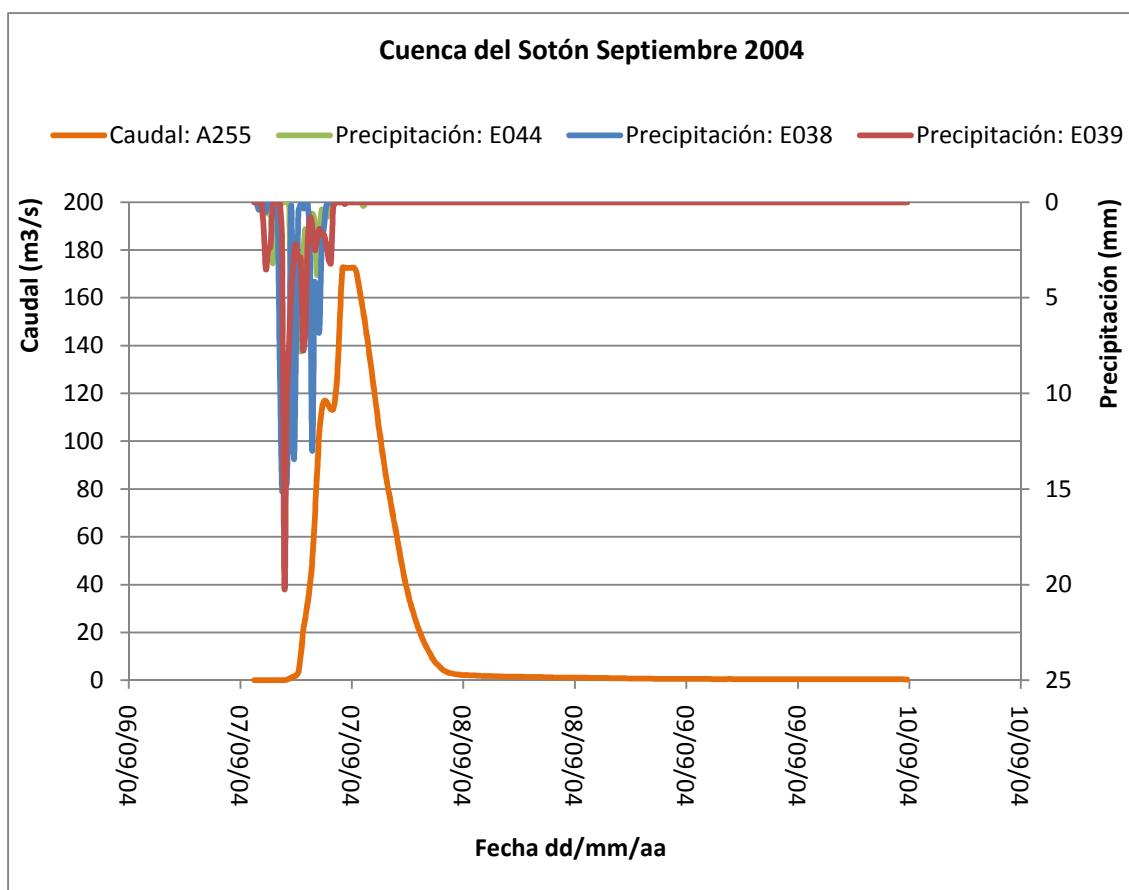


Figura XI.13 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 7 al 9 de Septiembre del 2004.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros durante este episodio:

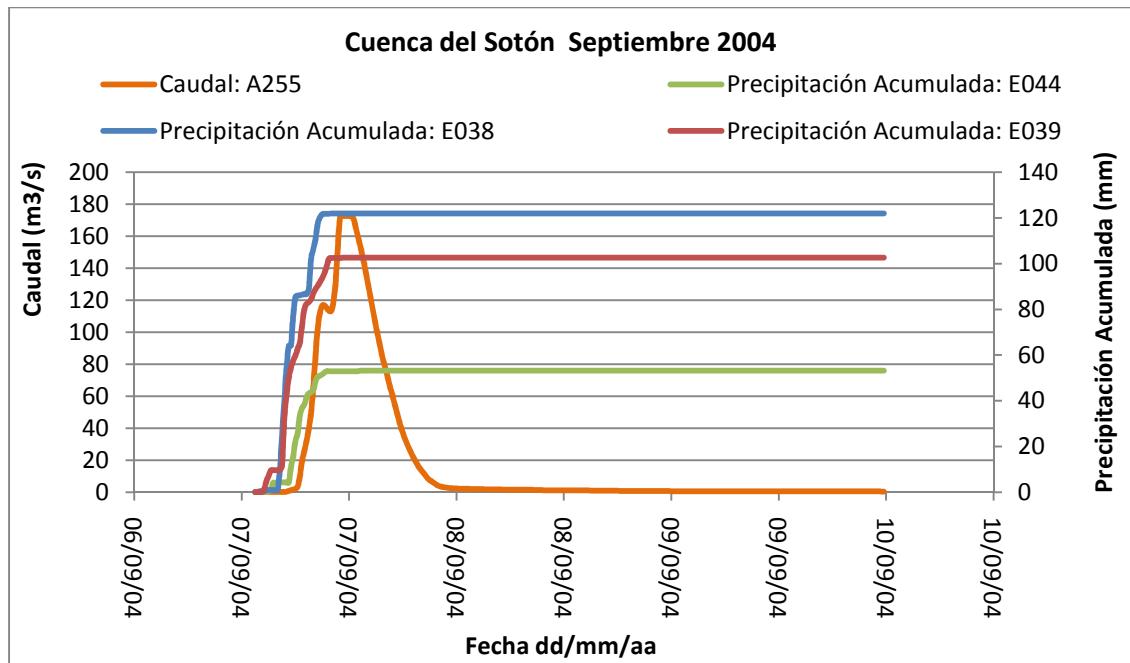


Figura XI.14 Caudal y precipitación acumulada registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 7 al 9 de Septiembre del 2004.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este episodio:

Lluvia media	88,9mm	Duración $Q_{\text{máx}}$	16,25h
Volumen de Precipitación	17,19Hm ³	$t_{\text{Precipitación}}$	4,25h
Duración Episodio	67h	t_{picos}	4,25h
Volumen de escorrentía	4,75Hm ³	Escorrentía	27,64%
Volumen Q_{base}	0,16Hm ³	Escorrentía directa	26,7%
Volumen $Q_{\text{máx}}$	4,59Hm ³	Escorrentía indirecta	0,94%
$Q_{\text{máx}}$	172,5m ³ /s	Umbral precipitación	5,35mm

Tabla XI.14 Resultados obtenidos en el episodio del 7 al 9 de Septiembre del 2004; Cuenca del Sotón.

Se va a tener en cuenta que se trata de un episodio provocado por una lluvia de alta intensidad: el umbral indicado de 5,35mm es la precipitación media registrada en la subcuenca antes de producirse la precipitación intensa, la cual se va registrando en los pluviómetros E044, E038, E039 en diferentes instantes. El aguacero alcanza su intensidad máxima en la zona del pluviómetro de Sotorená donde se registra una precipitación de 54,4mm en 1 hora.

XI.III.VII Episodio del 1 al 3 de Abril del 2007

En este caso, a la vista de las gráficas donde se muestra el evento del episodio (figuras XI.15 y XI.16), se divide el episodio en dos y se analizan los datos como dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 1 hasta el 3 de Abril del 2007.

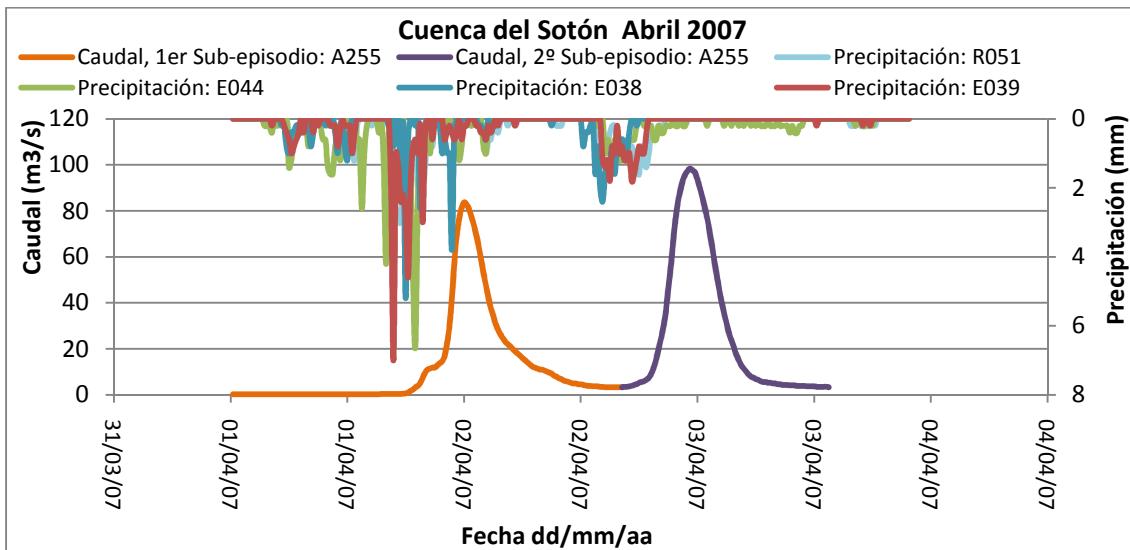


Figura XI.15 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 1 al 3 de Abril 2007.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros para el episodio completo:

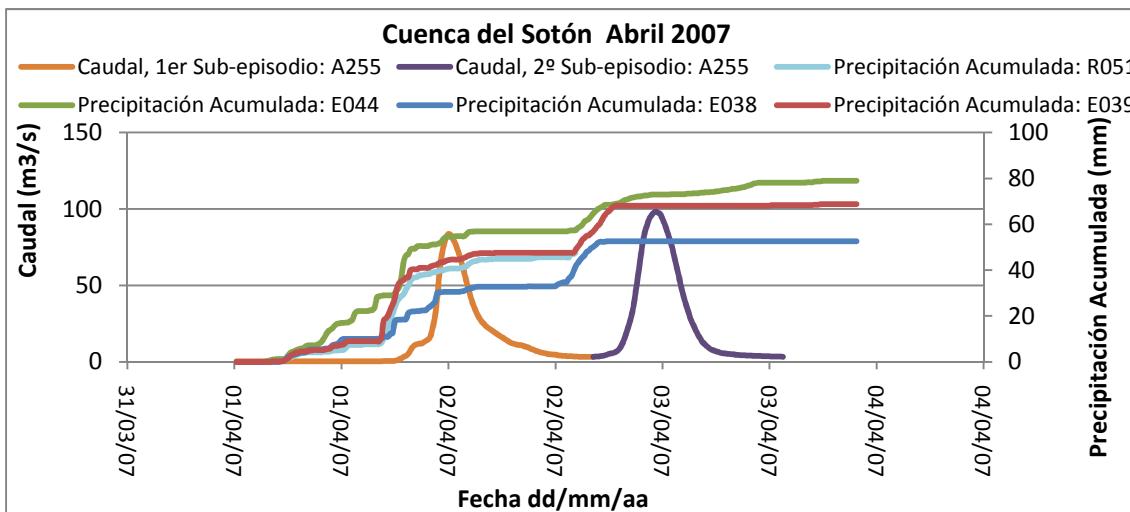


Figura XI.16 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 1 al 3 de Abril 2007.

Análisis del primer sub-episodio:

Si este sub-episodio se produjese independientemente del sub-episodio posterior, la crecida de caudal en el río se daría desde el 1 hasta el 2 de Abril del 2007, momento en el cual se recuperaría el flujo base que se tenía en el Sotón antes del aguacero.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	45mm
	Arguís (E044)	57mm
	Sotorena (E038)	32,8mm
	Las Navas (E039)	47,6mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 1,7Hm ³

Tabla XI.15 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, primer sub-episodio del episodio del 1 al 3 de Abril 2007.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	46,9mm	Duración Q _{máx}	18h
Volumen de Precipitación	9,08Hm ³	t _{Precipitación}	17,75h
Duración Episodio	23,5h	t _{picos}	4,75h
Volumen de escorrentía	1,67Hm ³	Escorrentía	18,34%
Volumen Q _{base}	0,07Hm ³	Escorrentía directa	17,58%
Volumen Q _{máx}	1,6Hm ³	Escorrentía indirecta	0,76%
Q _{máx}	83,58m ³ /s	Umbral precipitación	13,9mm

Tabla XI.16 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 1 al 3 de Abril 2007; Cuenca del Sotón.

A la hora de hacer los cálculos queremos señalar que la cantidad de precipitación a partir del día 2 a las 5:30h se considera como parte del segundo sub-episodio y no de este primero y, al establecer las pautas de comportamiento, se tiene en cuenta que en el momento en el que los depósitos superficiales se saturan y la precipitación comienza a escurrir por la superficie, la lluvia media en la cuenca es de 13,9mm como se indica en la tabla XI.16 pero el pluviómetro de Arguís ya ha registrado 22mm.

Análisis del segundo sub-episodio:

Analizado independientemente, este sub-episodio se produjo desde el 2 hasta el 3 de Abril del 2007, momento en el cual se recuperaría el flujo base que se tenía en el Sotón antes del aguacero.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	19,6mm
	Arguís (E044)	16mm
	Sotorena (E038)	19,8mm
	Las Navas (E039)	20,6mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 2,1Hm ³

Tabla XI.17 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, segundo sub-episodio del episodio del 1 al 3 de Abril 2007.

Una vez realizados los cálculos, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Lluvia media	18,5mm	Duración Q _{máx}	12,25h
Volumen de Precipitación	3,57Hm ³	t _{Precipitación}	9h
Duración Episodio	21,25h	t _{picos}	6h
Volumen de escorrentía	1,84Hm ³	Escorrentía	51,5%
Volumen Q _{base}	0,06Hm ³	Escorrentía directa	49,9%
Volumen Q _{máx}	1,78Hm ³	Escorrentía indirecta	1,6%
Q _{máx}	98,34m ³ /s	Umbral precipitación	0mm

Tabla XI.18 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 1 al 3 de Abril 2007; Cuenca del Sotón.

A la hora del análisis de los resultados de este episodio se debe tener en cuenta que se parte de condiciones iniciales de terreno húmedo y las lluvias a partir del día 2 a las 23:00h no han sido consideradas a la hora de estimar la lluvia media para toda la subcuenca.

XI.III.VIII Episodio del 23 al 25 de Mayo del 2008

En este caso, el episodio de avenida se analiza en dos sub-episodios independientes.

A continuación se representan los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas desde el 23 hasta el 25 de Mayo del 2008.

