

**Trabajo Fin de Máster**  
**CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE**  
**CRECIDAS MEDIANTE LA**  
**IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO**  
**HIDROLÓGICO TETIS EN LA CUENCA**  
**DEL BARRANCO DEL CARRAIXET -**  
**VALENCIA**

**Intensificación:** *RECURSOS HÍDRICOS*

**Autor:**  
*HEBERT ENRIQUE TEJADA ESPINOZA*

**Director:**  
*DR. FÉLIX FRANCÉS GARCÍA*

**FEBRERO, 2016**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**



## Resumen del Trabajo de Fin de Máster

### Datos del proyecto

**Título:** CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO TETIS EN LA CUENCA DEL BARRANCO DEL CARRAIXET - VALENCIA

**Alumno:** HEBERT ENRIQUE TEJADA ESPINOZA

**Director:** FÉLIX FRANCÉS GARCÍA

**Codirector/es:** Haga clic aquí para escribir texto.

**Fecha de Lectura:** Febrero, 2016

### Resumen

#### En castellano (máximo 2000 palabras)

El presente trabajo denominado "Caracterización del régimen de crecidas mediante la implementación del modelo hidrológico TETIS en la cuenca del Barranco del Carraixet – Valencia". Es un estudio orientado a determinar los caudales máximos del cauce principal de este barranco, a fin de generar la información hidrológica que servirá de base para el planteamiento posterior de medidas destinadas a reducir el riesgo de desastres por inundaciones.

El área de estudio se ubica en la mitad septentrional del Golfo de Valencia, específicamente en la cuenca del Barranco del Carraixet, la misma que cuenta con una extensión de 243.65 km<sup>2</sup>. Su flujo principal sigue una dirección Sur Este y aproximadamente en la localidad de Bétera, es donde el cauce alcanza su mayor amplitud, con cerca de 150 m de ancho; la longitud del cauce, desde el extremo superior, hasta el punto de interés, es decir, en la zona de desagüe en la Autovía A7, es de aproximadamente 35 Km, desde donde existe una distancia adicional de 12.8 km hasta el punto de desembocadura en el mar Mediterráneo. Cabe precisar, que este tipo de barrancos, en la mayor parte del año su cauce permanece seco, sin embargo, en eventos de precipitaciones extremas, se convierte en un cauce caudaloso y violento.

El desarrollo del estudio se ha basado en la aplicación del modelo hidrológico distribuido TETIS desarrollado por el IIAMA de la Universidad Politécnica de Valencia. Donde los datos fundamentales y necesarios para la modelación hidrológica incluyen datos hidrometeorológicos, geológicos, de usos de suelo y cultivos/cobertura vegetal. Los datos de uso de suelos son procedentes de Corine Land Cover de 2006, datos de las características texturales y permeabilidad de la Base de Datos Europea de Suelos (ESDB).

En lo concerniente a la información hidrometeorológica, se han obtenido dos tipos de serie, puntual e interpolada. Para el primer caso han sido proporcionados por el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) con resolución diaria y cincominutal, tanto para los registros de caudal y precipitación (período de registro de 1989 a 2013). El segundo tipo de información interpolada, sólo para los registros de precipitación y temperatura, por parte del proyecto SpainV02, elaborados por la Agencia Estatal Meteorológica - AEMET y del grupo de la Universidad de Cantabria – UNICAN, con resolución diaria y en dos versiones Spain02V2 con un periodo de registro de 1950 a 2007 y Spain02V4 desde 1971 a 2007.

Una vez recopilada y analizada la información antes mencionada, se generaron los mapas o inputs que fueron luego introducidos al modelo Hidrológico TETIS. Para esto se hizo uso de la herramienta de Información Geográfica SIG, con Software Grass y ArcGIS como base para la generación de los mapas asociados a la cuenca hidrográfica.

Se realizó por tanto el análisis de la respuesta hidrológica de la cuenca a escala diaria y cincominutal. Nuestra cuenca en estudio, sólo cuenta con una estación de aforo (Estación hidrométrica Bétera), la que ha servido para el proceso de calibración y validación del modelo hidrológico. Los resultados de este proceso han sido aceptables para los dos tipos de fuentes serie Spain02 (Interpolada) y serie SAIH (puntual).

Una vez obtenidos los factores correctores de la cuenca del proceso de calibración y validación, se realizó la simulación hidrológica en el punto de interés (Autovía A7), con el objeto de generar los caudales diarios. Posteriormente se llevó a cabo un análisis estadístico para obtener los cuantiles, llegándose a determinar que la serie de datos que mejor ajuste se ha tenido, ha sido la serie de Spain02V2, mediante el análisis de caudales máximos anuales. Esto probablemente porque esta serie abarca un período de registro más extenso el cual ha incluido el evento extremo de 1957 y 1969, el cual dado resultados más adecuados.

Finalmente se realizó una correlación estadística para transponer los cuantiles de caudal diario máximo anual a cuantiles instantáneos. Determinándose así los cuantiles finales en el punto autovía A7.

#### En valenciano (máximo 2000 palabras)

El present treball denominat "Caracterisació del règim de creixcudes mitjançant l'Implementació del model hidrològic TETIS en la conca del Barranc del Carraixet – València". És un estudi orientat a determinar els cabals màxims del caixer principal d'este barranc, a fi de generar l'informació hidrològica que servirà de base per al plantejament posterior de mides destinades a reduir el risc de desastres per inundacions. L'àrea d'estudi s'ubica en la mitat septentrional del Golf de València, específicament en la conca del Barranc del Carraixet, la mateixa que conte en una extensió de 243.65 KM<sup>2</sup>. El seu recorrimnt principal segueix una direcció Sur Este i aproximadament en la localitat de Bétera, és a on el caixer alcança la seua major amplitud, en prop de 150 m d'ample; la llongitud del caixer, des de l'extrem superior, fins el punt d'interés, és dir, en la zona d'esgolidor en l'autovía A7, és d'aproximadament 35 km, des d'a on existix una distància adicional de 12.8 km fins el punt de desembocadura en el mar Mediterraneu. Cap precisar, que este tip de barrancs, en la major part de l'any el seu caixer permanece sec, no obstant, en events de precipitacions extremes, se convertix en un caixer cabalos i violent.

El desenroll de l'estudi s'ha basat en l'aplicació del model hidrològic distribuït TETIS desenrollat per l'IIAMA de l'Universitat Politècnica de València. A on les senyes fonamentals i necessaris per a la modelació hidrològica inclouen senyes HIDROMETEOROLÒGICOS, geològics, d'us de sol i cultius/cobertura vegetal. Les senyes d'us de sols son procedents de Corine Land Cover de 2006, senyes de les característiques texturals i permeabilitat de la Base de Senyes Europea de Sols (ESDB).

En lo concernent a l'informació hidrometeorològica, s'han obtingut dos tip de serie, puntual i interpolada. Per a el primer cas han segut proporcionats pel Sistema Automàtic d'Informació Hidrològica (SAIH) en resolució diària i cincominutal, tant per als registres de cabal i precipitació (període de registre de 1989 a 2013). El segon tip d'informació interpolada, soles per als registres de precipitació i temperatura, per part del projecte Spainv02, elaborats per l'Agència Estatal Meteorològica - AEMET i del grup de l'Universitat de Cantàbria – UNICAN, en resolució diària i en dos versions Spain02v2 en un període de registre de 1950 a 2007 i Spain02v4 des de 1971 a 2007.

Una volta recopilada i analisada l'informació abans mencionada, se generaren els mapes o inputs que foren després introduïts al model Hidrològic TETIS. Per a aço se feu us de la ferrament d'Informació Geogràfica SIG, en Software Grass i ArcGIS com base per a la generació dels mapes associats a la conca hidrogràfica.

Després es va fer l'anàlisi de la resposta hidrològica de la conca tant a escala diària com cincminutal. Aquesta conca, tan sols compta amb una estació d'aforament (Bétera), y per tant s'ha empleat per al procés de calibratge i validació del model hidrològic. Els resultats d'aquest procés han sigut acceptables per als dos tipus de fonts.

Una volta obtinguts els factors correctors de la conca del proces de calibración i validación, se realisà la simulación hidrológica en el punt d'interés (autovía A7), en l'objecte de generar els cabals diaris. Posteriorment se portà a veta un analisis estadistic per a obtindre els cuantiles, aplegant-se a determinar que la serie de senyes que millor ajust s'ha tingut, ha segut la serie de Spain02v2, mediant l'analisi de cabals maxims anuals. Aço provablement perque esta serie albarca un periodo de registre mes extens el qual ha inclos l'event extrem de 1957 i 1969, el qual donat resultats mes adequats.

Finalment de les senyes de cabal registrats en l'estacio d'aforament Bétera a escala cincminutal i diària proporcionats pel SAIH, se realisà una correlacio estadística per a traspondre els cuantiles de cabal diari maxim anual a cuantiles instantaneus. Determinant-se aixina els cuantiles finals en el punt autovía A7.

#### En inglés (máximo 2000 palabras)

This work called "Flood Regime Characterization Through the Implementation of the Tetis Hydrological Model in the Basin of the Barranco del Carraixet - Valencia". The study aimed to determine the maximum flow of the main river channel, in order to generate hydrological information to produce the basis for later measurement approach to reduce disaster risk of floods.

The study area is located in the northern half of the Gulf of Valencia, specifically in the basin of the Barranco del Carraixet, with area 243.65 km<sup>2</sup>. Its main flow follows a South East direction and ended approximately in Bétera city, the lowest basin has 150 m wide; the length of the river reaches 35 Km within the basin. The river distance from the lowest basin of the study area to the Mediterranean Sea is 12.8 Km. River remains dry in most part of the year, however, it becomes violent and powerful when extreme precipitation occurs.

The fundamental of study is distributed hydrological model called TETIS, developed by the IIAMA of the Polytechnic University of Valencia. It requires data such as hydro-meteorological, geological, uses of soil and crop/plant cover. Land use data was obtained from Corine Land Cover 2006. The European database (ESDB) was used to produce soil permeability and textural characteristics data.

Two types of Hydrometeorological data series was used. In the first case they were provided by the automatic of hydrological information system (SAIH) with daily and five minutes scale, both for flow and precipitation records (registered from 1989 to 2013 period). The second type of interpolated information only precipitation and temperature records, from the project SpainV02, prepared by the State Meteorological Agency - AEMET and the Group of the University of Cantabria - UNICAN, with daily scale in two versions Spain02V2 with a period of record from 1950 to 2007 and Spain02V4 from 1971 to 2007.

Once the data collected and analyzed, then generated into maps or inputs to be introduced to the TETIS hydrologic model. GIS geographical information Software Grass and ArcGIS was used to generate maps associated with the watershed.

The analysis of the hydrological response of the basin was implemented in daily and five minutes scale. This study only use one gauging station (station hidrométrica Bétera), that served the calibration and validation process of the hydrological model. The result of this process are acceptable for the Spain02 data (interpolation) and SAIH data(standard data)

Once the correction factor from calibration and validation were obtained, the simulation in the point of



interest was implemented (Autovía A7). Subsequently a statistical analysis was conducted to get quantiles with the best series to adjust, in this case Spain02V2. This probably because the chosen data series more extensive record which has included the extreme event of 1957 and 1969, which led to more appropriate results.

Finally, from the flow data recorded in gauging Bétera scale station with daily and five minutes scale provided by the AHIS, a statistical correlation was made to transpose the quantiles of yearly maximum daily flow to instant quantiles. Thus determining final quantiles of the Highway A7

Palabras clave (máximo 5): Modelación hidrológica / Información Hidrometeorológica / precipitaciones extremas / Caudales máximos. Hydrological modeling/ Information Hidrometeorological / extreme rainfall / Maximum flow.

Fecha: martes, 09 de febrero de 2016

Fdo. (Alumno)

## Agradecimientos

*El presente trabajo ha sido posible gracias a la oportunidad brindada por el Dr. Félix Francés, por su apoyo y guía como director de este trabajo de Fin de Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.*

*A los miembros del Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental, por sus grandes aportes y orientación en el desarrollo de este trabajo, especialmente a Jaime, Ana, Mario y Cristina.*

*A la Confederación Hidrográfica del Júcar, especialmente al personal del SAIH, Carmen González, por brindarme la información de los datos hidrometeorológicos necesarios para este trabajo.*

*Gracias a mis compañeros y amigos del Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, por su motivación y apoyo.*

*Finalmente a mi familia por ser el pilar fundamental, por todo su esfuerzo y apoyo para ellos mi amor y respeto.*



# ÍNDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Motivación y objetivos.....	2
1.2 Organización del documento .....	3
1.3 Justificación del trabajo .....	4
CAPITULO 2. MODELO HIDROLÓGICO TETIS.....	7
2.1 Formulación del modelo .....	8
2.2 Parámetros del modelo.....	11
2.3 Condiciones iniciales .....	12
2.4 Algoritmo de optimización SCE-UA para la calibración automática del modelo TETIS. ....	13
CAPITULO 3. ÁREA DE ESTUDIO .....	14
3.1 Cuenca hidrológica Barranco del Carraixet .....	15
3.1.1 Situación Geográfica .....	15
3.1.2 Características climáticas generales .....	16
3.1.3 Topografía .....	18
3.1.4 Marco geológico .....	20
3.1.5 Marco Hidrogeológico.....	21
3.1.6 Uso de suelo.....	23
CAPITULO 4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA....	27
4.1 Información meteorológica .....	28
4.1.1 Series de Precipitación y Temperatura.....	28
4.1.2 Evapotranspiración potencial.....	41
4.2 Información hidrológica.....	43
4.3 Eventos de crecida .....	44
4.3.1 Evento del año 2000.....	45
4.3.2 Evento del año de 1989.....	47
4.3.3 Evento del año de 1990 .....	48
4.4 Análisis de la series de precipitación para la alimentación del modelo.....	51
4.4.1 Análisis a escala diaria .....	51
4.4.2 Análisis a escala cincominutal .....	54
CAPITULO 5. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA.....	57
5.1 Cálculo de los mapas derivados del MED .....	58
5.1.1 Modelo de elevación digital del terreno .....	59
5.1.2 Mapa de direcciones de flujo .....	59
5.1.3 Mapa de celdas drenantes acumuladas .....	61
5.1.4 Mapa de pendientes .....	62
5.1.5 Mapa de velocidades de ladera .....	63

5.2	Cálculo de parámetros derivados de características edafológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas.....	65
5.2.1	Capacidad de infiltración .....	65
5.2.2	Capacidad de percolación del sustrato.....	66
5.2.3	Parámetros geomorfológicos.....	69
5.3	Cálculo de parámetros derivados de los usos de los suelo .....	71
5.3.1	Valores mensuales del factor de vegetación .....	71
5.3.2	Resumen de factores de vegetación .....	77
5.3.3	Capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo (Hu) ....	79
CAPITULO 6. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO .....		86
6.1	Calibración y validación a escala diaria .....	87
6.1.1	Fase de calibración.....	87
6.1.2	Proceso de calibración .....	88
6.1.3	Resultados de la calibración con información hidrometeorológica puntual SAIH .....	89
6.1.4	Fase de Validación .....	91
6.1.5	Resultados de validación con información hidrometeorológica puntal SAIH .....	92
6.1.6	Calibración y validación con información hidrometeorológica distribuida correspondiente a la serie Spain02v2 .....	94
6.1.7	Resultados de validación con información hidrometeorológica distribuida correspondiente al Spain02_V2.....	96
6.1.8	Implementación con información hidrometeorológica distribuida correspondiente al Spain02v4.....	99
6.1.9	Resultados de validación con información hidrometeorológica distribuida correspondiente al Spain02_V4.....	101
6.2	Implementación a escala cincominutal .....	105
6.2.1	Fase de calibración escala cincominutal .....	105
6.2.2	Proceso de calibración .....	105
6.2.3	Resultados de la calibración con información hidrometeorológica puntual SAIH .....	105
6.2.4	Fase de validación.....	108
CAPITULO 7. SIMULACIÓN HIDROLÓGICA .....		112
7.1	Simulación hidrológica serie SAIH.....	113
7.2	Simulación Spain02_V2.....	113
7.3	Simulación Spain02_V4.....	114
7.4	Caudales mínimos.....	115
CAPITULO 8. CÁLCULO ESTADÍSTICO DE CUANTILES .....		117
8.1	Análisis estadístico de caudal diario máximo anual.....	118

8.1.1	Descripción de las funciones de distribución de probabilidad.....	118
8.1.2	Método de máxima verosimilitud para el ajuste de funciones de distribución.....	120
8.1.3	Análisis estadístico de caudales diarios máximos anuales, Autovía A7 .....	120
8.2	Comparación entre fuentes de información .....	122
8.2.1	Número de registros de caudales diarios por encima de un límite .....	122
8.2.2	Desarrollo del análisis estadístico por encima de un límite para cada tipo de serie ....	124
8.2.3	Comparación de cuantiles para los tres tipos de series.....	129
8.3	Análisis estadístico de caudales cincominutales máximos anuales.....	129
8.3.1	Punto de desagüe de la cuenca Autovía A7 .....	130
8.3.2	Resultado final de cuantiles cincominutal, Autovía A7 .....	132
CAPITULO 9. RESUMEN Y CONCLUSIONES .....		133
CAPITULO 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		137
CAPITULO 11. ANEXOS.....		141
11.1	Resumen fotográfico.....	142
11.2	Análisis estadístico de caudales diarios máximos anuales, Autovía A7 .....	146
11.2.1	Modelo de precipitación serie de Spain02V4.....	146
11.3	Representaciones gráficas de las funciones de distribución descartadas .....	148
11.3.1	Análisis estadístico de caudales diarios máximos anuales, Autovía A7 .....	148
11.3.2	Análisis estadístico por encima de un límite para cada tipo de serie .....	149

## LISTA DE TABLAS

Tabla Nº 2.1 Factores correctores y parámetros ajustados .....	12
Tabla Nº 3.1 Uso de Suelo Barranco del Carraixet según Corine Land Cover 2006 .....	25
Tabla Nº 4.1 Tabla de estaciones pluviométricas SAIH.....	29
Tabla Nº 4.2 Comparativa de precipitación anual (en mm) de las series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007 .....	37
Tabla Nº 4.3 Comparativa de precipitación anual (en mm) de las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007 .....	37
Tabla Nº 4.4 Comparativa de precipitación mensual media (en mm) de las series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007.....	38
Tabla Nº 4.5 Comparativa de precipitación mensual media (en mm) de las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007.....	39
Tabla Nº 4.6 Radiación solar extraterrestre en MJ/ (m <sup>2</sup> *día), extraída del anexo 2 tablas meteorológicas del documento de la FAO.....	42
Tabla Nº 4.7 Eventos máximos diarios anuales, serie SAIH.....	51
Tabla Nº 4.8 Coeficiente de escorrentía, estación de aforo Bétera, serie SAIH. Serie 1989-2007 .....	52
Tabla Nº 4.9 Coeficiente de escorrentía, serie Spain02_V2. Serie 1989-2007.....	52
Tabla Nº 4.10 Coeficiente de escorrentía, serie Spain02_V4. . Serie 1989-2012.....	52
Tabla Nº 4.11 Coeficiente de escorrentía, escala cincominutal. Estación de aforo Bétera, serie SAIH. Serie 1989-2012 .....	54
Tabla Nº 5.1 Mapas, formato, escala original y parámetros estimados .....	58
Tabla Nº 5.2 Valores de permeabilidad adoptados en función de la categoría cualitativa.....	66
Tabla Nº 5.3 Valores medios recomendados por la literatura. OCG.....	70
Tabla Nº 5.4 Valores adoptados para los coeficientes y exponentes. OCG .....	70
Tabla Nº 5.5 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para los cítricos .....	73
Tabla Nº 5.6 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para la sandía .....	73
Tabla Nº 5.7 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para Árboles Frutales .....	74
Tabla Nº 5.8 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para el Olivar .....	75
Tabla Nº 5.9 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para la Lechuga.....	75
Tabla Nº 5.10 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para el Tomate .....	76
Tabla Nº 5.11 Valores mensuales del factor de vegetación según usos del suelo del tipo Corine Land Cover presentes en la cuenca del Barranco del Carraixet hasta la intersección con el Autovía A-7 .....	77
Tabla Nº 5.12 Valores de interceptación máxima para los diferentes usos del suelo.....	79
Tabla Nº 5.13 Almacenamiento en charcos para los diferentes usos del suelo.....	81
Tabla Nº 5.14 Almacenamiento en depresión para los diferentes usos del suelo .....	82
Tabla Nº 5.15 Profundidad de raíces para los diferentes usos del suelo.....	84
Tabla Nº 6.1 Factores correctores obtenidos de la calibración automática, serie SAIH .....	89
Tabla Nº 6.2 Características del evento de simulación TETIS para los factores correctores de la serie SAIH .....	90
Tabla Nº 6.3 Valores del balance hídrico para la serie SAIH, periodo octubre de 1999 – octubre 2003 .....	91
Tabla Nº 6.4 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, año hidrológico 2003 - 2004.....	92
Tabla Nº 6.5 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, validación año hidrológico 1989-1990 .....	93
Tabla Nº 6.6 Factores correctores obtenidos de la calibración automática, serie Spain02_V2 .....	94
Tabla Nº 6.7 Características del evento de simulación TETIS para los factores correctores de la serie Spain02_V2.....	95

Tabla Nº 6.8 Valores del balance hídrico para la serie Spain02_V2, período octubre de 1999 – octubre 2003 .....	96
Tabla Nº 6.9 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie Spain02_V2, año hidrológico 2003-2004 .....	97
Tabla Nº 6.10 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie Spain02_V2, validación año hidrológico 1989 - 1990 .....	98
Tabla Nº 6.11 Factores correctores obtenidos de la calibración automática, serie Spain02_V4 .....	99
Tabla Nº 6.12 Características del evento de simulación TETIS para los factores correctores de la serie Spain02_V2 .....	100
Tabla Nº 6.13 Valores del balance hídrico para la serie Spain02_V4, período setiembre 1999 – diciembre 2003 .....	101
Tabla Nº 6.14 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie Spain02_V4, validación año hidrológico 2003- 2004 .....	102
Tabla Nº 6.15 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie Spain02_V4, validación año hidrológico 1989-1990 .....	103
Tabla Nº 6.16 Factores correctores obtenidos de la calibración automática, serie SAIH .....	106
Tabla Nº 6.17 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, calibración evento del 22 – 28 de octubre del año 2000 .....	106
Tabla Nº 6.18 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, Validación evento de diciembre de 1989.....	109
Tabla Nº 6.19 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, Validación evento de setiembre de 1989 .....	110
Tabla Nº 6.20 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, Validación evento de diciembre de 2007.....	111
Tabla Nº 8.1 Parámetros obtenidos con AFINS para las funciones de distribución con la serie Spain02V2 .....	120
Tabla Nº 8.2 Cuantiles de caudal diario máximo para la serie Spain02V2 .....	121
Tabla Nº 8.3 Número de registros de caudales para un cierto umbral, serie SAIH aforada .....	122
Tabla Nº 8.4 Número de registros de caudales para un cierto umbral, serie SAIH .....	122
Tabla Nº 8.5 Número de registros de caudales para un cierto umbral, serie Spain02_V2 .....	123
Tabla Nº 8.6 Número de registros de caudales para un cierto umbral, serie Spain02_V2 .....	123
Tabla Nº 8.7 Parámetros obtenidos con AFINS para las funciones de distribución con la serie aforada SAIH .....	124
Tabla Nº 8.8 Probabilidad en términos de máximas anuales, serie aforada SAIH .....	125
Tabla Nº 8.9 Parámetros obtenidos con AFINS las funciones de distribución con la serie simulada SAIH .....	126
Tabla Nº 8.10 Probabilidad en términos de máximas anuales, serie simulada SAIH .....	126
Tabla Nº 8.11 Parámetros obtenidos con AFINS las funciones de distribución con la serie Spain02_V2 .....	127
Tabla Nº 8.12 Probabilidad en términos de máximas anuales, serie Spain02_V2 .....	127
Tabla Nº 8.13 Parámetros obtenidos con AFINS para las funciones de distribución con la serie Spain02_V4 .....	128
Tabla Nº 8.14 Probabilidad en términos de máximas anuales, serie Spain02_V4 .....	128
Tabla Nº 8.15 Cuantiles determinados mediante el análisis estadístico de caudales diarios máximos por encima de un límite .....	129
Tabla Nº 8.16 Caudales máximos a escala cincominutal, datos aforados en Bétera, serie SAIH .....	129
Tabla Nº 8.17 Caudales máximos anuales a escala diaria, datos aforados en Bétera, serie SAIH....	130
Tabla Nº 8.18 Caudales máximos a escala cincominutal, datos aforados en Bétera, serie SAIH .....	131
Tabla Nº 8.19 Caudales máximos anuales a escala diaria, datos simulados en Bétera, serie Spain02V2 .....	131

Tabla N° 8.20 Resultado final de cuantiles cincominutal, Puente - Autovía A7 .....	132
Tabla N° 11.1 Parámetros obtenidos con AFINS para las funciones de distribución con la serie Spain02V4 .....	146
Tabla N° 11.2 Cuantiles de caudal diario máximo anual para la serie Spain02v4 .....	148

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Destrucción de viviendas provocado por la inundación, evento setiembre de 1949 .....	5
Figura N° 1.2 Inundación en Carrer Liria.....	5
Figura N° 1.3 Destrucción de un puente provocado por la inundación.....	6
Figura N° 1.4 Destrucción de un Puente L'Albereda, inundación de 1949.....	6
Figura N° 2.1 Esquema conceptual a escala de celda del modelo distribuido TETIS .....	9
Figura N° 2.2 Flujos horizontales y verticales entre celdas de TETIS .....	10
Figura N° 2.3 Descripción esquemática de un parámetro efectivo para un flujo a través de un medio poroso heterogéneo (Grayson y Blöschl, 2001) .....	11
Figura N° 3.1 Ubicación del área de estudio .....	15
Figura N° 3.2 Ubicación del punto de desagüe, Puente Autovía A7 .....	16
Figura N° 3.3 Temperatura media anual, cuenca Barranco del Carraixet .....	17
Figura N° 3.4 Temperatura media mensual, cuenca Barranco del Carraixet .....	17
Figura N° 3.5 Perfil Longitudinal del cauce principal hasta el punto de desagüe, Barranco del Carraixet .....	18
Figura N° 3.6 Tipos de curva hipsométrica, según Strahler (1964).....	19
Figura N° 3.7 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes – Cuenca Barranco del Carraixet .....	20
Figura N° 3.8 Mapa geológico, Barranco del Carraixet .....	21
Figura N° 3.9 Mapa hidrogeológico continuo, Barranco del Carraixet.....	23
Figura N° 3.10 Distribución de los Usos del Suelo en la Cuenca de Carraixet en 1956, 1991 Y 1998.	24
Figura N° 3.11 Uso de Suelo en la cuenca del Barranco del Carraixet según Corine Land Cover 2006 .....	26
Figura N° 4.1 Localización de pluviómetros de la red SAIH – Barranco del Carraixet .....	29
Figura N° 4.2 Precipitación media diaria, datos SAIH, período 1990-2013 .....	31
Figura N° 4.3 Precipitación anual según registros SAIH, período 1990-2013. ....	31
Figura N° 4.4 Precipitación mensual media, según registros SAIH, período 1990-2013.....	32
Figura N° 4.5 Distribución de la rejilla de datos interpolados Spain02v2 (resolución 0.2°).....	33
Figura N° 4.6 Distribución de la rejilla de datos interpolados Spain02v4 (resolución 0.11°).....	34
Figura N° 4.7 Precipitación anual en las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007.....	35
Figura N° 4.8 Gráfico precipitación mensual en las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007 .....	35
Figura N° 4.9 Precipitación anual en las series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007 ...	36
Figura N° 4.10 Precipitación mensual media en las series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007 .....	38
Figura N° 4.11 Temperatura media anual en las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007 .	39
Figura N° 4.12 Temperatura media mensual en las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007 .....	40
Figura N° 4.13 Temperatura máxima diaria mensual en las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007 .....	40
Figura N° 4.14 ETO media mensual calculada a partir de la ETO diaria obtenida con el método Hargreaves para las series Spain02v2 y Spain02v4 .....	43
Figura N° 4.15 Ubicación de la estación de aforo .....	44
Figura N° 4.16 Crecida del Barranco del Carraixet en su tramo final, evento 24 de octubre del 2000 .	45
Figura N° 4.17 Hidrograma del evento de octubre del año 2000, registrado en la estación de aforo Bétera .....	46
Figura N° 4.18 Hietograma del evento de octubre del año 2000, registrado en la estación de aforo Bétera .....	46
Figura N° 4.19 Hidrograma del evento de del evento de diciembre de 1989, registrado en la estación de aforo Bétera.....	47

Figura N° 4.20 Hietograma del evento de del evento de diciembre de 1989, registrado en la estación de aforo Bétera .....	47
Figura N° 4.21 Hidrograma del evento de del evento de setiembre de 1990, registrado en la estación de aforo Bétera .....	48
Figura N° 4.22 Hietograma del evento de del evento de setiembre de 1990, registrado en la estación de aforo Bétera .....	48
Figura N° 4.23 Mapa de intensidades de precipitación en mm/h del día 24 de octubre del año 2000 .	50
Figura N° 4.24 Coeficiente de escorrentía frente a la precipitación acumulada del evento registrado en la estación de aforo Bétera, series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4 en el periodo 1991-2007 .....	53
Figura N° 4.25 Coeficiente de escorrentía frente a caudal máximo registrado en la estación de aforo Bétera, series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4 en el periodo 1991-2007 .....	53
Figura N° 4.26 Precipitación acumulada frente al evento anual, series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4 en el periodo 1991-2007 .....	54
Figura N° 4.27 Precipitación acumulada frente al evento anual, escala cincominutal, series SAIH .....	55
Figura N° 4.28 Coeficiente de escorrentía frente a precipitación acumulada, escala cincominutal, series SAIH .....	55
Figura N° 4.29 Precipitación acumulada frente al evento anual, escala cincominutal, serie SAIH .....	56
Figura N° 5.1 Mapa del Modelo de Elevación Digital del Terreno, Barranco del Carraixet .....	59
Figura N° 5.2 Direcciones de flujo según GRASS .....	60
Figura N° 5.3 Direcciones de flujo según ArcGis .....	60
Figura N° 5.4 Direcciones de Flujo, Barranco del Carraixet .....	61
Figura N° 5.5 Mapa de celdas drenantes acumuladas, Barranco del Carraixet .....	62
Figura N° 5.6 Mapa de pendientes, Barranco del Carraixet .....	63
Figura N° 5.7 Histograma del mapa de pendientes, Barranco del Carraixet .....	63
Figura N° 5.8 Mapa de velocidad de ladera, Barranco del Carraixet .....	64
Figura N° 5.9 Histograma del mapa de velocidad de ladera, Barranco del Carraixet .....	65
Figura N° 5.10 Mapa capacidad de infiltración gravitacional Ks (mm/h) .....	66
Figura N° 5.11 Histograma del mapa de infiltración, Barranco del Carraixet .....	66
Figura N° 5.12 Mapa Conductividad hidráulica del acuífero Kp (mm/h) .....	68
Figura N° 5.13 Mapa de Uso de suelo, Barranco del Carraixet .....	71
Figura N° 5.14 Rangos típicos esperados del valor de Kc para las cuatro etapas del crecimiento .....	72
Figura N° 5.15 Variabilidad mensual del factor de vegetación para los cítricos .....	73
Figura N° 5.16 Variabilidad mensual del factor de vegetación de la Sandía .....	74
Figura N° 5.17 Variabilidad mensual del factor de vegetación para Árboles Frutales .....	74
Figura N° 5.18 Variabilidad mensual del factor de vegetación para el Olivar .....	75
Figura N° 5.19 Variabilidad mensual del factor de vegetación para el Tomate .....	76
Figura N° 5.20 Distribución mensual del factor de vegetación según usos del suelo .....	78
Figura N° 5.21 Mapa de intercepción máxima, Barranco del Carraixet .....	80
Figura N° 5.22 Mapa de Almacenamiento en Charcos, Cuenca del Barranco del Carraixet .....	82
Figura N° 5.23 Mapa de Almacenamiento en depresión, Barranco del Carraixet .....	83
Figura N° 5.24 Mapa capacidad de almacenamiento hídrico del suelo .....	85
Figura N° 5.25 Histograma capacidad de almacenamiento hídrico del suelo .....	85
Figura N° 6.1 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH .....	90
Figura N° 6.2 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación año hidrológico 2003- 2004 .....	92
Figura N° 6.3 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación año hidrológico 1989 - 1990 .....	93
Figura N° 6.4 Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02 V2 .....	95
Figura N° 6.5 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación año hidrológico 2003 - 2004 .....	97

Figura N° 6.6 Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02 V2.....	98
Figura N° 6.7 Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02 V4.....	100
Figura N° 6.8 Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02_V4, validación año hidrológico -2004 .....	102
Figura N° 6.9 Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02 V4, validación año hidrológico 1989-1990 .....	104
Figura N° 6.10 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, calibración evento del 22 – 28 de octubre del año 2000 .....	107
Figura N° 6.11 . Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación evento diciembre de 1989 .....	109
Figura N° 6.12 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación evento setiembre de 1990.....	110
Figura N° 6.13 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación diciembre de 2007 .....	111
Figura N° 7.1 Serie temporal resultante simulación con serie SAIH.....	113
Figura N° 7.2 Serie temporal resultante simulación con serie Spain02V2.....	114
Figura N° 7.3 Serie temporal resultante simulación con serie Spain02V4.....	114
Figura N° 7.4 Serie temporal resultante, simulación con serie SAIH, Spain02v2, Spain02V4 y datos registrados en la estación de Bétera. ....	115
Figura N° 7.5 Registros de caudales mínimos diarios para la serie SAIH, Spian02_V2 y spain02_V4 .....	116
Figura N° 7.6 Registros acumulados de caudales mínimos diarios para la serie SAIH (Estación de aforo Bétera), Spian02_V2 y spain02_V4 (Autovía A7).....	116
Figura N° 8.1 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie Spain02v2 .....	121
Figura N° 8.2 Registro de caudales por encima de un límite para los diferentes inputs de precipitación, en el punto de la estación de Bétera .....	124
Figura N° 8.3 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie SAIH. ....	125
Figura N° 8.4 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie simulada SAIH .....	126
Figura N° 8.5 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie Spain02V2.....	127
Figura N° 8.6 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie Spain02V4.....	128
Figura N° 8.7 Gráfico de correlación, caudal máximo a es cala cincominutal frente a caudales máximos a escala diaria, serie aforada SAIH, frente una recta 1:1 .....	130
Figura N° 8.8 Gráfico de correlación, caudal máximo anual para la escala diaria y cincominutal, serie Spain02V2 y SAIH, frente una recta 1:1 .....	132
Figura N° 11.1 Vista satelital del punto de desagüe, autovía A7 .....	142
Figura N° 11.2 Vista Panorámica, punto de desagüe – Intersección del cauce principal del Barranco del Carraixet y la Autovía A7 .....	142
Figura N° 11.3 Puente de la vía A-7, intercepción con el Barranco del Carraixtet. ....	143
Figura N° 11.4 Infraestructura de concreto, caja de válvulas .....	143
Figura N° 11.5 Autopista A-7, material erosionable aguas abajo y aguas arriba del puente .....	144
Figura N° 11.6 Infraestructura de protección, material de enrocado .....	145
Figura N° 11.7 Cultivo frutícola naranja y sandía .....	145
Figura N° 11.8 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie Spain02v4 .....	146
Figura N° 11.9 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie Spain02v4..	147
Figura N° 11.10 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie Spain02v4 .	147
Figura N° 11.11 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie Spain02v2 .....	148
Figura N° 11.12 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie Spain02v2	149

Figura N° 11.13 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie SAIH .....	149
Figura N° 11.14 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie SAIH .....	150
Figura N° 11.15 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie simulada SAIH .....	150
Figura N° 11.16 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie simulada SAIH .....	151
Figura N° 11.17 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie Spain02V2 .....	151
Figura N° 11.18 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie Spain02V2152	
Figura N° 11.19 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie Spain02V4 .....	152
Figura N° 11.20 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie Spain02V4 .....	153



---

# CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

---



## 1.1 Motivación y objetivos

Los eventos hidrológicos extremos de crecidas en el caudal de los ríos o cauces, y la ocurrencia de inundaciones, están determinados por la presencia de lluvias extraordinarias. Estos procesos naturales han ocurrido todo el tiempo en el planeta y han contribuido en gran medida a la formación del relieve y a la formación de tierras fértiles. Por su parte cuando el escurrimiento superficial de una cuenca en particular, supera la capacidad de conducción del cauce de drenaje, el agua se desborda, produciéndose una inundación. Este es el caso del Barranco del Carraixet, cauce aluvial que durante la mayor parte del año permanece seco, pero que en eventos de precipitación extrema, se convierte en un cauce muy violento y erosivo; las fuertes pendientes junto con la gran cantidad de sedimentos que existen dentro del barranco, conforman un sistema fluvial con gran energía potencial, tornándose así en un cauce muy peligroso y con poder para provocar fuertes inundaciones, que conllevan a la necesidad de implementar medidas de control y prevención.

Uno de los problemas fundamentales en la Hidrología es la representación adecuada de los procesos físicos que ocurren en las cuencas naturales, como por ejemplo la transformación de la lluvia en escorrentía. Es por ello que actualmente la modelación hidrológica se ha convertido en una herramienta valiosa para resolver dicha cuestión. En esta línea, y en concordancia con el desarrollo sucesivo de estudios anteriores sobre las cuencas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar promovido por el Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental Distribuida (GIMHA) de la Universitat Politècnica de València, este trabajo de fin de máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente se centra en la modelación hidrológica de la cuenca del Barranco del Carraixet.

En particular, el objetivo principal del presente trabajo de investigación se concentra en la caracterización del régimen de crecidas del Barranco del Carraixet mediante la implementación del modelo hidrológico distribuido TETIS.

La aplicación de un modelo hidrológico de este tipo involucra una mayor complejidad con respecto a otros modelos, en la conceptualización de los procesos hidrológicos, y por tanto un mayor esfuerzo en la estimación de parámetros. Este proceso se traduce en una serie de mapas de parámetros que se construyen a partir de información secundaria y cartográfica, y que permiten representar adecuadamente la variabilidad espacial de cada uno de los procesos hidrológicos, lo que hace prever la alta confiabilidad de los resultados.



## 1.2 Organización del documento

El proyecto consta de un total de 9 capítulos en cada uno de los cuales se tratan aspectos diferentes, resumidos de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se realiza una introducción general del trabajo. En este capítulo se busca hacer una breve exposición del problema y motivación en el que se encuentran relacionados los objetivos planteados.

En el Capítulo 2 se presenta un resumen general del modelo hidrológico distribuido TETIS. Mostrando la formulación y parámetros del modelo, las condiciones iniciales y el algoritmo de optimización SCE-UA para la calibración automática.

En el Capítulo 3 se presenta una descripción general de las principales características de la cuenca en estudio como es el clima, topografía, geología, hidrogeología y suelo.

En el Capítulo 4 se presenta la descripción y análisis de la información hidrometeorológica. A demás la representación de los eventos de crecidas más significativos registrados en la estación hidrometeorológica de Bétera.

En el Capítulo 5 se presenta la estimación de parámetros o inputs necesarios para el modelamiento hidrológico, mediante la herramienta de Sistema de Información Geográfica SIG.

En el Capítulo 6 se presenta la implementación del modelo donde incluye el proceso calibración y validación para los dos tipos de fuente de información, puntual e interpolada, la primera a escala diaria y cincominutal, y la segunda sólo a escala diaria.

En el Capítulo 7 se presenta la simulación hidrológica, una vez que el modelo haya sido calibrado y validado y se hayan determinado su factores correctores de la cuenca, será posible realizar una simulación con el modelo hidrológico Tetis.

En el Capítulo 8 se presentará el análisis estadístico de crecidas para determinar el caudal a diferentes periodos de retorno para nuestro punto de interés Autovía A7.

Finalmente en el Capítulo 9 se hará un breve resumen y conclusiones.



### 1.3 Justificación del trabajo

Las precipitaciones extremas en la Comunidad Valenciana, constituyen un fenómeno natural que ha venido presentándose con gran intensidad y recurrencia, dando lugar a situaciones de grave riesgo o catástrofes registradas a lo largo de la historia.

Entre las inundaciones más recordadas en la cuenca del Barranco del Carraixet cabe destacar la de 1908, 28 de setiembre de 1949, 16 de octubre de 1950, 14 de octubre de 1957 y de los últimos veinte años el de octubre del año 2000. Estos eventos han provocado el colapso de viviendas, de infraestructura vial y la inundación de extensas áreas de cultivos. De los acontecimientos antes mencionados, se ha podido encontrar en la página web del "Centro de Estudios Locales de Bétera" antecedentes del evento del 28 de setiembre de 1949 y algunas imágenes del 14 de octubre de 1957, del cual se hará una breve descripción a continuación:

El día 28 de setiembre de 1949 también llamado la riada de 1949, aconteció uno de los eventos más trágicos en la cuenca del Barranco del Carraixet, causando innumerables pérdidas en muchos pueblos cercanos al cauce, pero fue la población de Bétera quién tuvo más pérdidas.

A continuación se muestra la crónica escrita por el periódico "Levante", con fecha 29 de setiembre de 1949:

"Hemos llegado a Bétera a las once y media de la mañana. El alcalde y Jefe local de Bétera Don Manuel Ricart, a nuestras preguntas sobre la magnitud de la catástrofe, nos contesta:

\_ "Con ser muchas y considerables las pérdidas en la población, mucho más lo son todavía en el término municipal. De los campos se ha llevado la tierra y en la superficie sólo queda la piedra. Todo fue cuestión de unos cinco minutos. Y añade a continuación. A las cuatro comenzó a llover, y a las cinco menos cuarto, el agua cubría ya más de dos metros de los edificios.

El casco central de Bétera quedó aislado del barrio de Sagunto."

\_ ¿Las aguas procedían del barranco de Carraixet?

\_ "Efectivamente. Este nace en la Cueva Santa, en el término de Alcublas. Pero a sus aguas se fueron agregando las procedentes de Olocau, Marines, Gátova, y aquí llegaron en forma de una avalancha impresionante".

"La villa trabaja afanosa sacando escombros de las casas. En la amplia avenida de La Alameda el espectáculo es desolador. Dos hileras de árboles se hallan arrancados, casi todos de cuajo. A las puertas de los hogares se hallan amontonados los enseres que han podido salvarse, casi todos rotos y llenos de barro. La gente va y viene silenciosamente y, de vez en cuando, se forman corrillos para comentar las incidencias de la catástrofe".

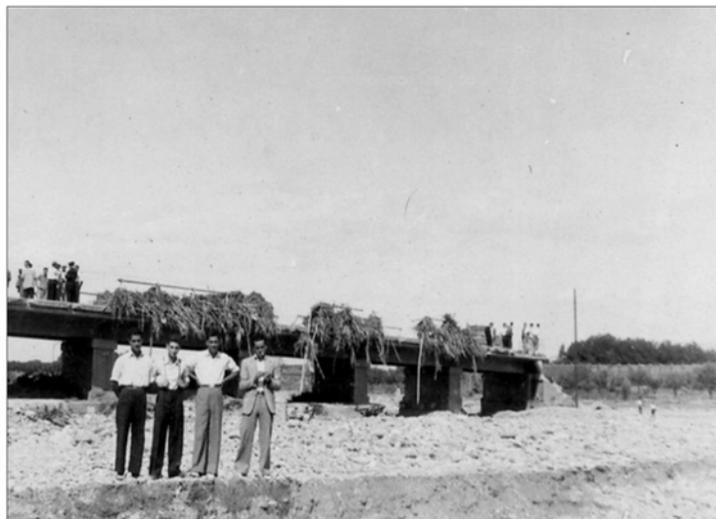
Se estimó que las pérdidas económicas en Bétera ascendieron a veinte millones de pesetas de la época.



*Figura N° 1.1 Destrucción de viviendas provocado por la inundación, evento setiembre de 1949  
Fuente: "Centro de Estudios Locales de Bétera"*



*Figura N° 1.2 Inundación en Carrer Liria  
Fuente: "Centro de Estudios Locales de Bétera"*



*Figura N° 1.3 Destrucción de un puente provocado por la inundación.  
(En esta imagen no se detallan fecha ni ubicación)  
Fuente: "Centro de Estudios Locales de Bétera".*



*Figura N° 1.4 Destrucción de un Puente L'Albereda, inundación de 1949  
Fuente: "Centro de Estudios Locales de Bétera".*

Por lo anterior visto, es de especial interés conocer la respuesta hidrológica de la cuenca del Barranco del Carraixet, ya que presenta un régimen extremo el cual puede causar graves afecciones económicas y humanas.



---

# CAPITULO 2. MODELO HIDROLÓGICO TETIS

---



El modelo TETIS ha sido desarrollado por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la Universitat Politècnica de València (Francés et al, 2002), para realizar la simulación hidrológica en cuencas naturales. Cuyo objetivo es obtener de la mejor forma posible la respuesta hidrológica durante los episodios de crecidas ocasionados por la precipitación de lluvia o de nieve, teniendo en cuenta los diferentes procesos físicos involucrados y empleando la modelación distribuida de tipo conceptual.

El modelo incorpora adecuadamente la variabilidad espacial de los ciclos hidrológicos y su base conceptual, por eso, y como punto de partida, necesita de datos observados para poder permitir su calibración, cumple con el principio de parsimonia, esto es, ante funcionamientos similares, se selecciona el modelo con menos número de parámetros y con ecuaciones lo más simples posibles, representando todos los procesos significativos (Bussi, 2010). Un modelo hidrológico, busca representar los diferentes procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca (Eliana Jorquera, 2008).

Se dice que un modelo hidrológico se aplica primordialmente al estudio de eventos de tormentas, con lo cual es posible analizar el impacto hidrológico que estas tienen sobre procesos tales como inundaciones, transporte de sedimentos, transporte de contaminantes e hidráulica de alcantarillados (Hsu et al., 2000, Marcel van der Perk, 2003, Veihe et al., 2001).

A continuación se presenta una descripción general del modelo TETIS, presentando su estructura, los procesos internos, parámetros del modelo, condiciones iniciales, algoritmo de calibración automática (SCE-UA), y simulación de eventos de crecidas, basada en las siguientes referencias: Francés et al. (1996), Vélez (2001), Francés et al. (2007), Montoya (2008), Vélez y Francés (2009), (Bussi & Francés, 2010).

## 2.1 Formulación del modelo

El modelo hidrológico distribuido TETIS, la producción de la escorrentía se basa en la realización de un balance hídrico en cada celda, asumiendo que el agua se distribuye en seis niveles o tanques de almacenamiento conceptuales y conectados entre sí.

El modelo se distribuye en el espacio usando una malla rectangular y en cada celda se modela el proceso de lluvia-escorrentía usando seis tanques verticales según Fig.2.1 donde cada tanque representa el almacenamiento del agua en una columna extendida del suelo: la nieve, interceptión, almacenamiento estático, almacenamientos superficiales, gravitacionales y acuífero. La relación entre los distintos tanques se basa en las características del suelo tales como capacidad del campo y las conductividades hidráulicas saturadas del suelo y el subsuelo.

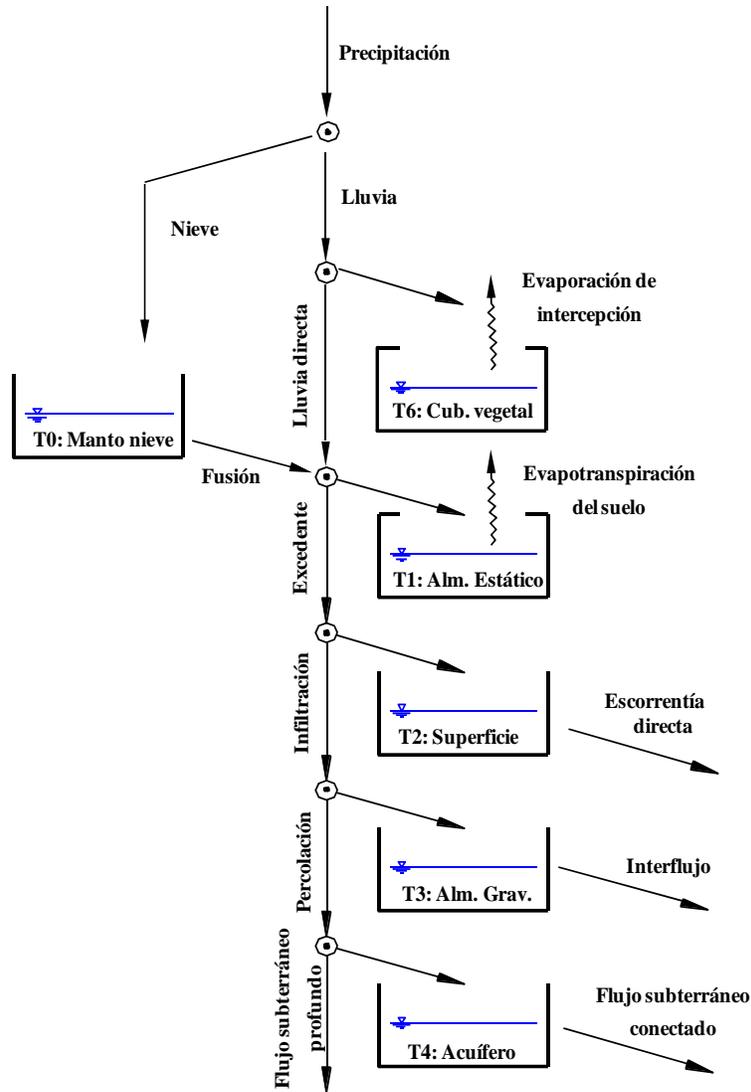


Figura N° 2.1 Esquema conceptual a escala de celda del modelo distribuido TETIS  
Fuente: Descripción del modelo conceptual distribuido TETIS, DIHMA, UPV

Las conexiones verticales entre los tanques describen los procesos de: precipitación, fusión de la nieve, evapotranspiración, infiltración, percolación y pérdidas subterráneas. Por su parte, las conexiones horizontales describen el flujo superficial o escurrentía directa, el interflujo y el flujo base. En cualquier caso, todos los procesos involucrados se simulan a través de ecuaciones simples y con pocos parámetros a estimar (Vélez, 2001).