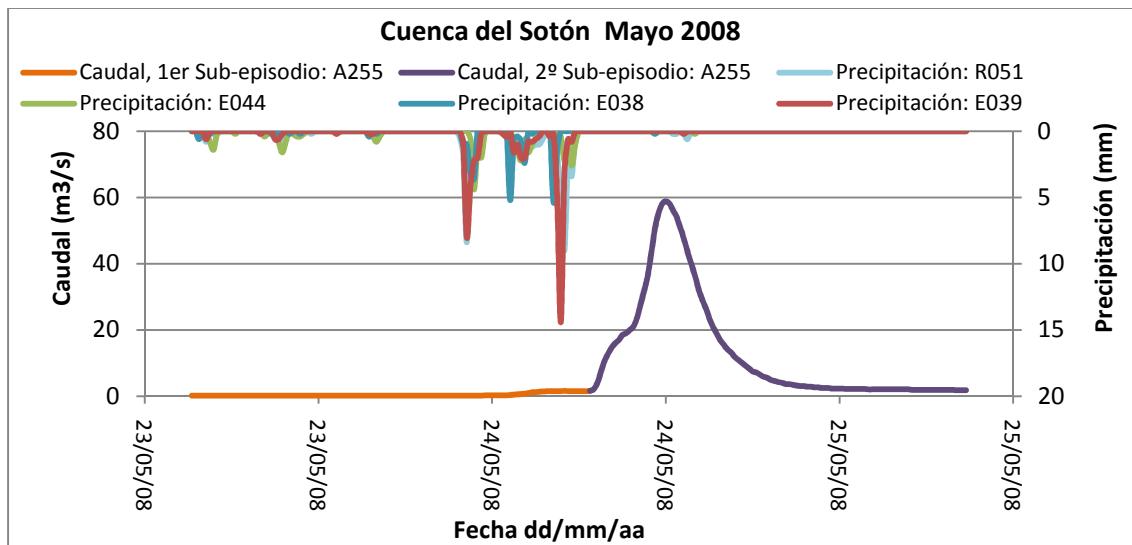


Figura XI.17 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 23 al 25 de Mayo del 2008.

La siguiente gráfica representa los datos quince-minutales del caudal medido en la estación de aforo y las precipitaciones acumuladas en cada uno de los pluviómetros en el episodio completo:

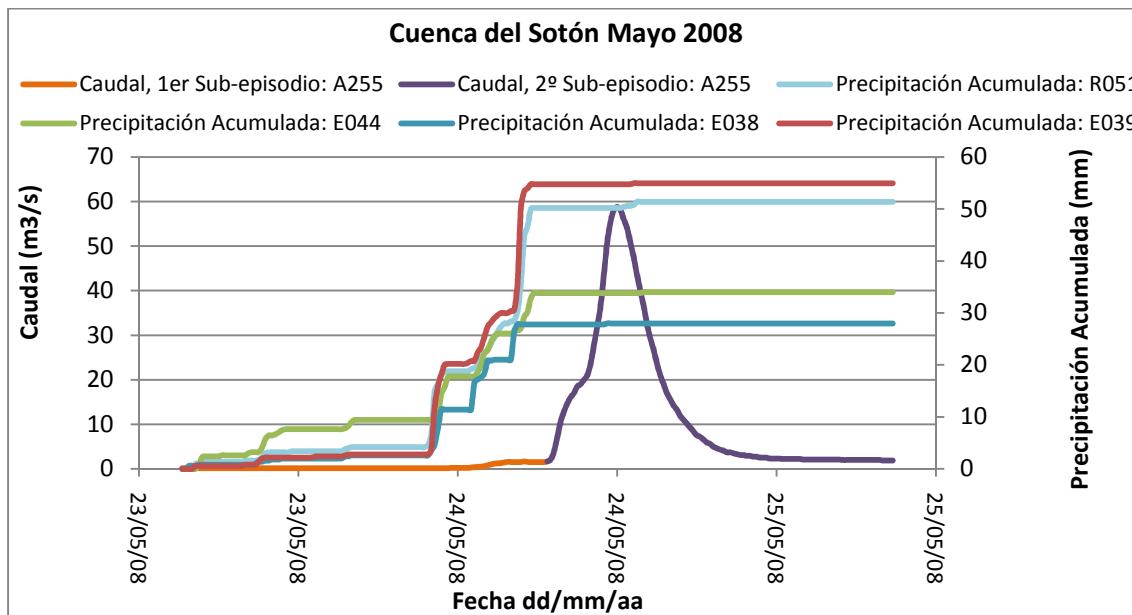


Figura XI.18 Caudal y precipitación registrados en las estaciones. Cuenca del Sotón, episodio del 23 al 25 de Mayo del 2008.

Análisis del primer sub-episodio:

Este sub-episodio es un episodio de precipitación en el que aumenta muy poco el caudal registrado en la estación de Ortilla y que se produjo entre el 23 y el 24 de Mayo del 2008.

La siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	18,8mm
	Arguís (E044)	17,8mm
	Sotorena (E038)	11,4mm
	las Navas (E039)	20,2mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 0,026Hm ³

Tabla XI.19 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, primer sub-episodio del episodio del 23 al 25 de Mayo del 2008.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	16,8mm	Duración Q _{máx}	
Volumen de Precipitación	3,25Hm ³	t _{Precipitación}	4,25h
Duración Episodio	7h	t _{picos}	
Volumen de escorrentía	0,022Hm ³	Escorrentía	0,7%
Volumen Q _{base}		Escorrentía directa	
Volumen Q _{máx}		Escorrentía indirecta	
Q _{máx}		Umbral precipitación	16,8mm

Tabla XI.20 Resultados obtenidos en el primer sub-episodio del episodio del 23 al 25 de Mayo del 2008; Cuenca del Sotón.

No se forma un pico bien definido por lo que no se diferencia entre volumen Q_{base} y volumen Q_{máx} y por consiguiente tampoco se distingue entre escorrentía directa y escorrentía indirecta. Por otra parte, a la hora de realizar los cálculos, la cantidad de precipitación considerada en este sub-episodio es la que se registra en los pluviómetros hasta el día 24 de Mayo a las 0:30h.

Análisis del segundo sub-episodio:

Si se produjese este episodio independientemente del sub-episodio anterior, la crecida en el río se daría desde el 24 hasta el 25 de Mayo del 2008, momento en el cual se recuperaría el flujo base que se tenía en el Sotón antes del aguacero.

Según los datos recogidos, la siguiente tabla muestra la lluvia total (precipitación) registrada en cada uno de los pluviómetros situados en esta subcuenca así como el volumen total de agua registrado en la estación de aforo durante este sub-episodio:

Precipitación	Loarre (R051)	32,6mm
	Arguís (E044)	16,2mm
	Sotorena (E038)	16,6mm
	Las Navas (E039)	34,2mm
	Volumen total	Ortilla (A255) 1,23Hm ³

Tabla XI.21 Datos extraídos de las estaciones pluviométricas y de la estación de aforo; Cuenca del Sotón, segundo sub-episodio del episodio del 23 al 25 de Mayo del 2008.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para este sub-episodio:

Lluvia media	22,85mm	Duración Q _{máx}	11h
Volumen de Precipitación	4,41Hm ³	t _{Precipitación}	4,5h
Duración Episodio	25,75h	t _{picos}	6,5h
Volumen de escorrentía	1,21Hm ³	Escorrentía	24,47%
Volumen Q _{base}	0,13Hm ³	Escorrentía directa	24,42%
Volumen Q _{máx}	1,08Hm ³	Escorrentía indirecta	3,05%
Q _{máx}	58,11m ³ /s	Umbral precipitación	4,975mm

Tabla XI.22 Resultados obtenidos en el segundo sub-episodio del episodio del 23 al 25 de Mayo del 2008; Cuenca del Sotón.

El umbral de precipitación se calcula para el episodio completo y se realiza a partir del análisis conjunto de los dos sub-episodios, sumando los umbrales de precipitación calculados en cada sub-episodio (véase tabla XI.22 y tabla XI.20) y obteniendo un valor de 21,775mm.

X.IV Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de los episodios se determinan unas pautas de comportamiento de la subcuenca del Sotón con respecto a su respuesta hidrológica ante una precipitación.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos de los resultados obtenidos de los episodios analizados:

Episodio (fecha)	Qmáx (m ³ /s)	Duración Qmáx (h)	Vol. Qmáx (Hm ³)	Vol. Base (Hm ³)	Vol. Escorrentía A255 (Hm ³)	T Precip. (h)	R051 (mm)	E044 (mm)	E038 (mm)	E039 (mm)	Vol. Precip. (Hm ³)	Escorrentía (%)	T entre picos (h)
31 Diciembre al 2 Enero 1998	46,14	23	1,81	0,18	1,99	25,75		46,3	23,3	34,1	6,95	28,64	5,75
9 al 11 Junio 2000	170,7	12,5	4,48	0,68	5,16	5		28,8	56,9	91,3	11,46	45,1	3,5
	127,5	9,25	2,6	0,3	2,9	11		64,9	1,4	38	7,53	38,62	4,75
21 al 22 Octubre 2000	160,36	12,5	2,74	0,089	2,83	8,25		11,3	124,2	152,2	17,86	15,9	5,75
7 al 9 Marzo 2001	90	9,5	1,43	0,21	1,64	8,5		17,5	23,7	14	3,43	47,9	5,5
26 al 29 Febrero 2003	80,57	18	2,09	0,14	2,23	20,75		57,6	26,3	38,6	8,25	27,2	6,25
7 al 9 Septiembre 2004	172,5	16,25	4,59	0,16	4,75	4,25		53,2	121,9	102,6	17,19	27,64	4,25
1 al 3 Abril 2007	83,58	18	1,6	0,07	1,67	17,75	45	57	32,8	47,6	9,08	18,34	4,75
	98,34	12,25	1,78	0,06	1,84	9	19,6	16	19,8	20,6	3,57	51,5	6
23 al 25 Mayo 2008					0,022	4,25	18,8	17,8	11,4	20,2	3,25	0,7	
	58,11	11	1,08	0,13	1,21	4,5	32,6	16,2	16,6	34,6	4,41	24,47	6,5

Tabla XI.23 Resumen de resultados de la cuenca del Sotón.