La conceptualización horizontal del modelo TETIS se trata de una malla interconectada en las tres direcciones. Los tres últimos almacenamientos drenan hacia los correspondientes tanques aguas abajo siguiendo las direcciones de flujo obtenidas a partir de modelo de elevación digital (DEM) hasta alcanzar la red de drenaje formada por cárcavas y cauces (Fig. 2.2).

Así pues, podemos diferenciar entre tres elementos con comportamientos diferentes: la ladera, las cárcavas y el cauce. La ladera está definida por el área máxima para que el flujo superficial se concentre en una cárcava o un cauce. La escorrentía directa en ladera termina cuando se encuentra un canal, ya sea una cárcava o un cauce. El inicio de las cárcavas coincide con el área necesaria para que el interflujo retorne a la superficie. El interflujo normalmente sale a la superficie cuando se encuentra con una hendidura permanente del terreno, la cual no lleva agua de forma permanente. Estas hendiduras, conocidas como cárcavas, marcan el comienzo del interflujo. La escorrentía superficial en las celdas con área de captación mayor que el área umbral para el interflujo y menor que el área umbral para el flujo base se da en cárcavas. Esta escorrentía superficial es la suma entre la escorrentía directa y el interflujo. Las celdas cauces están definidas por el área necesaria para que el flujo subterráneo en el acuífero alcance la superficie del terreno. El flujo base coincide con la presencia de cauces que permanentemente llevan agua. En las celdas con área de captación mayor que área umbral para el flujo base, el flujo total se presenta en cauces y es la suma de la escorrentía directa, el interflujo y el flujo base. (Descripción del modelo hidrológico TETIS, DHIMA, UPV)

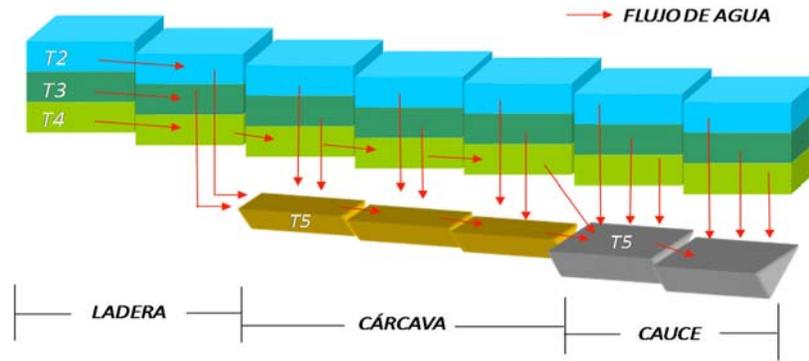


Figura N° 2.2 Flujos horizontales y verticales entre celdas de TETIS  
Fuente: Descripción del modelo conceptual distribuido TETIS, DIHMA, UPV

La traslación del flujo a lo largo de la red hasta la salida de la cuenca se realiza empleando una combinación de las características geomorfológicas de la cuenca en combinación con el método de la onda cinemática conocida como onda cinemática geomorfológica OCG.

Las relaciones empleadas en el modelo son:

Relación entre el caudal a sección llena  $Q_b$  con el área acumulada  $A$  de una determinada sección del cauce. Siendo  $\kappa$  el coeficiente y  $\varphi$  el exponente según la expresión:

$$Q_b = \kappa * A^\varphi$$

Relación entre el ancho de la sección transversal a sección llena  $wb$  y el caudal a sección llena  $Q_b$ . Siendo  $a1$  el coeficiente y  $\alpha1$  el exponente según la expresión:

$$wb = a1 * Q_b^{\alpha1}$$

Relación entre el ancho de la sección transversal  $w$  y el caudal  $Q$ . Siendo  $c_2$  (\*) el coeficiente y  $\epsilon_2$  el exponente según la expresión:

$$w = a_2 * Q^{\alpha_2}$$

(\*): En la expresión anterior, no es necesario estimar un valor para el coeficiente  $a_2$ , al estar completamente determinado en función del caudal a banca llena y del ancho de la sección dominante. En efecto, si  $Q_t = Q_b$ :  $w = w_b$ ,  $a_2 = w_b * Q_b^{-\alpha_2}$ .

Relación entre el diámetro característico del sedimento  $d$ , la pendiente del cauce  $s_0$  y el calado  $y$ . Siendo  $c_d$  el coeficiente y  $\theta$  el exponente, según la expresión.

$$d = c_d * (y * s_0)^\theta$$

Relación entre el coeficiente de rugosidad  $n$  y el diámetro característico del sedimento  $d$ . Siendo  $c_n$  el coeficiente y  $\xi$  el exponente según la expresión:

$$n = c_n * d^\xi$$

## 2.2 Parámetros del modelo

Los modelos distribuidos, cuyos parámetros poseen un inherente sentido físico, representan el centro de investigación de la modelación hidrológica, esto en función su estructura y conceptualización. Dado que no se puede asumir que el valor medido en un punto interior de la celda sea válido para toda su superficie como por ejemplo en el caso del parámetro de conductividad del suelo, donde el valor medido se obtiene a partir de unos centímetros del suelo, por lo que el valor medido no suele ser representativo de una celda entera (Grayson y Blöschl, 2001).

TETIS se ajusta el parámetro para que los resultados del modelo se acerquen a los valores observados de la variable de output (es decir, calibrar el valor del parámetro), el parámetro pierde su significado físico, y representa algo similar a un valor medio en la celda; este parámetro se llama parámetro efectivo (Figura 2.3). El enfoque del parámetro efectivo intenta superar los problemas conceptuales asociados al valor puntual de un parámetro. Los parámetros efectivos son valores que reproducen el comportamiento de un área finita o de un volumen finito. No pueden entonces ser medidos puntualmente, y no necesitan estar relacionados con mediciones puntuales (Bussi, 2010).

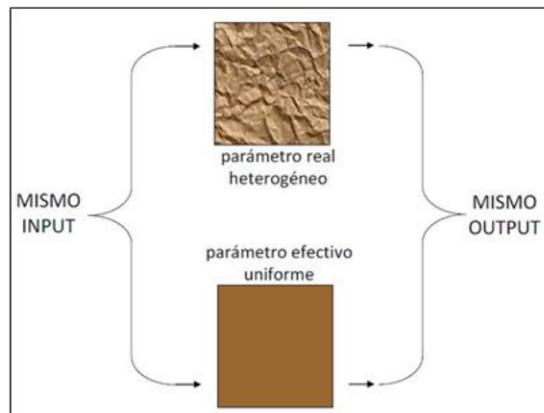


Figura N° 2.3 Descripción esquemática de un parámetro efectivo para un flujo a través de un medio poroso heterogéneo (Grayson y Blöschl, 2001)



Las características físicas expresan el valor medido o estimado del parámetro para cada celda de la cuenca, describen la variabilidad espacial del mismo y poseen significado físico. Los factores correctores absorben los errores provenientes de todas las fuentes citadas antes. Es razonable suponer que el factor corrector sea común para todas las zonas de la cuenca, o al menos para un número limitado de regiones dentro de la cuenca. Además, siendo todas las celdas del mismo tamaño, los efectos de escala son iguales para toda la cuenca. La ecuación que describe la estructura separada del parámetro efectivo es la siguiente:  $\theta_{i,*} = R_i \cdot \theta_{i,j} \quad j=1, \dots, n \quad i=1, \dots, p$

donde  $\theta_{i,j*}$  es el parámetro efectivo i-énésimo para la celda j,  $R_i$  es el factor corrector del parámetro i, común para todas las celdas,  $\theta_{i,j}$  es el parámetro estimado para la celda j, n es el número total de celdas y p es el número total de parámetros por celda.

De este modo, el modelo hidrológico TETIS podrá ser calibrado a través del ajuste de nueve factores correctores (Tabla 2.1).

Tabla Nº 2.1 Factores correctores y parámetros ajustados

Factor corrector (Rj)	Parámetro ( $\theta_{i,j*}$ )	Símbolo
FC1	Capacidad de almacenamiento hídrico	Hu
FC2	Índice de cobertura de vegetación	$\lambda$
FC3	Capacidad de infiltración	Ks
FC4	Velocidad del flujo superficial	u
FC5	Capacidad de percolación	Kp
FC6	Velocidad del interflujo	Kss
FC7	Capacidad de percolación profunda	Kps
FC8	Velocidad del flujo base	Ksa
FC9	Velocidad del flujo en canal	v

Fuente: Descripción del modelo TETIS, DIHMA, UPV

## 2.3 Condiciones iniciales

Para realizar la simulación hidrológica de un evento será necesario definir las condiciones iniciales de las variables de estado. En el modelo TETIS, las variables de estado son las siguientes:

- H0, Nivel de agua equivalente en el manto de nieve.
- H6, Almacenamiento del tanque de intercepción (en % de Hmax).
- H1, Almacenamiento estático, (como % de Hmax).
- H2, Almacenamiento superficial, (cantidad generalmente pequeña, en mm).
- H3, Almacenamiento gravitacional, (cantidad, en mm).
- H4, Almacenamiento en acuíferos, (cantidad, en mm).

Una posibilidad para considerar niveles distribuidos en el espacio (un valor para cada celda) es definir los valores iniciales de humedad como los producidos por una simulación anterior, por ejemplo de un periodo de calentamiento. El programa permite utilizar valores de humedad inicial definidos por el usuario o valores obtenidos de una simulación anterior. Para el caudal en los canales, se define el valor inicial como el porcentaje del caudal a sección llena.



## 2.4 Algoritmo de optimización SCE-UA para la calibración automática del modelo TETIS.

La descripción completa del método SCE-UA "Shuffled Complex Evolution - University of Arizona" (Duan et al., 1992) puede encontrarse en varias publicaciones antecedentes (Duan et al., 1994; Galvao et al., 1999; Collischonn y Tucci, 2001; Alonso y Bertoni, 2005). Conforme lo establecen sus autores (Duan et al., 1992), el método SCE-UA es una estrategia de optimización global diseñada para ser efectiva y eficiente frente a un amplio espectro de problemas. El objetivo de este método es buscar el conjunto óptimo de parámetros que minimicen una función objetivo, para luego comparar alguna variable observada contra la simulada por el modelo, usualmente el caudal de salida. La función objetivo se selecciona con algún criterio estadístico en función de las características que se quieran preservar en la serie simulada.

En el modelo TETIS algunas de las funciones objetivos disponibles que se usaran para la calibración automática de los parámetros y para la validación del modelo son el error cuadrático medio, RMSE, y el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe (1970), NSE. Las expresiones para estos índices estadísticos son:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n}}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Donde,

$\hat{Q}_i$  es el caudal simulado,  $Q_i$  el caudal observado,  $\bar{Q}$  el valor medio de los caudales observados y  $n$  el número de observaciones.

El RMSE es el criterio empleado durante el proceso de calibración, mientras que el índice NSE es más comúnmente usado para la evaluación de modelos, dado que involucra estandarización de la varianza residual y su valor esperado no depende de la longitud del registro o de la magnitud de la variable (Kachroo y Natale, 1992, citado en Kothyari y Singh, 1999).



---

## CAPITULO 3. ÁREA DE ESTUDIO

---

En este capítulo se presentará una descripción de las principales características de la cuenca, específicamente las que determinan su comportamiento hidrológico y geomorfológico. Se incluye en este apartado por tanto la información cualitativa de la cuenca. A partir de esta caracterización se estimarán los parámetros necesarios para el funcionamiento del modelo.

### 3.1 Cuenca hidrológica Barranco del Carraixet

#### 3.1.1 Situación Geográfica

La cuenca en estudio se encuentra situada en la provincia de Valencia, en concreto perteneciente a la cuenca del Barranco del Carraixet, ubicada entre el río Turia y Palancia. Nace en la Sierra Calderona a una altura aproximada de 900 m con una extensión de 248.65 Km<sup>2</sup>.

El flujo principal sigue una dirección Sur Este y aproximadamente por Bétera es donde alcanza gran amplitud de cauce, la longitud del cauce principal hasta el punto de desagüe de la zona en estudio es de aproximadamente de 35 km. Tiene un marcado relieve y un fuerte control estructural, con una geomorfología muy variada en la que se pueden distinguir cuatro sectores fundamentales: la cabecera, un sector intermedio de conos aluviales, una plataforma calcárea en la cuenca media y el llano de inundación. (Camarasa, 1995).

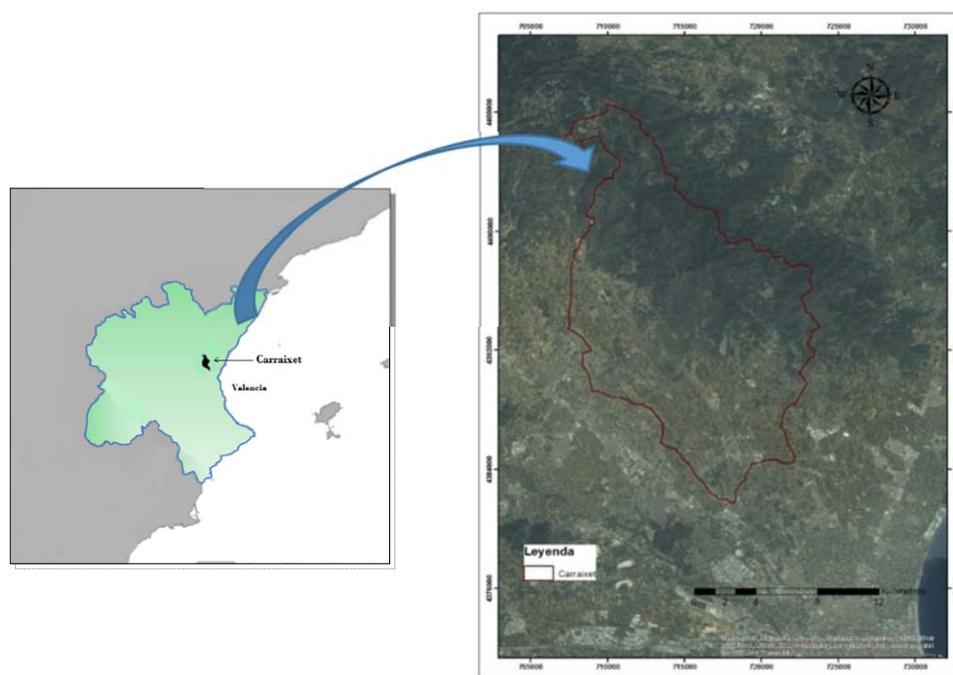


Figura N° 3.1 Ubicación del área de estudio.

El punto de desagüe de la cuenca en estudio está comprendido en la intercepción del cauce del Barranco del Carraixet y la autovía mediterránea (A7), con coordenadas UTM 4384546, 722023. La representación del punto de desagüe se muestra en la Fig. 3.2. Se ha elegido este punto geográfico, porque se ha evidenciado a través de imágenes satelitales y fotografías hechas en campo, que dicho punto presenta una formación de un abanico aluvial, donde se han iniciado y puede volver a iniciarse

los procesos de desbordamiento, a esto se suma una leve reducción de su pendiente, provocado por el arrastre de sedimentos a lo largo de su cauce. El cual hace que la infraestructura existente (Puente del Autovía A7) se encuentre vulnerable a un evento de crecida.

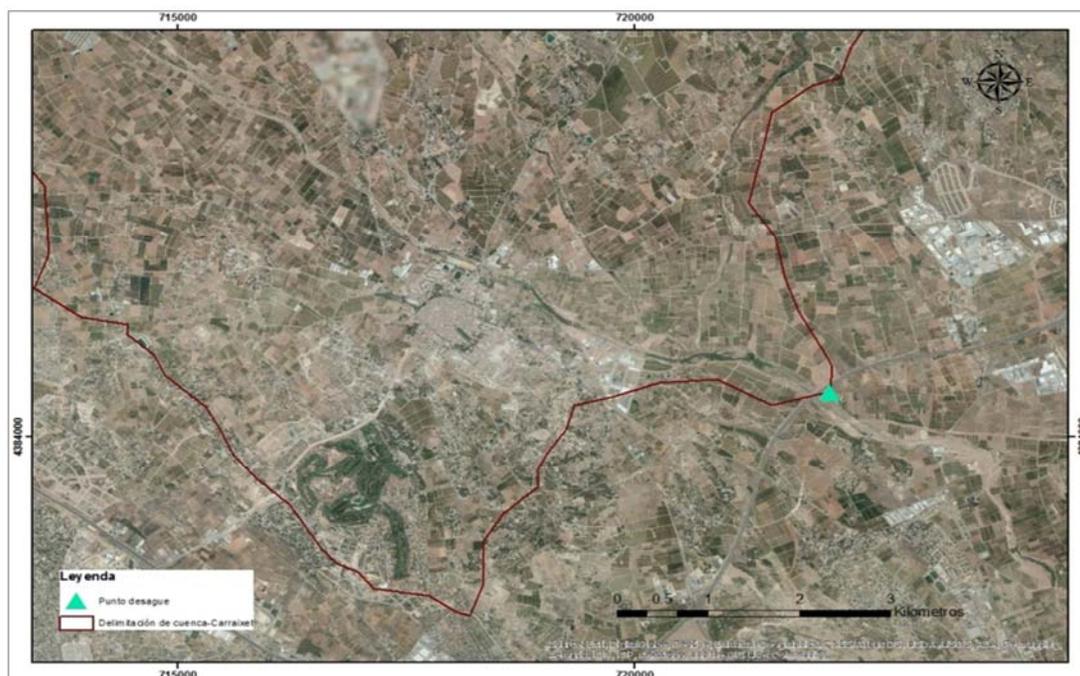


Figura N° 3.2 Ubicación del punto de desagüe, Puente Autovía A7

### 3.1.2 Características climáticas generales

El clima de la región se puede definir como un clima mediterráneo, donde una de las principales características es la variabilidad de la precipitación, es decir tiene un clima típico con veranos cálidos y con inviernos regularmente suaves. Las máximas temperatura se registran en los meses de julio y agosto, y durante los meses de octubre y noviembre pueden producirse episodios de precipitación de gran intensidad y corta duración, conocido comúnmente como "gota fría".

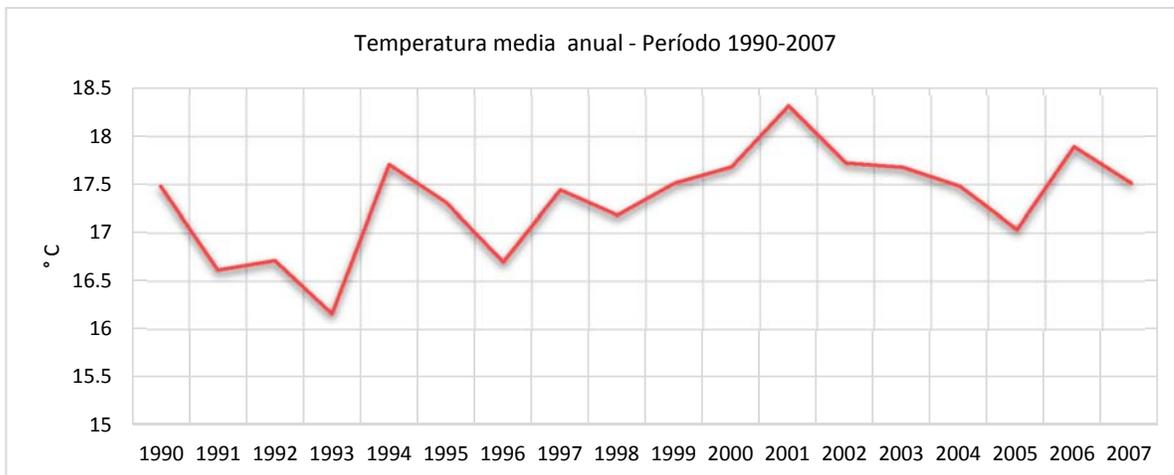


Figura N° 3.3 Temperatura media anual, cuenca Barranco del Carraixet

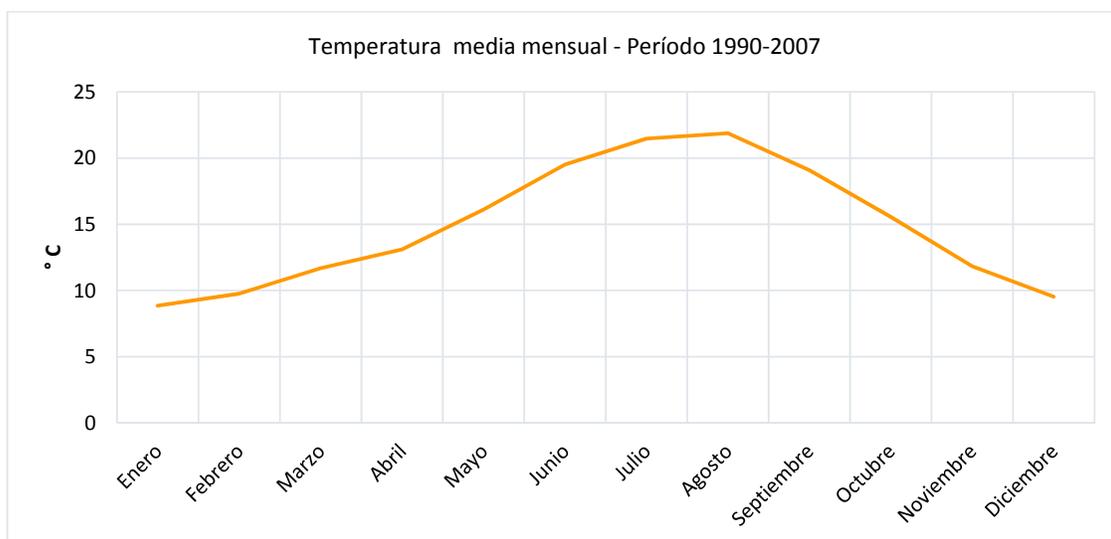


Figura N° 3.4 Temperatura media mensual, cuenca Barranco del Carraixet

### 3.1.3 Topografía

Para la caracterización topográfica de la cuenca en estudio, se ha necesitado un modelo de elevación digital con resolución de celdas 100x100, descargado del Instituto Geográfico Nacional IGN de España. Este mapa ráster servirá de base para generar los parámetros de la cuenca derivados del terreno. La cuenca se encuentra aproximadamente entre las cotas 900 y 65 msnm, siendo su elevación media de 324.72 m, donde predominan las cotas más bajas. En la Fig. N° 3.5 se puede apreciar una aproximación del perfil longitudinal del cauce principal hasta el punto de desagüe Autovía A-7.

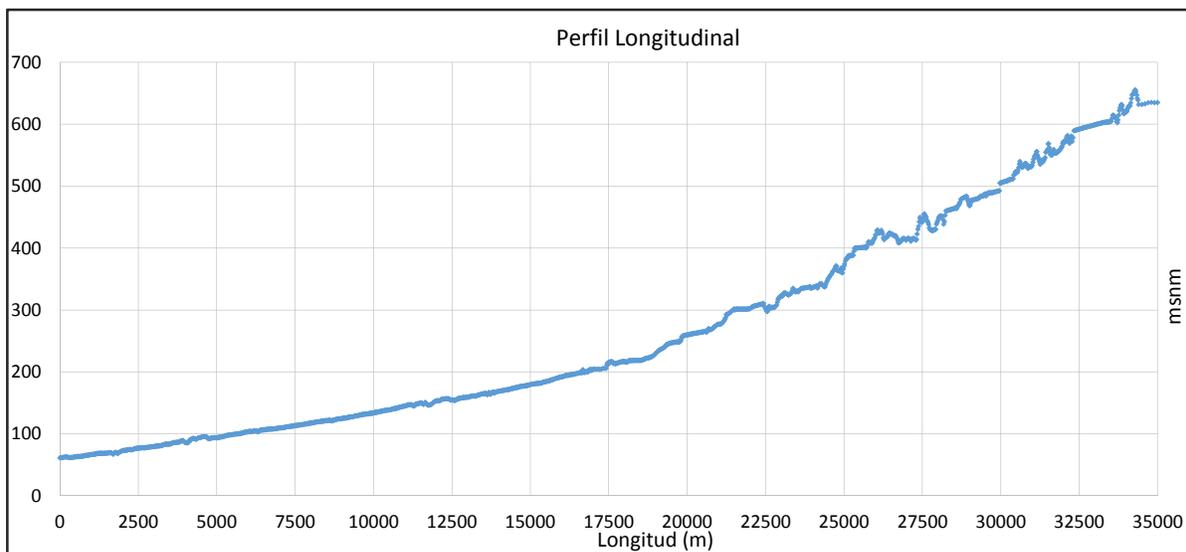


Figura N° 3.5 Perfil Longitudinal del cauce principal hasta el punto de desagüe, Barranco del Carraixet

#### 3.1.3.1 Curva características y altitud media de la cuenca

##### A) Curva hipsométrica

La curva hipsométrica es la representación gráfica del relieve medio de la cuenca. Indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca en km<sup>2</sup> que existe por encima de una cota determinada. La representación gráfica entre los porcentajes de área acumulada por encima de las elevaciones altitudinales para la cuenca del Barranco del Carraixet se muestran en la Fig. N° 3.7.

La siguiente figura muestra tres curvas hipsométricas correspondientes a otras tantas cuencas que tienen potenciales evolutivos distintos.

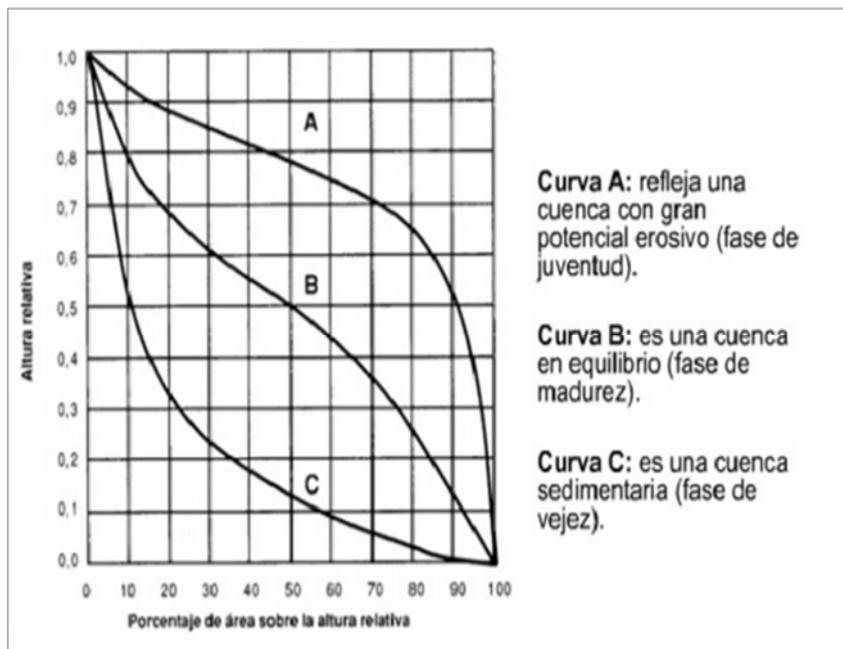


Figura N° 3.6 Tipos de curva hipsométrica, según Strahler (1964)  
(Fuente: Llamas, J., Hidrología general, figura 2-6).

Dependiendo de la forma de la curva hipsométrica se puede saber el tipo de cuenca a la que pertenece. En la figura N° 3.6 nuestra cuenca de estudio pertenecería al tipo C, cuenca sedimentaria en fase de vejez.

#### B) Barras o polígonos de frecuencia

La distribución gráfica del porcentaje de superficies ocupadas por diferentes rangos de altitud para la cuenca en estudio, se aprecian en la Fig. N° 3.7. El rango de altitud más frecuente para la cuenca está entre 110 y 140 msnm con un área de 55.32 Km<sup>2</sup> y un porcentaje de 22.71%.

#### C) Altitud media de la Cuenca

Corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica, y su cálculo obedece a un promedio ponderado: elevación – área de la cuenca. La altitud media del Barranco del Carraixet, es de 324.72 m.s.n.m.

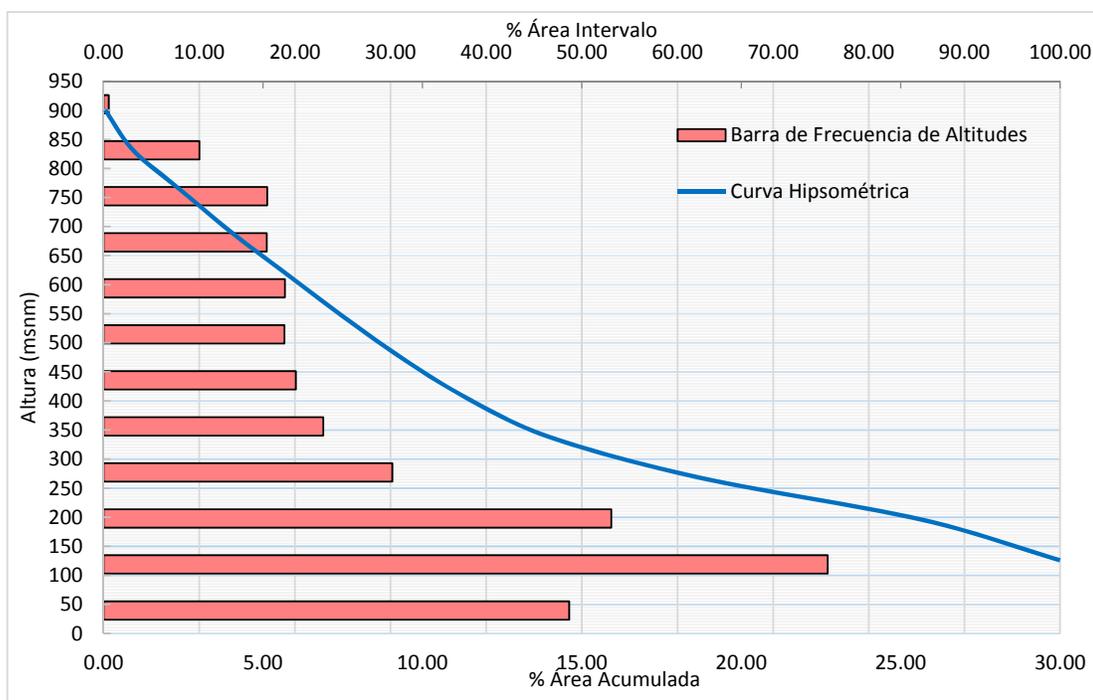


Figura N° 3.7 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes – Cuenca Barranco del Carraixet

### 3.1.4 Marco geológico

En la Comunidad Valenciana se pueden encontrar dos facies bien diferenciadas, la germánica y la continental. En nuestra área de estudio se encuentra formada por afloramientos triásicos en facies germánica típica. Las tres divisiones del triásico en facies germánica son: Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper.

En la parte más alta se encuentra muy desarrollado el Triás inferior, mientras que el espesor del Keuper disminuye mucho. El Buntsandstein predomina ampliamente, bien en forma de areniscas rojas (rodeno) y anarellinenta, bien como arcillas rojas con intercalaciones de arenisca y como arcillas abigarradas. Le siguen en importancia los afloramientos de Muschelkalk y del Suprakeuper, que es el que corona las máximas alturas, mientras que el Keuper queda reducido a unas manchas que se concentran sobre todo al Este de Olocau y al Oeste de Marines. Es también de importancia la situada al Norte del monasterio de Portacoeli, que se halla en contacto con Superkeuper a favor de una falla. Al descender por la cuenca nos encontramos el Mioceno, que es la formación más Amplia, y el Cuaternario, constituido fundamentalmente por sedimentos recientes, consistentes a cantos rodados, arenas, margas y arcillas, aunque por otra parte, ocupando menos extensión, se encuentran conglomerados y brechas más o menos cementados, que pertenecen al Pleistoceno, formado por un extenso glacis cubierto de brechas encostradas de 15 a 25 cm (costra laminar de 1 a 2 cm y conglomerado semianguloso de matriz color salmón, con cantos heterométricos de 0.5 a 5 cm), que se extiende desde la Serra de Portacoeli hasta el mismo Barranco (Pinares de Bétera, La Mallada, etc.). En la Fig. N° 3.8, se muestra el mapa geológico descargado del Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

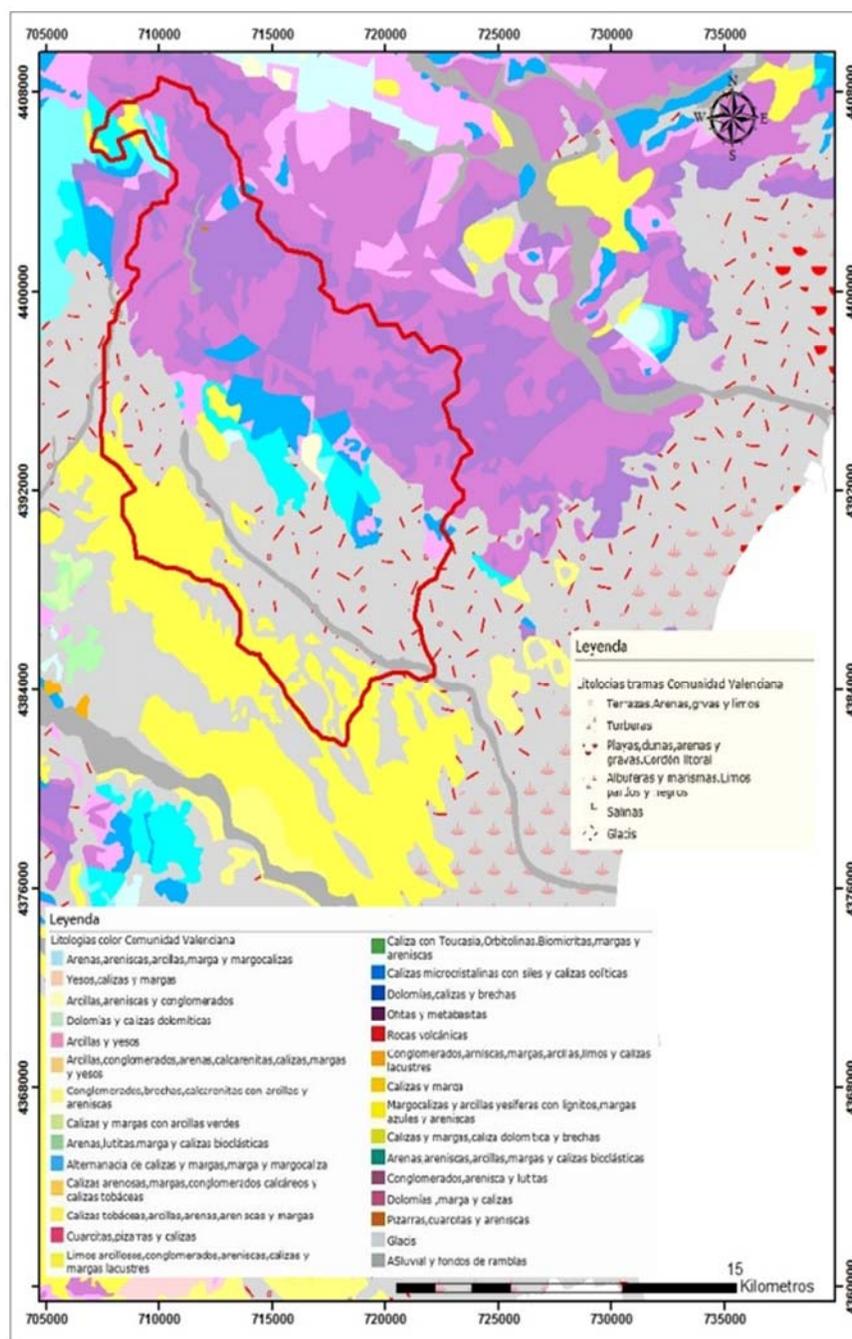


Figura N° 3.8 Mapa geológico, Barranco del Carraxet  
 Fuente: Cartografía\_Geologica/IGME\_GeologicoCValenciana\_400

### 3.1.5 Marco Hidrogeológico

Una información vital para la modelación hidrológica es conocer la permeabilidad de nuestra cuenca de estudio, esto dependiendo de lo descrito anteriormente. Al igual que el caso de la geología, la permeabilidad definida por el IGME está disponible el Mapa de Permeabilidad continuo en formato digital a escala 1:200.000, realizado a partir del Mapa Litoestratigráfico de España continuo a escala 1:2000.000. Los tipos de permeabilidad están definidos en cinco tipos:



Muy alta, Alta, Media Baja y Muy baja, definiendo cada uno de los siete grandes grupos de rocas (carbonatadas, detríticas, detríticas del cuaternario, volcánicas, metadetríticas, ígneas y evaporíticas).

La cuenca hidrográfica del Barranco del Carraixet se encuentra principalmente repartida entre la masa subterránea 080-035 Plana de Valencia Norte y la masa 080-024 Liria – Casinos, a continuación una breve descripción general de anterior comentado.

- 080-035 La Plana de Valencia Norte, es un sistema multicapa constituido por una alternancia de materiales permeables (gravas, arenas, areniscas y calizas) e impermeables (margas y arcillas) de edad comprendida entre el Burdigaliense y el Cuaternario. Los sedimentos que constituyen el sistema tienen como sustrato los materiales mesozoicos afectados por una serie de movimientos tectónicos a los que se superpone una falla matriz de dirección SO-NE que corre paralela a la costa y a una distancia que varía entre 10 y 15 Km de la costa. Estos se pueden agrupar en dos grandes grupos: El tramo superior complejo constituido por una alternancia de materiales detríticos cuaternarios intercalados en una formación limo-arcillosa en lechos horizontales y zonalmente calizas lacustres en facies Potience del Mioceno Superior, formado por la amplia llanura sobre la que se asienta la Huerta de Valencia. El tramo inferior, está constituido por magmas y arcillas que normalmente son atribuidas al oligoceno y miocenos basal, si bien no se descarta que esté constituido por el Keuper.

- 024 Liria-Casinos, se encuentra casi en su totalidad dentro de la provincia de Valencia. Se extiende desde el margen izquierdo del río Turia, a la altura de las localidades de Ribarroja y Pedralba, hasta algo más allá del límite de la provincia de Castellón, y en dirección Oeste-Este entre Higuieruelas y la línea que marca su contacto con la llanura aluvial de la Plana de Valencia. Los principales núcleos de población que se asientan en la zona son Liria, Casinos, Benaguacil, Marines y Poble de Vallbona, todos ellos eminentemente agrícolas y con cierta componente industrial. El límite norte lo definen los afloramientos o subafloramientos de materiales impermeables triásicos en facies Keuper, que desconectan este acuífero del Medio Palancia. Y en lo que respecta al oriental, se trata de un límite convencional y abierto a través del cual se establece intercambio hídrico con el acuífero de la Plana de Valencia Norte.

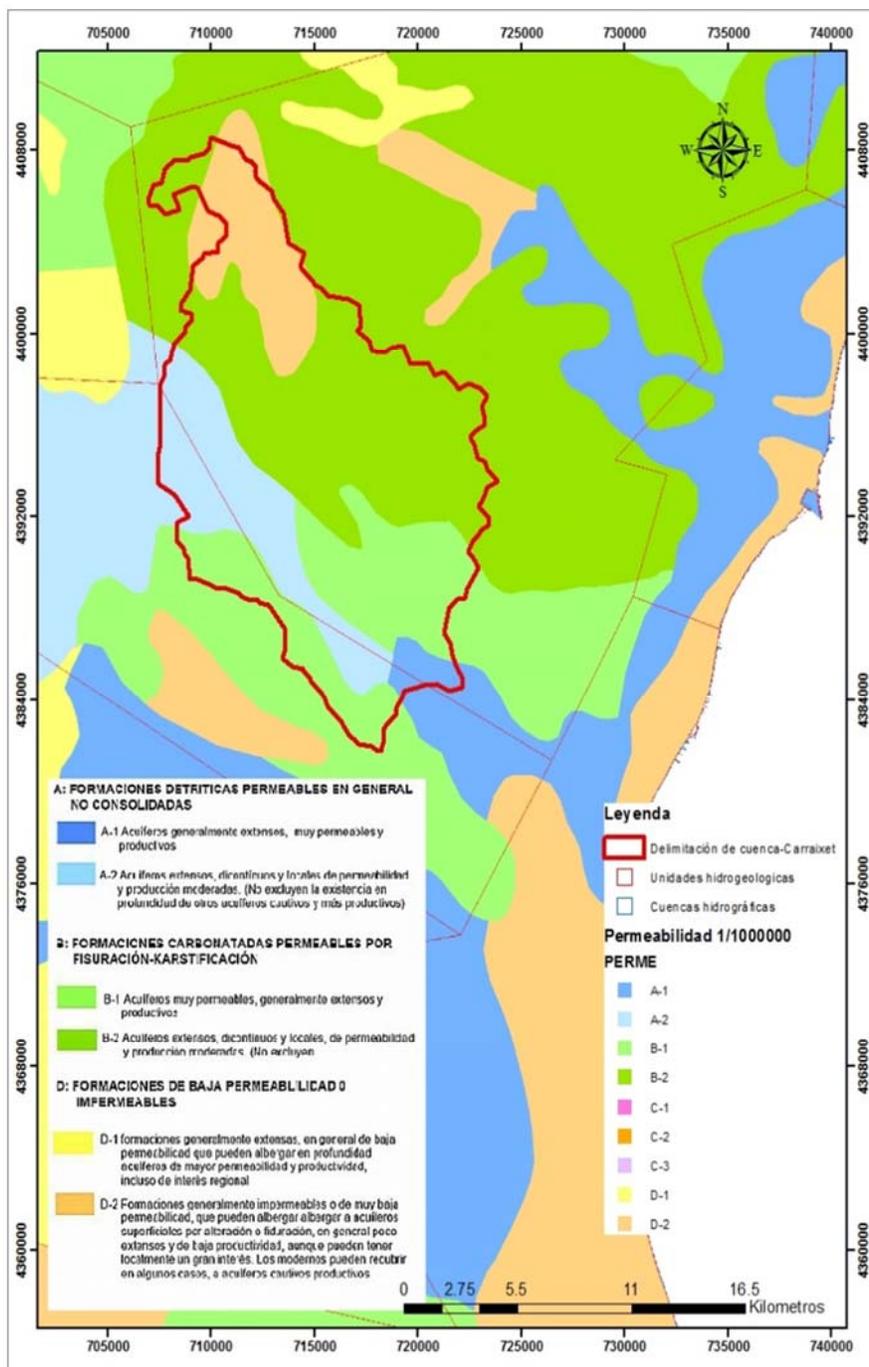


Figura N° 3.9 Mapa hidrogeológico continuo, Barranco del Carraixet  
Fuente. Cartografía Temática/IGME\_Permeabilidad\_1M

### 3.1.6 Uso de suelo

La evolución en el uso de suelo ha sido muy marcada conforme ha ido avanzando los años, especialmente en la parte media de cuenca. En el año 1956 un 38.6% ocupada por secano arbolado y viñedos, que conforman los sectores de abanicos y la plataforma calcárea de Brujassot-Llíria en la parte media de la cuenca, por otra parte la superficie boscosa conformaba

un 21.4%, en la zona de cabecera, los cultivos de huerta, en la parte llana un 15%, el matorral 13.5% y lo cítricos apenas un 9%, donde la superficie urbanizada era muy reducida (López, Camarasa y Mateu, 2007), esta representación se puede apreciar en la Fig. N° 3.10.

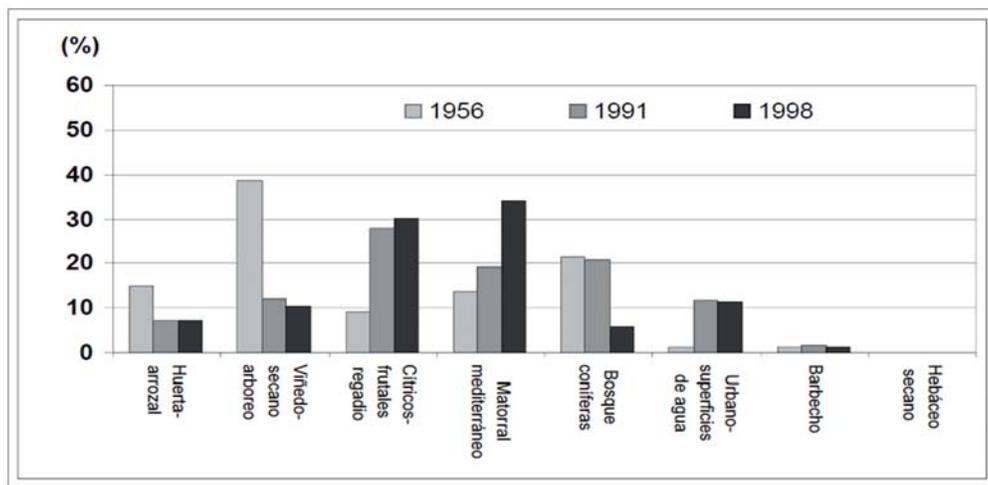


Figura N° 3.10 Distribución de los Usos del Suelo en la Cuenca de Carraxet en 1956, 1991 Y 1998.

Fuente: Estudio Cambios en los usos del suelo y producción de escorrentía en ramblas Mediterráneas: Carraxet y Rambla el Poyo (1956-1998).

El diagrama de barras muestra el % de superficie ocupada por cada uso en cada fecha. Actualmente en la llanura aluvial sobresale el territorio dedicado a cultivos de huerta y los cítricos en un espacio altamente urbanizado. La expansión del uso urbano y el desarrollo industrial en los últimos años ha generado una ocupación y degradación de los espacios agrícolas en torno a los núcleos tradicionales, a pesar de esto lo que sí ha perdurado y aumentado considerablemente son los cultivos frutícolas especialmente los cítricos.

Para el estudio de los usos del suelo de la cuenca se han utilizado los datos del proyecto Corine Land Cover de 2006, ejecutado por la Agencia Europea de Medio Ambiente. Este proyecto es una base de datos europea de ocupación del suelo a escala 1:100.000 y cuenta con tres versiones diferentes según su ejecución en 1990, 2000 y 2006. Por su mayor actualidad se ha utilizado esta última versión.

Las categorías nivel 3 de usos Corine Land Cover que aparecen en el área de estudio son:

111, 112, 121 y 142 Urbano continuo o discontinuo, zonas industriales, zonas en construcción y otras zonas recreativas y de jardín.

222 Cultivos frutícolas. En la zona se pueden encontrar en su gran mayoría cítricos u otros frutales como la sandía y el almendro.

223 Olivar. Suelo agrícola destinado al cultivo de olivo.

242 Mosaico de cultivo. Distribuciones entremezcladas de cultivos anteriores.

243 Cultivos con orlas de vegetación natural. Zonas cultivadas con lindes, y ribazos que mantienen parte de la vegetación natural y su ecosistema.

312 Monte de coníferas. Uso de suelo predominante y de características muy heterogéneas, no siempre coincidente con estadios claros de ambiente vegetal, ejemplo páramos.



321 Praderas. Zonas desarboladas con vegetación herbáceas natural.

323 Matorral esclerófilo. Monte de especies esclerófilas con acompañamiento arbustivo.

324 Bosque de transición – arbusto. Áreas con vegetación natural en estadios transformantes de vegetación.

331 - 333 Forestal de transición. Referente a las zonas de escasa vegetación como zonas de playas, dunas, arenales y roquedos que carecen prácticamente de suelo, el sustrato es rocoso y coincide con el material geológico desnudo.