Las conclusiones son:

- Partiendo de unas condiciones iniciales de terreno seco; es decir, que no se hayan registrado precipitaciones importantes en los días previos al episodio, se observa que aproximadamente los primeros 20mm de lluvia son absorbidos por el terreno sin que llegue a observarse ningún incremento en el caudal medido en la estación de aforo situada en Ortilla. Este valor constituye un umbral a partir del cual el río comienza a responder porque los depósitos superficiales se han saturado. Pero es a partir de valores de precipitación superiores a 2 mm cuando se producen cambios en el caudal medido en la estación de aforo.

En el caso de que partamos de condiciones iniciales de terreno húmedo, este umbral disminuye en función de la cantidad de precipitación que se ha registrado en los días anteriores y la proximidad en el tiempo de estas precipitaciones al episodio en cuestión, pudiendo ser menor de 10mm y en los casos más desfavorables llegar incluso a ser nulo.

Por otro lado, si las lluvias que provocan el episodio son muy intensas y concentradas en el tiempo, este valor viene determinado por el momento en el que la intensidad de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración del suelo lo que provoca escurrimiento directo. A partir del estudio se concluye que una lluvia de 20mm en aproximadamente 1 hora tiene una intensidad mayor a la capacidad de infiltración del suelo, por lo cual escurre por la superficie provocando un aumento importante en el caudal medido en la estación de aforo.

- Al analizar los hietogramas de precipitación junto con los hidrogramas de caudal se observa que los diversos picos en estos últimos son producidos por los momentos en los que se produce el grueso de precipitación.

En los episodios analizados; en general, se obtiene que el tiempo transcurrido entre el centro de gravedad del hietograma y el momento en el que se registra el caudal máximo en la estación de aforo oscila entre 3,5 y 6,5 horas, en función de la cercanía de las precipitaciones a la estación de aforo de Ortilla.

- Tanto el caudal máximo como el volumen de riada registrados en la estación de aforo durante una avenida quedan determinados por la distribución de las precipitaciones que provocan dicha crecida. En general se observa que cuanto menos intensa es la precipitación menos caudal máximo se registra en la estación de aforo. Por otro lado, cuanto más largas sean las precipitaciones, más tiempo dura el pico del hidrograma de avenida, siendo este valor un parámetro muy variable que varía en los episodios estudiados entre 10 y 24 horas.

En el caso de los episodios analizados, son en los provocados por precipitaciones intensas en los que mayor cantidad de agua de precipitación es registrada en los pluviómetros; por lo que son las crecidas provocadas por estas precipitaciones en las que se registra mayor volumen de riada y mayores valores de caudal máximo. Se puede concluir que en el hipotético caso en el que el volumen de precipitación caído

en una precipitación uniforme y prolongada en el tiempo fuera similar al volumen de precipitación caído en una lluvia intensa y concentrada en el tiempo, sería el primer tipo de lluvias las que dieran un volumen bajo la curva del hidrograma mayor.

- Para estimar el tiempo de concentración, siendo éste el tiempo que tarda en llegar a la estación de aforo la escorrentía producida en la zona más alejada de la cuenca, se utilizan los episodios en los que la mayor precipitación es producida en los alrededores del R051, estimando que el tiempo de concentración de la cuenca rondará las 7 horas.
- De los coeficientes de escorrentía calculados, para los diferentes episodios, como el volumen de agua registrado en la estación de aforo dividido entre el volumen de precipitación estimado para toda la cuenca, se puede concluir que:
 - Partiendo de condiciones iniciales de terreno seco, con lluvias de hasta 25 mm, la escorrentía es prácticamente inexistente. Si existe una pequeña variación en el flujo base del río es debido a los flujos subterráneos e hipodérmicos.
 - Con lluvias de hasta 40mm se pueden llegar a obtener coeficientes de escorrentía del 30% pudiéndose obtener este coeficiente con lluvias no superiores a 20 mm en el caso de que se parta de condiciones húmedas.
 - Con lluvias de hasta 60mm se pueden obtener coeficientes de escorrentía del 45%.
 - En condiciones de extrema humedad o en casos en los que las lluvias produzcan fusión de nieve, se pueden llegar a alcanzar coeficientes de escorrentía superiores al 50% con lluvias de tan solo 20mm.
 - Es posible que para episodios mayores a los estudiados y en otras situaciones muy favorables para ello se pudiesen producir escorrentías superiores al 50% citado.
- Al diferenciar el volumen registrado en la estación de aforo entre el asociado a los flujos superficiales (escorrentías directas) y el asociado a flujos hipodérmicos y subterráneos se obtiene que, en general, el primero es mucho mayor que el segundo y al calcular los dos coeficientes de escorrentía por separado, se concluye que el coeficiente de escorrentía directa es mayor que el coeficiente de escorrentía subterránea, siendo esta diferencia mayor en los episodios en los que el aumento del caudal medido en la estación de aforo es provocado por flujos superficiales provocados por precipitaciones muy intensas y concentradas en el tiempo. El coeficiente de escorrentía directa alcanza un máximo de un 41,6% en el episodio de Marzo del 2001, en el que las condiciones iniciales eran muy húmedas.
- Debido a la uniformidad de las precipitaciones registradas en todos los pluviómetros en el episodio de Marzo del 2001, en el que se dio una precipitación media acumulada de unos 17,73mm, lo que representaría un volumen de agua de $3,43\text{Hm}^3$, de los cuales 1,64 se midieron en la estación del Sotón en Ortilla por lo que se estima un coeficiente de escorrentía medio para toda la cuenca de aproximadamente 0,479.
- De cara a evaluar los volúmenes de agua esperables en la estación de aforo de Ortilla en el caso de una lluvia prevista, el episodio de mayor caudal se obtuvo para una precipitación media para toda la cuenca de unos 90mm, la cual originó un volumen de escorrentía de unos $4,75\text{Hm}^3$, de los cuales $4,6\text{Hm}^3$ se recogieron en menos de 17 horas.