La superficie que ocupa el Barranco del Carraixet según Corine Land Cover de 2006, se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla Nº 3.1 Uso de Suelo Barranco del Carraixet según Corine Land Cover 2006

CLC 2006	Barranco del Carraixet		
Código CLC nivel 3	Uso de suelo	Porcentaje (%)	Area (Km <sup>2</sup> )
111	Urbano continuo	1.25	3.106
112	Urbano discontinuo	6.58	16.357
121	Industrial y comercial	0.11	0.266
142	Zonas deportiva y de recreo	0.40	1.000
222	Cultivos frutícolas	25.53	63.486
223	Olivar	4.39	10.911
242	Cultivos en mosaico	10.05	24.995
243	Cultivos con orlas de veg. Natural	5.33	13.245
312	Monte de coníferas	7.63	18.969
321	Praderas	0.28	0.694
323	Matorral esclerófilo	18.87	46.928
324	Bosque de transición-arbusto	18.90	47.001
331	Forestal de transición playas, dunas, arenales, roquedos	0.33	0.826
333	Zonas con escasa vegetación	0.34	0.849
<b>Total</b>		<b>100.00</b>	<b>248.65</b>

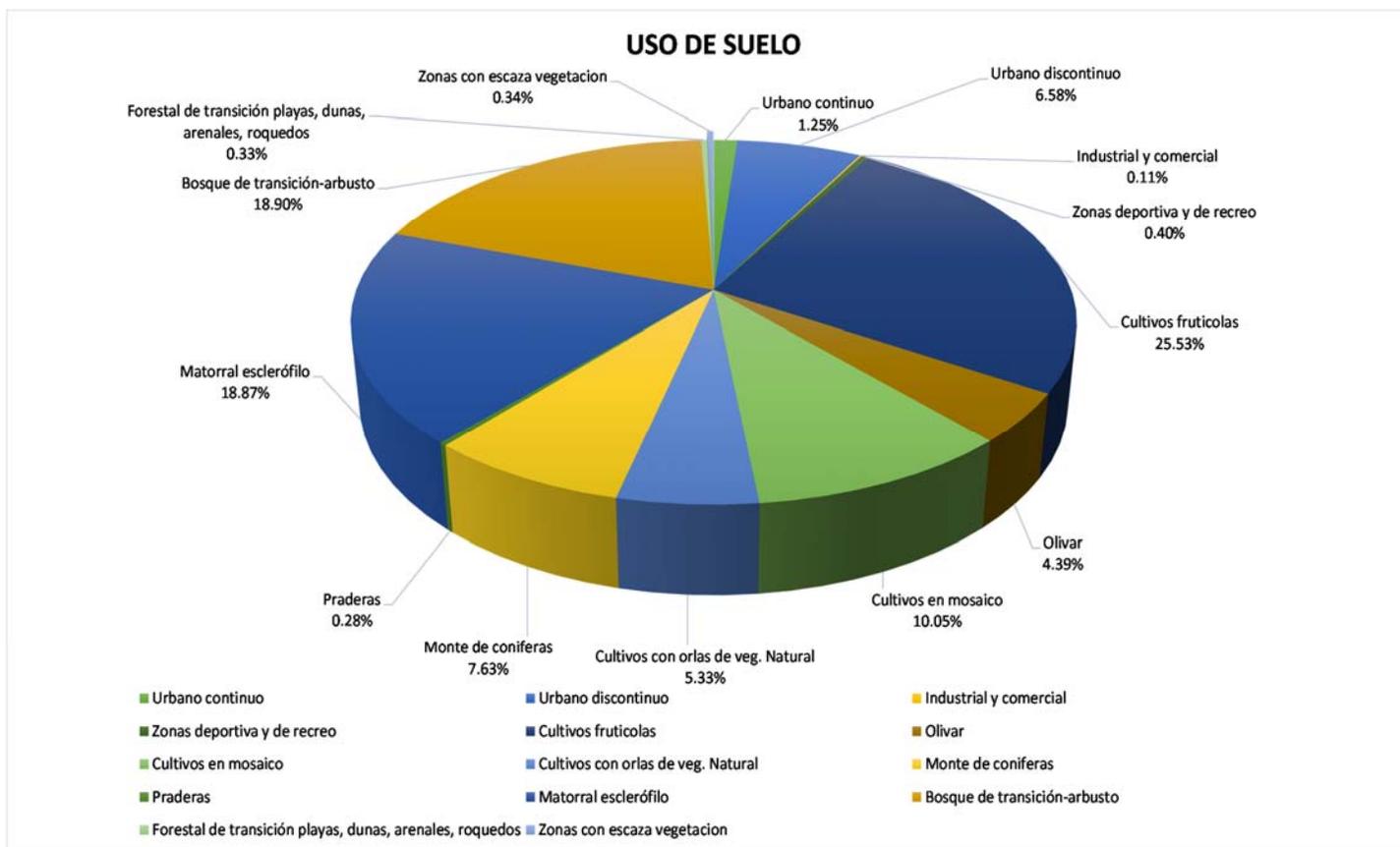


Figura N° 3.11 Uso de Suelo en la cuenca del Barranto del Carraixet según Corine Land Cover 2006



---

# CAPITULO 4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

---



En el presente capítulo se aborda la descripción y análisis de la información hidrometeorológica recopilada y requerida por el modelo distribuido para el inicio de la simulación hidrológica. En primer lugar se tratarán los datos meteorológicos: precipitación, temperaturas, y evapotranspiración potencial.

## 4.1 Información meteorológica

### 4.1.1 Series de Precipitación y Temperatura

Una pieza clave para la simulación del modelo, es la serie de precipitación. Si se pretende modelar las crecidas de una cuenca habrá que centrarse en analizar en profundidad los fenómenos de producción (dependerá de la precipitación y de la infiltración) y traslación de la escorrentía (dependerá de la topografía) y despreciar otros fenómenos importantes en otros períodos del año como la evapotranspiración (Pascual Aguilar, 2001). Sin embargo cómo también se contará con datos de temperatura interpolada por el proyecto Spain02, se tomarán en cuenta los datos de temperatura, las cuáles son relevantes para el cálculo de la evapotranspiración.

Los dos tipos de información empleadas para el modelamiento hidrológico serán datos puntuales e interpolados:

*Datos puntuales*, en este caso se tienen datos precipitación a escala diaria y cincominutal con una longitud de período de 1989-2013, procedentes de las estaciones pluviométricas de la red del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). Obteniéndose un aproximado de 24 años de datos de los cuáles se escogerán 18 años que servirán para realizar una comparación con los datos interpolados Spain02 que sólo se obtienen hasta el año 2007. Cabe resaltar que existen datos faltantes o en muchos casos fallo de medición en algunas estaciones pluviométricas a lo largo de todos los registros.

*Datos interpolados*, estos datos son provenientes de la base de datos interpolados del proyecto Spain02, desarrollado por la universidad de Cantabria. Es el único que cubre a escala diaria la precipitación y temperaturas de todo el territorio español peninsular, con resolución espacial de  $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$  (Denominado Spain02v2) y de resolución  $0.11^{\circ} \times 0.11^{\circ}$  (Denominado Spain02v4), de las cuales por su mejor resolución y antecedentes de estudios anteriores que han dado buenos resultados se utilizará los datos interpolados de Spain02v4.

#### 4.1.1.1 Series de datos puntuales

Como ya se ha mencionado al inicio de este capítulo los datos puntuales han sido obtenidos del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de la confederación Hidrográfica del Júcar. Estos datos se encuentran a escala cincominutal, por lo tanto para la modelación hidrológica diaria ha sido necesario el desarrollo de hojas de cálculo Excel para agregarlos a escala diaria. Se ha utilizado 11 estaciones pluviométricas, de los cuales dos se encuentran dentro de la cuenca y las demás cercanas a la misma.

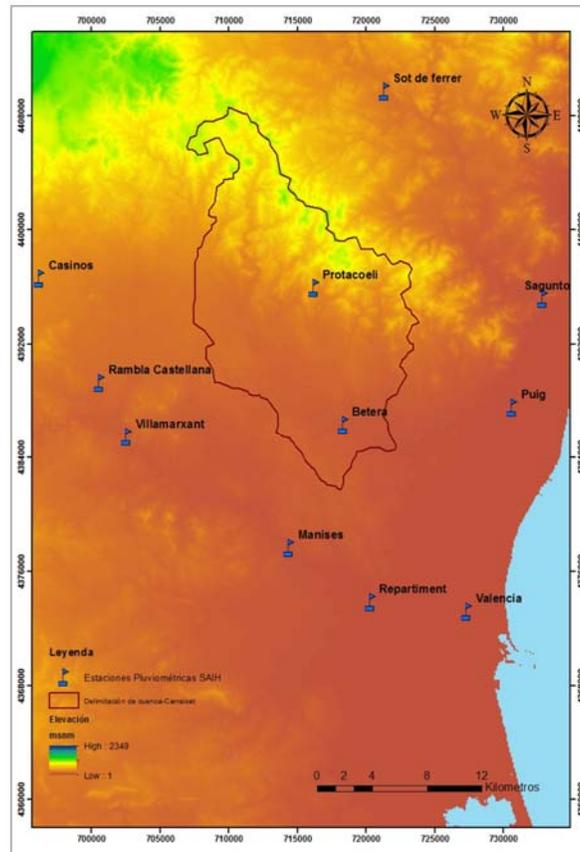


Figura N° 4.1 Localización de pluviómetros de la red SAIH – Barranco del Carraixet

Tabla N° 4.1 Tabla de estaciones pluviométricas SAIH

Código	Estación	Este	Norte	Cota (m)
"0E02AA01MVCR"	Repartiment	720364	4373839	35
"0E03AA01MVCR"	Manises	714421	4377649	56
"0L01AA01MVCR"	Sot de Ferrer	721390	4409740	228
"0O01AA01MVCR"	Bétera	718374	4386368	124
"0O02AA01MVCR"	Rambla Castellana	700600	4389310	161
"0O03AA01MVCR"	Villamarxant	702550	4385475	99
"0P02AA01MVCR"	Portacoeli	716214	4395940	350
"0P06AA01MVCR"	Casinos	696213	4396606	309
"0S01AA01MVCR"	Valencia	727370	4373180	12
"0C01AA01MVCR"	Puig	730670	4387573	20
"0L03AA01MVCR"	Sagunto	732919	4395190	58



Como estos datos son puntuales, será necesaria su interpolación espacial para determinar la precipitación media anual, mensual y diaria en nuestra área de estudio. En el caso de la precipitación se suele contar con una densidad de puntos de medición suficiente como para que el método de inverso de la distancia al cuadrado sea adecuado. Este método es el que emplea el modelo TETIS para la interpolación de la precipitación y la evapotranspiración potencial.

Este método consiste en la obtención de factores de ponderación  $w_{0j}$  como una función entre la distancia de un punto o celda  $(x_0, y_0)$  donde se quiere estimar el valor de la variable y las estaciones de medición  $(x_j, y_j)$  de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$w_{0j} = \frac{1/d_{0j}^2}{\sum_{i=1}^n 1/d_{0i}^2}$$

Donde  $n$  es el número de estaciones de medición empleadas y  $d_{0j}$  se calcula como:

$$d_{0j} = \sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}, j = 1, \dots, n$$

El valor de la variable  $X$  en el punto de interés es estimado como la sumatoria del producto del respectivo factor de ponderación por el valor puntual registrado en cada una de las estaciones de medición, según la expresión:

$$X_0 = \sum_{j=1}^n w_{0j} * X_j$$

Con los datos puntuales de precipitación proporcionados por el SAIH, se puede obtener la serie de precipitación media de la cuenca, ponderando valores de cada estación con las medidas de área de su polígono de Thiessen, esta es la misma metodología que utiliza el modelo TETIS.

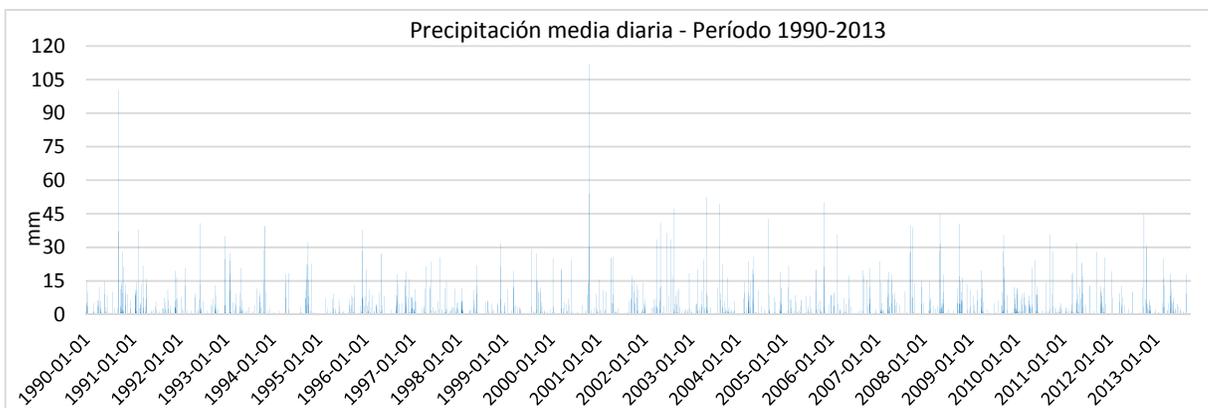


Figura N° 4.2 Precipitación media diaria, datos SAIH, período 1990-2013

En la Fig. N° 4.2, se puede observar una importante representación de la precipitación media diaria en octubre del año 2000 con 111.7 mm y setiembre de 1990 con 100.40 mm, así como en mayo de 2003 con 52.2 mm.

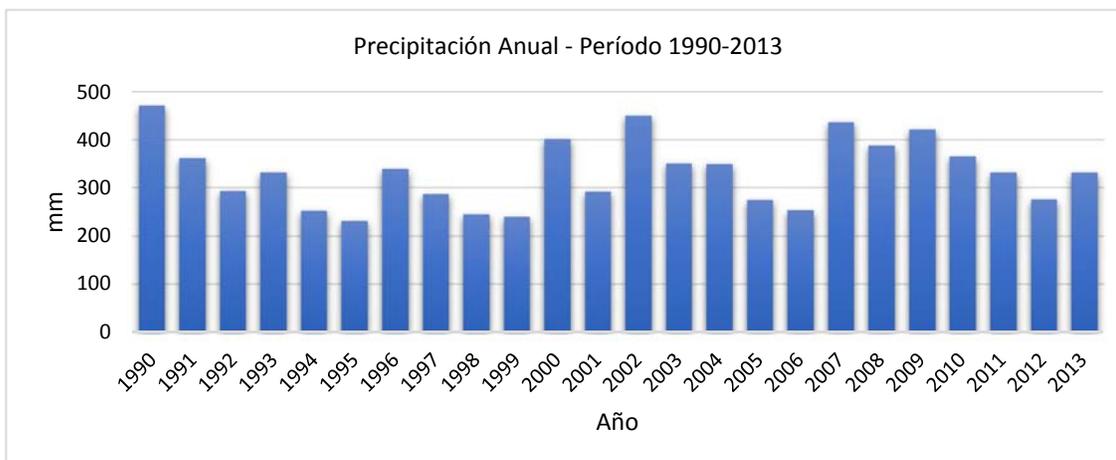


Figura N° 4.3 Precipitación anual según registros SAIH, período 1990-2013.

Como se puede observar en la Fig. N° 4.3, los valores estadísticos de la serie de precipitación definen una precipitación media anual en la cuenca de 330 mm/año, un máximo de 471 mm del año de 1990 y un mínimo de 228 mm en el año 1995. Se puede decir que los años con mayor precipitación anual sobre los 400 mm son el año de 1990, 2000, 2002, 2007 y 2008 y menos de los 250 mm los años 1995, 1998, 1999.

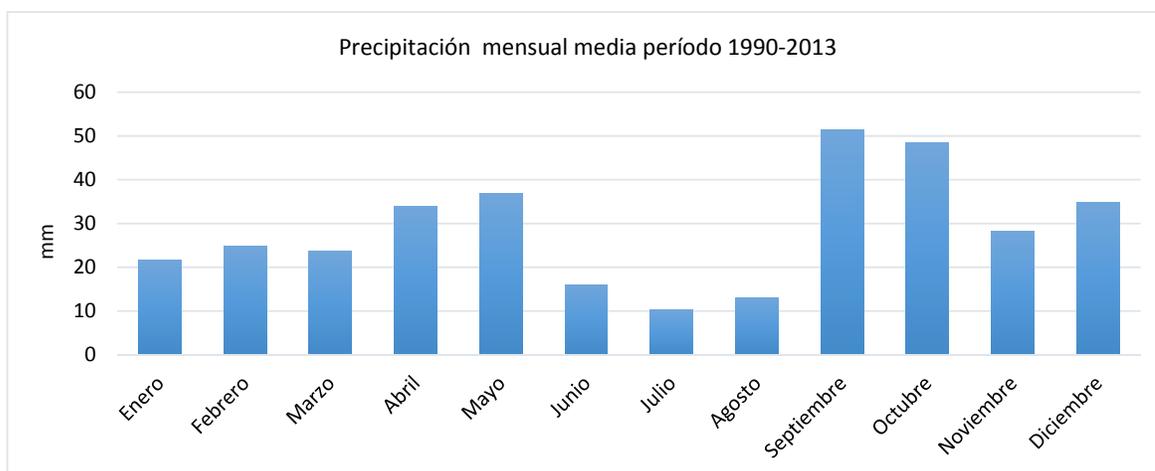


Figura N° 4.4 Precipitación mensual media, según registros SAIH, período 1990-2013.

Según la Fig. N° 4.4, los valores mensuales de precipitación son mayores en los meses de setiembre y octubre, coincidiendo con el tiempo donde existe mayor probabilidad de lluvia y donde ha ocurrido el evento conocido como la "Gota fría". Cabe destacar que en los meses de primavera también existe una importante representación de la precipitación, lo cual indica que se debe tener un importante análisis en este tiempo. Los valores mínimos de precipitación media mensual se presentan en el mes de julio.

#### 4.1.1.2 Series de datos interpolados de precipitación y temperatura

Los datos interpolados tanto de precipitación y temperatura a utilizar en la modelación serán del proyecto Spain02, de la red estatal de la Agencia Estatal de Meteorología AEMET. Se tienen en rejilla de resolución  $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$  en la versión 2 (Herrera et al., 2012) y  $0.11^{\circ} \times 0.11^{\circ}$ , mientras que en su versión 4 en coordenadas acordes a la rejilla Euro-CORDEX. La interpolación de los datos se basa en la versión dos en técnicas de Krigging Ordinario, mientras que la versión cuarta incorpora a lo anterior la ponderación areal de los valores, relevante para la bajada de escala a  $0.11^{\circ}$ , el intervalo temporal cubierto es de 1950-2008 para el primer caso y 1971-2008 para el segundo. De las dos versiones anteriormente mencionadas, se utilizarán los datos de la versión 4 por mejor resolución y buenos antecedentes de estudios anteriores.

Spain02 es un proyecto de generación de base de datos meteorológicos interpolados (de acceso público) desarrollado por la Universidad de Cantabria (UNICAN) en colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para el territorio peninsular e Islas Baleares. Las estaciones utilizadas pertenecen a la red AEMET, que consta de miles de estaciones para el caso de precipitación y centenares para las termométricas.

Como se tienen dos tipos de datos interpolados, se ha creído conveniente usar tanto la versión de Spain02v02 de resolución  $0.2^{\circ}$  como la última versión de Spain02v4 de resolución  $0.11^{\circ}$ . Esto permitirá obtener algunas conclusiones sobre la importancia de la densidad de datos en la cuenca, y comparar los resultados con los datos proporcionados por el SAIH. En los siguientes gráficos se muestra la distribución de la rejilla para los dos tipos de datos interpolados.

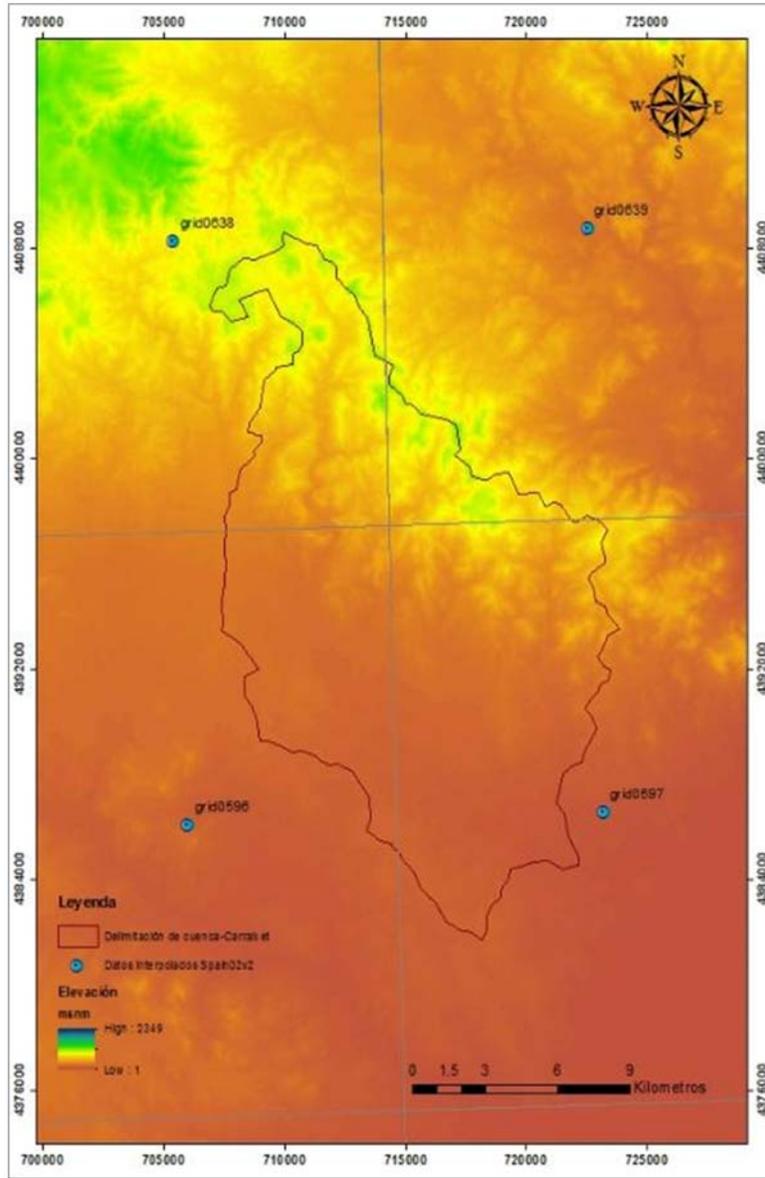


Figura N° 4.5 Distribución de la rejilla de datos interpolados Spain02v2 (resolución 0.29)

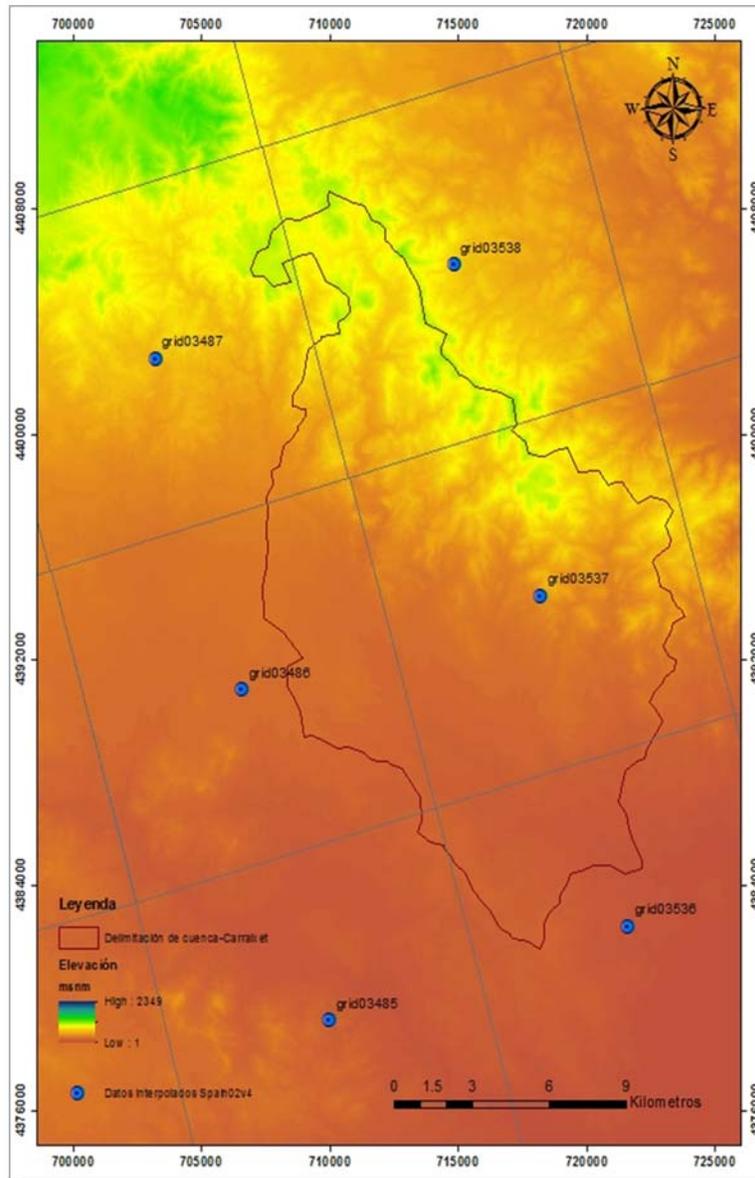


Figura N° 4.6 Distribución de la rejilla de datos interpolados Spain02v4 (resolución 0.11<sup>º</sup>)

Conociendo las diferentes resoluciones y densidad de datos que tienen los dos tipos de datos interpolados, se ha creído conveniente realizar una comparación de estos y analizar las diferencias. Realizando el mismo procedimiento para los datos de la serie SAIH, se han obtenido los siguientes estadísticos de sus valores.

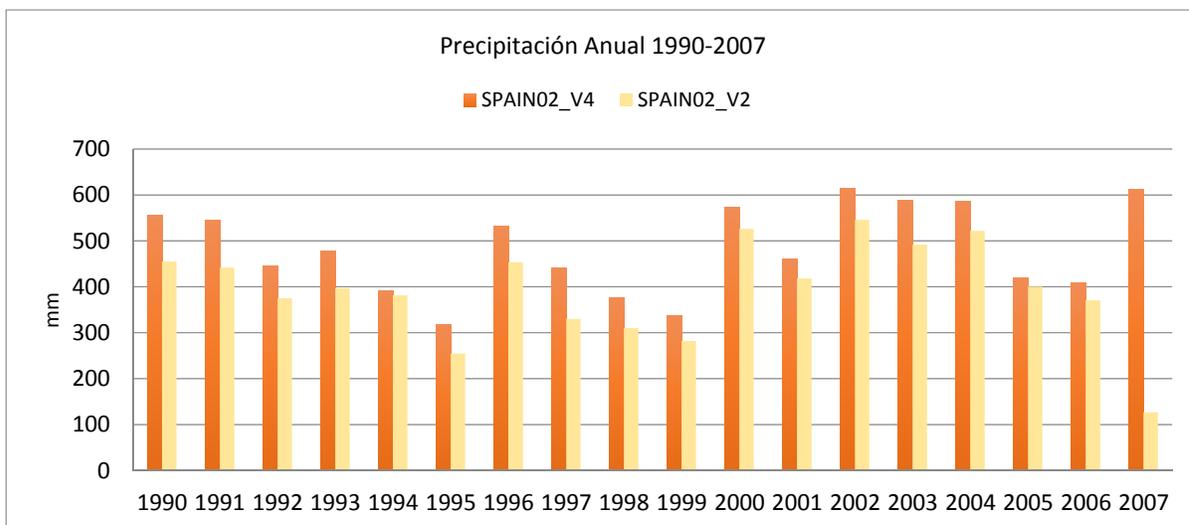


Figura N° 4.7 Precipitación anual en las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007

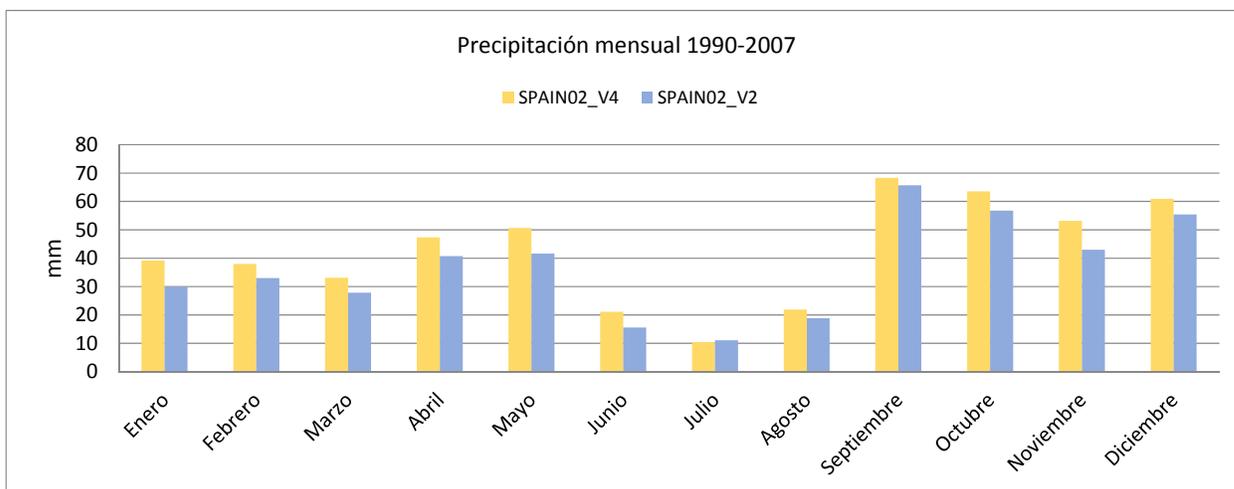


Figura N° 4.8 Gráfico precipitación mensual en las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007



Para los datos de la serie de Spain02v2 se tiene una precipitación anual media en la cuenca de 416 mm/año, un máximo de 546 mm en el año 2002, y un mínimo de 255 mm en el año 1995.

En la serie de Spain02v4, la precipitación media anual de la cuenca alcanzó los 482 mm, con un máximo de 614 mm en el año 2002, y un mínimo de 319 mm en el año 1995.

Del análisis anterior, los valores determinados para los dos tipos de datos interpolados están muy cercanos. Coincidiendo los años con mayor y menor precipitación anual, determinando que el período con mayor precipitación media anual es el año 2002, y el período de sequía en el año 1995.

También se ha realizado una comparación en el período común de la serie de precipitación SAIH con respecto a los dos tipos de datos interpolados de Spain02v2 y Spain02v4, obteniéndose los siguientes resultados:

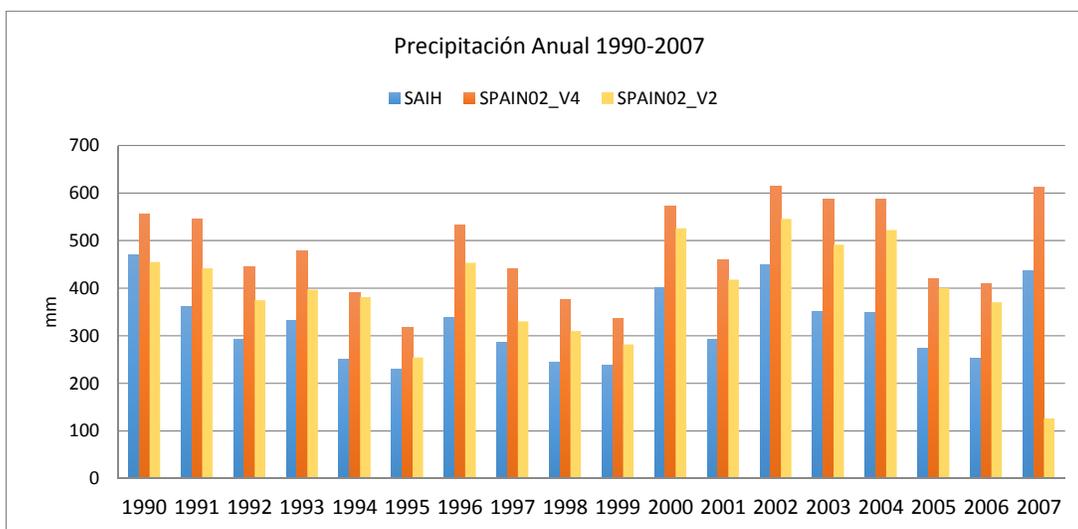


Figura N° 4.9 Precipitación anual en las series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007



*Tabla Nº 4.2 Comparativa de precipitación anual (en mm) de las series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007*

Fecha	SAIH	SPAIN02_V4	Diferencia %	SPAIN02_V2	Diferencia %
1990	470.82	555.78	18.05	455.11	-3.34
1991	361.86	545.14	50.65	441.82	22.10
1992	292.73	444.87	51.97	375.07	28.13
1993	331.79	478.91	44.34	397.00	19.66
1994	252.06	391.40	55.28	381.52	51.36
1995	230.63	318.67	38.17	254.58	10.39
1996	338.38	532.17	57.27	453.36	33.98
1997	286.76	440.52	53.62	330.17	15.14
1998	244.22	377.30	54.49	309.79	26.85
1999	238.79	336.56	40.95	281.98	18.09
2000	401.73	573.24	42.69	525.94	30.92
2001	291.62	459.93	57.72	418.04	43.35
2002	449.67	613.65	36.47	545.64	21.34
2003	350.12	587.86	67.90	491.59	40.40
2004	349.14	586.66	68.03	522.01	49.51
2005	273.91	420.03	53.35	400.29	46.14
2006	252.38	409.47	62.24	370.46	46.79
2007	436.11	612.20	40.38	528.27	21.13

*Tabla Nº 4.3 Comparativa de precipitación anual (en mm) de las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007*

Fecha	SPAIN02V4	SPAIN02V2	Diferencia %	Fecha	SPAIN02V4	SPAIN02V2	Diferencia %
1990	555.78	455.11	18.11	1999	336.56	281.98	16.22
1991	545.14	441.82	18.95	2000	573.24	525.94	8.25
1992	444.87	375.07	15.69	2001	459.93	418.04	9.11
1993	478.91	397.00	17.10	2002	613.65	545.64	11.08
1994	391.40	381.52	2.53	2003	587.86	491.59	16.38
1995	318.67	254.58	20.11	2004	586.66	522.01	11.02
1996	532.17	453.36	14.81	2005	420.03	400.29	4.70
1997	440.52	330.17	25.05	2006	409.47	370.46	9.53
1998	377.30	309.79	17.89	2007	612.20	528.27	13.71

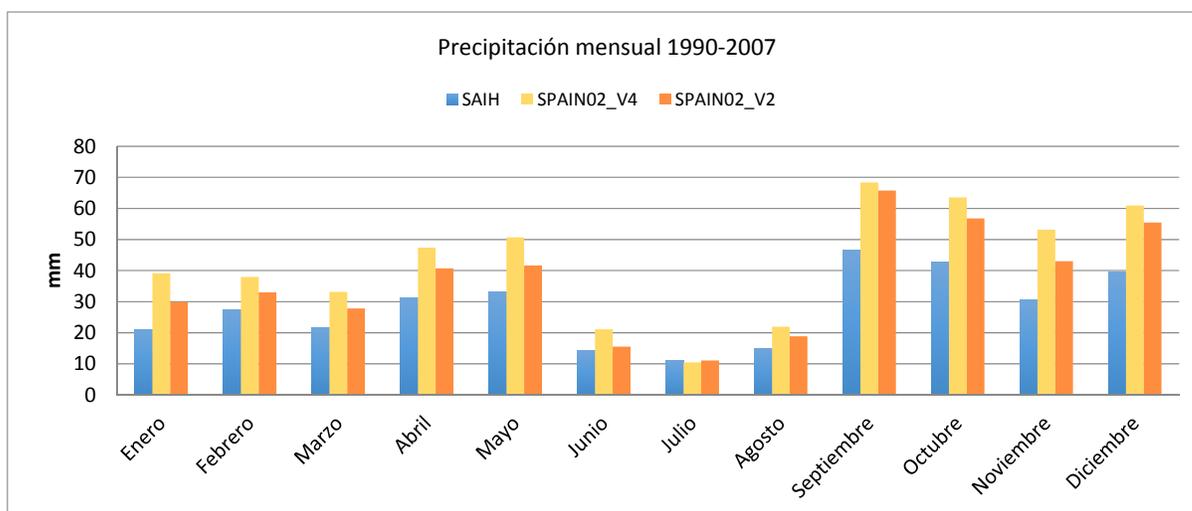


Figura N° 4.10 Precipitación mensual media en las series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007

Tabla N° 4.4 Comparativa de precipitación mensual media (en mm) de las series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007

Fecha	SAIH	SPAIN02_V4	Diferencia %	SPAIN02_V2	Diferencia %
Enero	22.65	40.33	78.03	30.65	35.32
Febrero	26.65	34.84	30.74	31.79	19.27
Marzo	20.36	32.04	57.34	26.52	30.25
Abril	33.63	51.44	52.94	44.32	31.78
Mayo	32.44	48.04	48.09	39.57	21.99
Junio	12.93	20.30	56.90	14.75	14.02
Julio	10.89	10.27	-5.72	10.07	-7.52
Agosto	14.77	21.26	43.96	18.93	28.15
Septiembre	47.87	63.37	32.36	60.46	26.30
Octubre	46.58	70.56	51.48	63.35	36.00
Noviembre	25.40	40.22	58.38	34.51	35.88
Diciembre	30.96	49.80	60.84	40.77	31.68



Tabla Nº 4.5 Comparativa de precipitación mensual media (en mm) de las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007

Fecha	SPAIN02_V4	SPAIN02_V2	Diferencia %
Enero	40.33	30.65	23.99
Febrero	34.84	31.79	8.77
Marzo	32.04	26.52	17.21
Abril	51.44	44.32	13.84
Mayo	48.04	39.57	17.63
Junio	20.30	14.75	27.33
Julio	10.27	10.07	1.91
Agosto	21.26	18.93	10.99
Septiembre	63.37	60.46	4.58
Octubre	70.56	63.35	10.21
Noviembre	40.22	34.51	14.21
Diciembre	49.80	40.77	18.13

De los resultados anteriores se puede observar que existe una importante diferencia de precipitación de la serie SAIH con respecto a los datos interpolados. Para la serie anual de Spain02v2 existe una diferencia mayor en el año 1994 de aproximadamente 50%, mientras que para la serie anual Spain02v4 de 68% para el año de 2004. Para la serie mensual de los datos de Spain02v2 la mayor diferencia se presenta en el mes de octubre y para la serie Spain02v4 el mes de enero. Con respecto a la diferencia entre los dos tipos de datos interpolados son bajas, siendo la mayor diferencia el año 1997 con 27%, y en el mes de enero con 24%.

Para el caso de la temperatura se ha obtenido lo siguiente:

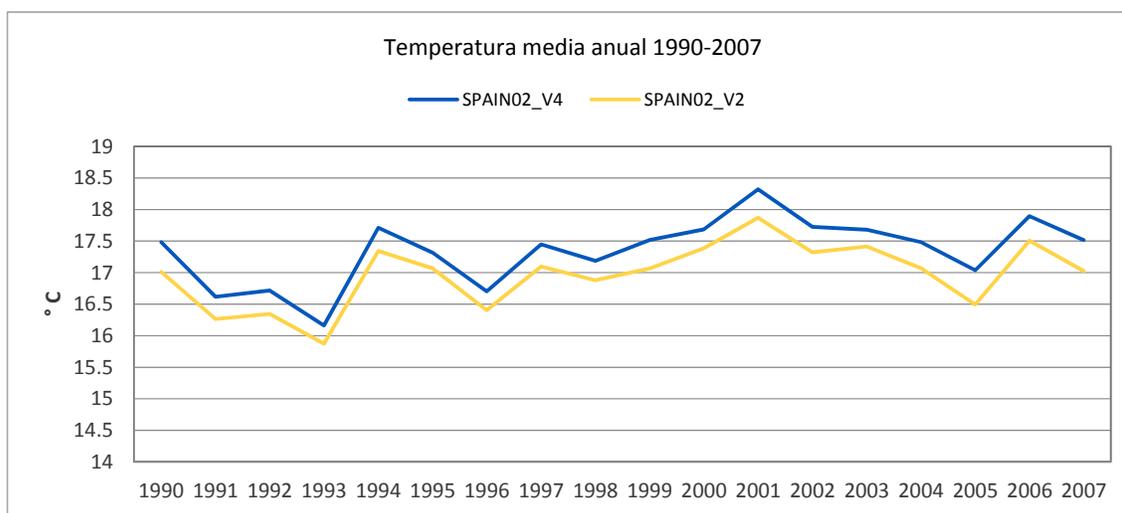


Figura Nº 4.11 Temperatura media anual en las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007

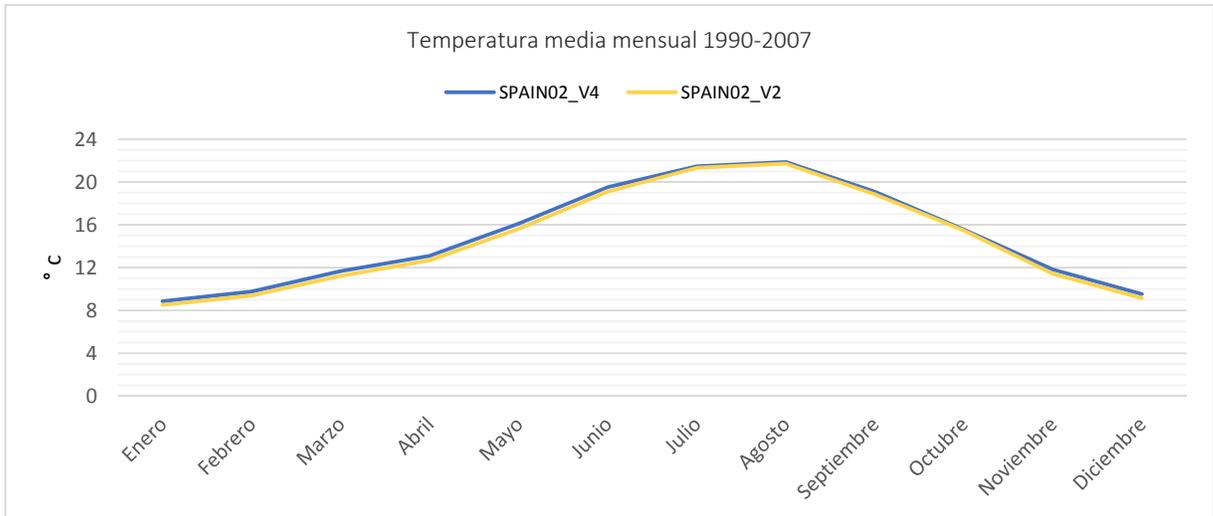


Figura N° 4.12 Temperatura media mensual en las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007

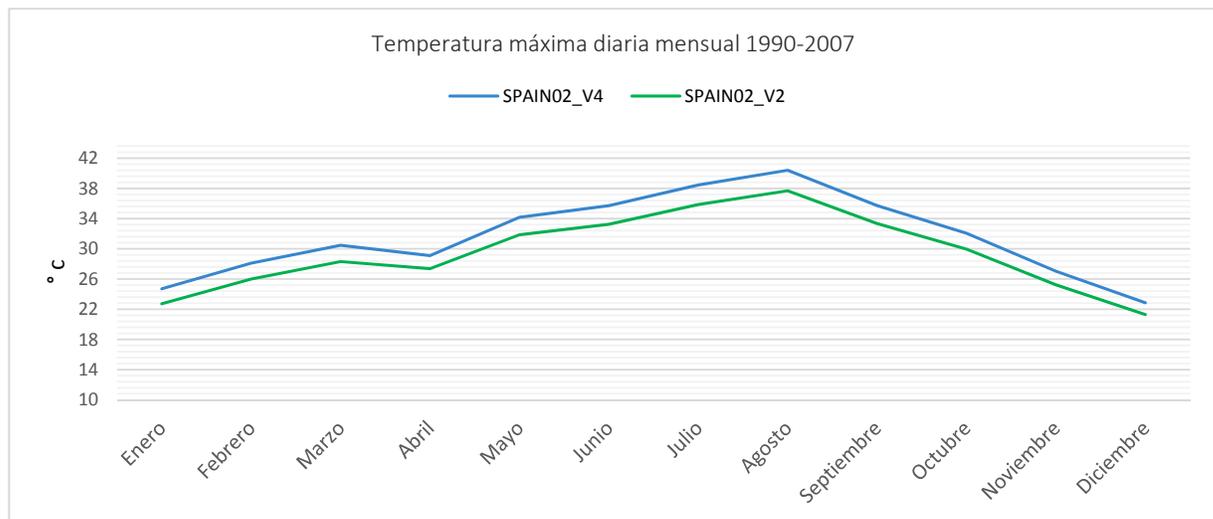


Figura N° 4.13 Temperatura máxima diaria mensual en las series Spain02v2 y Spain02v4, periodo 1990-2007

En los gráficos anteriores se puede observar una leve diferencia de temperaturas, tanto anuales como mensuales, esto debido a que el espesor de rejilla de los datos Spain02v4 es menor con respecto a los valores de Spain02v2. Encontrándose una temperatura media anual entre los rangos de 16 y 18 °C/año, una mensual entre 8 y 22 °C/mes. La temperatura máxima diaria mensual de toda la serie se presenta en el mes de agosto con 40 °C.



#### 4.1.2 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial (ET<sub>0</sub>) se ha calculado según la ecuación de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985). Esta ecuación únicamente necesita datos de temperaturas y de radiación solar.

La expresión general es la siguiente:

$$ET_0 = 0.0135 * (t_{med} + 17.78) * R_s$$

Donde:

ET<sub>0</sub> es la evapotranspiración de referencia (mm/día).

t<sub>med</sub> es la temperatura media (°C).

R<sub>s</sub> es la radiación solar incidente (mm/día).

La radiación solar incidente, R<sub>s</sub>, se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); ésta última aparece según los autores como R<sub>0</sub> ó R<sub>a</sub>, y su valor está tabulado en función de la latitud del lugar y del mes. En este documento nos referiremos a ella como R<sub>0</sub>. Antes de efectuar el cálculo con la R<sub>0</sub>, es necesario hacer la conversión de MJ/(m<sup>2</sup>\*día) a mm/día, cuyo factor es 0.408.

Samani (2000) propone la siguiente ecuación para la obtención de la radiación solar incidente:

$$R_s = R_0 * KT * \sqrt{(t_{max} - t_{min})}$$

R<sub>s</sub> es la radiación solar incidente (mm/día).

R<sub>0</sub> es la radiación solar extraterrestre (mm/día).

KT es un coeficiente empírico (adimensional).

t<sub>máx</sub> es la temperatura diaria máxima (°C).

t<sub>mín</sub> es la temperatura diaria mínima (°C).

Por lo tanto como R<sub>0</sub> está tabulada y las temperaturas son datos empíricos fáciles de obtener, la dificultad reside en el coeficiente KT.

Este coeficiente KT, es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves (citado en Samani, 2000) recomienda KT=0.162 para regiones de interior y KT=0.19 para regiones costeras.

Tomando el valor medio KT=0.17, resulta la expresión citada con más frecuencia en la bibliografía:

$$ET_0 = 0.0023 * (t_{med} - 17.8) * R_0 * \sqrt{t_{max} - t_{min}}$$



El valor de R0 para el hemisferio norte en función de la latitud del lugar y del mes del año, viene tabulado en el "anexo 2 Tablas meteorológicas del documento de la FAO"

Tabla Nº 4.6 Radiación solar extraterrestre en MJ/ (m<sup>2</sup>\*día), extraída del anexo 2 tablas meteorológicas del documento de la FAO

Lat.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	2.6	10.4	23.0	35.2	42.5	39.4	28.0	14.9	4.9	0.1	0.0
68	0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42.0	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0
66	0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1
64	1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30.0	18.4	8.5	2.4	0.6
62	2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39.0	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3
60	3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2
58	4.3	9.6	17.7	28.4	37.0	41.3	39.4	32.0	21.7	12.1	5.5	3.1
56	5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2
54	6.5	12.0	20.0	30.0	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2
52	7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4
50	8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5
48	10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7
46	11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9
44	12.5	18.0	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1
42	13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4
40	15.0	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30.0	22.5	16.3	13.6
38	16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37.0	30.7	23.6	17.5	14.8
36	17.5	22.6	29.0	35.7	40.0	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1
34	18.7	23.7	29.9	36.1	40.0	41.6	40.8	37.6	32.2	25.6	19.9	17.3
32	19.9	24.8	30.7	36.5	40.0	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5
30	21.1	25.8	31.4	36.8	40.0	41.2	40.6	38.0	33.4	27.6	22.2	19.8
28	22.3	26.8	32.2	37.1	40.0	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21.0
26	23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2
24	24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3
22	25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5
20	26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6
18	27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8
16	28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9
14	29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9
12	30.9	33.8	36.5	38	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0
10	31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0
8	32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0
6	33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9
4	34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9
2	35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

Fuente: "Tablas meteorológicas", cuadro A26, del documento de la FAO56

De esta forma, los únicos datos necesarios son los de temperatura. Éstos se han obtenido de la base de datos Spain02.

Los resultados de evapotranspiración obtenidos son diarios. En este caso se ha considerado que la variación de la evapotranspiración a lo largo del día no sería significativa y por lo tanto se ha tomado una evapotranspiración constante.