ANEXO XII: PERFIL LONGITUDINAL Y ALTIMETRÍA DE LOS RÍOSCuenca del Alcanadre

Distancia al nacimiento (km)	Altitud (msnm)	
0Km	1607msnm	→Nacimiento
4Km	1160msnm	
10Km	1048msnm	
17Km	920msnm	
24,6Km	657msnm	
44,5Km	450msnm	
79Km	301msnm	→Estación de aforo A033

Tabla XII.1 Altimetría de diferentes puntos del cauce principal del Alcanadre.

Pendiente media=0,0165 m/m.

Tiempo de concentración, Témez=18,1h.

Cuenca del Bergantes

Distancia al nacimiento (km)	Altitud (msnm)	
0Km	1642msnm	→Nacimiento
7Km	1317msnm	
15Km	1195msnm	
25Km	1081msnm	
40Km	906msnm	
57Km	713msnm	
70Km	625msnm	
85Km	547msnm	→Estación de aforo A031

Tabla XII.2 Altimetría de diferentes puntos del cauce principal del Bergantes.

Pendiente media=0,013 m/m.

Tiempo de concentración, Témez=20,07h.

Cuenca del Susía

Distancia al nacimiento (km)	Altitud (msnm)	
0Km	818msnm	→Nacimiento
1,5Km	731msnm	
3Km	676msnm	
6,1Km	551msnm	
9,4Km	487msnm	
11,7Km	464msnm	
13,7Km	446msnm	→Estación de aforo A257

Tabla XII.3 Altimetría de diferentes puntos del cauce principal del Susía.

Pendiente media=0,027 m/m.

Tiempo de concentración, Témez=4,35h.

Cuenca del Omenillo

Distancia al nacimiento (km)	Altitud (msnm)	
0Km	906msnm	→Nacimiento
5Km	674msnm	
10Km	611msnm	
15Km	567msnm	
22,4Km	508msnm	
27Km	483msnm	
32,9Km	464msnm	→Estación de aforo A188

Tabla XII.4 Altimetría de diferentes puntos del cauce principal del Omenillo.

Pendiente media=0,013 m/m.

Tiempo de concentración, Témez=9,68h.

Cuenca del Manubles

Distancia al nacimiento (km)	Altitud (msnm)	
0Km	1387msnm	→Nacimiento
3Km	1177msnm	
7Km	1111msnm	
16Km	1035msnm	
31Km	899msnm	
54Km	671msnm	
65,5Km	586msnm	→Estación de aforo A184

Tabla XII.5 Altimetría de diferentes puntos del cauce principal del Manubles.

Pendiente media=0,012 m/m.

Tiempo de concentración, Témez=16,62h.

Cuenca del Isábena

Distancia al nacimiento (km)	Altitud (msnm)	
0Km	2114msnm	→Nacimiento
1 Km	1916msnm	
4 Km	1541msnm	
14 Km	1248msnm	
29 Km	807msnm	
44,3 Km	590msnm	
62 Km	470msnm	→Estación de aforo A047

Tabla XII.6 Altimetría de diferentes puntos del cauce principal del Isábena.

Pendiente media=0,026 m/m.

Tiempo de concentración, Témez=13,77h.

Cuenca del Leza

Distancia al nacimiento (km)	Altitud (msnm)
0Km	1428msnm
3,1Km	1101msnm
6Km	1016msnm
10Km	919msnm
15Km	823msnm
24Km	728msnm
34Km	499msnm

→Nacimiento

→Estación de aforo A197

Tabla XII.7 Altimetría de diferentes puntos del cauce principal del Leza.

Pendiente media=0,027 m/m.

Tiempo de concentración, Témez=8,67h.

Cuenca del Cidacos

Distancia al nacimiento (km)	Altitud (msnm)
0Km	1428msnm
7,7Km	1168msnm
12Km	1046msnm
16,7Km	984msnm
28,8Km	825msnm
37,1Km	738msnm
41,6Km	664msnm

→Nacimiento

→Estación de aforo A253

Tabla XII.8 Altimetría de diferentes puntos del cauce principal del Cidacos.

Pendiente media=0,018 m/m.

Tiempo de concentración, Témez=10,9h.

Cuenca del Sotón

Distancia al nacimiento (km)	Altitud (msnm)
0Km	1368msnm
3Km	1170msnm
6Km	908msnm
9Km	632msnm
12Km	538msnm
20Km	460msnm
30Km	413msnm

→Nacimiento

→Estación de aforo A255

Tabla XII.9 Altimetría de diferentes puntos del cauce principal del Sotón.