4.14 Gráfico ET<sub>0</sub> media mensual calculada a partir de la ET<sub>0</sub> diaria obtenida con el método Hargreaves para las series Spain02v2 y Spain02v4.

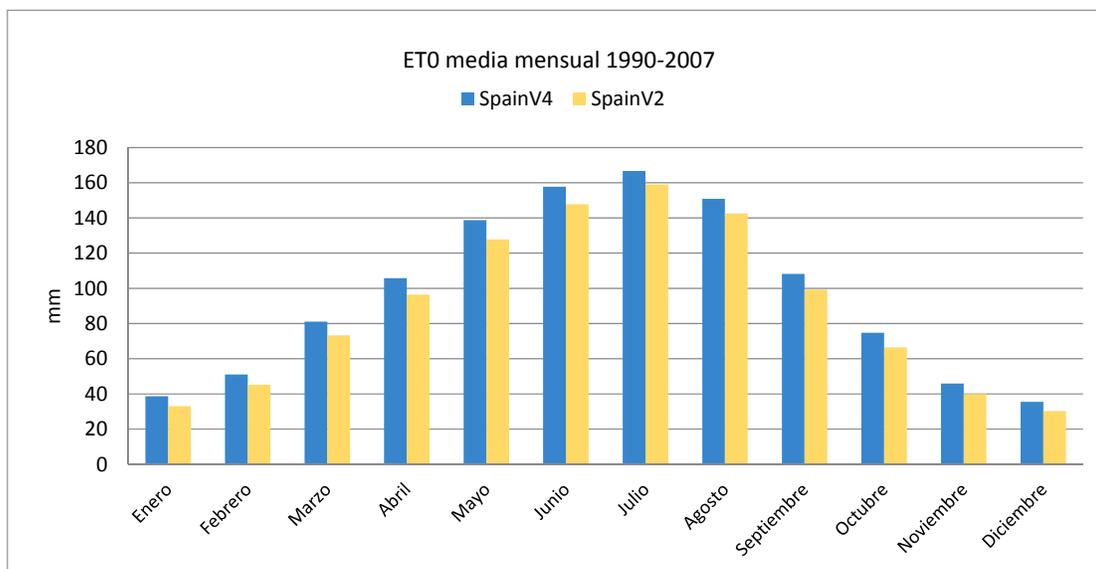


Figura N° 4.14 ET<sub>0</sub> media mensual calculada a partir de la ET<sub>0</sub> diaria obtenida con el método Hargreaves para las series Spain02v2 y Spain02v4

Se puede observar en el gráfico anterior que los valores de evapotranspiración máximos están por los 163 mm en el mes de julio y los valores mínimos en el mes de diciembre con 32 mm. Para el caso de Spain02v2 se tienen valores de 1060 mm/año y para Spain02v4 1150 mm/año.

## 4.2 Información hidrológica

De igual forma que en el caso de los datos de precipitación, la información sobre aforos ha sido suministrada por el S.A.I.H. Dentro del área de la cuenca se cuenta con una sola estación, Bétera con coordenadas UTM 718374, 4386368; datos de aforo a escala diaria y cincominutal.

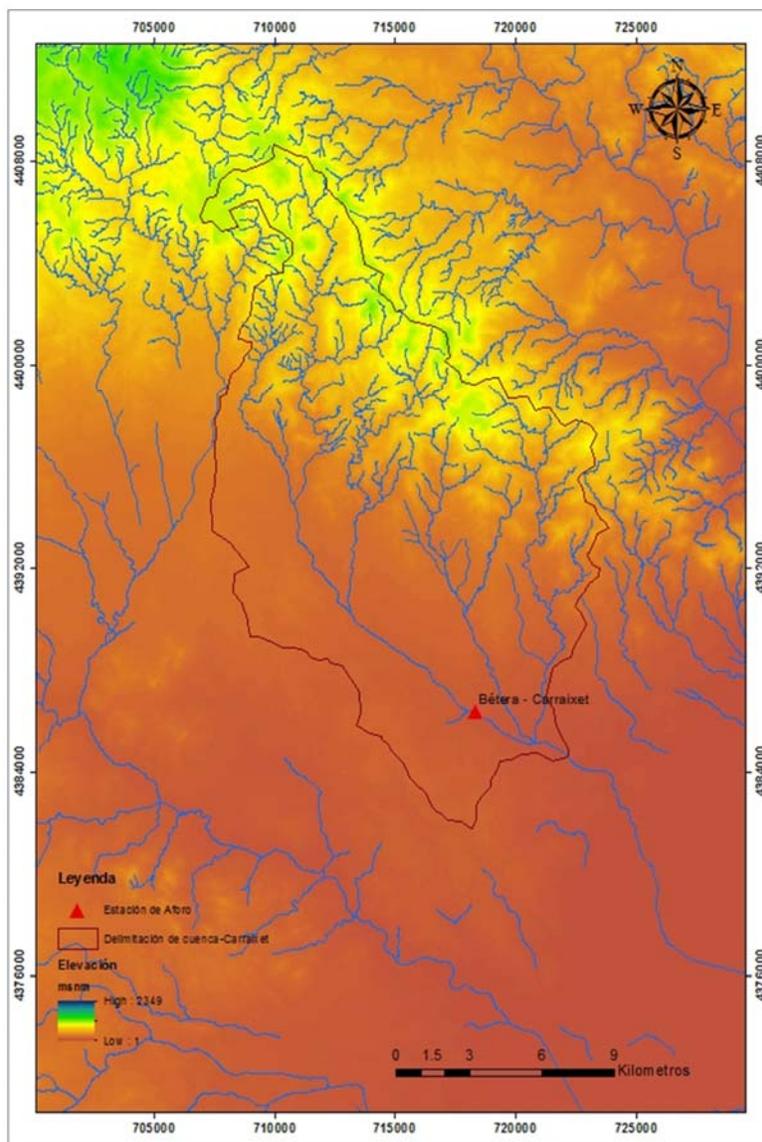


Figura N° 4.15 Ubicación de la estación de aforo

### 4.3 Eventos de crecida

Las extremas lluvias torrenciales acaecidas en la zona litoral de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) afecta a las principales cuencas valencianas. La meteorología en esta zona se caracteriza por tener precipitaciones extremas que llegan a traer consigo consecuencias muy fuertes en la crecida del caudal de los ríos o barrancos. Este tipo de precipitaciones corresponde con las catalogadas como de ascendencia mixta ya que conjugan los efectos de las precipitaciones ciclónicas, las convectivas y en cierto modo también las orográficas. La conjunción de estos elementos, ajustados al esquema más típico de marco sinóptico favorable a las lluvias intensas en la Comunidad Valenciana (Armengot, 2001) con la estacionalidad y su interacción propicia, desencadenaron unas precipitaciones extraordinarias que siguieron un patrón completamente típico de Gota Fría.

En este apartado se presentan tres eventos más significativos que se han registrado por parte de la Confederación Hidrográfica del Júcar. El evento de octubre del año 2000, el de noviembre a diciembre de 1989 y el setiembre de 1990.

#### 4.3.1 Evento del año 2000

Los caudales registrados por el S.A.I.H, en el Barranco Carraixet empezaron el 22 de octubre a las 23:25 horas con un valor de 6.81 m<sup>3</sup>/s, llegando a registrarse un caudal máximo el día 24 de octubre a las 08:40 horas con un valor de 100.60 m<sup>3</sup>/s. Ese mismo día se registró una intensidad máxima a las 06:45 horas de 76.8 mm/h.



*Figura N° 4.16 Crecida del Barranco del Carraixet en su tramo final, evento 24 de octubre del 2000*

El total de precipitación media areal acumulada sobre la cuenca total de la C.H.J. entre el 20 de Octubre (8:00 h) y el 26 de octubre (7:00h) asciende a 143.3 mm, equivalente a un volumen de agua de 6,123 hm<sup>3</sup>. El Instituto Nacional de Meteorología (INM) para dicho episodio registró entre los días 21 y 25 de octubre de 2000 se registraron los mayores volúmenes totales de precipitación en los rebordes montañosos de la Sierra Calderona y Montes de Portacoeli 358 mm (Olocau), 341,1 mm (Serra Ayuntamiento), 325 mm (Bétera - Mas de Arnal) y 365 mm (Gátova) en la divisoria con el Palancia. Disminuyendo la precipitación total en el litoral 266,5 mm (Moncada - Masía Moroder), 263 mm (Moncada - I.V.I.A.) y 258 mm (Massalfassar). (Alberto, 2004).

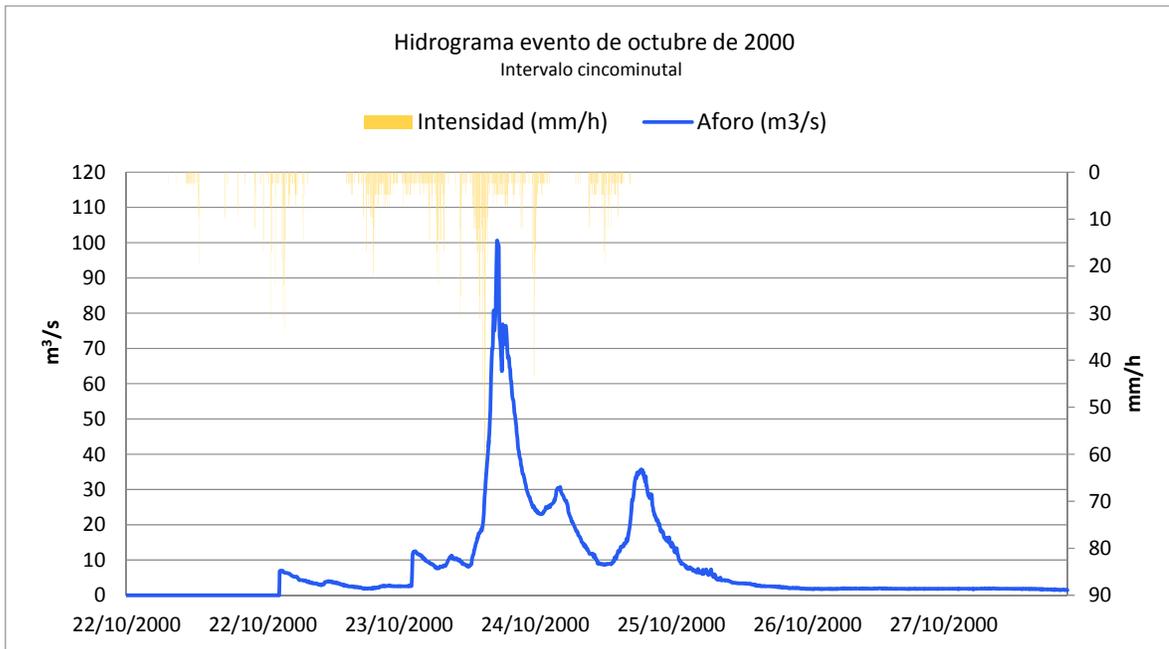


Figura N° 4.17 Hidrograma del evento de octubre del año 2000, registrado en la estación de aforo Bétera

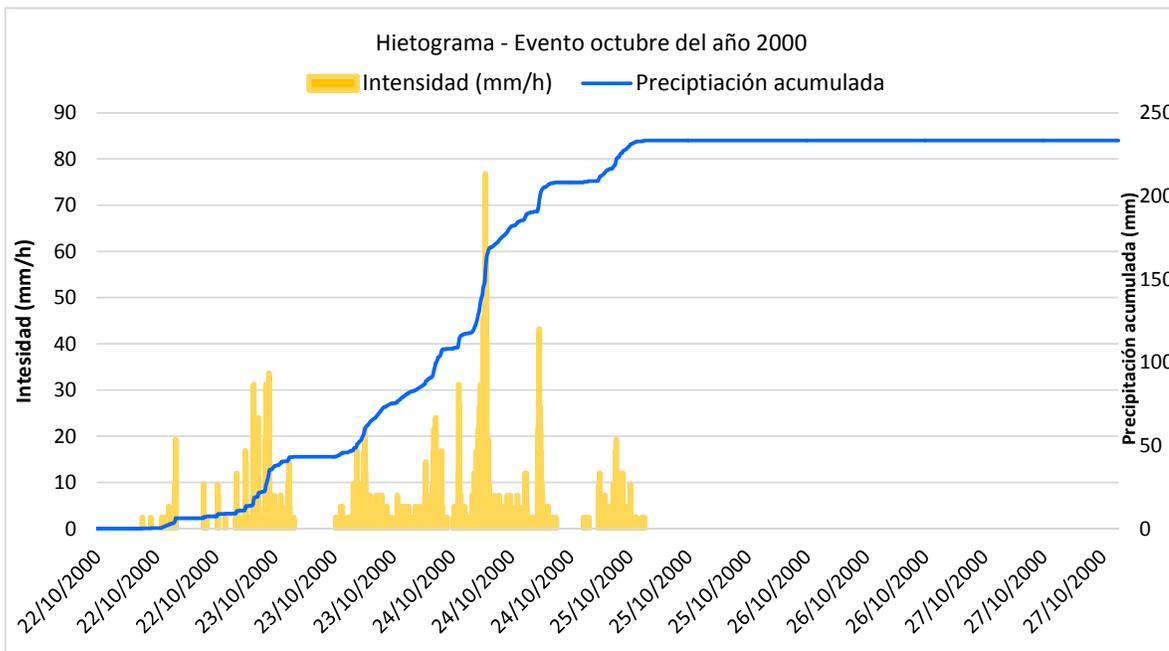


Figura N° 4.18 Hietograma del evento de octubre del año 2000, registrado en la estación de aforo Bétera



### 4.3.2 Evento del año de 1989

Este evento duro aproximadamente desde el 30 de noviembre al 06 de diciembre de 1989. El 01 de diciembre se registró un caudal máximo de 38.59 m<sup>3</sup>/s con una intensidad máxima de 36 mm/h y una precipitación acumulada fue 113 mm.

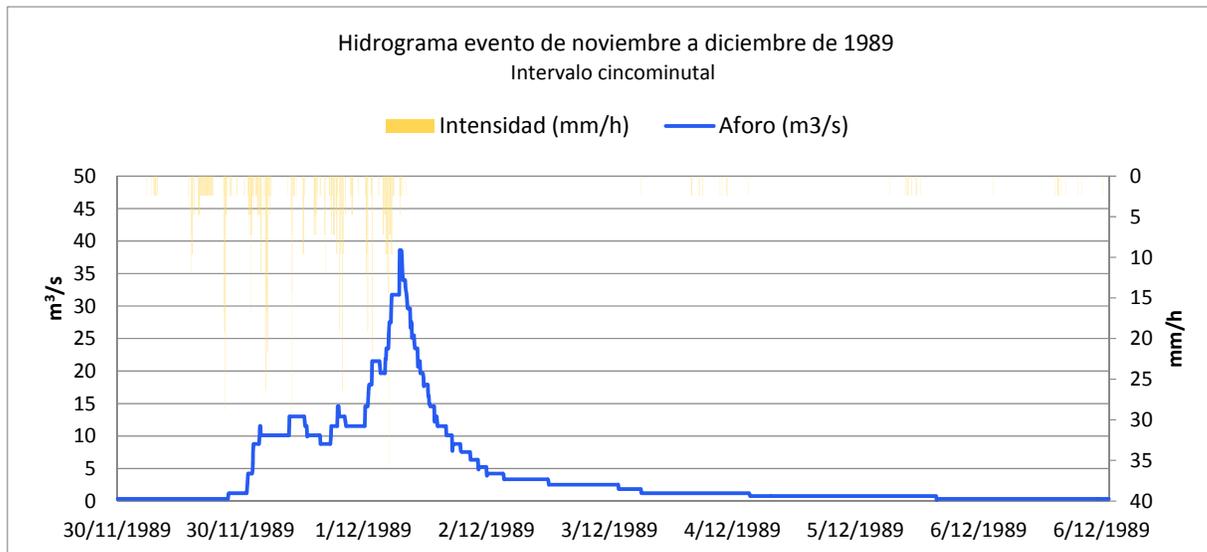


Figura N° 4.19 Hidrograma del evento de del evento de diciembre de 1989, registrado en la estación de aforo Bétera

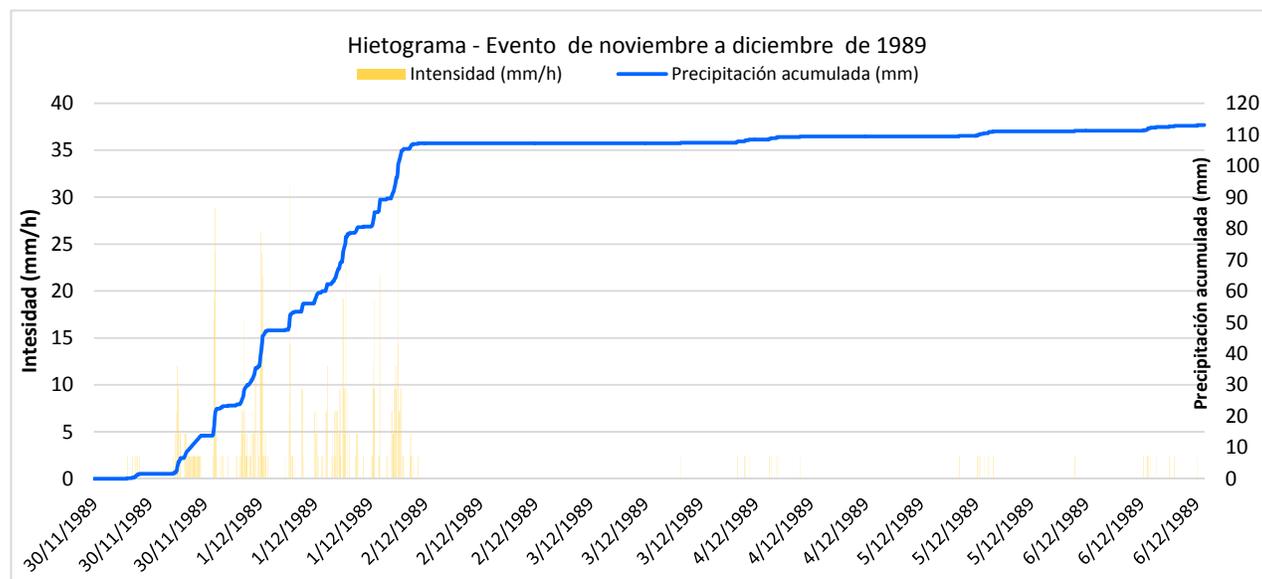


Figura N° 4.20 Hietograma del evento de del evento de diciembre de 1989, registrado en la estación de aforo Bétera



### 4.3.3 Evento del año de 1990

Este evento duro aproximadamente desde el 08 al 10 de setiembre de 1990. El 09 de setiembre se registró un caudal máximo de 59.32 m<sup>3</sup>/s con una intensidad máxima de 103.2 mm/h y una precipitación acumulada 119.2 mm.

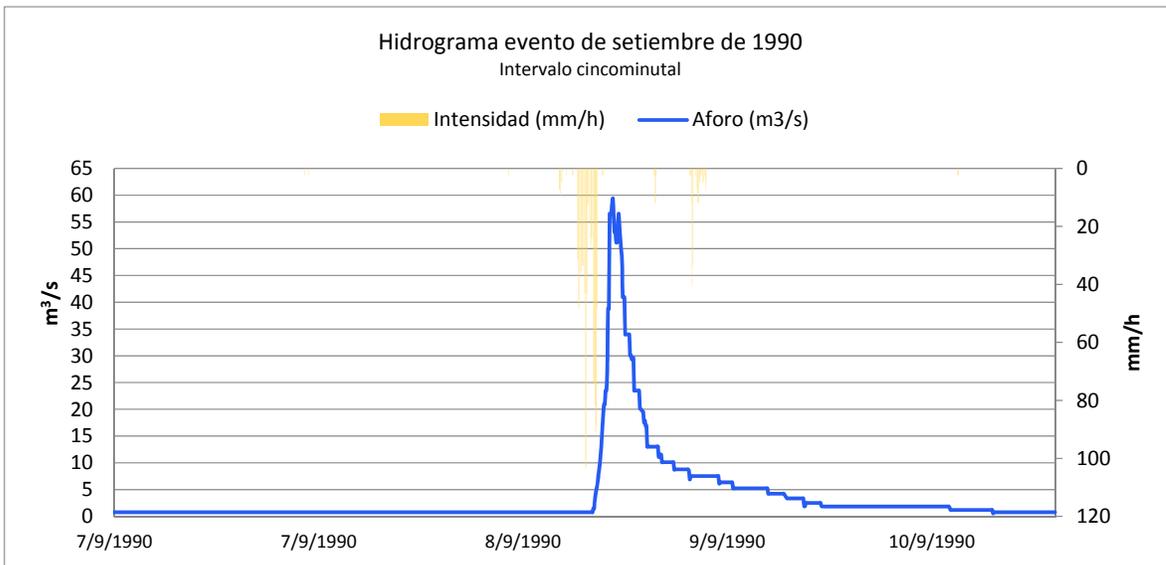


Figura N° 4.21 Hidrograma del evento de del evento de setiembre de 1990, registrado en la estación de aforo Bétera

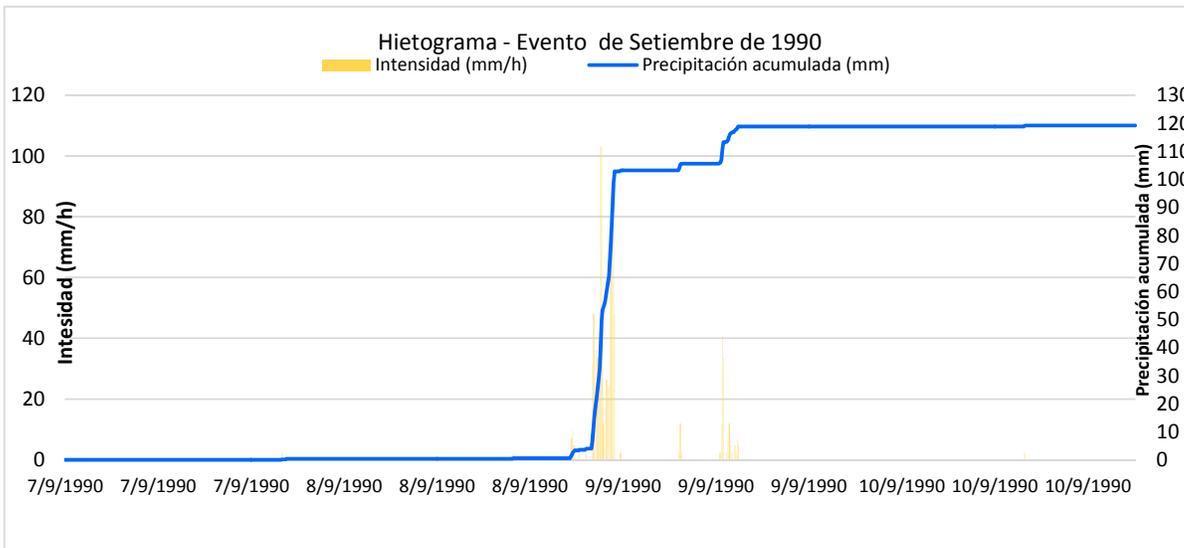
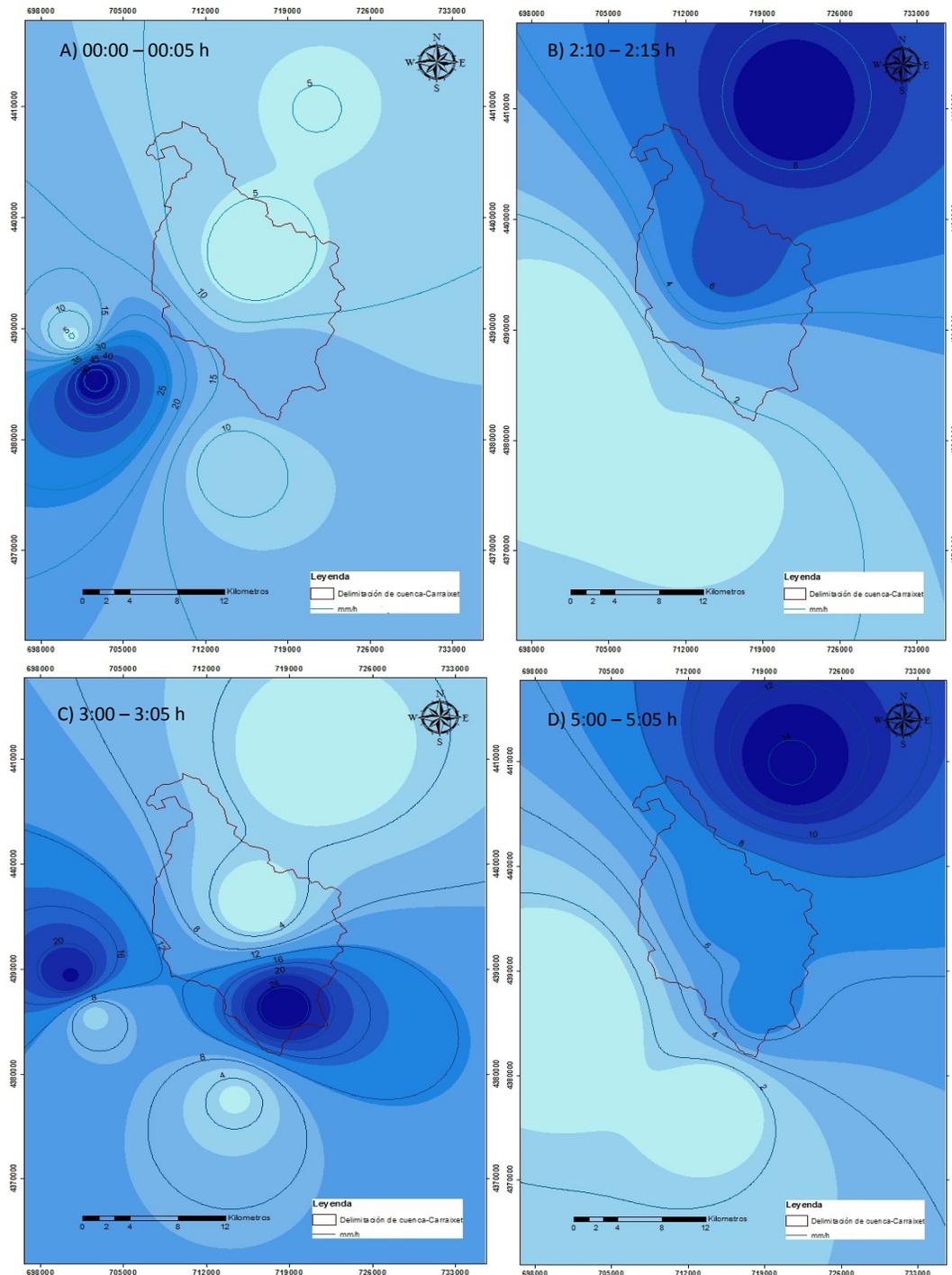


Figura N° 4.22 Hietograma del evento de del evento de setiembre de 1990, registrado en la estación de aforo Bétera



Conociendo que el evento del 24 de octubre fue el más importante registrado en los últimos años, se ha creído conveniente representar su comportamiento con el fin de conocer la variabilidad que tuvo la lluvia dentro de nuestra cuenca de estudio. Para ello se ha hecho la representación de mapas de intensidades en escala cincominutal y a diferentes intervalos de tiempo hasta llegar al registro máximo de intensidad que tuvo lugar a las 6:45 am.



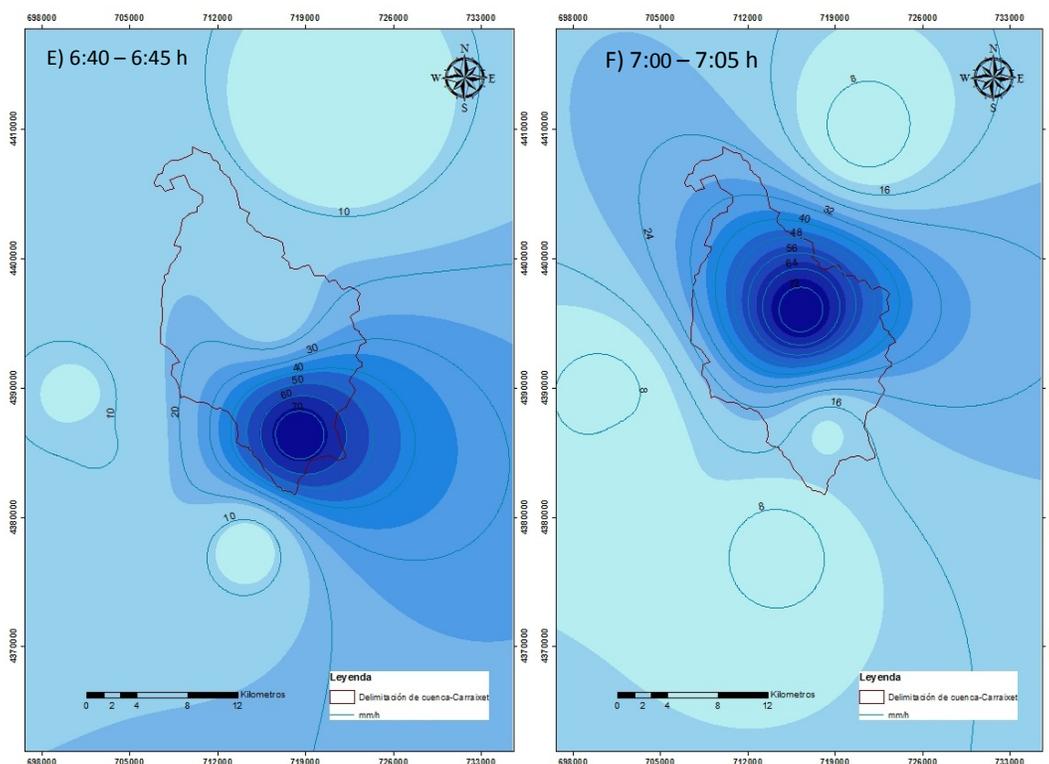


Figura N° 4.23 Mapa de intensidades de precipitación en mm/h del día 24 de octubre del año 2000

En la Fig. N° 4.22 se muestra el mapa de intensidad a escala cincominutal perteneciente al evento del día 24 de octubre del año 2000. En la Fig. N° 4.22A con intervalo de 00:00 – 00:05 horas se puede apreciar una intensidad dentro del área de la cuenca con valores entre 6 – 10 mm/h, concentrándose valores mayores en la parte Sur Oeste entre 40 – 50 mm/h. En la Fig. N° 4.22B con intervalo de 2:10 – 2:15 horas se observan bajas intensidades bajas en la parte central de la cuenca con valores entre 2 – 4 mm/h, existiendo valores más elevados entre 8 – 10 mm/h en la parte alta. En la Fig. N° 4.22C con intervalo de 3:00 – 3:05 horas se observa valores mayores de intensidad entre 20 – 24 mm/h en la parte baja de la cuenca. En la Fig. N° 4.22 D con intervalos de 5:00 – 5:05 horas se empiezan a observar valores bajos entre 4 – 6 mm/h dentro de la cuenca y vuelve a concentrarse valores mayores entre 12 – 14 mm/h en la parte alta. En la Fig. N° 4.22E con intervalo de 6:40 – 6:45 se aprecia el momento de intensidad máxima del día 24, donde se registró un valor de 76.8 mm/h, como se puede apreciar en dicha figura los valores altos de intensidad se concentran en la parte baja de la cuenca. En la Fig. N° 4.22F se observa el mapa con intervalo de 7:00 – 7:05 después de una hora de haber ocurrido la intensidad máxima dentro de la cuenca, como se puede apreciar se siguen concentrando valores mayores entre 70 – 76 mm/h pero esta vez en la parte media y alta de la cuenca. En general estos mapas de intensidades de precipitación nos muestran la variabilidad de la lluvia que existió en el evento del día 24 de octubre, pudiéndose observar que los valores mayores se registraron en la parte media y baja de la cuenca.



## 4.4 Análisis de la series de precipitación para la alimentación del modelo

El objetivo de este apartado consiste en analizar la relación existente entre la precipitación y caudal. Esto ayudará determinar que eventos serán necesarios a considerar y que eventos descartar. Teniendo en cuenta que se desarrollará la simulación a escala diaria y cincominutal, es conveniente realizar dicho análisis para estos tipos de datos.

Para realizar esta relación o comparación de las series, se ha efectuado el análisis del coeficiente de escorrentía con el registro de aforos de crecida más importantes. Se define como coeficiente de escorrentía, C, de una superficie, al cociente del caudal que discurre por dicha superficie  $Q_e$ , en relación con el caudal total precipitado  $Q_t$ ,  $C=Q_e/Q_t$ . Se trata en cualquier caso de buscar aquellos valores de las series que se alejen de los valores de los pares Coef. Escorrentía-Precip/Aportación. (Moisés D., 2001)

### 4.4.1 Análisis a escala diaria

Para realizar este análisis primeramente se ha identificado los caudales máximos anuales registrados por el SAIH. Luego determinar los eventos más representativo, identificar el tiempo que duro el evento, determinar la precipitación y volumen acumulado.

Tabla Nº 4.7 Eventos máximos diarios anuales, serie SAIH

Inicio	Fin	Pmax día (mm)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Pacum (mm)	V (hm <sup>3</sup> )
26/12/1989	31/12/1989	30.400	16.010	114.350	3.471
7/9/1990	10/9/1990	100.398	11.708	141.050	1.143
16/4/1991	17/4/1991	16.000	0.770	29.620	0.067
26/9/1992	30/9/1992	7.020	17.130	7.570	1.655
5/2/1993	6/2/1993	25.050	0.824	81.500	0.093
11/4/1994	12/4/1994	0.007	13.620	0.007	1.177
28/1/1996	29/1/1996	5.800	0.013	5.800	0.010
21/10/2000	26/10/2000	111.770	28.650	227.100	4.171
7/5/2002	9/5/2002	41.120	10.160	59.630	1.007
16/8/2003	17/8/2003	49.500	0.400	49.530	0.035
29/10/2003	30/10/2003	0.172	1.270	0.173	0.035
29/3/2004	30/3/2004	23.870	1.900	29.230	0.178
21/12/2007	25/12/2007	15.310	0.997	27.680	0.129
28/3/2012	30/3/2012	44.840	0.679	52.720	0.178



De los caudales máximos anuales identificados en la tabla anterior, los años que han respondido aparentemente a un coeficiente de escorrentía adecuado y para las tres series de datos se presentan en las siguientes tablas. Se dice que han respondido adecuadamente por sus valores son inferiores a uno, aunque todavía no se sabe cómo responderán a la calibración y validación del modelo hidrológico.

Tabla Nº 4.8 Coeficiente de escorrentía, estación de aforo Bétera, serie SAIH. Serie 1989-2007

Inicio	Fin	Pmax día (mm)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Pacum (mm)	V (hm <sup>3</sup> )	C=Q/P
26/12/1989	31/12/1989	30.40	16.01	114.35	3.47	0.215
7/9/1990	10/9/1990	100.40	11.71	141.05	1.14	0.057
16/4/1991	17/4/1991	16.00	0.77	29.62	0.07	0.016
21/10/2000	26/10/2000	111.77	28.65	227.10	4.17	0.130
7/5/2002	9/5/2002	41.12	10.16	59.63	1.01	0.120
16/8/2003	17/8/2003	49.50	0.40	49.53	0.03	0.005
29/3/2004	30/3/2004	23.87	1.90	29.23	0.18	0.043
21/12/2007	25/12/2007	15.31	1.00	27.68	0.13	0.033

Tabla Nº 4.9 Coeficiente de escorrentía, serie Spain02\_V2. Serie 1989-2007

Inicio	Fin	Pmax día (mm)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Pacum (mm)	V (hm <sup>3</sup> )	C=Q/P
26/12/1989	31/12/1989	62.48	16.01	142.29	3.47	0.173
7/9/1990	10/9/1990	26.08	11.71	83.73	1.14	0.097
7/9/1990	10/9/1990	1.52	0.77	39.02	0.07	0.012
21/10/2000	26/10/2000	73.11	28.65	344.72	3.96	0.087
7/5/2002	9/5/2002	27.96	10.16	57.02	1.01	0.125
29/3/2004	30/3/2004	35.36	1.90	38.58	0.18	0.033
29/3/2007	30/3/2007	22.54	1.00	41.34	0.13	0.022

Tabla Nº 4.10 Coeficiente de escorrentía, serie Spain02\_V4. . Serie 1989-2012

Inicio	Fin	Pmax día (mm)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Pacum (mm)	V (hm <sup>3</sup> )	C=Q/P
26/12/1989	31/12/1989	54.72	16.01	162.86	3.47	0.151
7/9/1990	10/9/1990	15.39	11.71	69.27	1.14	0.117
7/9/1990	10/9/1990	6.77	0.77	44.51	0.07	0.011
21/10/2000	26/10/2000	72.41	28.65	318.30	3.96	0.088
7/5/2002	9/5/2002	28.36	10.16	61.37	1.01	0.116
29/3/2004	30/3/2004	29.82	1.90	32.93	0.16	0.035
29/3/2007	30/3/2007	31.80	1.00	54.59	0.18	0.024



Las gráficas correspondientes de los coeficientes de escorrentía frente a precipitación acumulada en cada episodio muestran la diferencia en cada tipo de serie. En particular la serie SAIH muestra mayor variabilidad que la serie Spain02\_V2 y Spain02\_V4.

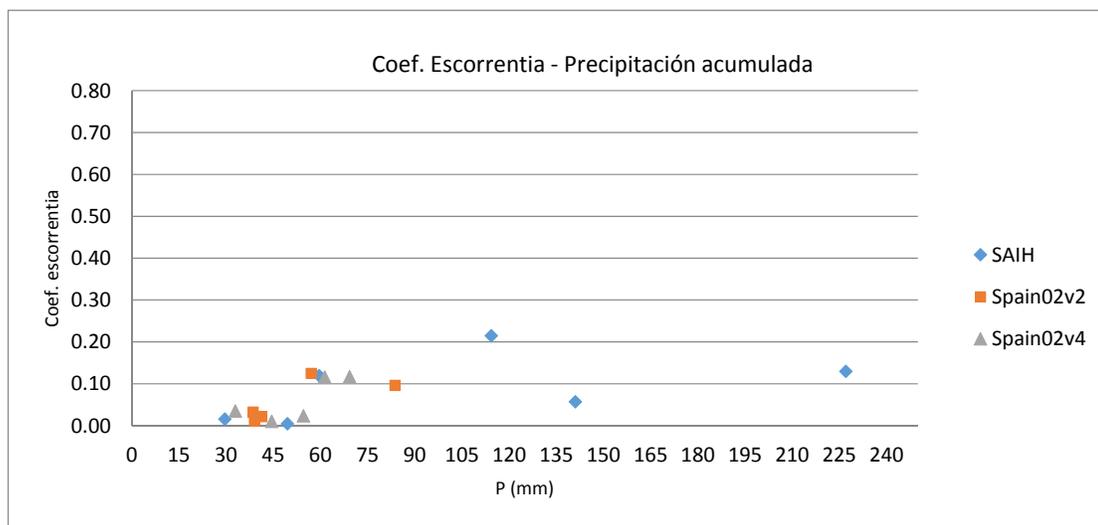


Figura N° 4.24 Coeficiente de escorrentía frente a la precipitación acumulada del evento registrado en la estación de aforo Bétera, series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4 en el periodo 1991-2007

Para poder correlacionar con claridad el evento con su coeficiente de escorrentía en función de los diferentes modelos de precipitación se muestra el gráfico del coeficiente de escorrentía frente al caudal pico. Se puede observar que la serie interpolada de Spain02\_V2 y Spain02\_V4 son muy cercanas, mientras que la serie SAIH difiere ligeramente que las demás. Esto podría ser por la variabilidad de la precipitación que presentan los diferentes tipos de series.

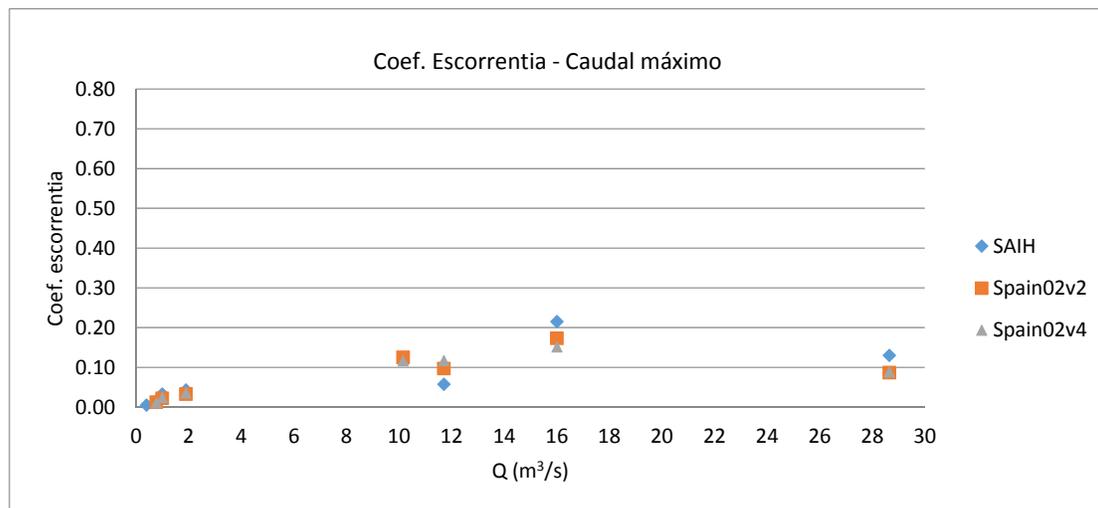


Figura N° 4.25 Coeficiente de escorrentía frente a caudal máximo registrado en la estación de aforo Bétera, series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4 en el periodo 1991-2007

En la Fig. N° 4.25 se puede observar que la precipitación acumulada del evento de octubre del año 2000 tiene un valor más elevado que los demás eventos. Existiendo además una relación más cercana las dos series interpoladas de Spain02 y con un menor valor la serie SAIH.

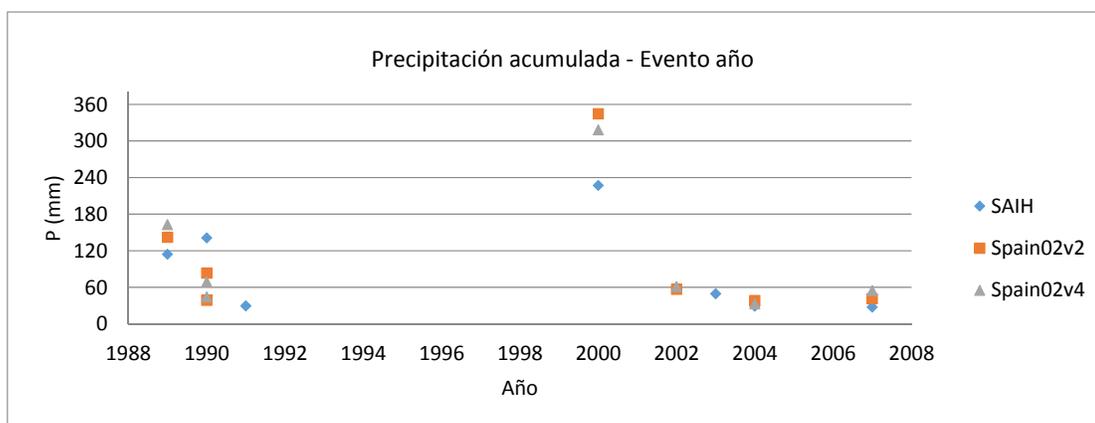


Figura N° 4.26 Precipitación acumulada frente al evento anual, series SAIH, Spain02v2 y Spain02v4 en el periodo 1991-2007

#### 4.4.2 Análisis a escala cincominutal

Solo se tienen datos de precipitación y caudal a escala cincominutal proporcionados por el SAIH. El análisis a esta escala ha sido el mismo que a escala diaria. Los eventos máximos anuales que se ha identificado están en la Tabla N° 4.11. No se muestra los eventos de los demás años por que el resultado del valor del coeficiente de escorrentía es superior a uno, por lo tanto se han descartado. Tampoco se presenta los eventos de 1989 y 1990 porque esos datos se han podido obtener cuando el modelo ya estaba implementado. Sin embargo si se han considerado para el análisis de validación del modelo hidrológico.

Tabla N° 4.11 Coeficiente de escorrentía, escala cincominutal. Estación de aforo Bétera, serie SAIH. Serie 1989-2012

Inicio	Fin	Qmax (m³/s)	Pacum (mm)	V (hm³)	Coef. Escorrentía
16/4/1991	18/04/1991	11.708	29.280	0.068	0.016
26/09/1992	30/09/1992	4.89	59.02	0.001	0.000
29/09/1994	29/09/1994	18.84	7.74	0.005	0.005
26/07/1999	31/07/1999	7.38	55.9	0.666	0.084
21/10/2000	27/10/2000	100.559	213.420	4.490	0.149
29/3/2007	30/3/2007	8.260	12.600	0.130	0.073
28/9/2011	30/9/2011	13.670	52.720	0.119	0.016

En la Fig. N° 4.26 se puede observar que los eventos de 1991, 1992, 1994 y 2012 presentan valores muy bajos en relación a los eventos de los años de 1999, 2000 y 2007. Esto puede significar que no existiría relación o concordancia entre la precipitación y el caudal registrado en dichos años. Los demás años aparentemente representarían una adecuada relación, sin embargo esto se comprobará cuando se realice la calibración y validación del modelo.

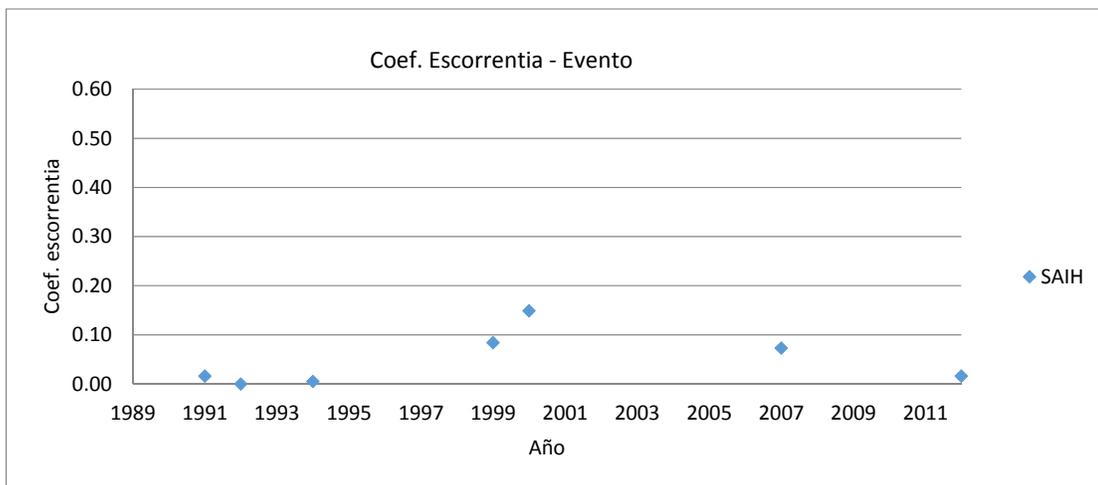


Figura N° 4.27 Precipitación acumulada frente al evento anual, escala cincominutal, series SAIH

En el Fig. N° 4.27, se puede observar que la relación entre el coeficiente de escorrentía y la precipitación acumulada está dentro de los 20 y 50 mm. La precipitación acumulada máxima de 213 mm corresponde con el evento de octubre del año 2000.

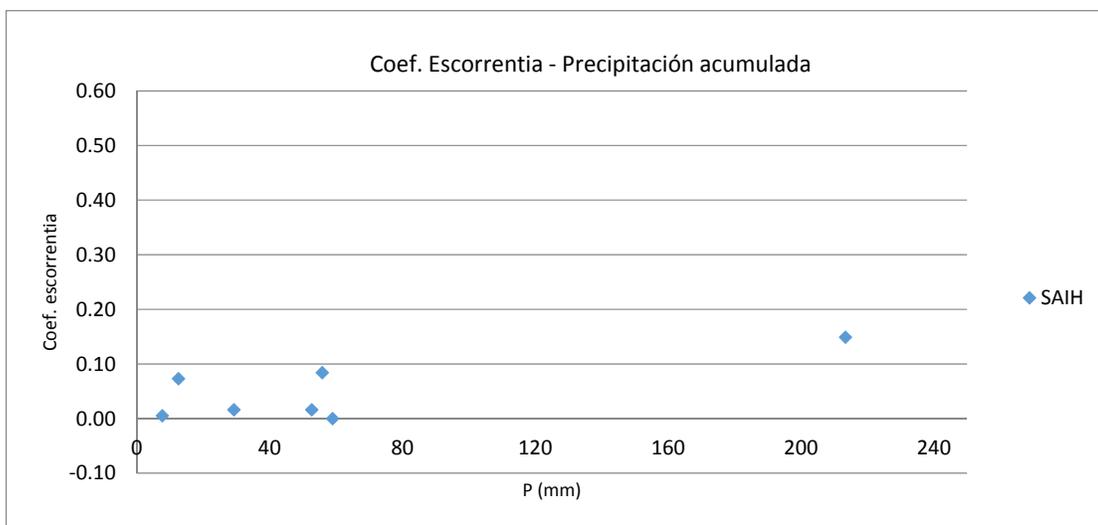


Figura N° 4.28 Coeficiente de escorrentía frente a precipitación acumulada, escala cincominutal, series SAIH



En la Fig. N°4.28, se puede observar que el evento que tiene mayor precipitación acumulada es el de octubre del año 2000.

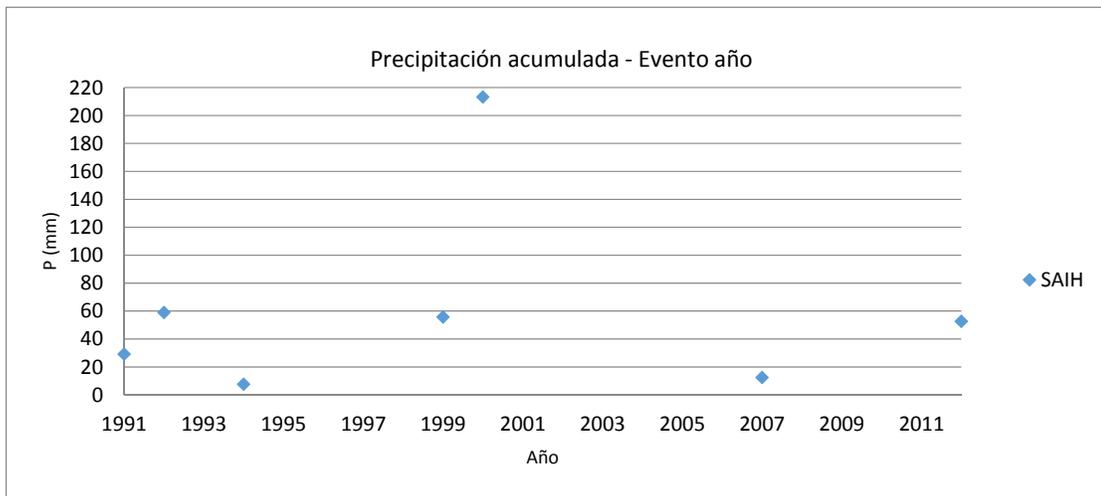


Figura N° 4.29 Precipitación acumulada frente al evento anual, escala cincominutal, serie SAIH



---

# CAPITULO 5. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA

---



Para la modelación hidrológica se requerirá una estructura de parámetros que describan la variabilidad espacial de las características de la cuenca. Para ello será necesaria la estimación a priori de mapas de parámetros a partir de la información disponible, la cual debe ser coherente con la topografía, uso de suelo, cubierta vegetal, edafología y otras características del medio físico de la cuenca.

En la Tabla Nº 5.1 se muestra el resumen de la información disponible que se ha utilizado:

*Tabla Nº 5.1 Mapas, formato, escala original y parámetros estimados*

MAPAS	FORMATO ORIGINAL Y ESCALA	PÁRAMETROS ESTIMADOS
Modelo de Elevación Digital	Digital, pixel 100x100	Mapa de pendiente, Mapa de direcciones de flujo, Mapa de celdas acumuladas y Mapa de velocidad de flujo en la ladera.
Corine Land Cover 2006	Digital, 1:100.000	Mapa de almacenamiento estático del suelo, Mapa de intercepción, Mapa de almacenamiento superficial por depresiones en el terreno.
Base de datos de Suelo Europea (ESDB)	Digital, 1:1.000.000	Mapa de almacenamiento estático del suelo y de conductividades hidráulicas horizontal y vertical del suelo.
Mapa litoestratigráfico y de Permeabilidades de España.	Digital, 1:200.000	Mapa de permeabilidad horizontal y vertical del acuífero y mapa de velocidad de recarga del acuífero.

## 5.1 Cálculo de los mapas derivados del MED

La estimación de los diferentes parámetros será implementado mediante la herramienta de Sistema de Información Geográfica SIG. TETIS necesita para su funcionamiento los siguientes mapas derivados del modelo de elevación digital:

- El propio modelo de elevación digital
- El mapa de direcciones de flujo
- El mapa de celdas acumuladas
- El mapa de pendientes
- El mapa de velocidades de ladera

### 5.1.1 Modelo de elevación digital del terreno

El modelo de elevación digital utilizado se ha obtenido del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) en formato ráster. El tamaño de celda es de 100x100m y cubre toda la extensión del área de estudio (un total de 248.65 km<sup>2</sup>). Como paso previo a la obtención de los mapas derivados del modelo de elevación digital, se procede a la corrección del mismo. Una vez corregido, se tiene un mapa de elevaciones sin depresiones y pueden obtenerse el resto de mapas.

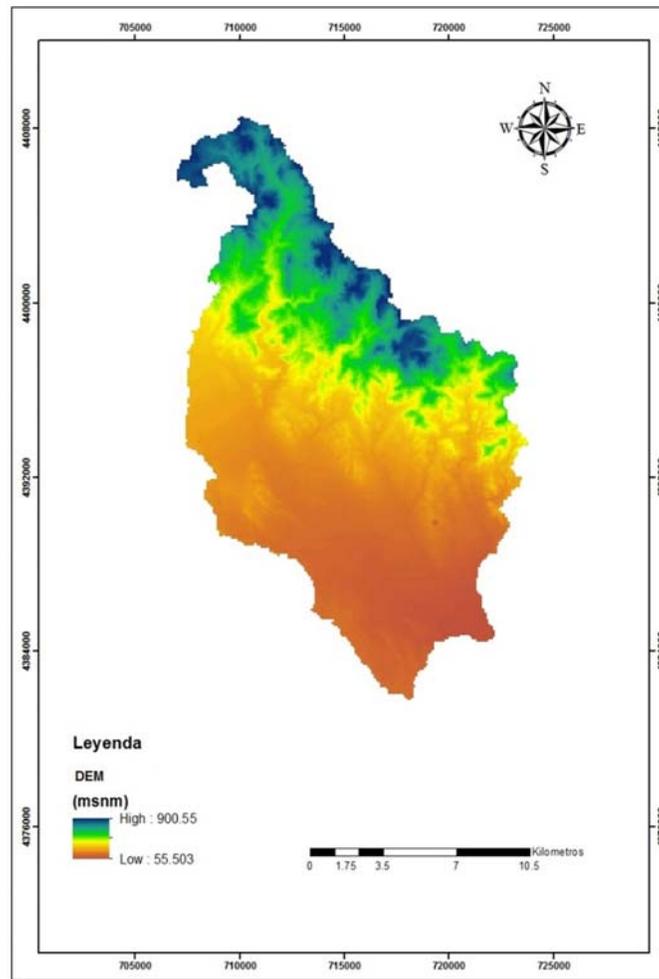


Figura N° 5.1 Mapa del Modelo de Elevación Digital del Terreno, Barranco del Carraixet

### 5.1.2 Mapa de direcciones de flujo

El mapa de direcciones de flujo (Fig. 5.2) representa la dirección en la que cada celda vierte sus aguas y se ha obtenido a través del uso de un SIG, en concreto GRASS. Las direcciones de flujo que representa GRASS están numeradas de 1 a 8, siendo las direcciones N, S, E y O las correspondientes a los números 2, 6, 8 y 4 respectivamente y, siendo las direcciones NO, NE, SO y SE las correspondientes a las direcciones de drenaje 3, 1, 5 y 7.

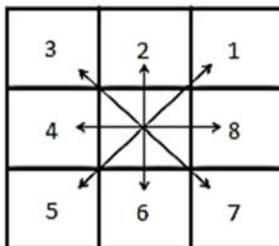


Figura N° 5.2 Direcciones de flujo según GRASS

Sin embargo, las direcciones de flujo que admite TETIS son las que genera por defecto el SIG ArcGIS, por lo tanto, hay que hacer una transformación a las direcciones representadas en la Fig. 5.3

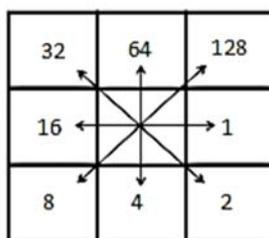


Figura N° 5.3 Direcciones de flujo según ArcGis

En este caso, se está utilizando el Sistema de Información Geográfica GRASS y este mapa será fundamental para determinar el mapa de celdas drenantes acumuladas.

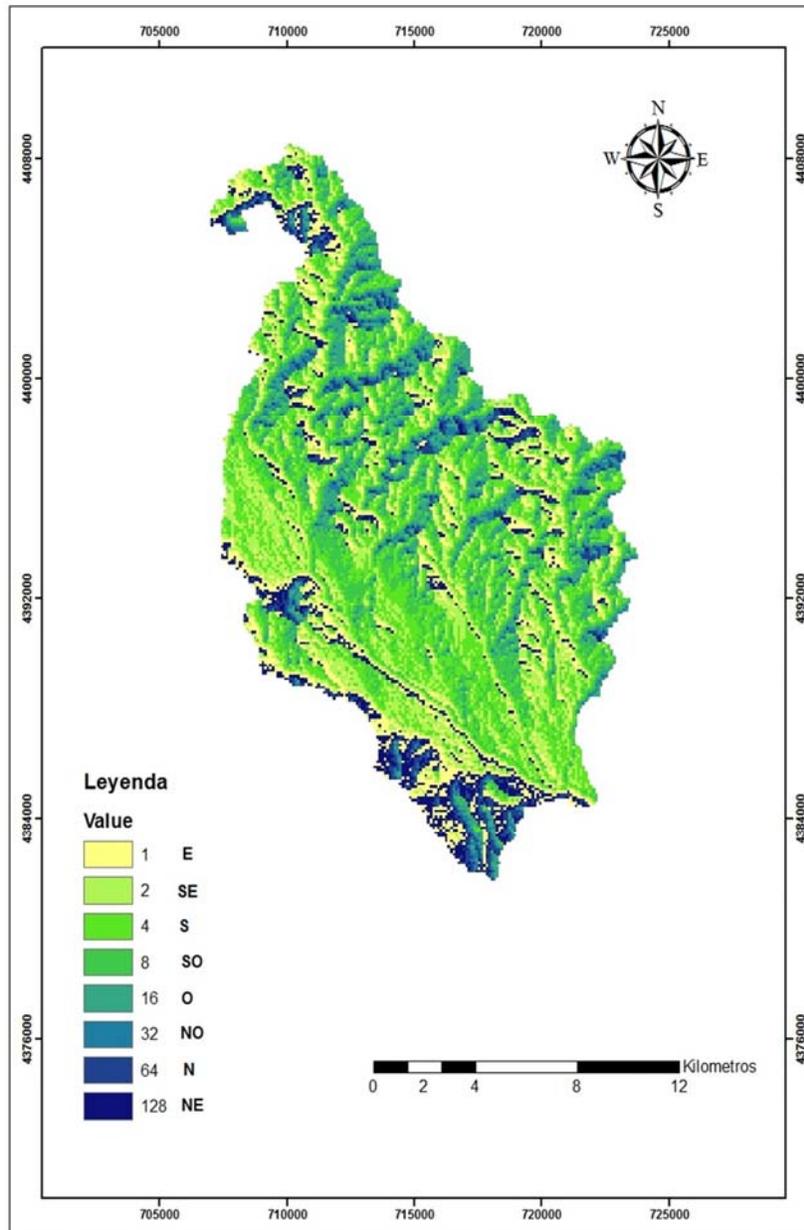


Figura N° 5.4 Direcciones de Flujo, Barranco del Carraixet

### 5.1.3 Mapa de celdas drenantes acumuladas

La obtención del mapa de celdas acumuladas depende de la obtención del mapa de direcciones de flujo, es un mapa en el que cada celda tiene asignado un valor igual al número de celdas que drenan a través de ella.

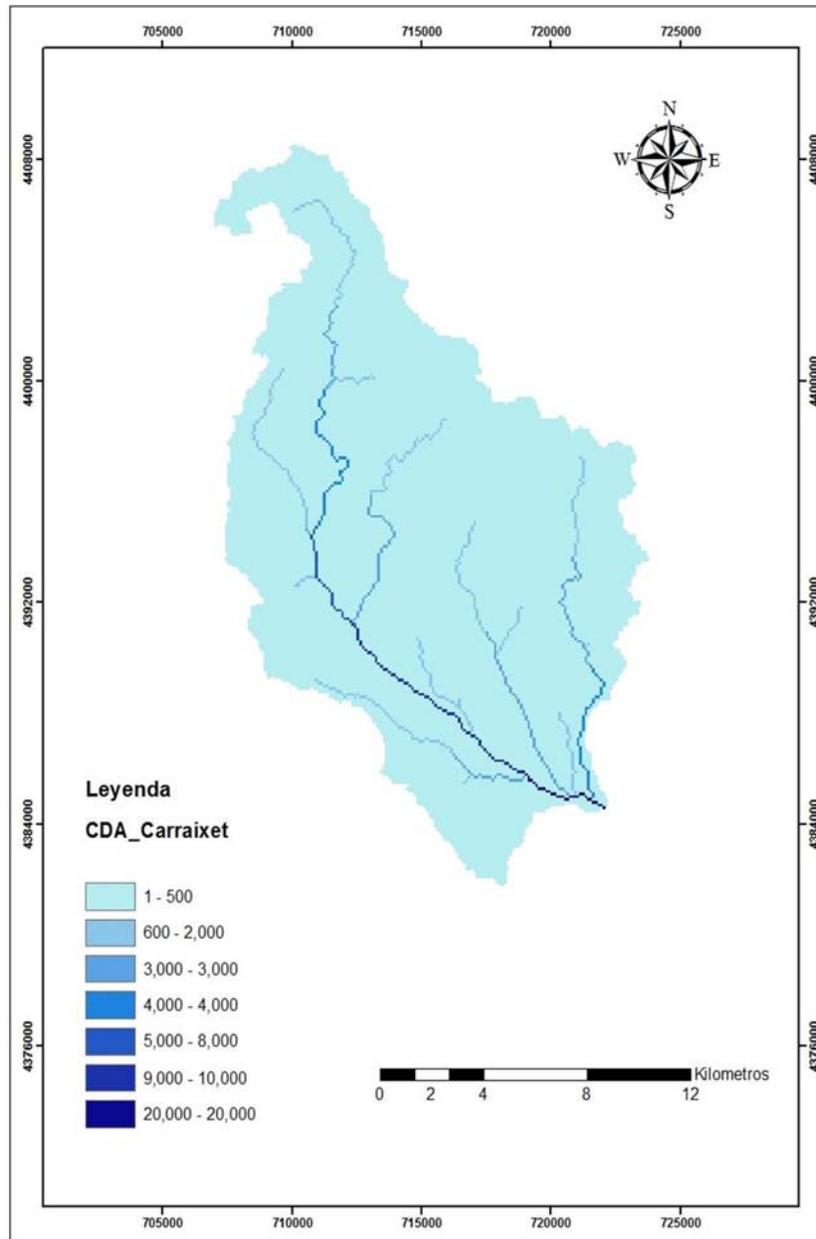


Figura N° 5.5 Mapa de celdas drenantes acumuladas, Barranco del Carraxet

#### 5.1.4 Mapa de pendientes

Se necesita el mapa de pendientes en m/m. Para ello, se empleó Grass obteniendo el mapa que se muestra en la Fig. N° 5.6.

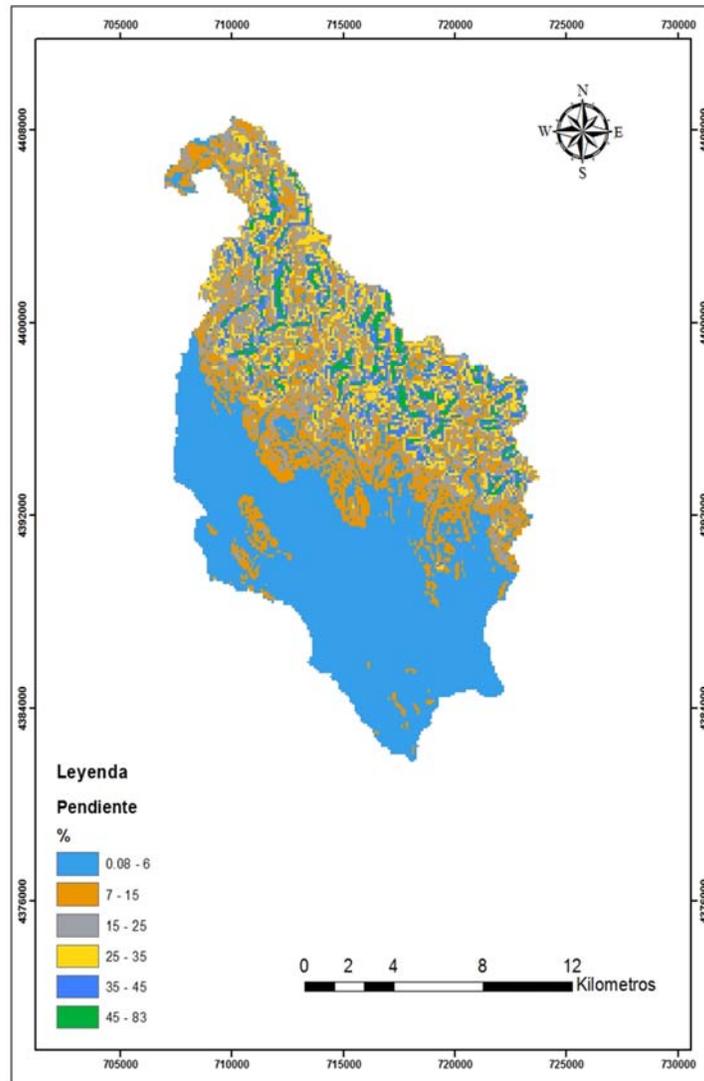


Figura N° 5.6 Mapa de pendientes, Barranco del Carraxet

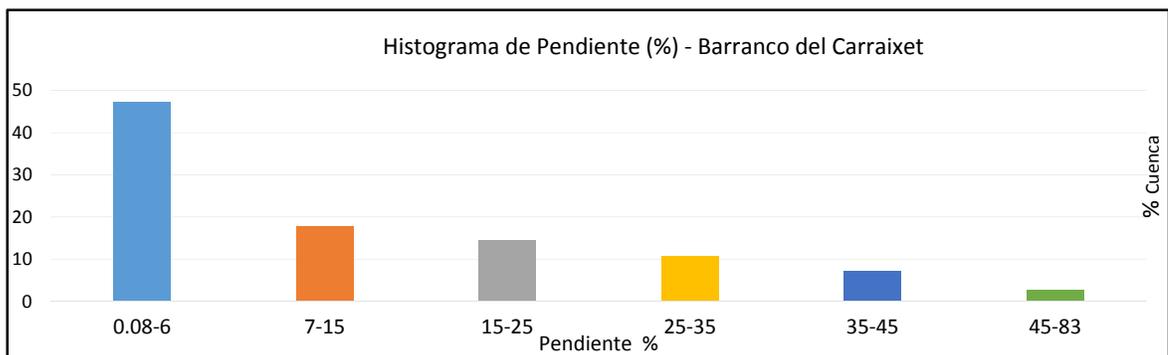


Figura N° 5.7 Histograma del mapa de pendientes, Barranco del Carraxet

### 5.1.5 Mapa de velocidades de ladera

Se ha considerado la velocidad como estacionaria y diferente en las celdas en función de la pendiente. Este mapa se ha hallado mediante la siguiente expresión:

$$v = 1.414 * \sqrt{\text{pendiente (m/m)}}$$

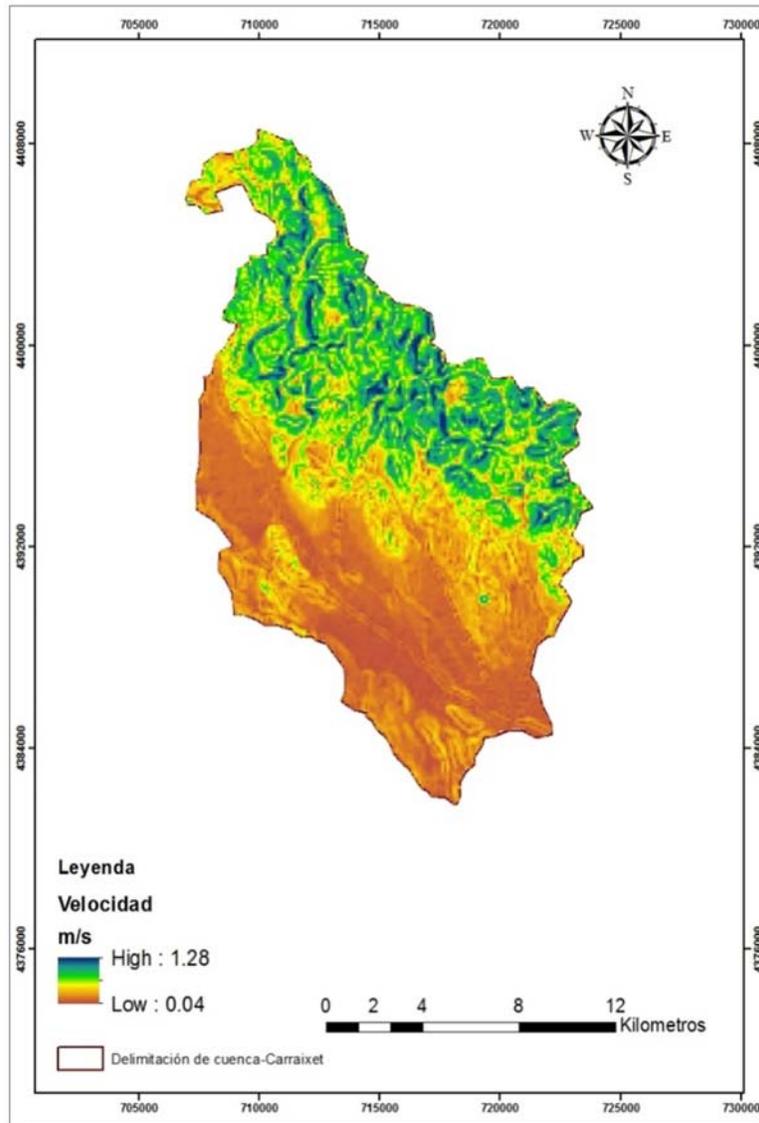


Figura N° 5.8 Mapa de velocidad de ladera, Barranco del Carraixet

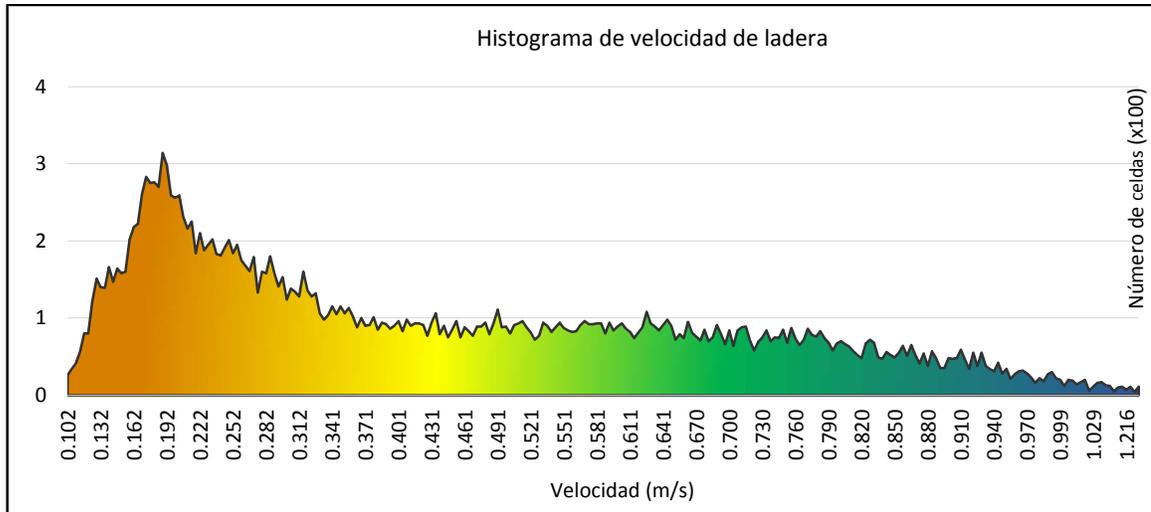


Figura N° 5.9 Histograma del mapa de velocidad de ladera, Barranco del Carraixet

## 5.2 Cálculo de parámetros derivados de características edafológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas.

### 5.2.1 Capacidad de infiltración

En lo que respecta a las conductividades verticales, la capacidad de infiltración gravitacional  $K_s$  (mm/h) es la que controla la velocidad de infiltración. El mapa  $K_s$  se obtiene aplicando las funciones de pedo-transferencia (Saxton y Rawls, 2006), las cuales relacionan parámetros hidráulicos con características físicas del suelo, al mapa textura superficial dominante (TEXT-SRF-DOM), es decir la textura del suelo procedente de la Base de Datos del Suelo Europea (ESDB). El resultado que se ha obtenido tras el proceso de estimación es el que se presenta en la Fig. 5.10.

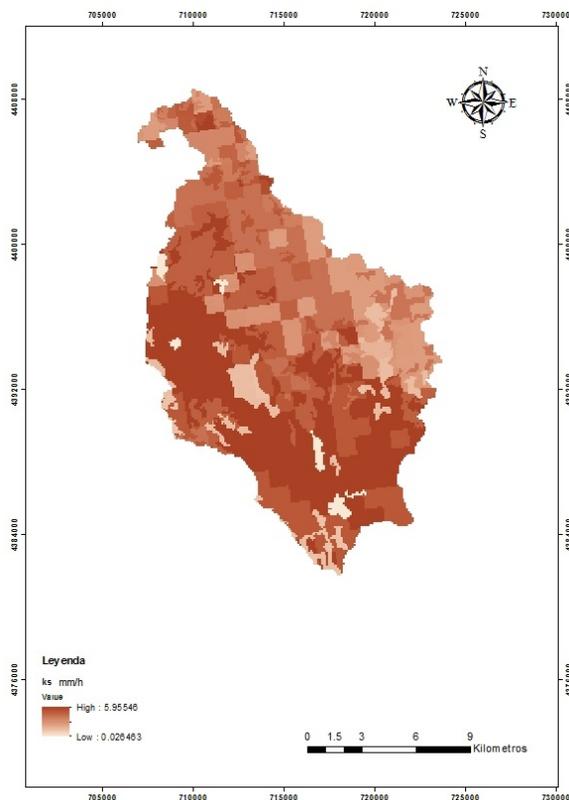


Figura N° 5.10 Mapa capacidad de infiltración gravitacional Ks (mm/h)

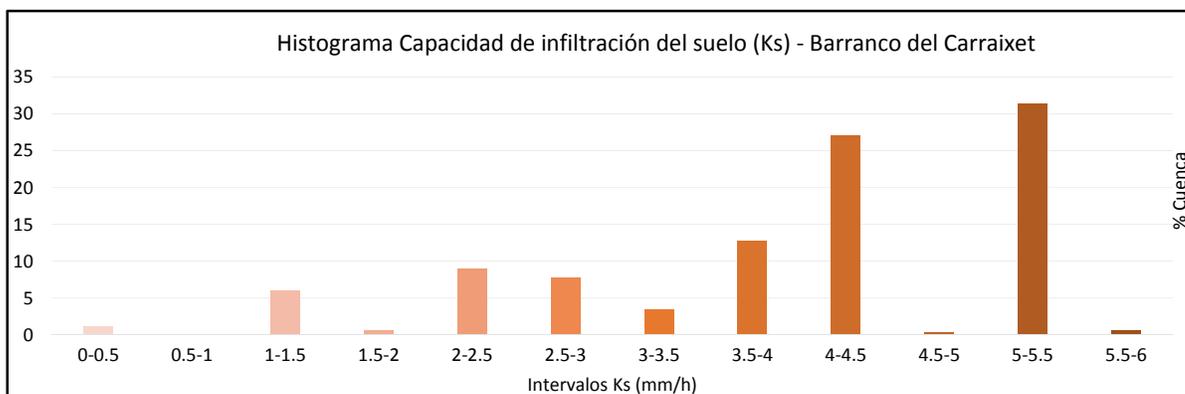


Figura N° 5.11 Histograma del mapa de infiltración, Barranco del Carraixet

### 5.2.2 Capacidad de percolación del sustrato

Para estimar la capacidad de percolación del sustrato, se ha utilizado el mapa de permeabilidad cualitativa del acuífero del IGME. Este mapa da información sobre las unidades litológicas existentes y además clasifica la permeabilidad del acuífero de forma cualitativa.

Tabla N° 5.2 Valores de permeabilidad adoptados en función de la categoría cualitativa

Categoría	Valor adoptado (mm/h)
C-MB	0.000416667
C-B	0.074094975
C-M	13.17615692



C-A	2343.088855
C-MA	416666.6667
E-MB	0.041666667
E-B	0.740949754
E-M	13.17615692
D-MB	4.16667E-06
D-B	0.000416667
D-M	0.041666667
D-A	4.166666667
D-MA	416.6666667
M-MB	4.16667E-07
M-B	2.34309E-05
M-M	0.001317616
Q-B	0.007409498
Q-M	1.317615692
Q-A	234.3088855
Q-MA	41666.66667
V-MB	0.36
V-B	1.138419958
I-MB	0.00000036
I-B	0.000036

Fuente: IGME

Correspondiendo la primera letra a la unidad litológica:

- (C) Caliza
- (E) Evaporitas
- (D) Detrítica
- (M) Metadetrítica
- (Q) Cuaternario
- (V) Volcánico
- (I) Ígnea

La segunda letra clasifica la permeabilidad de forma cualitativa:

- (MB) Muy baja
- (B) Baja
- (M) Media
- (A) Alta
- (MA) Muy alta

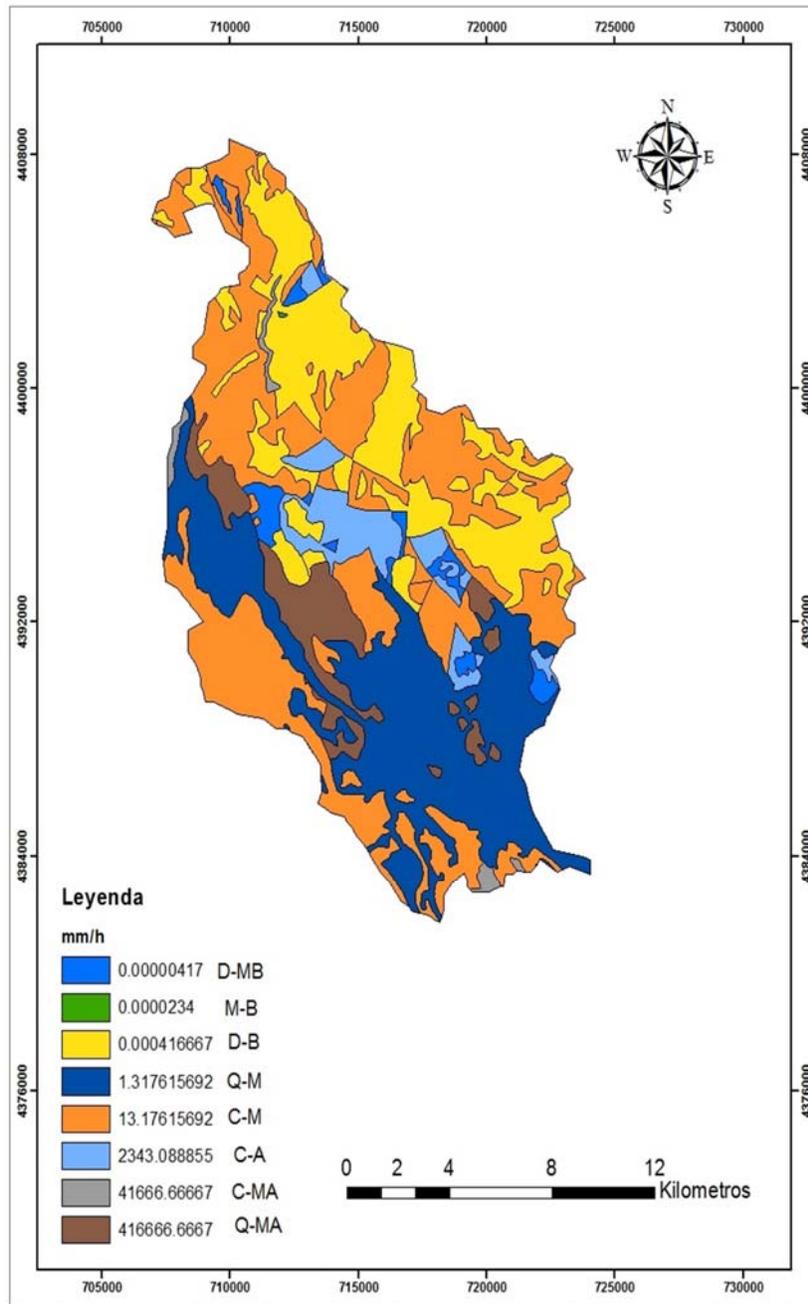


Figura N° 5.12 Mapa Conductividad hidráulica del acuífero Kp (mm/h)



### 5.2.3 Parámetros geomorfológicos

En este apartado se trata de determinar los parámetros geomorfológicos pudiendo distinguir en dos grupos fundamentales: determinación de las áreas umbrales del interflujo y del flujo base, y la determinación de los coeficientes y exponentes empleados para la determinación de la onda cinemática geomorfológica.

#### 5.2.3.1 Área umbral

Para la determinación de las áreas umbrales es preciso conocer previamente la diferencia entre ladera, cárcava y cauce. En la literatura se puede encontrar una amplia gama de definiciones, e incluso, muchos autores defienden la imposibilidad de desarrollar una definición que se cumpla en cualquier caso por los problemas de escalabilidad. No obstante, Dietrich y Dunne hicieron la siguiente definición: *"Un canal es una incisión lineal en el terreno con paredes laterales claramente definidas, en el interior de las cuales discurre flujo de agua concentrado y el transporte de sedimentos, de manera tal que aún si el agua dejara de escurrir en él, la evidencia morfológica del escurrimiento sería aparente"*.

En Tetis la zona de cárcavas es la zona donde se produce el paso del escurrimiento extendido (típico de flujo en ladera) al flujo canalizado (típico del flujo en cauce). Generalmente, comienza en una zona transicional de canalización incipiente por surcos y cárcavas, y termina en la cabecera de los cauces. Finalmente, la ladera será el resto de superficie que perteneciendo a la cuenca no es considerada cauce y tampoco cárcava. En ella, sólo se producirá la escorrentía directa.

La determinación del área umbral del flujo base se ha determinado mediante la comparación entre una fuente cartográfica externa de cauces (mapa vectorial de la red de cauces) y el resultado obtenido para diversos valores de umbral. Por lo tanto la metodología seguida ha sido la prueba de diferentes áreas umbrales hasta obtener una que reproduzca de forma aceptable el inicio de los cauces y el número de cauces que componen la red. Finalmente el valor adoptado ha sido 0.015 km<sup>2</sup>.

En la determinación del área umbral del interflujo se ha utilizado un mapa cartográfico. En un primer lugar se ha estimado que el área umbral del interflujo debería situarse entre 10 y 100 km<sup>2</sup>. La metodología para su estimación ha sido el cálculo del área de la cuenca asociada al punto en el que se inicia el cauce, es decir, donde la línea azul que identifica los cauces pasa de discontinua a continua. Esto se ha llevado a cabo en diferentes zonas y se han obtenido valores muy diversos dentro del intervalo esperado. Debido a la variedad de resultados se ha decidido utilizar el valor medio de 35 km<sup>2</sup>.

#### 5.2.3.2 Onda cinemática geomorfológica

Como se ha comentado en la descripción del modelo TETIS, éste emplea nueve parámetros geomorfológicos según las siguientes relaciones geomorfológicas de tipo potencial entre:

Área acumulada de la cuenca y caudal a sección llena.

$$\Lambda = k * Q_b^p$$

Ancho de la sección transversal a sección llena y caudal a sección llena.



$$w_b = c_1 * Q_b^{\varepsilon_1}$$

Ancho de la sección transversal y caudal.

$$w_t = Q_t^{\varepsilon_2}$$

Diámetro del sedimento, pendiente y profundidad del flujo.

$$d = c_d * (y * s_0)^{\theta}$$

Coefficiente de rugosidad y diámetro del sedimento.

$$n = c_n * d^{\xi}$$

Donde k, c1, cd y cn son los coeficientes y  $\varphi$ ,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\theta$  y  $\xi$  corresponden a los exponentes. Estos parámetros se pueden estimar mediante estudios geomorfológicos por regiones homogéneas de la evolución de las características hidráulicas a lo largo de la red de drenaje.

En caso de no disponer de un estudio geomorfológico en las distintas regiones homogéneas se pueden utilizar los valores medios (Tabla 5.3) recomendados en la literatura.

Tabla Nº 5.3 Valores medios recomendados por la literatura. OCG

Relación	Coeficiente		Exponente	
$Q_b$ vs $\Lambda$	k	0.6	$\varphi$	0.75
$w_b$ vs $Q_b$	$c_1$	3.26	$\varepsilon_1$	0.5
w vs Q	-	-	$\varepsilon_2$	0.2
d vs $y*s_0$	$c_d$	20	$\theta$	1.25
n vs d	$c_n$	0.047	$\xi$	0.1667

En este caso, no se ha recurrido a estos valores medios recomendados, se ha trabajado con los valores del estudio de la cuenca del Tajo (DIHMA, 2001), estudio en el que se detallan cinco zonas geomorfológicas (zona de alta montaña, cuenca media, cuenca baja, zona de cabecera y cauce del río). Estos valores se detallan en la tabla 5.4

Tabla Nº 5.4 Valores adoptados para los coeficientes y exponentes. OCG

Relación	Coeficiente		Exponente	
$Q_b$ vs $\Lambda$	k	1.2968	$\phi$	0.7571
$w_b$ vs $Q_b$	$c_1$	3.1301	$\varepsilon_1$	0.5088
w vs Q	-	-	$\varepsilon_2$	0.3253
d vs $y*s_0$	$c_d$	6.5156	$\theta$	0.6548
n vs d	$c_n$	0.0470	$\xi$	0.1667

### 5.3 Cálculo de parámetros derivados de los usos de los suelo

Como se ha mencionado anteriormente la información para caracterizar el uso del suelo es el mapa resultante del Proyecto Europeo Corine Land Cover Nivel 3 de 2006. Se ha escogido este mapa por ser el más actualizado o reciente.

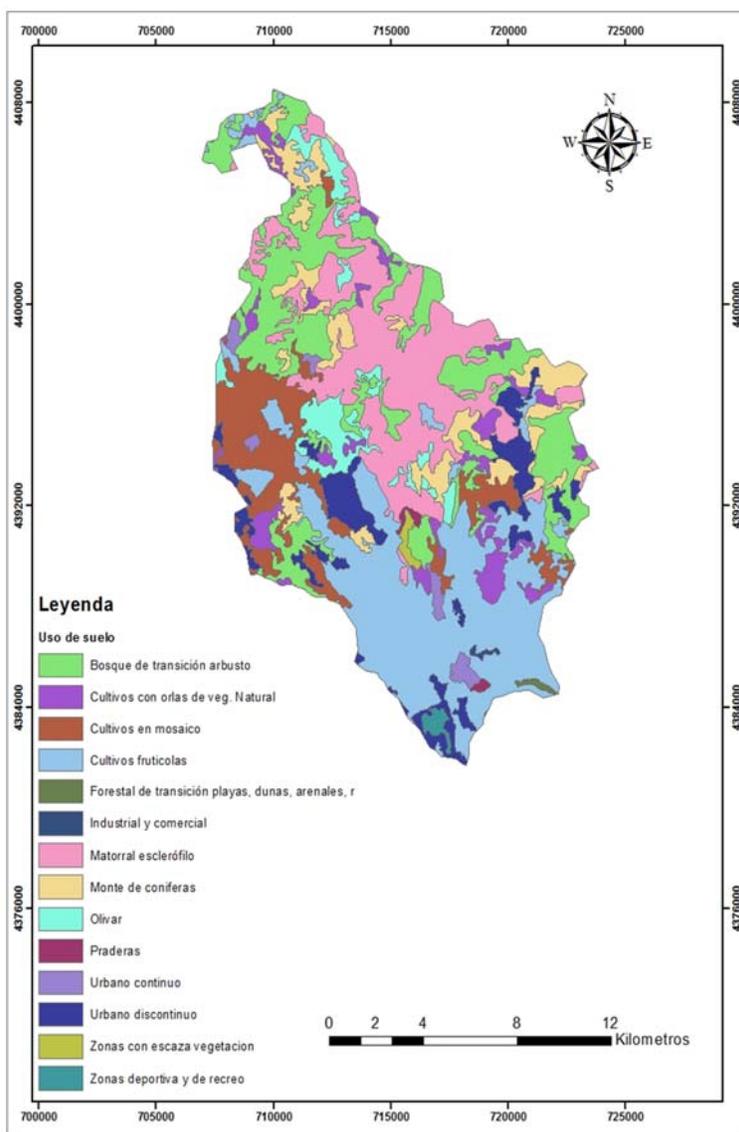


Figura N° 5.13 Mapa de Uso de suelo, Barranco del Carraixet

#### 5.3.1 Valores mensuales del factor de vegetación

El índice de vegetación para la modelación de la evapotranspiración, se obtiene según la dinámica propia de cada tipo de cobertura superficial a partir del mapa de usos de suelo. Y representa la variabilidad en magnitud y distribución temporal de la evapotranspiración.

Para el cálculo del factor de vegetación en el caso de superficies cultivadas, se ha utilizado la metodología propuesta por la FAO. En esta metodología, el factor de vegetación integra las

características que distinguen a un cultivo típico de campo, del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre toda la superficie del suelo. Para ello será necesario determinar la duración de cuatro fases de crecimiento Fig. 5.14.

- Fase inicial, dura desde la siembra hasta que el cultivo alcanza un 10% del suelo cubierto por las hojas.
- Fase de desarrollo, desde el final de la anterior hasta que el cultivo alcanza el 70-80% de suelo cubierto
- Fase media, hasta el comienzo de la maduración.
- Fase final, hasta la recolección.

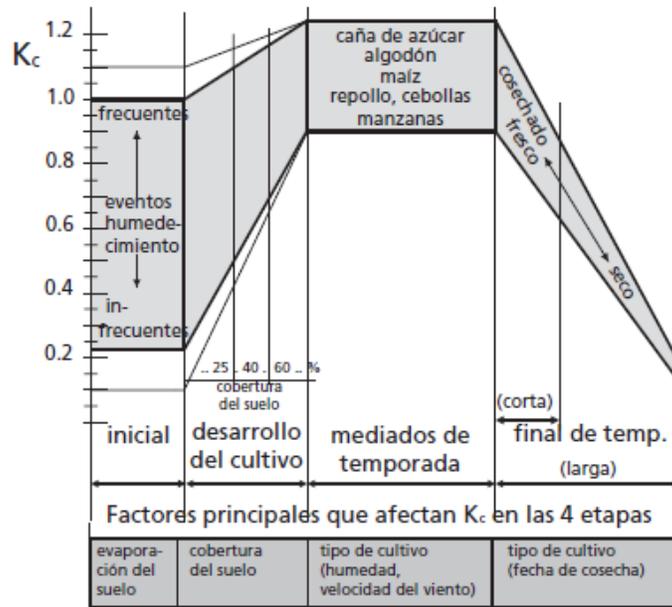


Figura N° 5.14 Rangos típicos esperados del valor de  $K_c$  para las cuatro etapas del crecimiento  
Fuente: Documento FAO N° 56 Riego y Drenaje

Para determinar el  $K_c$  a lo largo de los días, se ha establecido una regresión lineal. La regresión positiva pertenece a la primera fase inicial y media, y la negativa desde la fase media a la final. La primera nos dará una ecuación creciente, y la segunda nos dará valores decrecientes. En base a estas ecuaciones y conociendo el período de duración de cada etapa se ha estimado el  $K_c$  diario. Luego el  $K_c$  mensual ha sido el promedio de los valores antes determinados.

Para el caso de superficies no cultivadas no existe una referencia bibliográfica como la de la FAO, por ello se ha tomado en cuenta valores mensuales de vegetación de otros estudios relacionados a nuestra cuenca.

### 5.3.1.1 Factor de vegetación en superficies cultivadas

Según la clasificación de Corine Land Cover Nivel 3 de 2006, se han determinado los factores de vegetación para los distintos usos de suelo.

222 Cultivos frutícolas. En la zona se pueden encontrar en su gran mayoría cítricos u otros frutales como sandía.



Cítricos: Gran parte de zona está compuesto por cítricos, en la siguiente Tabla 5.5, se recogen las longitudes de las etapas y el valor de vegetación correspondientes. En la figura 5.15, se observa la variación promedio a lo largo del año.

Tabla N° 5.5 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para los cítricos

Etapa	Longitud (días)	Kc
Inicial	60	0.62
Desarrollo	90	-
Mediados de temporada	120	0.60
Final	95	0.63
Total	365	
Siembra	Enero	

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje

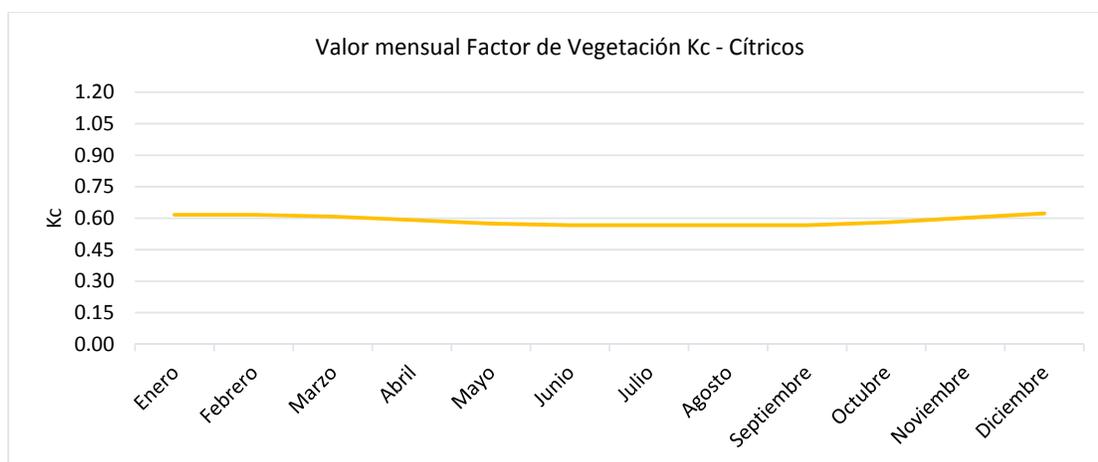


Figura N° 5.15 Variabilidad mensual del factor de vegetación para los cítricos

Sandía: Una de las frutas características de la zona en estudio es la sandía, por ello se ha creído conveniente determinar el factor de vegetación mensual a lo largo del año para este tipo de frutal.

Tabla N° 5.6 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para la sandía

Etapa	Longitud (días)	Kc
Inicial	20	0.40
Desarrollo	30	-
Mediados de temporada	30	1.00
Final	30	0.75
Total	110	-
Siembra	Marzo	-

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje

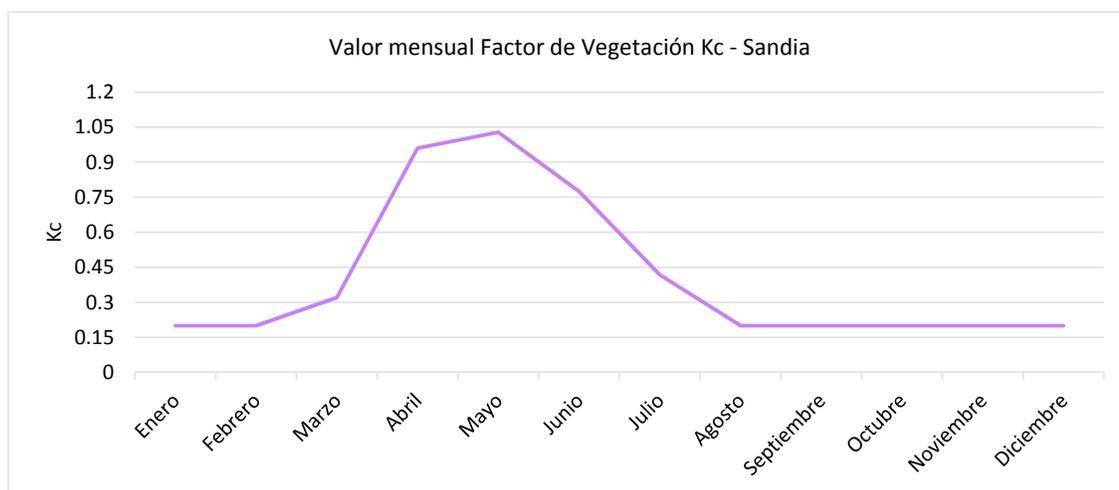


Figura N° 5.16 Variabilidad mensual del factor de vegetación de la Sandia

Árboles frutales: Según un informe sobre las superficies de cultivos por Municipios de Valencia, se ha identificado que existen otros tipos de frutales en la zona que no han podido ser identificados, sin embargo se ha podido estimar gracias al documento "Estudio FAO Riego y Drenaje", donde hace una referencia general de los tipos de frutales como el almendro, manzano, cerezas y peras. Gracias a ello se ha determinado un kc promedio de dichos cultivos a lo largo del año.