Pendiente media=0,032 m/m.

Tiempo de concentración, Témez=7,66h.

ANEXO XIII: MÉTODO SCS (Soil Conservation Service, Department of Agriculture)

El servicio de conservación de los suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos desarrolló el método del número de curva, más conocido como SCS, mediante el cual se puede estimar la lluvia efectiva (escorrentía directa) como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad antecedente. Es un método simple y con bajo coste computacional, con el cual se puede realizar una simulación rápida cuando se dispone de poca información de la cuenca.

Tomando la tormenta como un todo, la precipitación total (P) se reparte en tres componentes: El exceso de precipitación o escorrentía directa (P_e), la abstracción inicial, es decir la retención inicial o umbral de escorrentía que satura la capa más superficial del suelo (I_a) y la infiltración que se produce a partir del umbral de escorrentía (F_a).

En la siguiente figura se muestra la relación entre las tres últimas variables:

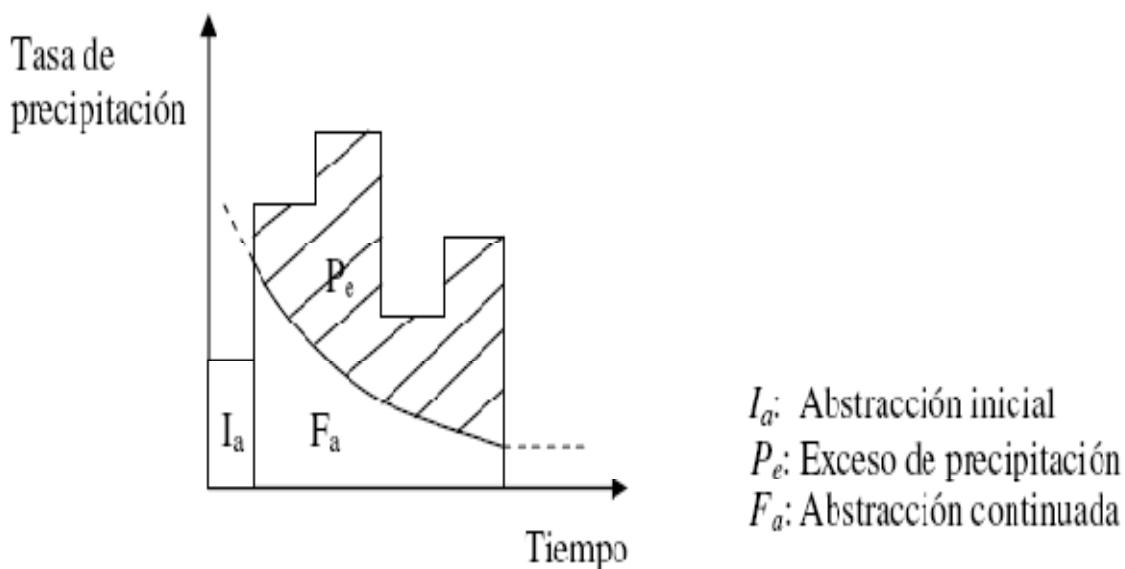


Figura XII.1 Variables del método SCS.

Definiendo S como la máxima retención de agua en el suelo, que siempre es mayor o igual a F_a . El método del número de curva asume que la relación que rige el proceso es la siguiente:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

y al combinar esta ecuación con el principio de continuidad, $P = P_e + I_a + F_a$, y despejando se obtiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Para eliminar la dificultad en la estimación de I_a , se desarrolló la siguiente relación empírica tras la realización de estudios en diversas cuencas experimentales:

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

Combinando las dos últimas ecuaciones, se obtiene una ecuación en donde la se expresa la escorrentía en función únicamente de la retención potencial y la precipitación total [Tenreiro 2003]:

$$P_e = \frac{(P-0,2 \cdot S)^2}{P+0,8 \cdot S}$$

Al representar en gráficas la información de P y P_e de muchas cuencas, el SCS encontró muchas curvas características. Para estandarizar estas curvas, se definió un número adimensional de curva, NC, tal que $0 \leq NC \leq 100$. Para superficies totalmente impermeables $NC=100$ y $NC=0$ para superficies totalmente permeables [Chow et al. 1994].

El número de curva y la retención potencial máxima se relacionan mediante la siguiente expresión:

$$S \text{ (mm)} = \frac{25400}{CN} - 254$$

Como ya se ha dicho, hay que tener en cuenta las condiciones de humedad antecedente. Estas condiciones se reflejan en la siguiente tabla:

Condiciones de humedad	Grupo AMC	Lluvia antecedente total en 5 días (en pulgadas)	
		Estación inactiva	Estación activa
Condiciones secas	I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
Condiciones normales	II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
Condiciones húmedas	II	Mayor que 1.1	Mayor que 2.1

Tabla XII.1 Condiciones de humedad básicas empleadas en el SCS.

Los números de curva se suelen aplicar a condiciones antecedentes de humedad normales, y se establecen las siguientes relaciones para las otras dos condiciones:

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)}$$