Tabla N° 5.7 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para Árboles Frutales

Etapa	Longitud (días)	Kc
Inicial	20	0.60
Desarrollo	70	-
Mediados de temporada	120	0.95
Final	60	0.75
Total	270	
Siembra	Enero	

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje

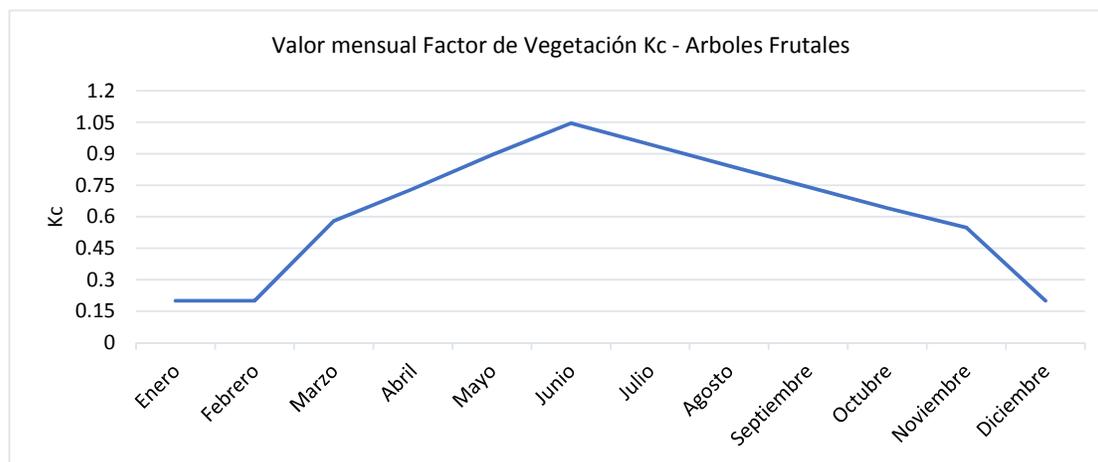


Figura N° 5.17 Variabilidad mensual del factor de vegetación para Árboles Frutales



223 Olivar. A continuación se recogen las longitudes de cada etapa y valor del factor de vegetación según documento FAO. En la figura 5.18, se observa la variación promedio a lo largo del año.

Tabla Nº 5.8 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para el Olivar

Etapa	Longitud (días)	Kc
Inicial	20	0.65
Desarrollo	90	-
Mediados de temporada	60	0.70
Final	90	0.65
Total	260	

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje

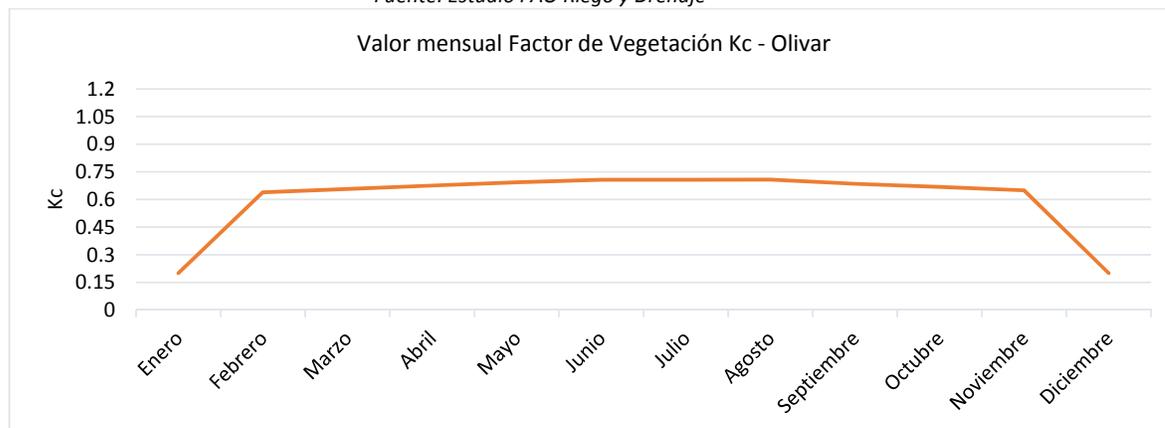


Figura Nº 5.18 Variabilidad mensual del factor de vegetación para el Olivar

242 Mosaico de cultivo. Este tipo de cultivos se refiere a distribuciones entremezcladas de cultivos anteriores, sin embargo también se ha considerado otros cultivos que están referenciados en un informe Superficies de Cultivos por Municipios de Valencia, y que se detallan a continuación. Finalmente el factor de vegetación considerado es el promedio de los cultivos anteriores y los mostrados en la figura 5.19.

Tabla Nº 5.9 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para la Lechuga

Etapa	Longitud (días)	Kc
Inicial	35	0.70
Desarrollo	50	-
Mediados de temporada	45	1.00
Final	10	0.95
Total	140	
Siembra	Febrero	

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje

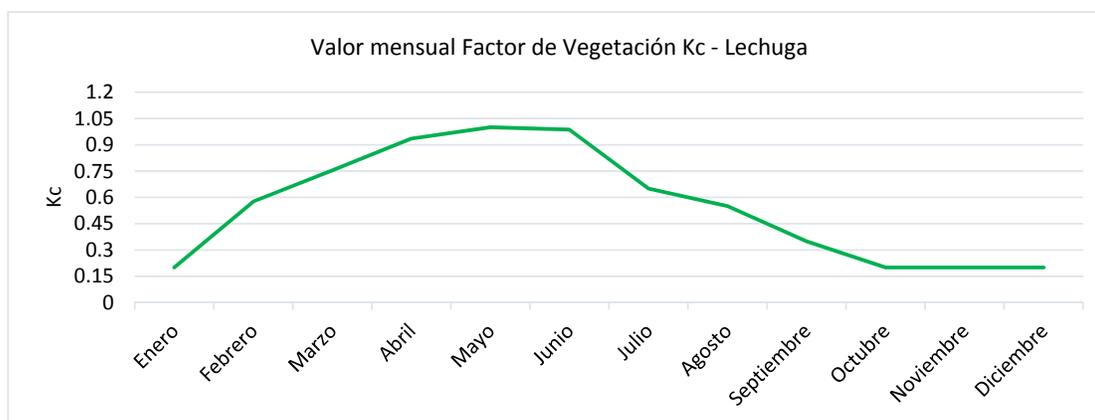


Figura N° 5.19 Variabilidad mensual del factor de vegetación para el Tomate

Tabla N° 5.10 Longitud de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para el Tomate

Etapa	Longitud (días)	Kc
Inicial	30	0.70
Desarrollo	40	-
Mediados de temporada	45	1.15
Final	30	0.80
Total	145	
Siembra	Abril	

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje

312 Monte de coníferas. Uso de suelo predominante y de características muy heterogéneas, no siempre coincidente con estadios claros de ambiente vegetal, ejemplo páramos.

321 Praderas. Las praderas nos ofrecen un amplio y muy extenso paisaje lleno de vegetación baja y algunas de ellas van acompañadas de cadenas montañosas, es decir zonas desarboladas con vegetación herbácea natural.

### 5.3.1.2 Factor de vegetación en clases de suelo heterogéneas.

Como se ha comentado al inicio de este capítulo se ha considerado factores de vegetación de otros estudios relacionados a nuestra área de estudio.

111, 112, 121 y 142 Urbano continuo o discontinuo, zonas industriales, viarias, zonas en construcción y otras zonas recreativas y de jardín.

331 - 333 Forestal de transición. Referente a las zonas de escasa vegetación como zonas de playas, dunas, arenales y roquedos que carecen prácticamente de suelo, el sustrato es rocoso y coincide con el material geológico desnudo

243 Cultivos con orlas de vegetación natural:

323 Matorral esclerófilo. Monte de especies esclerófilas con acompañamiento arbustivo.

324 Bosque de transición – arbusto. Áreas con vegetación natural en estadios transformantes de vegetación.



### 5.3.2 Resumen de factores de vegetación

El resumen de la variabilidad de vegetación mensual es:

*Tabla Nº 5.11 Valores mensuales del factor de vegetación según usos del suelo del tipo Corine Land Cover presentes en la cuenca del Barranco del Carraixet hasta la intersección con el Autovía A-7*

<b>CÓDIGO</b>	<b>USO_SUELO</b>	<b>Enero</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Ab.</b>	<b>May.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ag.</b>	<b>Set.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dic.</b>
111	Urbano continuo	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
112	Urbano discontinuo	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
121	Industrial y comercial	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
142	Zonas deportiva y de recreo	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
222	Cultivos frutícolas	0.339	0.339	0.503	0.761	0.832	0.796	0.643	0.536	0.503	0.474	0.450	0.341
223	Olivar	0.200	0.639	0.657	0.675	0.694	0.707	0.707	0.708	0.686	0.668	0.650	0.200
242	Cultivos en mosaico	0.200	0.439	0.614	0.815	0.916	0.907	0.722	0.580	0.439	0.385	0.375	0.235
243	Cultivos con orlas de veg. Natural	0.300	0.280	0.370	0.550	0.850	0.870	0.490	0.380	0.350	0.340	0.320	0.300
312	Monte de coníferas	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
321	Praderas	0.400	0.400	0.500	0.750	0.950	0.900	0.500	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
323	Matorral esclerófilo	0.600	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.800	0.800	0.800	0.750	0.700	0.600
324	Bosque de transición-arbusto	0.700	0.700	0.750	0.875	0.975	0.950	0.750	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700
331	Forestal de transición playas, dunas, arenales, roquedos	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
333	Zonas con escasa vegetación	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200

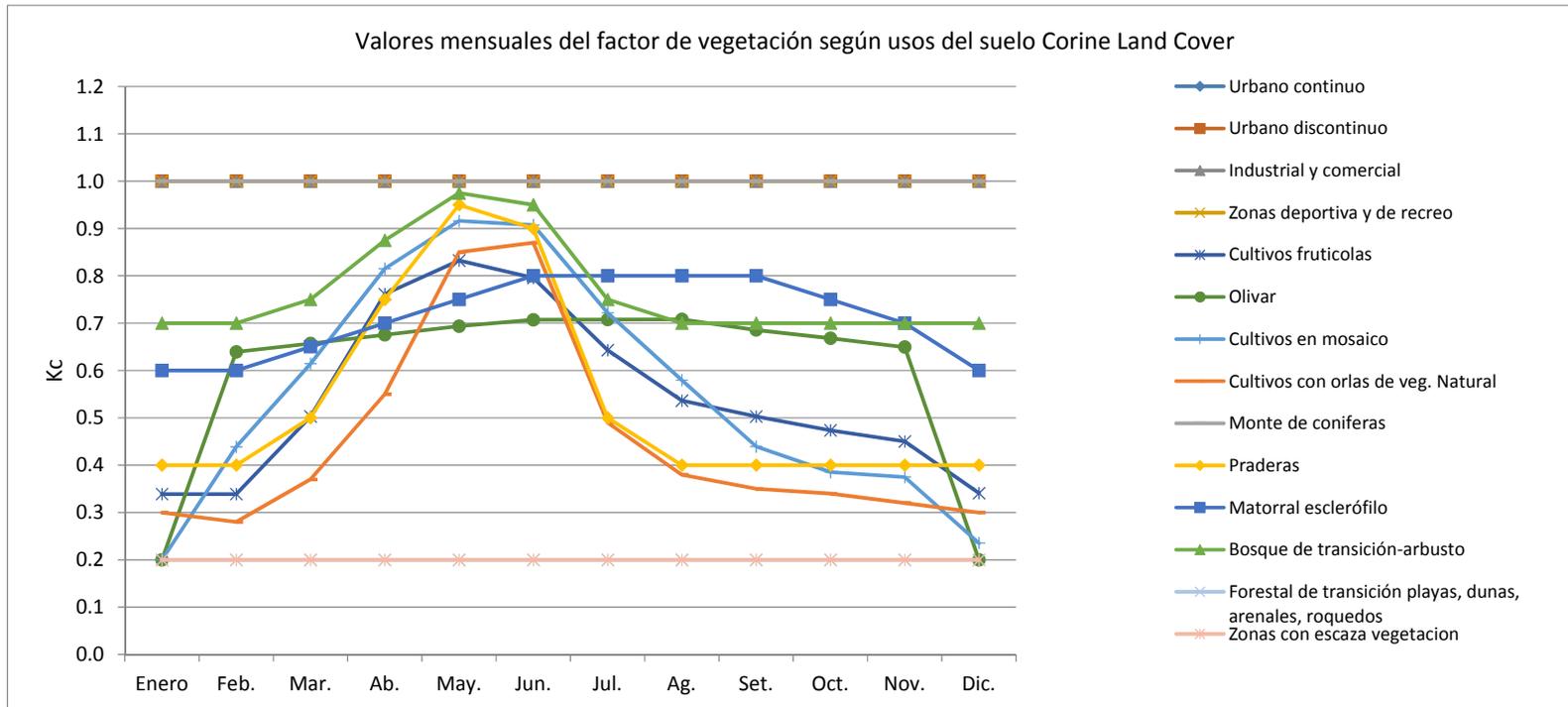


Figura N° 5.20 Distribución mensual del factor de vegetación según usos del suelo



### 5.3.3 Capacidad máxima de almacenamiento estático en la capa superior del suelo (Hu)

El almacenamiento estático máximo (Hu) es la cantidad máxima de agua (en mm) que se puede acumular en el tanque estático, representa el agua que transita por la cuenca y que sólo sale de ella por evapotranspiración. Está formado por el almacenamiento superficial (almacenamiento en charcos y almacenamiento en depresión) y por el agua que se retiene en el suelo por las fuerzas capilares.

$$Hu = Alm_{sup} + AWC * TOP * \text{mín}(Prof. \text{raíces}; ROO)$$

Alm. sup es el almacenamiento en superficie, es decir la suma del almacenamiento en charcos y el almacenamiento en depresión (mm)

- AWC.TOP es el contenido de agua disponible en el suelo (mm/m)
- Prof. raíces es la profundidad alcanzada por las raíces sin obstáculos (m)
- ROO es la profundidad del primer obstáculo para el desarrollo de raíces (m)

#### 5.3.3.1 Intercepción máxima

Este proceso se refiere a la parte de la precipitación retenida por objetos superficiales que se queda en la cubierta vegetal y que se evapora directamente sin alcanzar el suelo. Los valores de interceptación máxima han sido obtenidos de estudios previos y adaptados a los usos del suelo de la cuenca. Estos resultados estarán en un fichero Factor ETmes junto con los valores de factor de vegetación determinados en el apartado 5.3.1, y servirá de input para el modelo hidrológico TETIS.

Tabla Nº 5.12 Valores de interceptación máxima para los diferentes usos del suelo

Código CLC nivel 3	Uso de suelo	Intercepción máxima en mm
111	Urbano continuo	0
112	Urbano discontinuo	3
121	Industrial y comercial	0
142	Zonas deportiva y de recreo	3
222	Cultivos frutícolas	1
223	Olivar	1
242	Cultivos en mosaico	1
243	Cultivos con orlas de veg. Natural	5
312	Monte de coníferas	9
321	Praderas	3
323	Matorral esclerófilo	4
324	Bosque de transición-arbusto	5
331	Forestal de transición playas, dunas, arenales, roquedos	0
333	Zonas con escasa vegetación	0

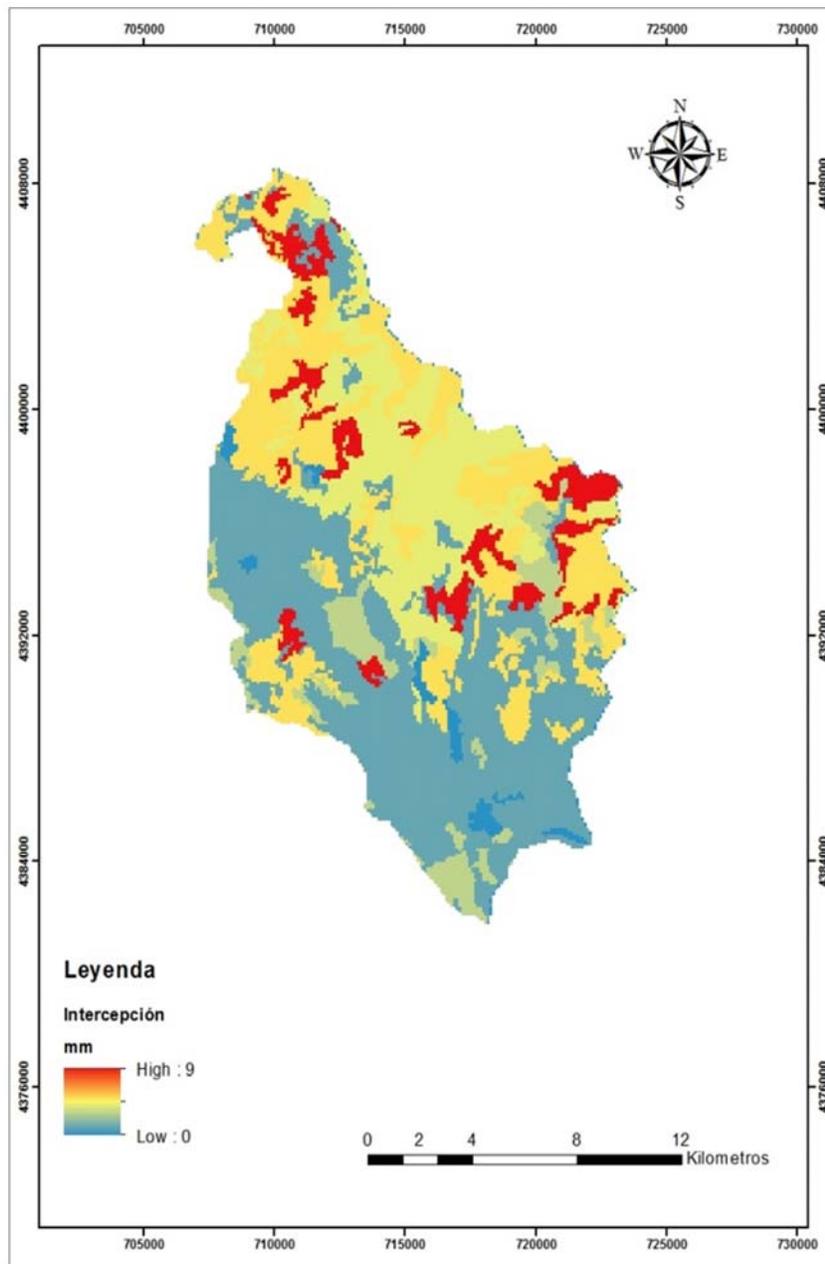


Figura N° 5.21 Mapa de intercepción máxima, Barranco del Carraxet



### 5.3.3.2 Almacenamiento superficial

El almacenamiento superficial o charcos se estima con dos componentes.

### 5.3.3.3 Función de la cubierta

En función de estudios anteriores y los usos del suelo del área en estudio se ha determinado los siguientes almacenamientos en charcos.

Tabla Nº 5.13 Almacenamiento en charcos para los diferentes usos del suelo

Código CLC nivel 3	Uso de suelo	Alm. Charcos (mm)
111	Urbano continuo	0
112	Urbano discontinuo	5
121	Industrial y comercial	0
142	Zonas deportiva y de recreo	5
222	Cultivos frutícolas	6
223	Olivar	6
242	Cultivos en mosaico	6
243	Cultivos con orlas de veg. Natural	6
312	Monte de coníferas	4
321	Praderas	6
323	Matorral esclerófilo	6
324	Bosque de transición-arbusto	5
331	Forestal de transición playas, dunas, arenales, roquedos	3
333	Zonas con escasa vegetación	3

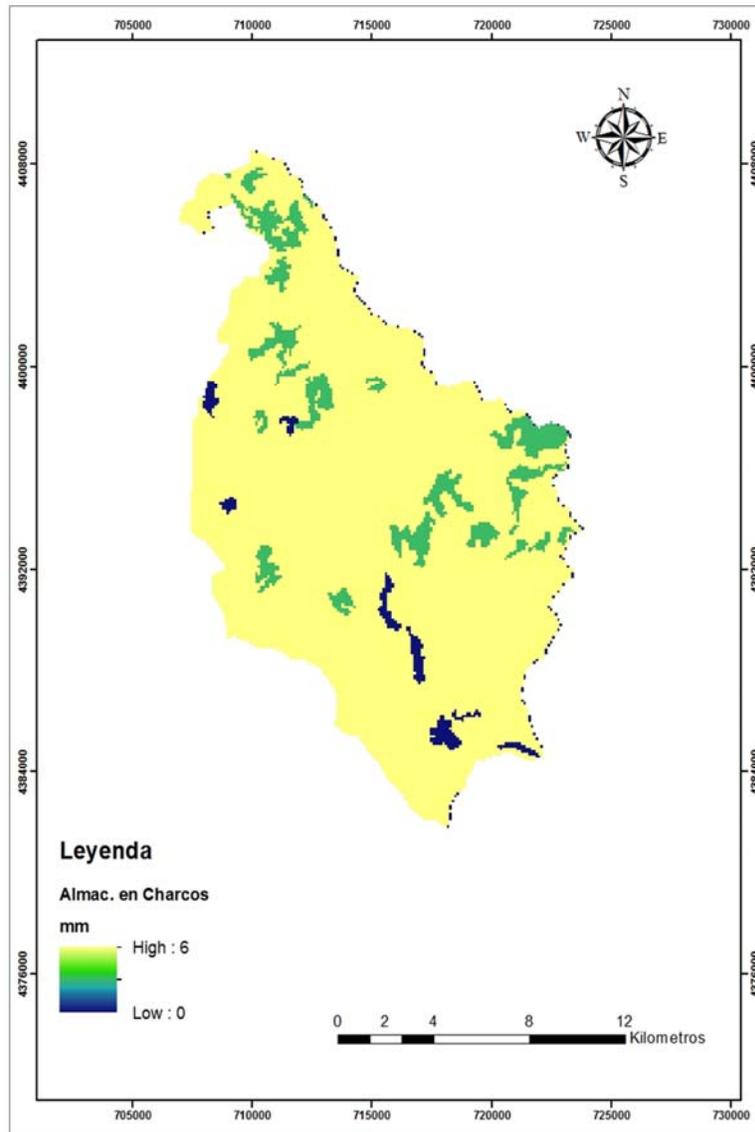


Figura N° 5.22 Mapa de Almacenamiento en Charcos, Cuenca del Barranco del Carraxet

#### 5.3.3.4 Función de la pendiente

Este cálculo se ha realizado mediante la siguiente ecuación:

$$Alm_{depresión}(mm) = 10 - 1.3 * pendiente (m/m)$$

Tabla N° 5.14 Almacenamiento en depresión para los diferentes usos del suelo

Pendiente %	Alm. Depresión (mm)
0	10
1	8.7
2	7.4
3	6.1
4	4.8
5	3.5
6	2.2
7	0.9
>7	0

Fuente: GIHMA

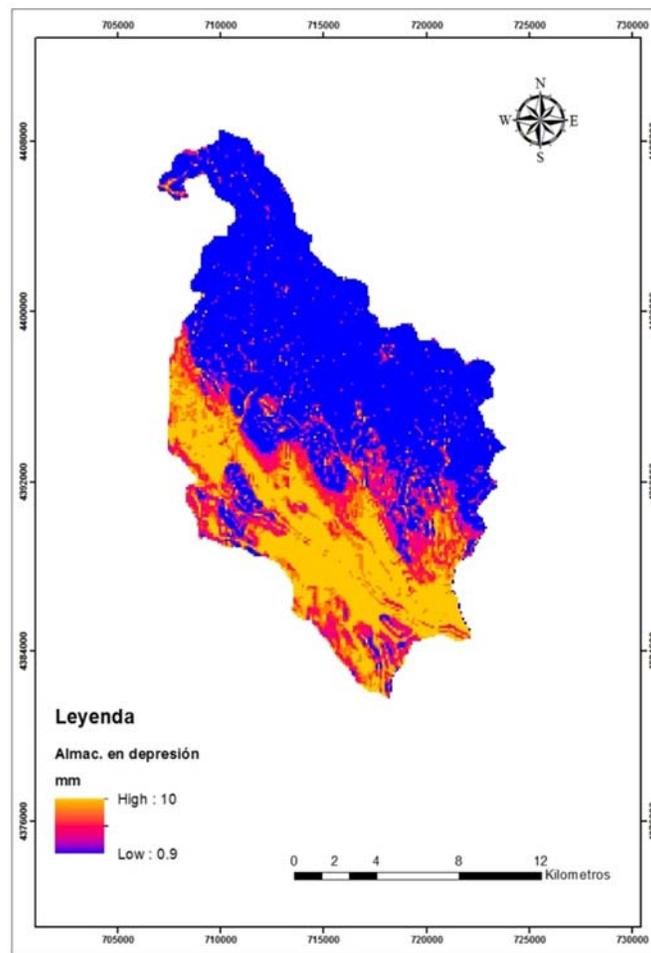


Figura N° 5.23 Mapa de Almacenamiento en depresión, Barranco del Carraixet

### 5.3.3.5 Almacenamiento capilar

Para el cálculo del almacenamiento capilar se ha recurrido a información cartográfica tomada de la Base de datos de Suelo Europea (ESDB), específicamente los mapas derivados del suelo



relacionados en el apartado 6.1.3, capacidad de agua disponible en la capa superior del suelo (AWC\_TOP) y obstáculo de raíces (ROO).

El AWC.TOP y el ROO son información cartográfica que proviene de la Base de datos de Suelo Europea (ESDB). En esta base de datos se encuentran mapas de: contenido en arcilla (STU\_EU\_T\_CLAY), contenido en arena (STU\_EU\_T\_SAND), contenido en limo (STU\_EU\_T\_SILT), contenido en materia orgánica (STU\_EU\_T\_OC), contenido en gravas (STU\_EU\_T\_GRAVEL) y profundidad del primer obstáculo para el desarrollo de raíces (STU\_EU\_DEPTH\_ROOTS)

Tabla Nº 5.15 Profundidad de raíces para los diferentes usos del suelo

Código CLC nivel 3	Uso de suelo	Prof. Raíces (m)
111	Urbano continuo	0
112	Urbano discontinuo	0.1
121	Industrial y comercial	0.06
142	Zonas deportiva y de recreo	0.1
222	Cultivos frutícolas	1.5
223	Olivar	1.45
242	Cultivos en mosaico	0.7
243	Cultivos con orlas de veg. Natural	0.75
312	Monte de coníferas	1.25
321	Praderas	0.6
323	Matorral esclerófilo	0.7
324	Bosque de transición-arbusto	0.7
331	Forestal de transición playas, dunas, arenales, roquedos	0
333	Zonas con escasa vegetación	0

Fuente: Base de datos de Suelo Europea (ESDB)

Una vez obtenido todos los parámetros necesarios para determinar el almacenamiento estático, se ha operado con SIG mediante la siguiente fórmula:

$$Hu = Alm_{sup} + AWC.TOP * \min(Prof.raíces; ROO)$$

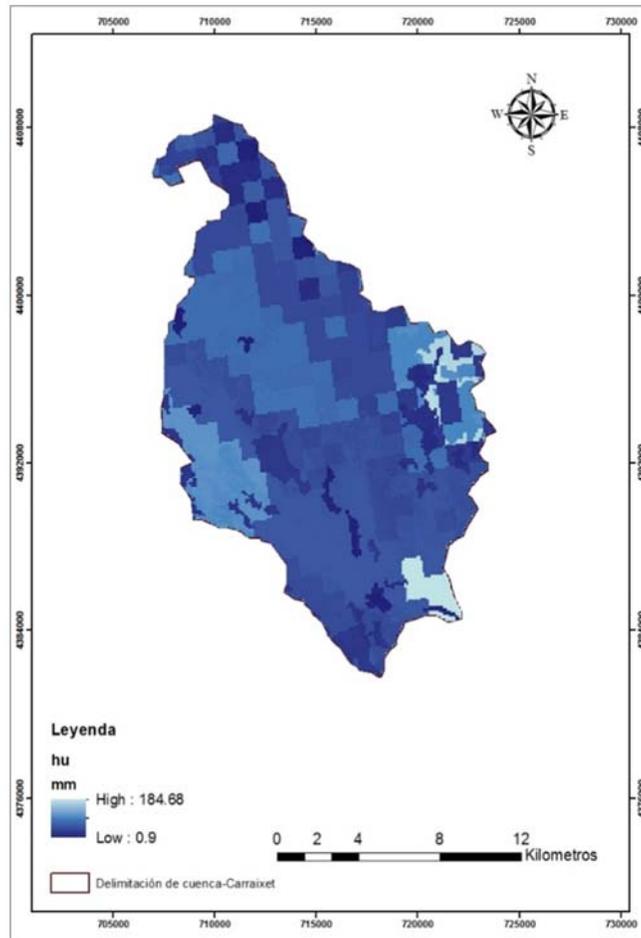


Figura N° 5.24 Mapa capacidad de almacenamiento hídrico del suelo

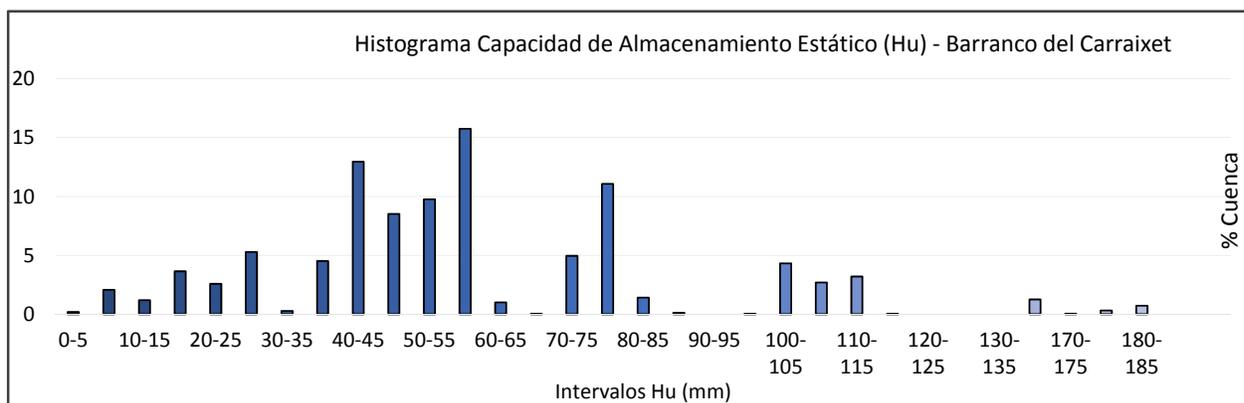


Figura N° 5.25 Histograma capacidad de almacenamiento hídrico del suelo



---

# CAPITULO 6. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

---



La primera fase de la implementación del modelo TETIS corresponde a la calibración de los factores correctores de los parámetros que consiguen la mejor aproximación de los flujos simulados respecto a los observados. En esta parte se hace necesaria la identificación previa de los parámetros poco sensibles para su descarte previo a la calibración automática. Este análisis de sensibilidad conlleva realizar sucesivas pruebas de parámetros atendiendo a la experiencia del experto y en parte de iteración de acuerdo a los sucesivos resultados obtenidos de la optimización matemática.

En la segunda fase, que se corresponde a la validación, se introducen en el modelo los parámetros efectivos óptimos obtenidos de la calibración para la simulación del periodo de validación, de modo que superado ésta etapa el modelo queda listo para su uso en predicción. Los resultados del modelo durante la validación son en general más representativos de la exactitud de las predicciones que se hagan con el modelo (Palacios, 1986), que de la precisión alcanzada en calibración.

Los modelos distribuidos, cuyos parámetros poseen un inherente sentido físico, representan el centro de investigación de la modelación hidrológica, en el tanto en que estos modelos son menos dependientes de procesos de calibración, lo cual los hace particularmente útiles en cuencas no instrumentadas. Además, la interpretatividad de los parámetros físicos arroja una idea clara del comportamiento hidrológico de una cuenca (Huber y Dickinson 1988, Jain et al., 2004, Maneta et al., 2007).

Dado que los modelos no son más que aproximaciones de sistemas reales, la confiabilidad de sus predicciones dependerá de qué tan bien haya sido definida la estructura matemática de estos y qué tan bien haya sido parametrizado (Hogue et al., 2006).

## 6.1 Calibración y validación a escala diaria

### 6.1.1 Fase de calibración

La calibración del modelo se realiza usualmente ajustando los valores del caudal simulado, generados por el modelo TETIS a los valores de aforo de caudal registrados mediante la variación de los factores correctores. Es decir consiste en el uso de datos de lluvia-escorrentía y un procedimiento para identificar los parámetros del modelo que provean la mejor concordancia en los flujos observados y simulados. La identificación de los parámetros puede ser llevada a cabo manualmente, por prueba y error, o automáticamente utilizando técnicas de optimización matemática.



A partir de las series puntuales del SAIH e interpoladas de Spain02 V4 y Spain02 V2, descritas anteriormente en el apartado 4.1. Se presenta a continuación una breve explicación del proceso de ajuste del modelo hidrológico a escala diaria.

El periodo elegido para la calibración ha sido desde el año hidrológico del año 2000 a 2003. Se optó por este periodo por el análisis antes descrito en el apartado 4.4, el cual ha ayudado a descartar algunos eventos en los que no guardan relación precipitación caudal y datos de aforo o precipitación que se encuentran en fallo. Ha quedado incluido en el periodo de calibración, el evento de octubre del año 2000, generado por un fenómeno conocido como "gota fría", donde se registraron valores muy altos de intensidad y caudal. Dentro de nuestra área de estudio sólo se cuenta con una sola estación de aforo, la cual ha sido utilizada para la calibración. Esta es la estación de Bétera.

En lo referente al estado inicial de los seis tanques que representan los distintos almacenamientos del suelo, se resuelve utilizando un período de calentamiento, el cual ya se encuentra incluido dentro del periodo seleccionado para la calibración. Este período de calentamiento ha sido tomado desde octubre de 1999 a setiembre del año 2000. Dicho período evitará la posible influencia de las condiciones iniciales.

El período de calentamiento se dedica a calibrar automáticamente las condiciones iniciales de humedad usando el procedimiento SCE-UA para obtener el mejor ajuste posible entre los caudales observados y simulados (Francés, Vélez et al., 2008).

### 6.1.2 Proceso de calibración

Previo a la calibración automática, se ha realizado un análisis de sensibilidad con el fin de identificar los parámetros pocos influyentes y el rango en el que se pueden encontrar, de manera que valores sirvan de guía para la calibración automática. Este proceso ha consistido en realizar una calibración manual e ir variando uno de los factores correctores manteniendo el resto fijos. Esto se ha realizado para todos los factores correctores y ha permitido determinar que el modelo es poco sensible a la variación de los factores correctores FC9, velocidad del flujo y FC7, flujo subterráneo profundo. Tras un análisis de la cuenca, al no presentar flujo base en la misma se ha decidido un flujo base FC8 cero. Los demás factores correctores son un poco más influyentes, pero el FC3 de infiltración es el más influyente de todos. Después de este análisis de sensibilidad, se ha determinado que factores correctores determinar en la calibración automática. Cabe mencionar el modelo hidrológico TETIS, permite considerar el número de estaciones más cercanas a interpolar, después de hacer un análisis interpolando una y tres estaciones, se ha determinado que se obtienen mejores resultados interpolando con tres estaciones.



### 6.1.3 Resultados de la calibración con información hidrometeorológica puntual SAIH

#### 6.1.3.1 Calibración datos SAIH, año hidrológico 2000 - 2003

Con el análisis mencionado anteriormente, los factores correctores determinados por la calibración automática se muestran en la Tabla N° 6.1, como se puede observar en la Fig. N° 6.1 el modelo TETIS reproduce correctamente el evento de octubre del año 2000, no sólo porque se aproxima tanto el  $Q_{sim} = 28.270 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $Q_{obs} = 28.652 \text{ m}^3/\text{s}$ , sino porque la representación del inicio y fin del hidrograma son muy cercanos. Con respecto a los demás años sí que existe una diferencia del caudal observado frente al simulado, especialmente el de mayo del año 2002, esto se puede deber a la variabilidad de la precipitación en esa fecha y que en el año anterior representa un período de sequía. Se ha obtenido un coeficiente de Nash de 0.8884 y un error cuadrático medio  $RMSE = 0.279$ , un error de tiempo al pico de un cero días y con un error de volumen del 69.60%, este último valor de error de volumen puede deber al evento de mayo del 2002 donde existe diferencia del caudal observado y simulado.

Tabla N° 6.1 Factores correctores obtenidos de la calibración automática, serie SAIH

Factores Correctores	Valor
FC1 Almacenamiento estático	0.2009
FC2 Evaporación	0.8880
FC3 Infiltración	1.8079
FC4 Escorrentía directa	0.0036
FC5 Percolación	0.2919
FC6 Interflujo	0.0001
FC7 Flujo subterráneo profundo	1.0000
FC8 Flujo Base	0.0000
FC9 Velocidad del flujo base	1.1500



Tabla N° 6.2 Características del evento de simulación TETIS para los factores correctores de la serie SAIH

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s) =	28.652
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s) =	28.270
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.8884
RMSE =	0.279
Error en Volumen (%) =	69.60
Tiempo al pico observado =	24/10/2000
Tiempo al pico simulado =	24/10/2000
Error al tiempo =	0.00

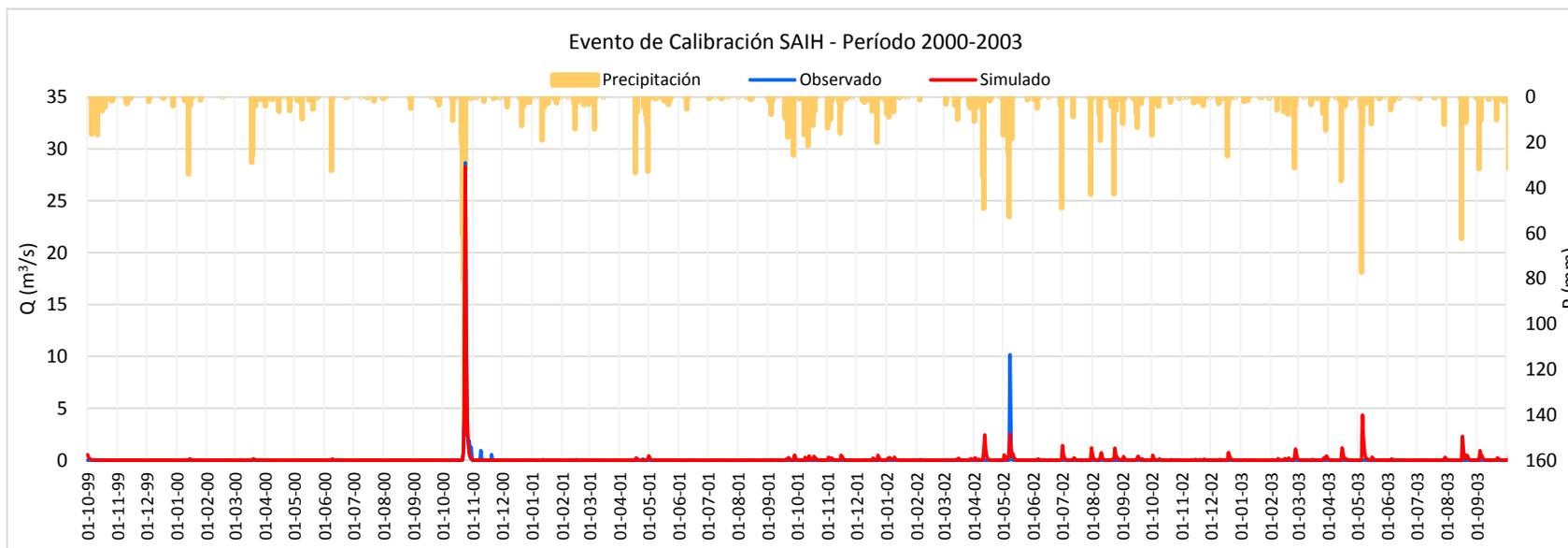


Figura N° 6.1 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH



En el proceso de calibración se han obtenido los valores medios de la cuenca, que serán comunes a las siguientes simulaciones. Es el balance hídrico de la cuenca y se muestra en la Tabla N° 6.3, estos valores pueden variar en función de los tres tipos de datos que se tienen SAIH, Spain02v2 y Spain02v4.

Tabla N° 6.3 Valores del balance hídrico para la serie SAIH, período octubre de 1999 – octubre 2003

<b>Balance Hídrico</b>	<b>Valor (mm)</b>
Precipitación	21007.63
Evaporación desde intercepción	0
<b>Almacenamiento estático</b>	
Nivel medio en la cuenca	1.09097
Lluvia directa	2107.635
Evapotranspiración	860.91
<b>Superficie</b>	
Nivel medio en la cuenca	0.02793
Excedente	1248.75537
Escorrentía directa	73.217
<b>Almacenamiento gravitacional</b>	
Nivel medio en la cuenca	255.55778
Infiltración	1208.21863
Interflujo	0.04142
<b>Acuífero</b>	
Nivel medio en la cuenca	0
Percolación	649.669
Flujo subterráneo conectado	0
Flujo subterráneo profundo	649.669
<b>Desagüe fluvial</b>	
Salida por el desagüe	73.256

#### 6.1.4 Fase de Validación

En nuestra cuenca de estudio por contar sólo con una estación de aforo, el tipo de validación realizada ha sido de tipo temporal, en otro período de tiempo para un mismo punto de calibración. De acuerdo al análisis de los datos en el apartado 4.4, la validación a realizar será posible para dos eventos o períodos, uno posterior y otro anterior al evento de calibración, estos períodos son los años hidrológicos de 2003-2004 y 1989-1990, que han representados eventos históricos significativos. Como se ha mencionado anteriormente se ha considerado interpolar la precipitación desde tres y una estación, llegando a tener un mejor ajuste de validación con la interpolación de tres estaciones y el evento que mejor ajuste ha tenido ha sido de 1989. El período de calentamiento considerado para los eventos del año 1989-1990 y 2004 ha sido de dos meses.



## 6.1.5 Resultados de validación con información hidrometeorológica puntal SAIH

### 6.1.5.1 Validación año hidrológico 2003 - 2004, serie SAIH

Como se puede observar en la Tabla N° 6.4, se obtiene un índice de Nash de 0.265. Esto indicaría que el ajuste caudal máximo observado y simulado para este período no es adecuado. En la Fig. N° 6.2, podemos apreciar una adecuada continuidad de la relación precipitación – caudal, es decir en el transcurso del período si existe concordancia entre caudal observado y simulado para caudales bajos, a pesar del que el caudal máximo observado sea mayor que el simulado.

Tabla N° 6.4 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, año hidrológico 2003 - 2004

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m³/s) =	1.900
Caudal max. Sim. (m³/s) =	0.268
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.265
RMSE =	0.086
Error en Volumen (%) =	-51.49
Tiempo al pico observado =	29/03/2004
Tiempo al pico simulado =	29/03/2004
Error al tiempo =	0.00

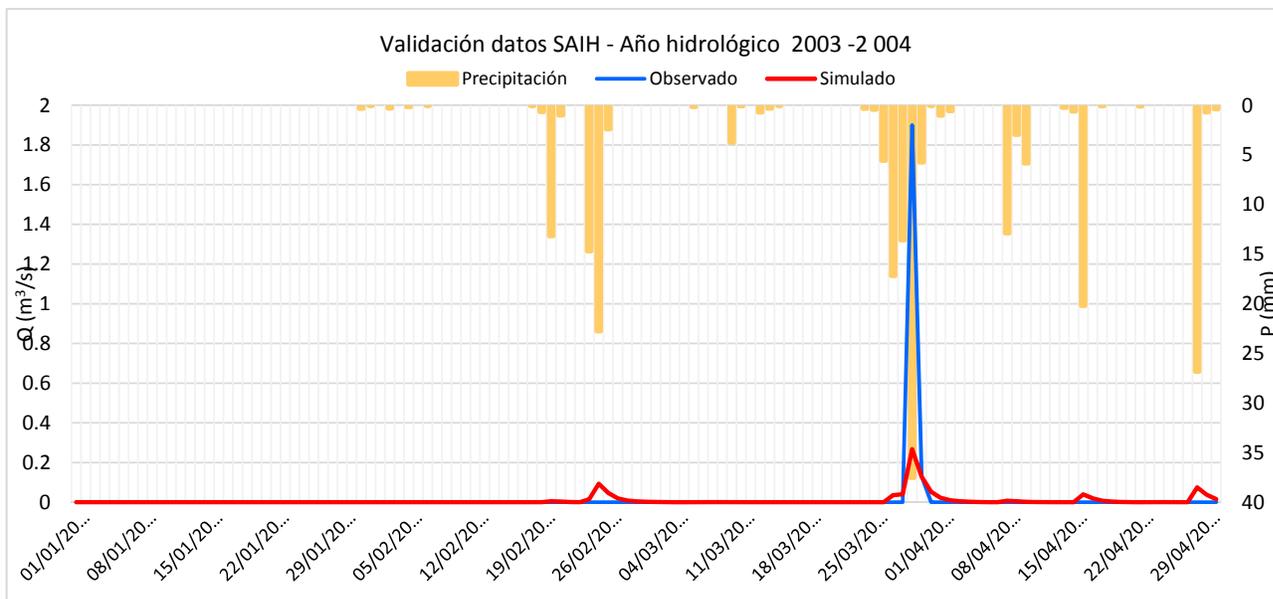


Figura N° 6.2 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación año hidrológico 2003- 2004



### 6.1.5.2 Validación año hidrológico 1989 - 1990 datos SAIH

La validación se ha realizado para este período de tiempo donde se han registrado tres eventos. Se puede observar en la Fig. 6.3 que el evento de setiembre de 1990 es el que mejor se ajusta para esta serie de datos. Aparentemente el índice de Nash indicaría que el modelo no se ajusta adecuadamente para esta serie de datos, sin embargo podemos observar en la Fig. N° 6.3 que el evento de septiembre de 1990 se ajusta muy bien al caudal observado.

Tabla N° 6.5 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, validación año hidrológico 1989-1990

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m³/s) =	16.020
Caudal max. Sim. (m³/s) =	12.170
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.2633
RMSE =	1.676
Error en Volumen (%) =	-77.37
Tiempo al pico observado =	30/12/1989
Tiempo al pico simulado =	09/09/1990
Error al tiempo =	253.00

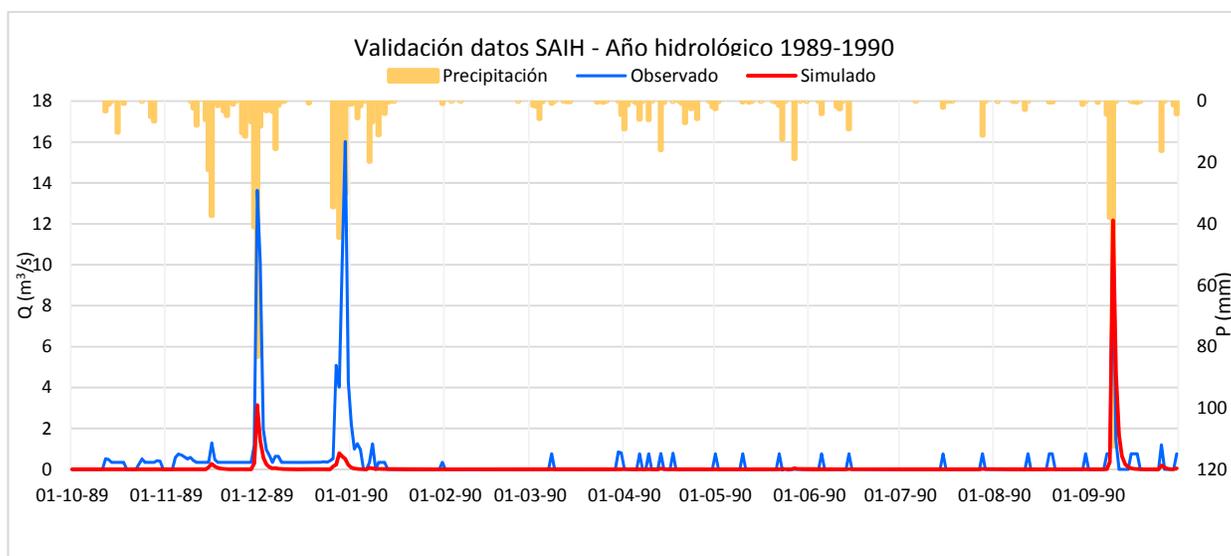


Figura N° 6.3 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación año hidrológico 1989 - 1990



## 6.1.6 Calibración y validación con información hidrometeorológica distribuida correspondiente a la serie Spain02v2

### 6.1.6.1 Resultados de calibración con información hidrometeorológica distribuida correspondiente a la serie Spain02v2

Mediante el mismo procedimiento seguido en el apartado 6.1 de la serie SAIH, se realiza el proceso de calibración y validación para la serie Spain02 v2 con resolución de 0.20°. Para poder comparar los diferentes modelos con posterioridad, los periodos de calibración y validación han sido los mismos que se han utilizado para la serie SAIH.

Los factores correctores determinados por la calibración automática para la serie de Spain02 V2 se muestran en la Tabla N° 6.6. Como se puede observar en la Fig. N° 6.4 el modelo TETIS reproduce adecuadamente el evento de octubre del año 2000,  $Q_{sim} = 28.722 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $Q_{obs} = 28.652 \text{ m}^3/\text{s}$ . Se ha obtenido un coeficiente de Nash de 0.9063 y un error cuadrático medio  $RMSE = 0.266$ , un error de tiempo al pico de un cero días y con un error de volumen del 29.04%.

Tabla N° 6.6 Factores correctores obtenidos de la calibración automática, serie Spain02\_V2

Factores Correctores	Valor
FC1 Almacenamiento estático	1.2629
FC2 Evaporación	0.4451
FC3 Infiltración	0.9724
FC4 Escorrentía directa	0.0095
FC5 Percolación	1.6154
FC6 Interflujo	0.1486
FC7 Flujo subterráneo profundo	1.0000
FC8 Flujo Base	0.0000
FC9 Velocidad del flujo base	1.1500



Tabla Nº 6.7 Características del evento de simulación TETIS para los factores correctores de la serie Spain02\_V2

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s) =	28.652
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s) =	28.722
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.9063
RMSE =	0.266
Error en Volumen (%) =	29.04
Tiempo al pico observado =	24/10/2000
Tiempo al pico simulado =	24/10/2000
Error al tiempo =	0.00

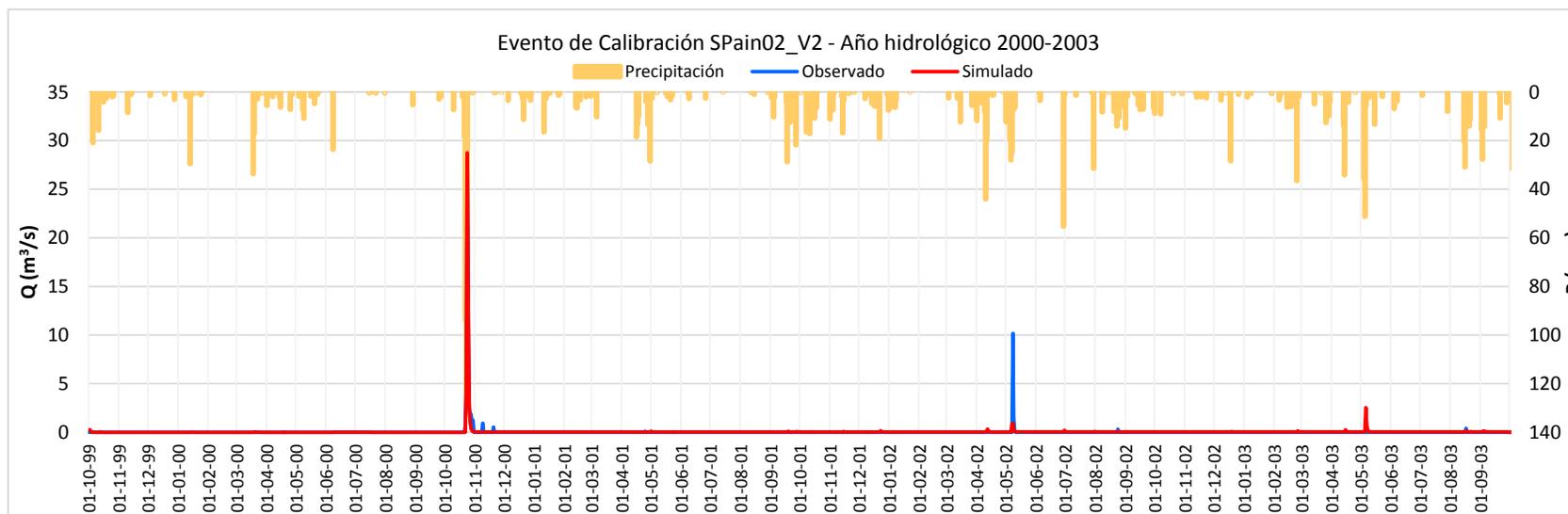


Figura Nº 6.4 Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02 V2



En el proceso de calibración se han obtenido los valores medios de la cuenca, que serán comunes a las siguientes simulaciones. Es el balance hídrico de la cuenca y se muestra en la Tabla N° 6.8, estos valores del balance hídrico para la serie Spain02\_V2, período octubre 1999 – setiembre 2003.

Tabla N° 6.8 Valores del balance hídrico para la serie Spain02\_V2, período octubre de 1999 – octubre 2003

<b>Balance Hídrico</b>	<b>Valor (mm)</b>
Precipitación	1956.14
Evaporación desde intercepción	0
<b>Almacenamiento estático</b>	
Nivel medio en la cuenca	31.923
Lluvia directa	1956.14
Evapotranspiración	1371.96
<b>Superficie</b>	
Nivel medio en la cuenca	0.0089
Excedente	600.42047
Escorrentía directa	38.19482
<b>Almacenamiento gravitacional</b>	
Nivel medio en la cuenca	86.72
Infiltración	563.1262
Interflujo	20.641
<b>Acuífero</b>	
Nivel medio en la cuenca	7.28056
Percolación	382.56
Flujo subterráneo conectado	0
Flujo subterráneo profundo	369.32
<b>Desagüe fluvial</b>	
Salida por el desagüe	59.09

## 6.1.7 Resultados de validación con información hidrometeorológica distribuida correspondiente al Spain02\_V2

### 6.1.7.1 Validación año hidrológico 2003 – 2004 serie Spain02 V2

Como se puede observar en la Tabla N° 6.9, se obtiene un índice de Nash de 0.393 y un error de volumen de -51.86%. Esto al igual que serie de datos SAIH, indicaría que el ajuste caudal máximo observado y simulado para este período no es adecuado. Sin embargo representa un mejor ajuste del evento de 29/03/2004 comparado con la serie SAIH.



Tabla Nº 6.9 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie Spain02\_V2, año hidrológico 2003-2004

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s) =	1.896
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s) =	0.417
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.393
RMSE =	0.078
Error en Volumen (%) =	-51.86
Tiempo al pico observado =	29/03/2004
Tiempo al pico simulado =	29/03/2004
Error al tiempo =	0.00

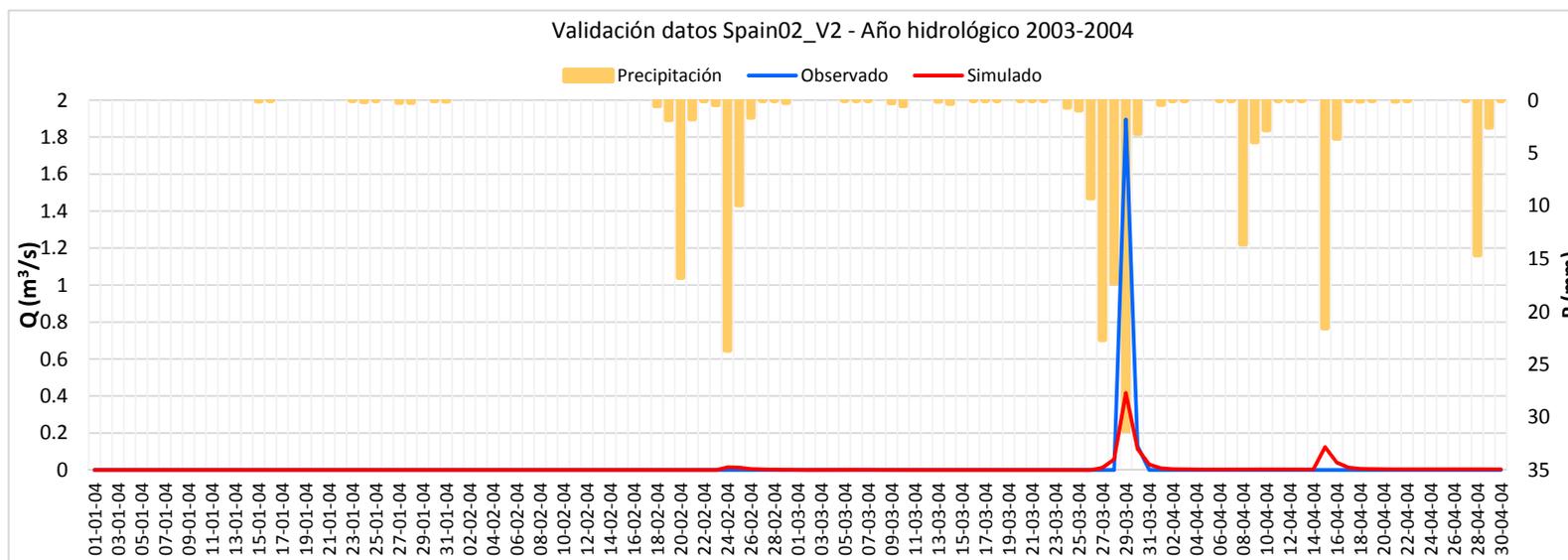


Figura Nº 6.5 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación año hidrológico 2003 - 2004



### 6.1.7.2 Validación año hidrológico 1989 – 1990 serie Spain02 V2

Como se puede observar en la Tabla N° 6.10, se obtiene un índice de Nash de 0.19 y un error de volumen de -75.89%. A diferencia con los datos del SAIH el evento del 09/09/1990 no presenta respuesta del caudal simulado, es decir la respuesta es mínima comparada con el caudal observado. Los eventos que representan respuesta con los datos de Spain02\_V2 son el 01/12/1989 y 30/12/1989. Mientras que con los datos del SAIH el presenta el evento de 09/09/1990 y 01/12/1989.

Tabla N° 6.10 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie Spain02\_V2, validación año hidrológico 1989 - 1990

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s) =	16.020
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s) =	4.634
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.1902
RMSE =	1.596
Error de Volumen (%) =	-75.89
Tiempo al pico observado =	30/12/1989
Tiempo al pico simulado =	01/12/1989
Error al tiempo =	-29.00

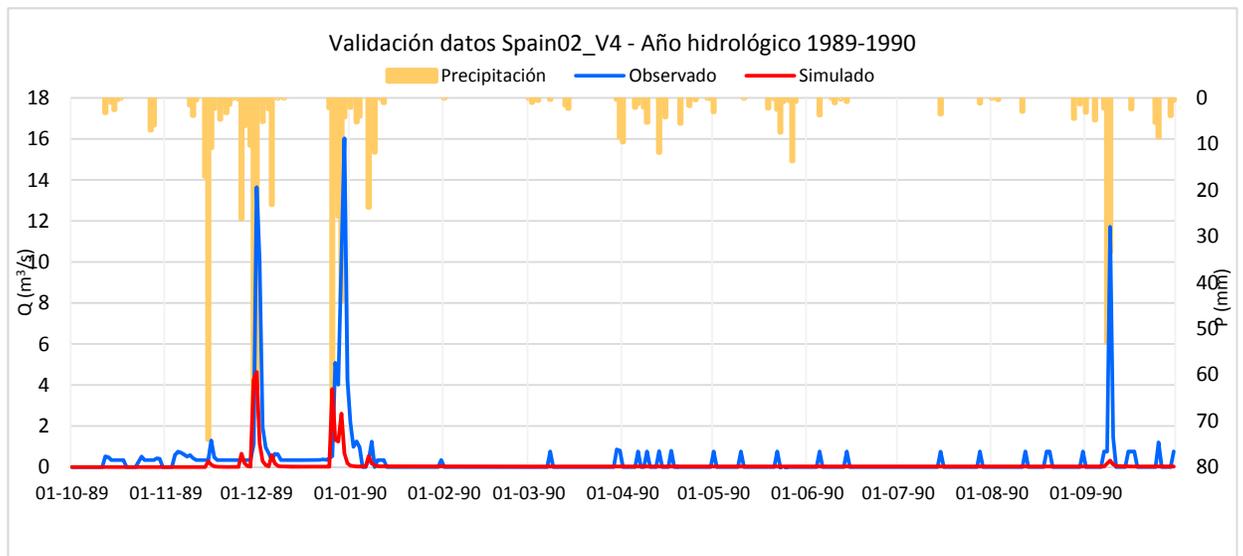


Figura N° 6.6 Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02 V2



## 6.1.8 Implementación con información hidrometeorológica distribuida correspondiente al Spain02v4

### 6.1.8.1 Resultados de calibración con información hidrometeorológica distribuida correspondiente al Spain02v4

El proceso de ajuste del modelo a escala diaria a partir de las series interpoladas como ésta de Spain02 versión 4 de  $0.11^\circ \times 0.11^\circ$  de resolución se ha realizado de manera análoga a la de la serie puntual SAIH explicada a lo largo del apartado 6.1.1.1 Los periodos de calibración y validación son comunes a los apartados anteriores.

Los factores correctores determinados por la calibración automática para la serie de Spain02 V4 se muestran en la Tabla Nº 6.11. Como se puede observar en la Fig. Nº 6.7 el modelo TETIS reproduce adecuadamente el evento de octubre del año 2000,  $Q_{sim} = 27.08 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $Q_{obs} = 28.652 \text{ m}^3/\text{s}$ . Se ha obtenido un coeficiente de Nash de 0.9105 y un error cuadrático medio  $RMSE = 0.252$ , un error de tiempo al pico de un cero días y con un error de volumen del 30.69%, este último valor de error de volumen puede deber al evento de mayo del 2002 donde existe diferencia del caudal observado y simulado.

Tabla Nº 6.11 Factores correctores obtenidos de la calibración automática, serie Spain02\_V4

Factores Correctores	Valor
FC1 Almacenamiento estático	0.8508
FC2 Evaporación	0.4971
FC3 Infiltración	1.0232
FC4 Escorrentía directa	0.0068
FC5 Percolación	1.5966
FC6 Interflujo	0.0738
FC7 Flujo subterráneo profundo	1.0000
FC8 Flujo Base	0.0000
FC9 Velocidad del flujo base	1.1500



Tabla Nº 6.12 Características del evento de simulación TETIS para los factores correctores de la serie Spain02\_V2

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s) =	28.652
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s) =	27.080
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.9105
RMSE =	0.250
Error en Volumen (%) =	29.19
Tiempo al pico observado =	24/10/2000
Tiempo al pico simulado =	24/10/2000
Error al tiempo =	0.00

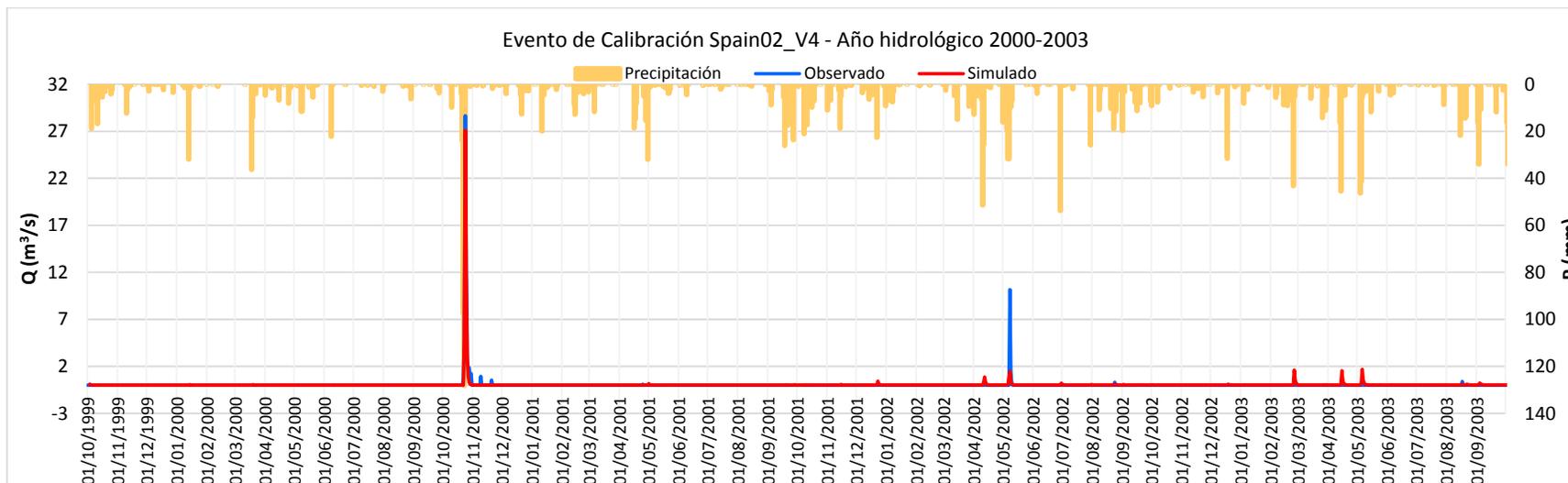


Figura Nº 6.7 Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02 V4



En el proceso de calibración se han obtenido los valores medios de la cuenca, que serán comunes a las siguientes simulaciones. Es el balance hídrico de la cuenca con la serie de Spain02V2 se muestra en la Tabla N° 6.13.

Tabla N° 6.13 Valores del balance hídrico para la serie Spain02\_V4, período setiembre 1999 – diciembre 2003

<b>Balance Hídrico</b>	<b>Valor (mm)</b>
Precipitación	2214.136
Evaporación desde interceptación	0
<b>Almacenamiento estático</b>	
Nivel medio en la cuenca	20.2861
Lluvia directa	2214.136
Evapotranspiración	1369.598
<b>Superficie</b>	
Nivel medio en la cuenca	0.00985
Excedente	856.792
Escorrentía directa	42.1965
<b>Almacenamiento gravitacional</b>	
Nivel medio en la cuenca	123.3859
Infiltración	816.404
Interflujo	14.707
<b>Acuífero</b>	
Nivel medio en la cuenca	8.8205
Percolación	552.143
Flujo subterráneo conectado	0
Flujo subterráneo profundo	538.0147
<b>Desagüe fluvial</b>	
Salida por el desagüe	57.224

### 6.1.9 Resultados de validación con información hidrometeorológica distribuida correspondiente al Spain02\_V4

#### 6.1.9.1 Validación año hidrológico 2003 – 2004 serie Spain02 V4

Como se puede observar en la Tabla N° 6.14, se obtiene un índice de Nash de 0.717 y un error de volumen de -5.42%. Esto indicaría que el ajuste caudal máximo observado y simulado para este período es adecuado.



Tabla Nº 6.14 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie Spain02\_V4, validación año hidrológico 2003- 2004

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s) =	1.896
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s) =	0.908
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.717
RMSE =	0.053
Error de Volumen (%) =	-5.42
Tiempo al pico observado =	29/03/2004
Tiempo al pico simulado =	29/03/2004
Error al tiempo =	0.00

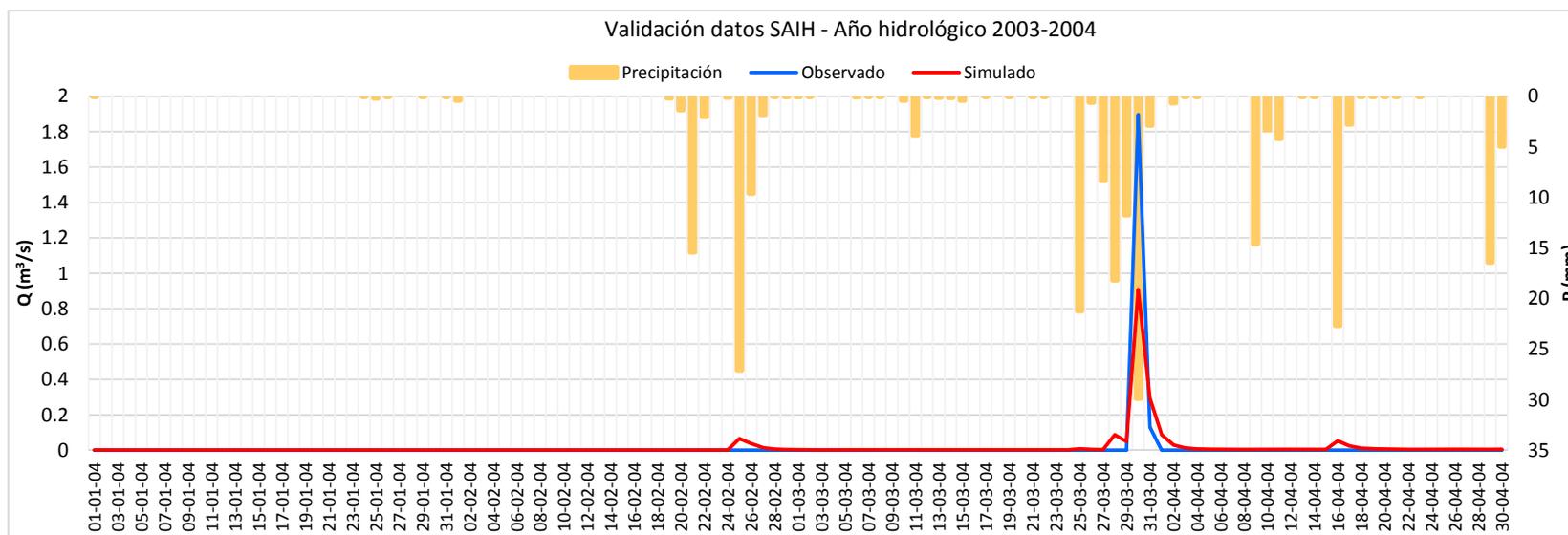


Figura Nº 6.8 Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02\_V4, validación año hidrológico -2004



### 6.1.9.2 Validación año hidrológico 1989 – 1990 serie Spain02 V4

Como se puede observar en la Tabla N° 6.15, se obtiene un índice de Nash de 0.1948 y un error de volumen de -75.96%. A diferencia con los datos del SAIH el evento del 09/09/1990 no presenta respuesta del caudal simulado, es decir la respuesta es mínima comparada con el caudal observado. Sin embargo los resultados de validación para este período son muy similares con la serie de Spain02\_V2. Los eventos que representan respuesta con los datos de Spain02\_V4 son el 01/12/1989 y 30/12/1989. Mientras que con los datos del SAIH el presenta el evento de 09/09/1990 y 01/12/1989, del cual el evento que presenta mejor ajuste para los datos del SAIH es de 09/09/1990.

Tabla N° 6.15 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie Spain02\_V4, validación año hidrológico 1989-1990

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s) =	16.020
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s) =	4.681
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.1948
RMSE =	1.586
Error de Volumen (%) =	-75.96
Tiempo al pico observado =	30/12/1989
Tiempo al pico simulado =	01/12/1989
Error al tiempo =	-29.00

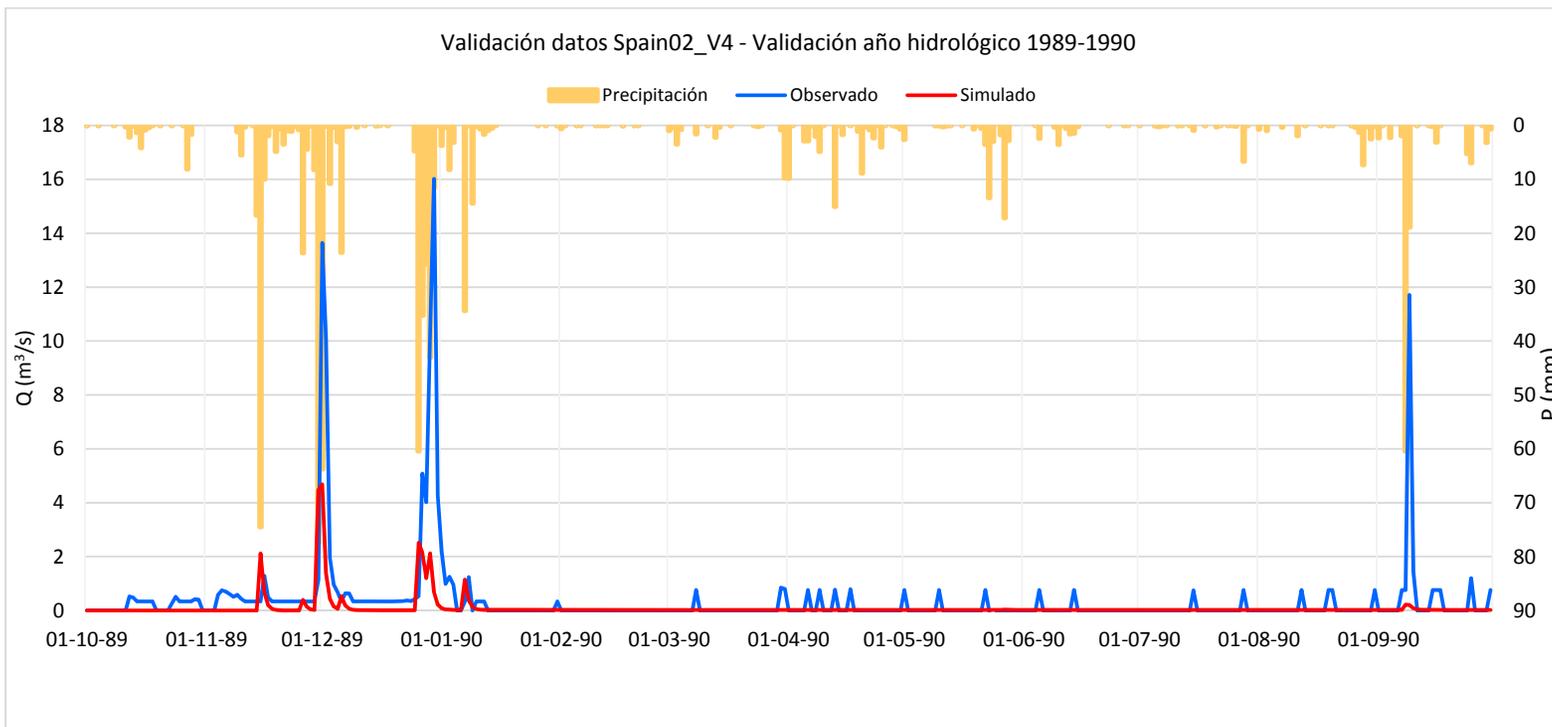


Figura N° 6.9 Hidrograma resultante de la simulación con la serie Spain02 V4, validación año hidrológico 1989-1990



## 6.2 Implementación a escala cincominutal

La única serie que cuenta con datos a escala cincominutal son las proporcionadas por el SAIH. Para la calibración y validación del modelo se ha realizado un análisis de los datos descritos en el apartado 4.4. El proceso ha consistido en la selección de los eventos de calibración y validación, descarte de aquellos eventos que no tienen suficientes datos debido a que la estación de aforo o pluviómetros se encuentra en estado de fallo. Por lo tanto para la simulación a escala cincominutal se han considerado en total 6 estaciones pluviométricas, dos dentro de nuestra cuenca de estudio y las demás las más cercanas.

### 6.2.1 Fase de calibración escala cincominutal

Debido a la calidad de los datos y al análisis antes mencionado se ha optado por seleccionar el evento de calibración el que tuvo lugar el día 22 al 28 de octubre del año 2000. En los últimos años este evento ha sido el que mayor caudal se ha registrado, trayendo consigo consecuencias muy significativas como desbordamientos y pérdidas económicas. Antecedentes históricos y estudios realizados en otras cuencas afirman que este evento ha sido el más importante en lo referente a crecidas en los últimos años.

Así mismo para evitar la posible influencia de las condiciones iniciales, se ha considerado un período de calentamiento que sea suficiente para anular dicho efecto. El período ha sido de dos meses a escala cincominutal.

### 6.2.2 Proceso de calibración

El proceso de calibración ha sido el mismo que para el intervalo diario. Primeramente determinar los parámetros de calibración y realizar un análisis de sensibilidad de los mismos. Luego de este análisis se ha determinado dichos parámetros mediante la calibración automática. Al igual que la escala diaria el parámetro más influyente ha sido el factor corrector FC-3 infiltración.

### 6.2.3 Resultados de la calibración con información hidrometeorológica puntual SAIH

#### 6.2.3.1 Calibración datos SAIH, evento del año 2000

Mediante el mismo procedimiento seguido para la escala diaria, se realiza el proceso de calibración y validación para la serie SAIH. Los factores correctores determinados por la calibración automática para la serie SAIH se muestran en la tabla N° 6.16. Como se puede observar en la Fig. N° 6.10 el modelo TETIS reproduce adecuadamente el evento de octubre del año 2000,  $Q_{sim} = 100.765 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $Q_{obs} = 100.559 \text{ m}^3/\text{s}$ . Obteniéndose un coeficiente de Nash de 0.755 y un error cuadrático medio RMSE= 2.633, un error de tiempo al pico de 20 minutos y con un error de volumen del 25.07 %.



Tabla Nº 6.16 Factores correctores obtenidos de la calibración automática, serie SAIH

Factores Correctores	Valor
FC1 Almacenamiento estático	1.7998
FC2 Evaporación	0.9508
FC3 Infiltración	2.2000
FC4 Escorrentía directa	0.0063
FC5 Percolación	1.3779
FC6 Interflujo	0.0544
FC7 Flujo subterráneo profundo	0.6839
FC8 Flujo Base	0.0000
FC9 Velocidad del flujo base	1.1500

Tabla Nº 6.17 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, calibración evento del 22 – 28 de octubre del año 2000

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s) =	100.559
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s) =	100.765
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.7553
RMSE =	2.633
Error en Volumen (%) =	25.07
Tiempo al pico observado =	24/10/2000-8:40
Tiempo al pico simulado =	24/10/2000-8:20
Diferencia de tiempo (minutos) =	20.00

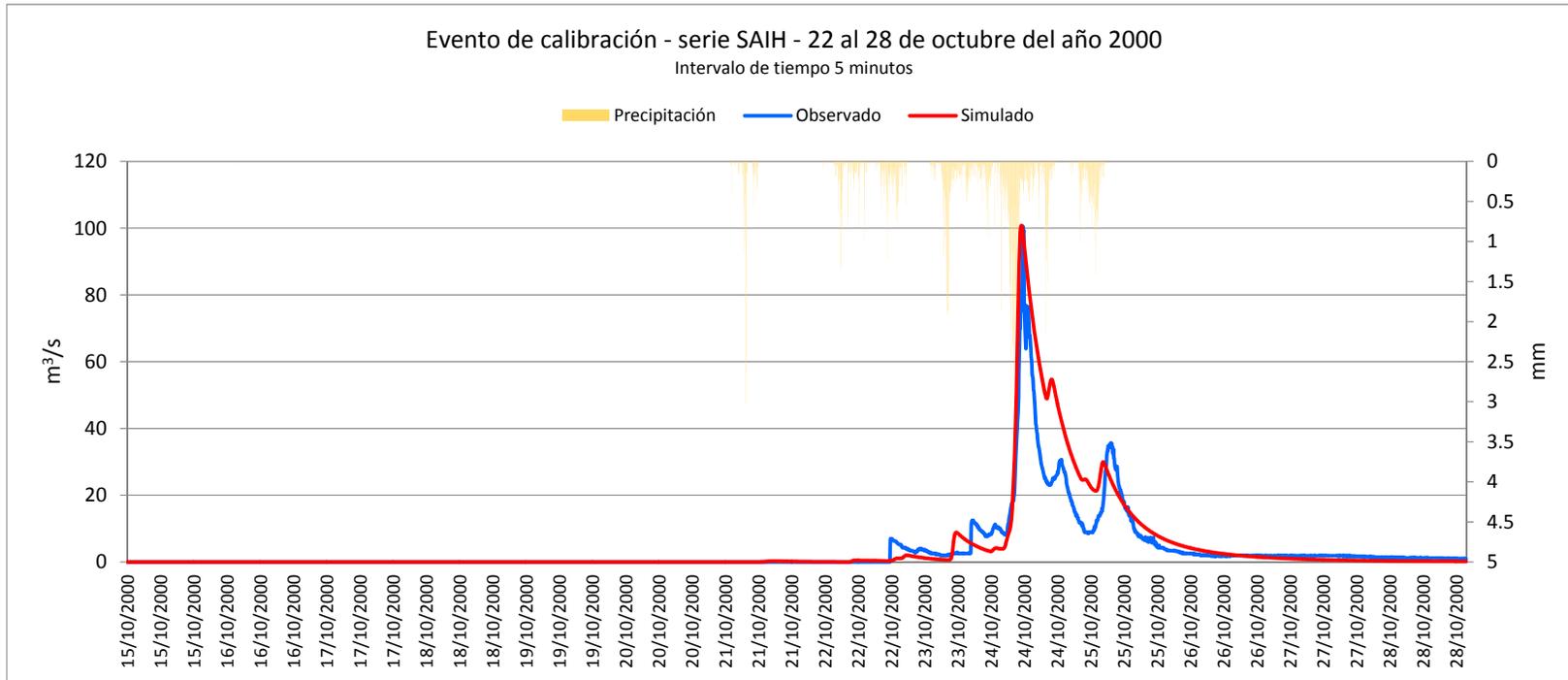


Figura N° 6.10 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, calibración evento del 22 – 28 de octubre del año 2000



## 6.2.4 Fase de validación

Como se ha mencionado anteriormente nuestra cuenca de estudio sólo cuenta con una estación de aforo en Bétera. Por tal motivo el tipo de validación a realizar será de tipo temporal. De acuerdo al análisis de los datos en el apartado 4.4, la validación a realizar será posible para cuatro eventos, uno posterior y tres anteriores al período de calibración. Estos eventos se han registrado el 01 de diciembre de 1989, el 30 de diciembre de 1989 que continua hasta la primera semana de enero, el último el 09 de setiembre de 1990 y el otro evento posterior ha sido registrado en diciembre del año 2007. El modelo hidrológico TETIS permite determinar el número de estaciones pluviométricas a interpolar, se ha realizado un análisis manual para determinar cuál debe ser dicho número, obteniéndose mejores resultados con dos estaciones tanto para la calibración y validación.

### 6.2.4.1 Validación diciembre de 1989

Se puede observar en la Tabla N° 6.18, que existe una importante diferencia entre el tiempo y la medida del caudal observado y caudal simulado,  $Q_{obs} = 38.59 \text{ m}^3/\text{s}$  del 01/12/1989 y  $Q_{sim} = 14.226 \text{ m}^3/\text{s}$  del 30/12/1989. En la escala diaria de la serie SAIH el caudal máximo observado se registra el 30 de diciembre de 1989 con  $16.02 \text{ m}^3/\text{s}$  coincidiendo en tiempo del caudal simulado de la escala cincominutal. Estudios anteriores a escala diaria han coincidido que se registró un importante evento a fines de diciembre y que continuó hasta la primera semana de enero. Si bien cierto el caudal simulado a escala cincominutal es inferior hasta aproximadamente dos veces menos que el caudal observado, se debe tener en cuenta que las mediciones de caudal y precipitación en esa época no eran las más correctas. Se obtenido por lo tanto un índice de Nash de 0.5053 y un error de volumen de -64.8%, esto aparentemente indicaría que el ajuste caudal máximo observado y simulado para estos períodos no es adecuado. Sin embargo en la Fig. N°6.11, podemos apreciar una adecuada continuidad de la relación precipitación – caudal, es decir en el transcurso del período si existe concordancia entre caudal observado y simulado, además como ya se ha mencionado anteriormente la calidad de los datos influye mucho en el proceso de simulación del modelo.



Tabla Nº 6.18 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, Validación evento de diciembre de 1989

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s) =	38.590
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s) =	14.226
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.505
RMSE =	2.737
Error en Volumen (%) =	-64.80
Tiempo al pico observado =	1/12/1989-23:50
Tiempo al pico simulado =	30/12/1989-3:30
Diferencia de tiempo (días) =	28.00

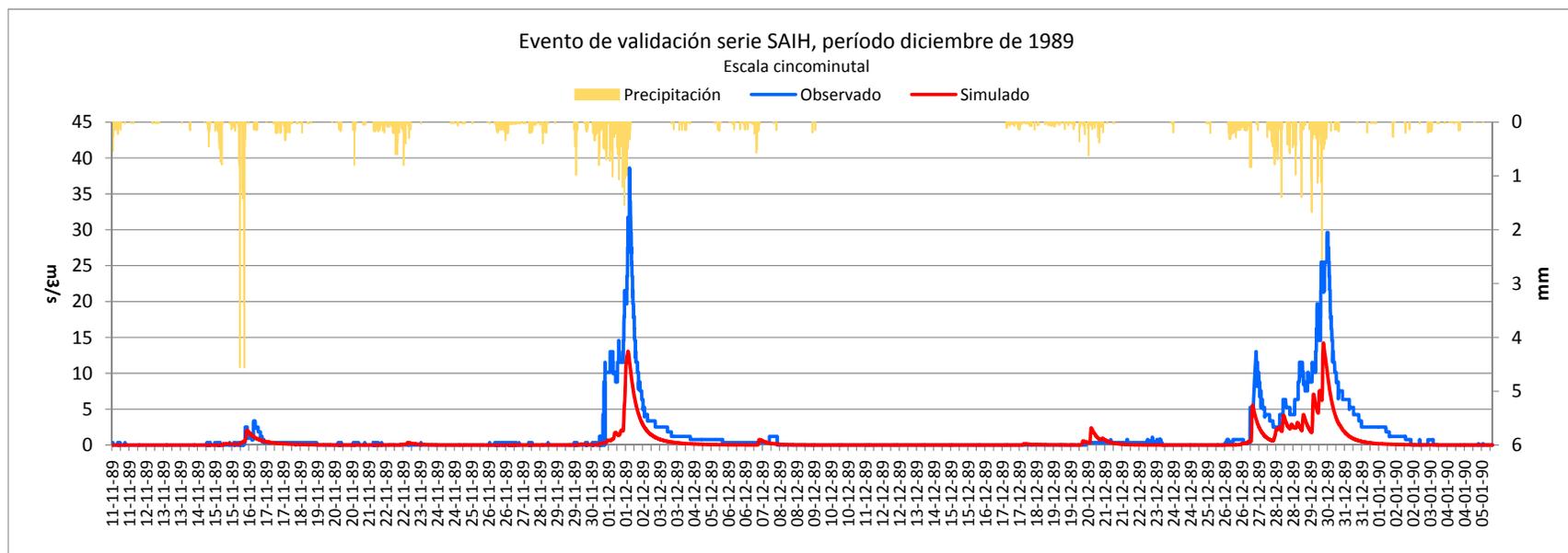


Figura Nº 6.11 . Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación evento diciembre de 1989



### 6.2.4.2 Validación setiembre de 1990

En la Tabla N° 6.19, se puede observar que el índice de Nash es de 0.2038 y el error de volumen de 115.54 %, aparentemente esto indicaría que no existe una adecuada representación del caudal simulado frente al observado. Sin embargo se puede apreciar en la Fig. N° 6.12 que la respuesta del caudal máximo simulado está muy cercano al tiempo que ocurrió dicho evento, existiendo una diferencia de -10 minutos. A pesar de que el caudal máximo simulado no coincide con el observado, se puede decir que la validación ha sido aceptable.

Tabla N° 6.19 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, Validación evento de setiembre de 1990

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m <sup>3</sup> /s) =	59.323
Caudal max. Sim. (m <sup>3</sup> /s) =	66.401
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.2038
RMSE =	2.084
Error en Volumen (%) =	115.54
Tiempo al pico observado =	9/9/1990-2:50
Tiempo al pico simulado =	9/9/1990-2:40
Diferencia de tiempo (minutos) =	-10.00

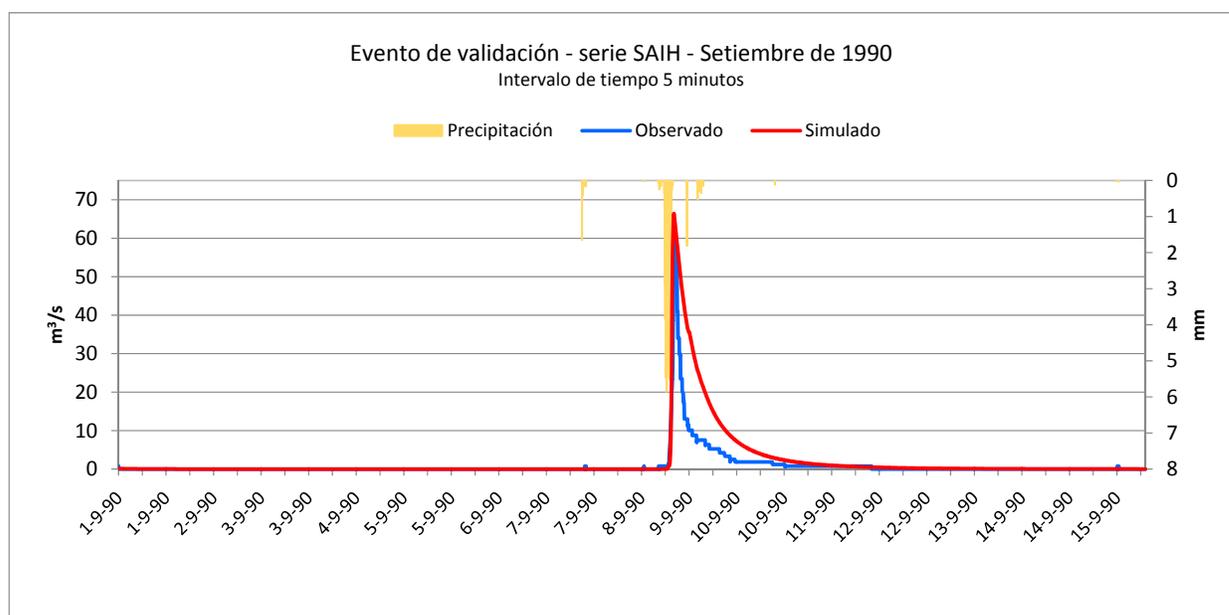


Figura N° 6.12 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación evento setiembre de 1990



### 6.2.4.3 Evento de validación diciembre de 2007

En la Tabla N° 6.20, se puede observar que el índice de Nash es de 0.3163 y el error de volumen es de -51.40 %. A pesar de que el índice de Nash mejora con respecto a la validación anterior, esto indicaría que no existe una adecuada representación del caudal simulado frente al observado. Sin embargo se ha tomado como aceptable ya que se debe tener en cuenta que este tiempo probablemente no haya ocurrido un evento significativo o que la medición de caudal o precipitación no haya sido la correcta, a pesar de que en esta época las mediciones de precipitación habrían mejorado.

Tabla N° 6.20 Características del evento de simulación TETIS, para los factores correctores de la serie SAIH, Validación evento de diciembre de 2007

Características del evento	
Caudal max. Obs. (m³/s) =	8.260
Caudal max. Sim. (m³/s) =	1.298
Índice de Nash y Sut. (NSE) =	0.3163
RMSE =	0.271
Error en Volumen (%) =	-51.40
Tiempo al pico observado =	21/12/2007-19:35
Tiempo al pico simulado =	21/12/2007-22:5
Diferencia de tiempo (minutos) =	150.00

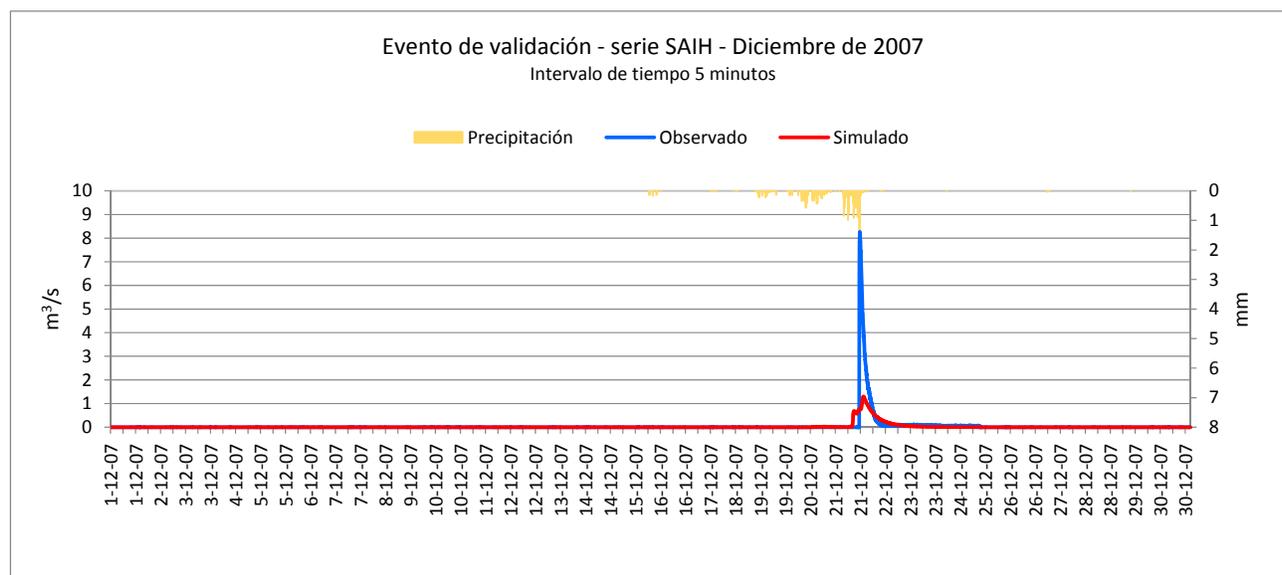


Figura N° 6.13 Hidrograma resultante de la simulación con la serie SAIH, validación diciembre de 2007



---

# CAPITULO 7. SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

---



Con el fin de observar el comportamiento de los tres tipos de series de datos. Se ha procedido a realizar una simulación con el modelo hidrológico TETIS en la estación Bétera para los tres tipos de series Spain02\_V2, serie Spain02V4 y serie SAIH.

## 7.1 Simulación hidrológica serie SAIH

A partir de los factores correctores obtenidos en la calibración se ha realizado la simulación con el modelo de precipitación SAIH para el periodo de 1989 al 2013.

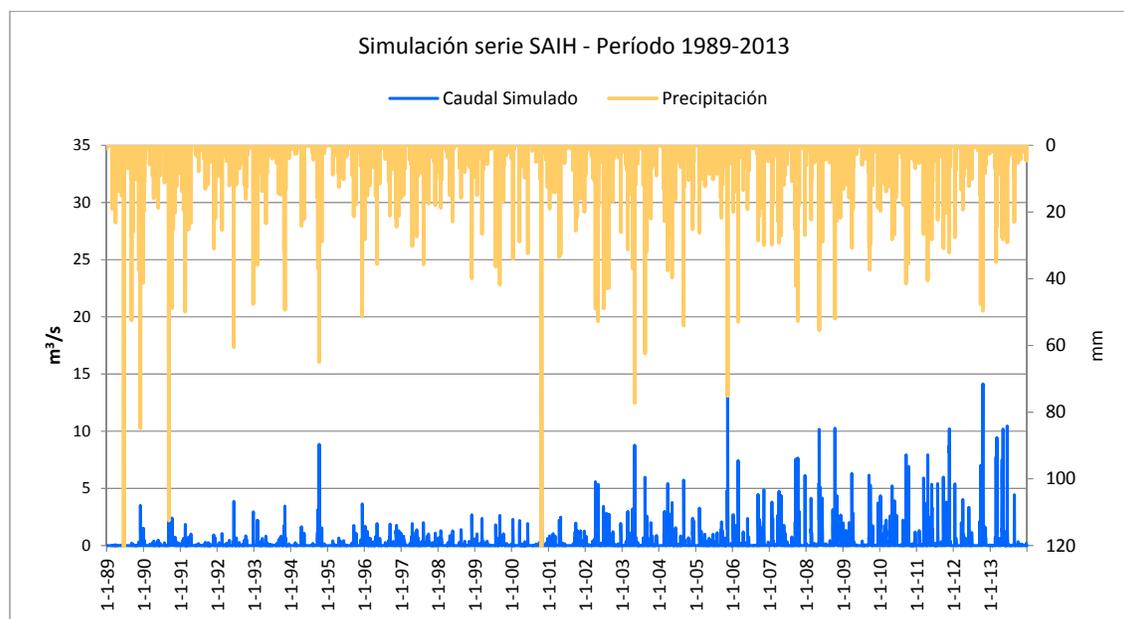


Figura N° 7.1 Serie temporal resultante simulación con serie SAIH

## 7.2 Simulación Spain02\_V2

A partir de los factores correctores obtenidos en la calibración realiza la simulación con el modelo de precipitación Spain02v2 para el periodo de 1950 al 2007. Se puede observar en la Fig. N° 7.2 que el modelo tiene un buen comportamiento ya que reproduce adecuadamente los eventos históricos de 1957 con un caudal de 30.23m<sup>3</sup>/s, 1969 con 15.73 m<sup>3</sup>/s.

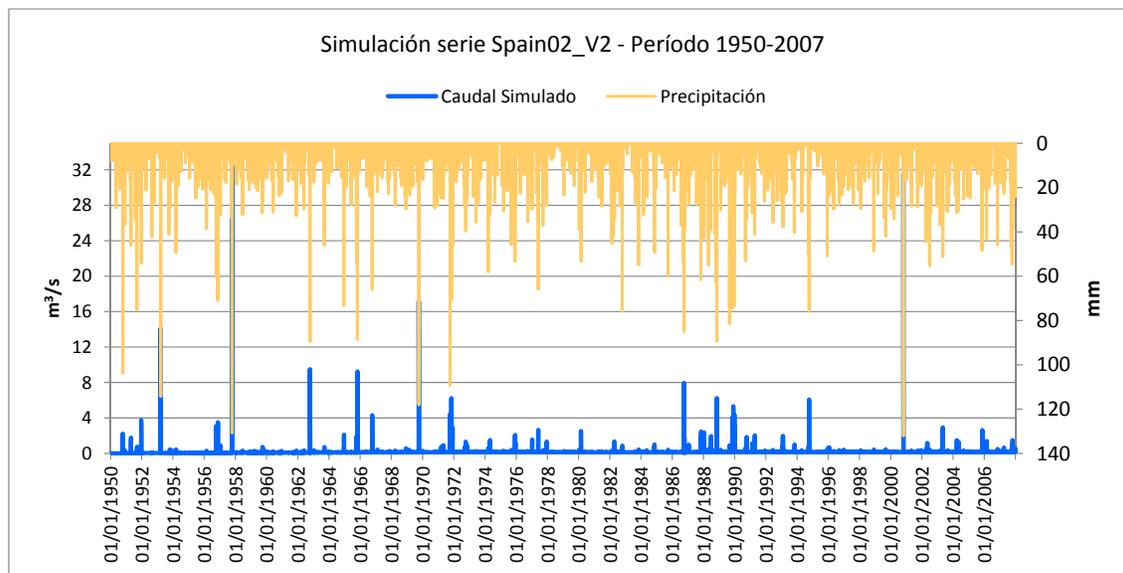


Figura N° 7.2 Serie temporal resultante simulación con serie Spain02V2

### 7.3 Simulación Spain02\_V4

A partir de los factores correctores obtenidos en la calibración realiza la simulación con el modelo de precipitación Spain02v4 para el periodo de 1971 al 2007. En la Fig. N° 7.3 se observa que el modelo tiene un buen comportamiento y reproduce otros eventos importantes como el de octubre de 1971 con 10.97 m<sup>3</sup>/s y noviembre de 1988 con 10.14 m<sup>3</sup>/s.

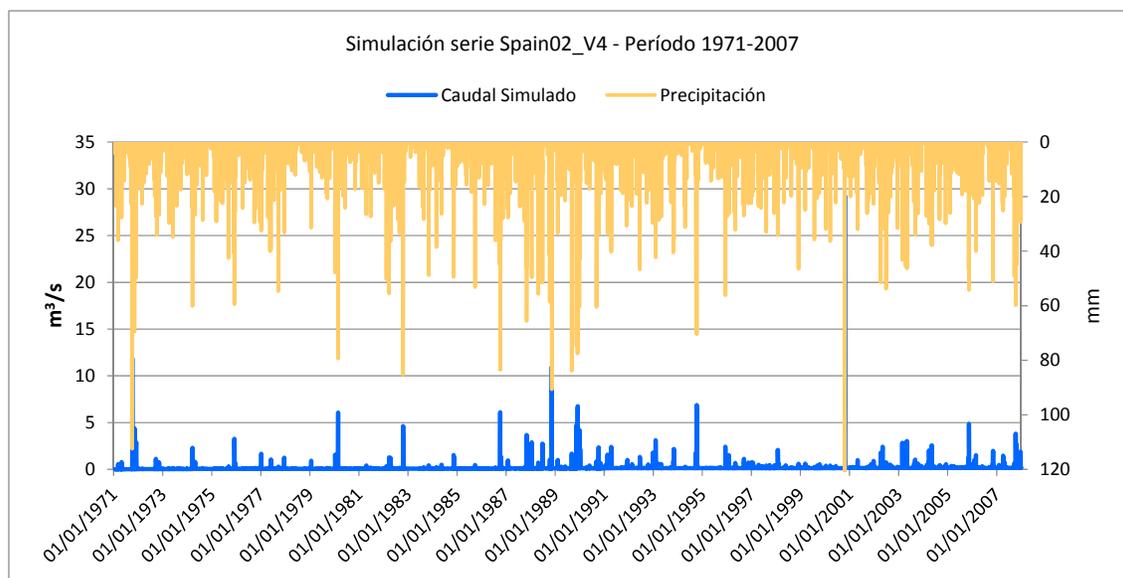


Figura N° 7.3 Serie temporal resultante simulación con serie Spain02V4

En la Fig. N° 7.4 se puede observar la simulación del modelo y disponibilidad de datos para los tres tipos de series de datos. Se puede apreciar que concuerdan adecuadamente el evento de octubre del año 2000 registrados por la estación de aforo de Bétera, y que la serie de Spain02V2 y Spain02V4 simulan correctamente los eventos históricos. Sin embargo en la serie SAIH se puede



apreciar que los valores de caudales son más superiores a los valores de la serie Spain02V2 y Spain02V4 y los registrados en la estación de Bétera, llegándose a concluir que la serie de Spain02 simula de una manera más adecuada.

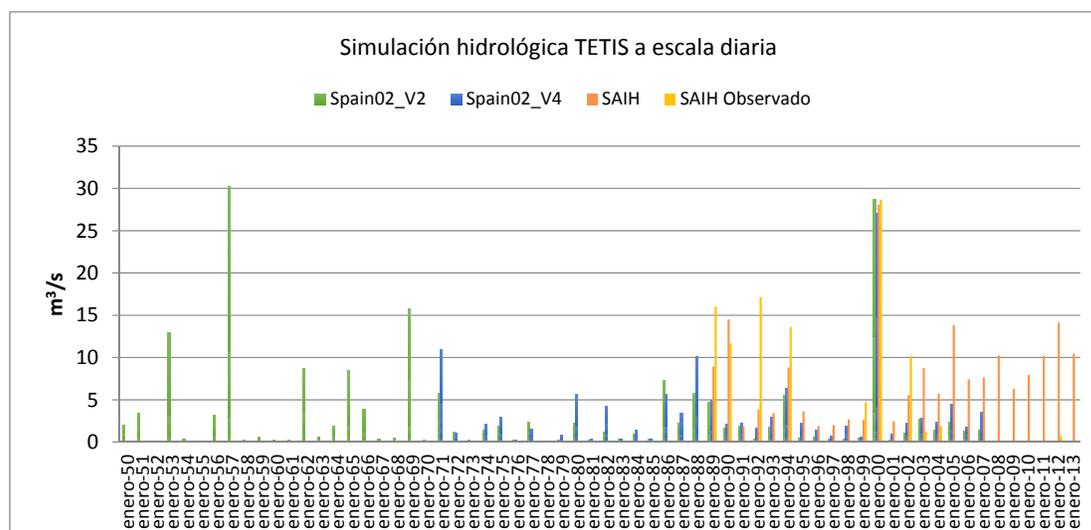


Figura N° 7.4 Serie temporal resultante, simulación con serie SAIH, Spain02v2, Spain02V4 y datos registrados en la estación de Bétera.

## 7.4 Caudales mínimos

Este análisis no es trascendental para el caso de crecidas, pero servirá para comprobar la bondad del modelo en caudales bajos. Aunque también hay que tener en cuenta que la estación de aforo puede presentar errores de medición con caudales menores y/o la existencia de un fenómeno de pérdida en el cauce. Se ha realizado por tanto una comparación de las tres series para el período común de 1989 a 2007 de caudales menores o igual a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para la serie puntual SAIH y para la serie interpolada Spain02\_V2 y Spain02\_V4. Este análisis se ha realizado en el punto de aforo estación de Bétera.

Se ha identificado el número de registros de caudales menores o iguales a uno, tal como se puede apreciar en la Fig. N° 7.5 la serie SAIH tiene gran cantidad de registros de caudales igual a cero, mientras que las series interpoladas registra valores de caudales mayores a  $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

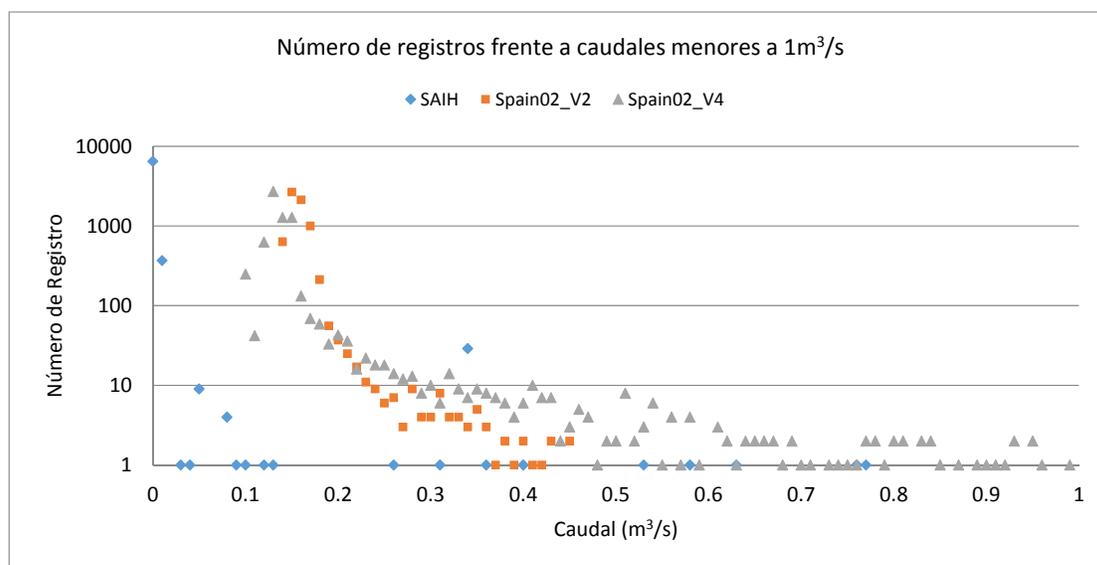


Figura N° 7.5 Registros de caudales mínimos diarios para la serie SAIH, Spian02\_V2 y spain02\_V4

Para poder observar mejor el ajuste de las tres series de datos; se ha identificado el número de registros acumulados para los caudales menores o igual  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Como se puede observar en la Fig. N° 7.6, a partir del caudal igual a  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  las tres series de datos tienen una mejor aproximación o ajuste. Y asumiendo que las mediciones en la estación de aforo son correctas podemos concluir que esto puede ocurrir que probablemente está existiendo infiltración y por ende una pérdida de transmisión en el cauce de aproximadamente de  $02 \text{ m}^3/\text{s}$ .

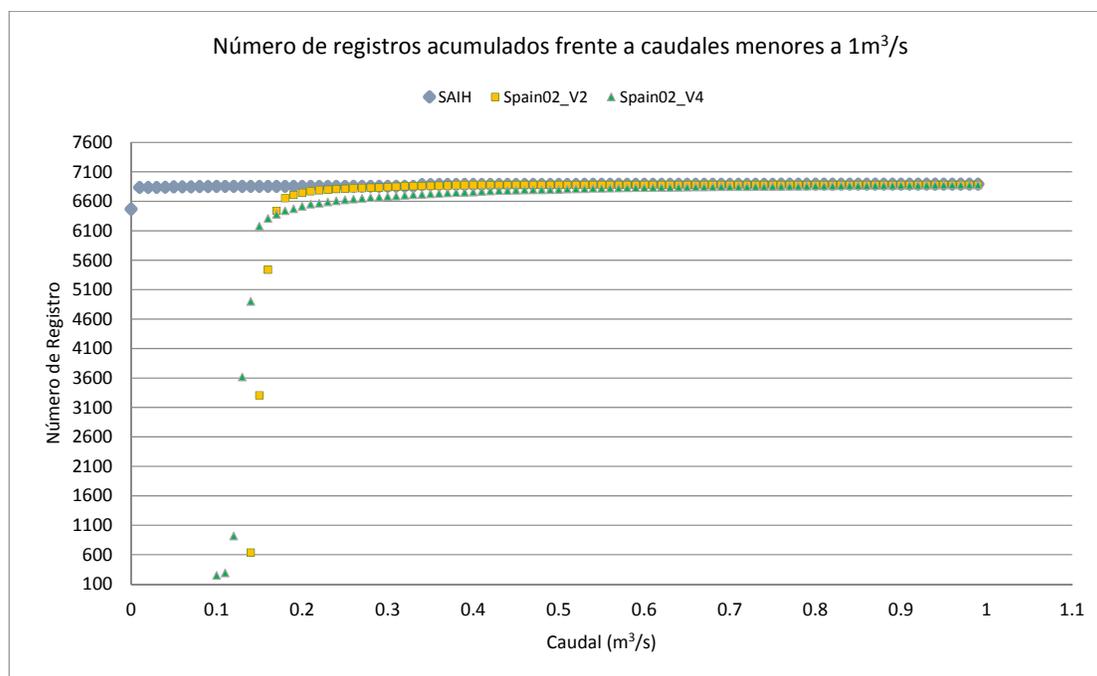


Figura N° 7.6 Registros acumulados de caudales mínimos diarios para la serie SAIH (Estación de aforo Bétera), Spian02\_V2 y spain02\_V4 (Autovía A7)



---

# CAPITULO 8. CÁLCULO ESTADÍSTICO DE CUANTILES

---



Un sistema hidrológico es afectado eventualmente por eventos extremos que provocan las crecidas del caudal en los ríos o barrancos. La magnitud de este evento extremo está relacionada con su frecuencia de ocurrencia mediante una distribución de probabilidades.

Los métodos estadísticos se apoyan en la existencia de series de datos de caudales en el lugar de interés, las cuales son sometidas a un análisis de frecuencias. Esto implica efectuar ajustes de varias distribuciones teóricas a una determinada muestra, para comparar y concluir cuál de ellas se aproxima mejor a la distribución empírica.

En este apartado primeramente se determinarán los cuantiles para punto de interés (Autovía A7) mediante un análisis estadístico de caudal diarios máximos anuales. Luego se realizará un análisis estadístico de caudales diarios por encima de un límite en la estación de aforo Bétera con el fin de realizar una comparación de los tres tipos de series.

## 8.1 Análisis estadístico de caudal diario máximo anual

El análisis estadístico de los caudales diarios máximos anuales tiene como objetivo relacionar la magnitud de eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante una distribución de probabilidad para así poder estimar la frecuencia del evento de crecida, realizada a partir del ajuste estadístico de una serie de caudales máximos anuales obtenidos por simulación.

Si el ajuste es adecuado, se puede utilizar la distribución elegida, una vez encontrada la ley de distribución que rige a las variables aleatorias. Además se podrá predecir con determinada probabilidad, la ocurrencia de una determinada magnitud, de un fenómeno hidrometeorológico. También se podrá determinar la magnitud de un fenómeno para un determinado período de retorno. Las funciones más habituales para crecidas son la Gumbel, la General Extreme Value (GEV) y la Two Component Extreme Value (TCEV), ajustadas por el método de Máxima Verosimilitud, mediante el programa informático AFINS 2.0.

Mediante el ajuste a una función de un conjunto de datos hidrológicos, en este caso caudales. Una gran cantidad de información probabilística en la muestra puede resumirse en forma compacta bajo un modelo de ley de distribución.

Para ello se ajustarán tres de las funciones de distribución de crecidas más habituales a la serie de caudales máximos anuales de los 58 años simulados para la serie Spain02v2, el cual abarcó eventos extremos muy importantes como el del año 1957 y 1969.

### 8.1.1 Descripción de las funciones de distribución de probabilidad

*Función de distribución empírica:*

Se ha utilizado la descrita por Cunnane:

$$F_x(x) = \frac{i - \alpha}{n + i - 2 \cdot \alpha}$$

Donde,

$i$ , es la posición en la serie ordenada.



$\alpha$ , es un parámetro cuyo valor es 0.44 el cual es dado por Gumbel.

$n$ , es el número de datos.

- *General Extreme Value (GEV)*:

La ley GEV fue inicialmente recomendada en el Reino Unido de la Gran Bretaña para el análisis de series anuales de máximos por el Natural Environment Research Council. Es una función de distribución, como su nombre indica, general, que engloba la familia de funciones conocida como Extreme Value (EV). La función de distribución es una función de la forma:

$$F_X(x) = \exp \left[ - \left( 1 - \frac{\beta}{\alpha} (x - x_o) \right)^{\frac{1}{\beta}} \right]$$

Donde  $\alpha$ , es el parámetro de escala,  $\beta$  es el parámetro de forma y  $x_o$  es el parámetro de localización.

$$\text{Si } \beta < 0 \text{ entonces } x < \left( x_o - \frac{\alpha}{\beta} \right)$$

$$\text{Si } \beta > 0 \text{ entonces } x > \left( x_o - \frac{\alpha}{\beta} \right)$$

- *Two Component Extreme Value*:

El modelo TCEV asume que los máximos provienen de dos posibles mecanismos generadores distintos: uno que podemos llamar "ordinario" y otro denominado "extraordinario", cada uno de los cuales puede ser modelado mediante una distribución Gumbel, con lo que, del producto de ambas resulta el modelo TCEV. La función de distribución es de la forma:

$$F_X(x) = \exp(-\lambda_1 \cdot \exp(\theta_1 \cdot x) - \lambda_2 \cdot \exp(-\theta_2 \cdot x))$$

Donde  $\theta_1$  y  $\lambda_1$  son los parámetros de escala y de forma de las crecidas "ordinarias" y  $\theta_2$  y  $\lambda_2$  son los parámetros de escala y de forma de las crecidas "extraordinarias".

- *Gumbel*:

Gumbel demostró que el valor máximo muestral de una muestra extraída de una población normal seguía la distribución de su nombre. La función de distribución es una función de la forma:

$$F_X(x) = \exp(-\lambda \cdot \exp(\theta \cdot x))$$

Donde  $\theta$  es el parámetro de escala y  $\lambda$  es el parámetro de forma.

Su ajuste no suele ser muy bueno en climas torrenciales, como es el caso de los climas mediterráneos.



### 8.1.2 Método de máxima verosimilitud para el ajuste de funciones de distribución

Siendo la función de distribución  $F(x, \theta)$ , donde  $x$  es la variable aleatoria y  $\theta$  el conjunto de parámetros de la función de distribución, y la función de densidad  $f(x, \theta)$  definida como la derivada parcial respecto de  $x$  de la función de distribución. Se define la función de verosimilitud como:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta)$$

El conjunto de valores  $\theta$  que ajusta la función de distribución a los hechos observados con mayor verosimilitud es el que maximiza la función  $L(\theta)$

La obtención de estos parámetros se ha obtenido, como ya se ha comentado, mediante la aplicación informática AFINS 2.0 desarrollada en el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València.

### 8.1.3 Análisis estadístico de caudales diarios máximos anuales, Autovía A7

#### 8.1.3.1 Modelo de precipitación serie Spain02V2

A partir de los datos obtenidos de la simulación de la serie Spain02V2 en nuestro punto de desagüe de la cuenca (Autovía A7) para el período de 1950 a 2007, se han obtenido los caudales diarios máximos anuales. La función de distribución que más se aproximan a esta serie de datos es GEV, Fig. N° 8.1 Es por ello que se ha seleccionado dicha distribución, ya que representa un mejor ajuste que las otras distribuciones.

En la Tabla N°8.1 se muestran los parámetros estimados que definen a las funciones de distribución.

Tabla N° 8.1 Parámetros obtenidos con AFINS para las funciones de distribución con la serie Spain02V2

PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN					
Gumbel		GEV		TCEV	
Theta	0.14772	Betha	-0.641289	Theta 1	0.280835
Lambda	2.36388	Alpha	4.18863	Theta 2	0.039094
		Xo	4.10807	Lambda 1	3.03242
				Lambda 2	0.226684

El gráfico resultante de la distribución seleccionada se muestra en la Fig. N° 8.1. Los gráficos resultantes de las funciones de distribución que han sido descartas se muestran en Anexos (Capítulo 11).

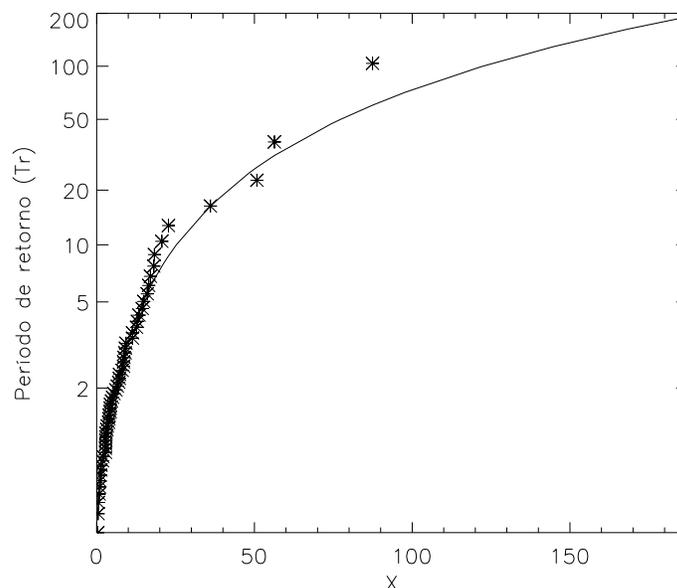


Figura N° 8.1 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie Spain02v2

A partir del ajuste de la función de distribución seleccionada GEV, para la serie de datos de caudal diario máximo anual, resultado de la simulación de 58 años, se extraen los cuantiles asociados a distintos periodos de retorno y se muestran en la Tabla 8.2.

Tabla N° 8.2 Cuantiles de caudal diario máximo para la serie Spain02V2

Cuantiles	
T (Años)	Q (m <sup>3</sup> /s)
5	14.67
10	25.23
25	48.37
50	77.33
100	132.37

Sabiendo que se cuenta con una serie de datos con mejor resolución espacial (Spain02V4) que la serie de Span02V2 y su longitud de datos (1971 – 2007) también es adecuada para un análisis estadístico de caudal diario máximo anual, se ha optado por realizar dicho análisis. Llegándose a determinar que la serie de Spain02V2 sigue respondiendo mejor a valores extremos. Este ha sido otra razón por la que se ha seleccionado la serie de Spain02V2 como la más adecuada. Al quedarse con la serie Spain02V2, se ha creído conveniente anexar en el Capítulo 11 el análisis estadístico de la serie de Spain02V4.



## 8.2 Comparación entre fuentes de información

Este análisis consiste en seleccionar los caudales extremos a partir de los valores que superen un cierto umbral. Con el fin de realizar una comparación de la serie Spain02 y SAIH con los caudales observados en la estación de Bétera. Además de tener una longitud de datos corta, del periodo común 1989 – 2007.

### 8.2.1 Número de registros de caudales diarios por encima de un límite

Para realizar este análisis primero se identificarán el número de registros de caudales diarios que tiene cada tipo de serie. En base a esto se seleccionará el límite o umbral.

#### 8.2.1.1 Serie SAIH aforada

De la serie simulada continua para el periodo 1989 a 2007 de la serie aforada SAIH, los registros de caudales se aprecian en la Tabla N° 8.3.

Tabla N° 8.3 Número de registros de caudales para un cierto umbral, serie SAIH aforada

Umbral (m <sup>3</sup> /s)	Nº Registros
1	18
1.5	11
2	10
5	5
10	5
15	2
20	1
25	1

#### 8.2.1.2 Serie SAIH simulado

De la serie simulada continua para el periodo 1989 a 2007 de la serie aforada SAIH simulada, los registros de caudales se aprecian en la Tabla N° 8.4.

Tabla N° 8.4 Número de registros de caudales para un cierto umbral, serie SAIH

Umbral (m <sup>3</sup> /s)	Nº Registros
1	36
1.5	22
2	11
5	5
10	4
15	2
20	1
25	1



### 8.2.1.3 Serie Spain02\_V2

De la serie simulada continua para el período 1989 a 2007 de la serie Spain02\_V2, los registros de caudales se aprecian en la Tabla N° 8.5.

Tabla N° 8.5 Número de registros de caudales para un cierto umbral, serie Spain02\_V2

Umbral (m <sup>3</sup> /s)	Nº Registros
1	17
1.5	10
2	7
5	2
10	1
15	1
20	1
25	1

### 8.2.1.4 Serie Spain02\_V4

De la serie simulada continua para el período 1989 a 2007 de la serie aforada Spain02\_V4, los registros de caudales se aprecian en la Tabla N° 8.6.

Tabla N° 8.6 Número de registros de caudales para un cierto umbral, serie Spain02\_V2

Umbral (m <sup>3</sup> /s)	Nº Registros
1	26
1.5	23
2	16
5	2
10	1
15	1
20	1
25	1

Del número de registros para los tres tipos de series, se puede apreciar que para un umbral de 1 m<sup>3</sup>/s la serie de Spain02\_V2 se asemeja mucho a la serie aforada SAIH con un registro de 18 datos, la serie de Spain02\_V4 con 26 datos y la serie SAIH simulada con 36 datos. Para caudales mayores a 25 m<sup>3</sup>/s coinciden los tres tipos de series.



Las diferencias de registros para los tres tipos de series se puede apreciar mejor en el en la Fig. N° 8.2. Donde se puede observar que la Spain02\_V2 se aproximan para un umbral de  $1\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $1.5\text{ m}^3/\text{s}$  y con respecto a la serie SAIH aforada. Mientras que la serie Spain02\_V4 se aleja demasiado para dichos umbrales, sin embargo esta serie se aproxima mucho a la serie SAIH aforada para un umbral de  $5\text{ m}^3/\text{s}$ . Los tres tipos de serie se aproximan mucho para un umbral de  $5\text{ m}^3/\text{s}$ , pero el número de registros es mucho menor.

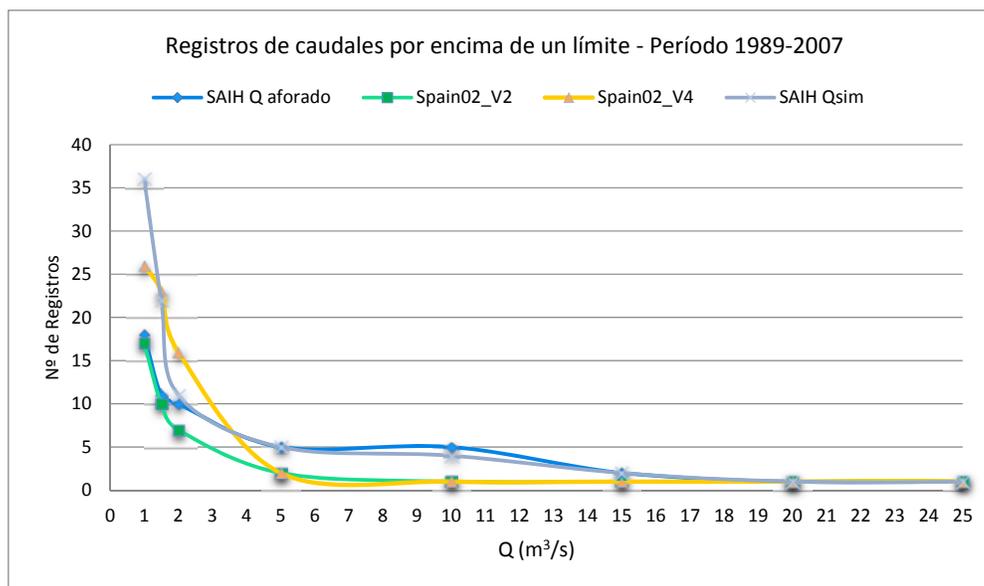


Figura N° 8.2 Registro de caudales por encima de un límite para los diferentes inputs de precipitación, en el punto de la estación de Bétera

Del análisis anterior y teniendo en cuenta el número de registros se ha tomado como límite o umbral el caudal de  $1\text{ m}^3/\text{s}$  para hacer el análisis estadísticos de avenidas.

## 8.2.2 Desarrollo del análisis estadístico por encima de un límite para cada tipo de serie

### 8.2.2.1 Modelo de precipitación, serie aforada SAIH

Las funciones de distribuciones que mejor se ajustan a esta serie de datos son Gumbel y TCEV. Sin embargo, la distribución que tiene un ajuste más adecuado para los extremos es la función de distribución de TCEV, Fig. N° 8.3.

En la tabla N°8.7 se muestras los parámetros estimados que definen a las funciones de distribución.

Tabla N° 8.7 Parámetros obtenidos con AFINS para las funciones de distribución con la serie aforada SAIH

PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN					
Gumbel		GEV		TCEV	
Theta	0.196733	Betha	-2.01781	Theta 1	4.05965
Lambda	2.13911	Alpha	0.89678	Theta 2	0.105099
		Xo	1.4219	Lambda 1	89.2778
				Lambda 2	0.834966



El gráfico resultante de la distribución seleccionada se muestra en la Fig. N° 8.3. Los gráficos resultantes de las funciones de distribución que han sido descartas se muestran en Anexos (Capítulo 11).

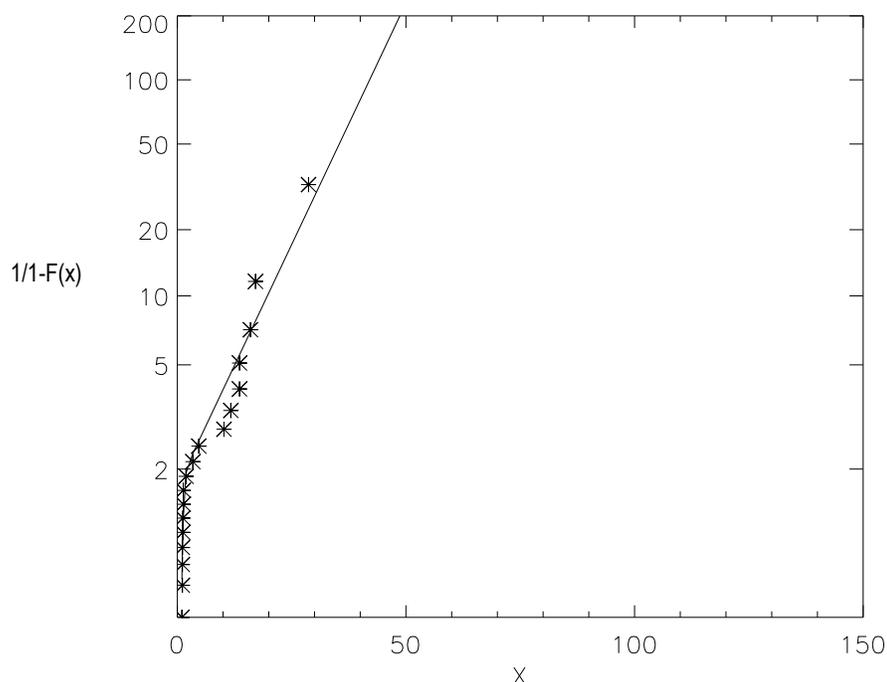


Figura N° 8.3 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie SAIH.

A partir del ajuste de la función de distribución TCEV para la serie de datos con un límite o umbral se convertirá la probabilidad de picos por encima un límite a probabilidades de máxima anual mediante la siguiente expresión:

$$F(x) = \exp \{-\lambda [1-G(x)]\}$$

Donde:

F(x), probabilidad en términos de máximo anual

$\lambda$ , número de caudales pico / número total de años.

G(x), probabilidad de excedencia entre 0 y 1

Tabla N° 8.8 Probabilidad en términos de máximas anuales, serie aforada SAIH

Q (m³/s)	G(x)	F(x)	T
12.56	0.80	0.8274	6
19.69	0.90	0.9096	11
28.71	0.96	0.9628	27
35.41	0.98	0.9812	53
42.00	0.99	0.9906	106



### 8.2.2.2 Modelo de precipitación, serie simulada SAIH

La función de distribución que mejor se ajustan a esta serie de datos es la GEV, Fig. N° 8.4. En la Tabla N° 8.9 se muestran los parámetros estimados que definen a las funciones de distribución.

Tabla N° 8.9 Parámetros obtenidos con AFINS las funciones de distribución con la serie simulada SAIH

.PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN					
Gumbel		GEV		TCEV	
Theta	0.577431	Betha	-0.804214	Theta 1	1.38099
Lambda	3.51834	Alpha	0.817953	Theta 2	0.115633
		Xo	1.67143	Lambda 1	10.7203
				Lambda 2	0.216463

El gráfico resultante de la distribución seleccionada se muestra en la Fig. N° 8.4. Los gráficos resultantes de las funciones de distribución que han sido descartas se muestran en Anexos (Capítulo 11).

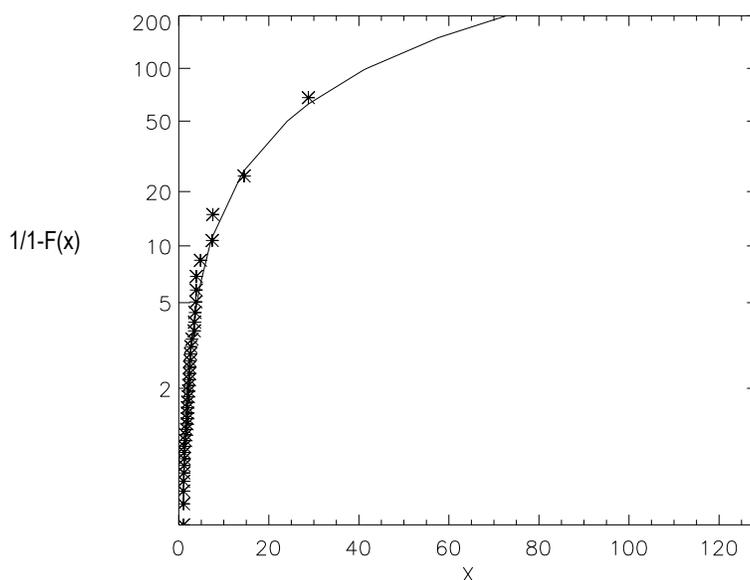


Figura N° 8.4 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie simulada SAIH

La probabilidad de picos por encima un límite a probabilidades de máxima anual se muestra en la Tabla N° 8.10.

Tabla N° 8.10 Probabilidad en términos de máximas anuales, serie simulada SAIH

Q (m³/s)	G(x)	F (x)	T
4.05	0.80	0.6703	3
6.87	0.90	0.8187	6
13.97	0.96	0.9231	13
24.11	0.98	0.9608	26
41.77	0.99	0.9802	51



### 8.2.2.3 Modelo de precipitación Spain02\_V2

La distribución que tiene un ajuste más adecuado para es la función de distribución de GEV. En la Tabla N° 8.11 se muestran los parámetros estimados que definen a las funciones de distribución.

Tabla N° 8.11 Parámetros obtenidos con AFINS las funciones de distribución con la serie Spain02\_V2

PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN					
Gumbel		GEV		TCEV	
Theta	0.457916	Betha	-1.02916	Theta 1	1.20972
Lambda	2.64278	Alpha	0.6576	Theta 2	0.0605681
		Xo	1.48697	Lambda 1	7.53299
				Lambda 2	0.118229

El gráfico resultante de la distribución seleccionada se muestra en la Fig. N° 8.5. Los gráficos resultantes de las funciones de distribución que han sido descartadas se muestran en Anexos (Capítulo 11).

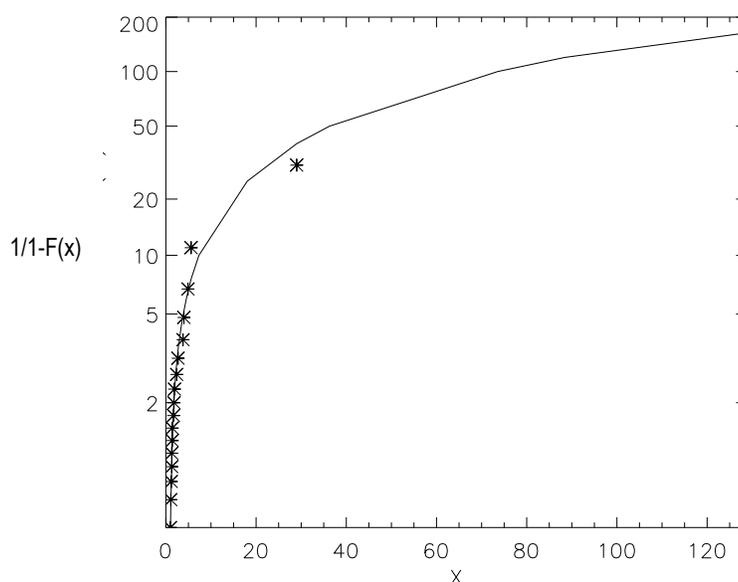


Figura N° 8.5 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie Spain02V2

La probabilidad de picos por encima un límite a probabilidades de máxima anual se muestra en la Tabla N° 8.12.

Tabla N° 8.12 Probabilidad en términos de máximas anuales, serie Spain02\_V2

Q (m³/s)	G(x)	F(x)	T (Años)
3.84	0.80	0.84	6
7.32	0.90	0.91	12
18.03	0.96	0.96	28
36.29	0.98	0.98	56
73.55	0.99	0.99	112



### 8.2.2.4 Modelo de precipitación Spain02\_V4

La distribución que tiene un ajuste más adecuado para es la función de distribución de GEV. En la Tabla N° 8.13 se muestran los parámetros estimados que definen a las funciones de distribución

Tabla N° 8.13 Parámetros obtenidos con AFINS para las funciones de distribución con la serie Spain02\_V4

PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN					
Gumbel		GEV		TCEV	
Theta	0.606496	Betha	-0.764391	Theta 1	2.24268
Lambda	4.31111	Alpha	0.72884	Theta 2	0.147328
		Xo	2.08872	Lambda 1	69.6673
				Lambda 2	0.339527

El gráfico resultante de la distribución seleccionada se muestra en la Fig. N° 8.6. Los gráficos resultantes de las funciones de distribución que han sido descartadas, se muestran en Anexos (Capítulo 11).

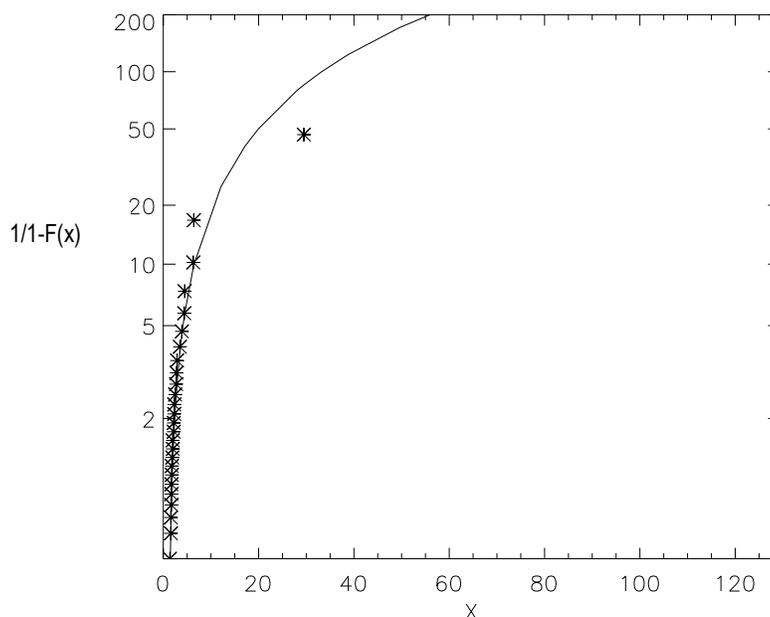


Figura N° 8.6 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie Spain02V4

La probabilidad de picos por encima un límite a probabilidades de máxima anual, se muestra en la Tabla 8.14.

Tabla N° 8.14 Probabilidad en términos de máximas anuales, serie Spain02\_V4

Q (m³/s)	G(x)	F (x)	T (Años)
10.14	0.80	0.7606	4
17.16	0.90	0.8721	8
30.09	0.96	0.9467	19
43.25	0.98	0.9730	37
59.93	0.99	0.9864	74



### 8.2.3 Comparación de cuantiles para los tres tipos de series

En este apartado se ha realizado una comparación de los tres tipos de series con respecto a la serie aforada en Bétera para diferentes períodos de retorno.

*Tabla Nº 8.15 Cuantiles determinados mediante el análisis estadístico de caudales diarios máximos por encima de un límite*

Series	Spain02V2	Spain02V4	SAIH	SAIH aforado
T(años)	Q (m <sup>3</sup> /s)			
5	3.2	11.82	4.8	10.98
10	6.14	19.2	7.42	18.3
25	16.02	33.67	23.82	26.57
50	32.34	49.11	40.83	29.50
100	71.8	71.4	72.32	41.87

Como se puede apreciar en la Tabla 8.15 los tres tipos de serie se aproximan mucho para un período de retorno de 100 años. Sin embargo difieren para los demás períodos de retorno, siendo las series de Spain02V4 y Spain02V2 las que mejor se aproximan a la serie SAIH aforado.

### 8.3 Análisis estadístico de caudales cincominutales máximos anuales

Antes de determinar los cuantiles a escala cincominutal en nuestro punto de interés, se realizará un análisis de correlación entre los caudales a escala cincominutal frente a los caudales diarios máximos anuales, con el fin de conocer la dispersión que existe entre el caudal registrado a escala diaria y el caudal registrado a escala cincominutal.

Para ello se ha identificado sólo los caudales máximos, descartando los caudales que estén en modo de fallo o caudales mínimos que alteren la relación de los datos.

*Tabla Nº 8.16 Caudales máximos a escala cincominutal, datos aforados en Bétera, serie SAIH*

SAIH		
Intervalo cincominutal		
Año	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fecha
1990	59.32	09/09/1990
1991	4.84	17/04/1991
1993	5.33	04/02/1993
2000	100.56	24/10/2000
2002	14.71	08/05/2002
2003	2.49	30/10/2003
2004	17.34	29/03/2004
2007	8.26	21/12/2007



Tabla Nº 8.17 Caudales máximos anuales a escala diaria, datos aforados en Bétera, serie SAIH

SAIH		
Intervalo diario		
Año	Q (m³/s)	Fecha
1990	11.71	09/09/1990
1991	0.76	17/04/1991
1993	0.82	04/02/1993
2000	28.65	24/10/2000
2002	11.41	08/05/2002
2003	1.27	30/10/2003
2004	1.94	29/03/2004
2007	1.00	21/12/2007

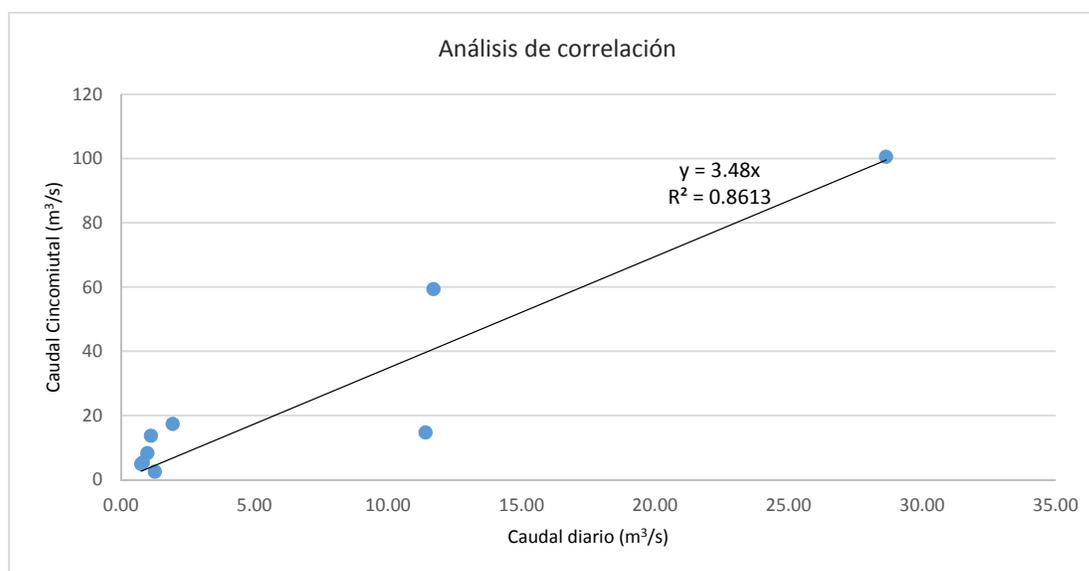


Figura Nº 8.7 Gráfico de correlación, caudal máximo a escala cincominutal frente a caudales máximos a escala diaria, serie aforada SAIH, frente una recta 1:1

Como se puede observar en la Fig. Nº 8.7 la dispersión que existe entre el caudal registrado de la serie SAIH a escala cincominutal frente a escala diaria es de aproximadamente 3.5 veces mayor, mostrando así una marcada diferencia en la medición de dichos caudales a diferentes escalas de tiempo. Es por ello la importancia de determinar los cuantiles en nuestro punto de interés (Autovía A7) a escala cincominutal, para ello será necesario un nuevo análisis de correlación el cual relacione la serie de precipitación elegida a escala diaria (Spain02V2) y los caudales registrados a escala cincominutal en la estación de Bétera, dicho análisis permitirá transponer los cuantiles de caudal diario máximo anual a cuantiles instantáneos.

### 8.3.1 Punto de desagüe de la cuenca Autovía A7

Del análisis estadístico de caudales diarios máximos para nuestro punto de interés Autovía A7 con la serie de Spain02, los cuantiles seleccionados han sido los de la serie Spain02V2, no sólo porque este tipo de serie abarca y representa adecuadamente los eventos extremos, sino porque contiene



una longitud de datos suficiente. La distribución que mejor ajuste se ha tenido ha sido la GEV, resultado de la simulación de 58 años.

Para transponer los cuantiles de caudal diario máximo anual a cuantiles instantáneos, se realizará un análisis de correlación de la serie de caudales a escala cincominutal.

### 8.3.1.1 Análisis de correlación, serie Spain02V2

Se ha efectuado una correlación de los eventos de caudales máximos aforados a escala cincominutal frente a los caudales máximos de la simulación de la serie Spain02V2 a escala diaria, esto frente a una recta 1:1.

Tabla Nº 8.18 Caudales máximos a escala cincominutal, datos aforados en Bétera, serie SAIH

SAIH		
Intervalo cincominutal		
Año	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fecha
1990	59.32	09/09/1990
1991	4.84	17/04/1991
1993	5.33	04/02/1993
2000	100.56	24/10/2000
2002	14.71	08/05/2002
2003	2.49	30/10/2003
2004	17.34	29/03/2004
2007	8.26	21/12/2007

Tabla Nº 8.19 Caudales máximos anuales a escala diaria, datos simulados en Bétera, serie Spain02V2

Spain02V2		
Intervalo diario		
Año	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fecha
1990	0.52	09/09/1990
1991	0.76	17/04/1991
1993	1.80	04/02/1993
2000	28.72	24/10/2000
2002	1.08	08/05/2002
2003	0.15	30/10/2003
2004	1.37	29/03/2004
2007	0.54	21/12/2007

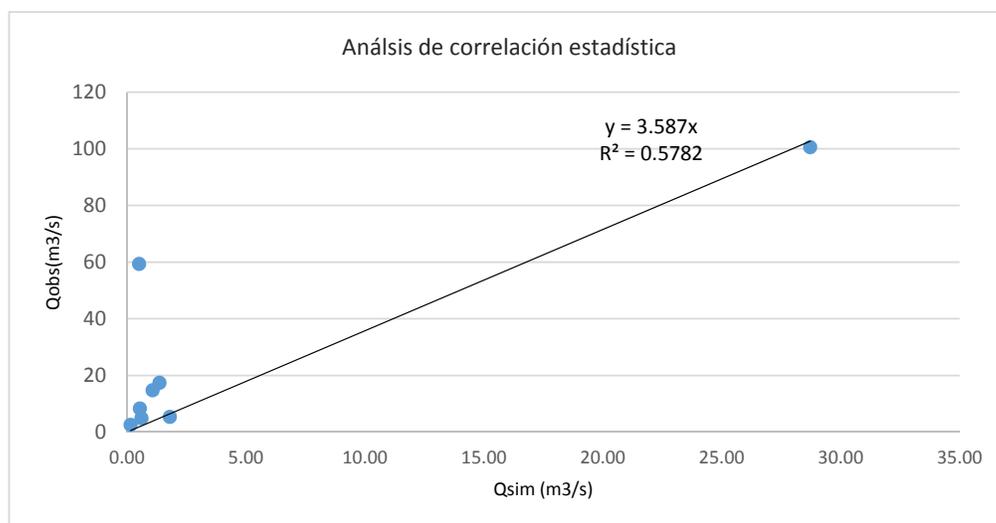


Figura N° 8.8 Gráfico de correlación, caudal máximo anual para la escala diaria y cincominutal, serie Spain02V2 y SAIH, frente una recta 1:1

Como se puede observar en la Fig. N° 8.9 la diferencia que existe entre el caudal registrado de la serie SAIH a escala cincominutal y el caudal simulado de la serie de Spain02V2 a escala diaria es de aproximadamente 3.6, siendo este un valor muy cercano al análisis que se determinó para la serie registrada SAIH a escala cincominutal y diaria.

### 8.3.2 Resultado final de cuantiles cincominutal, Autovía A7

El coeficiente obtenido del análisis anterior ha sido de 3.6. Este factor permitirá determinar los cuantiles instantáneos finales. Dichos resultados se presentan en la Tabla N° 8.20.

Tabla N° 8.20 Resultado final de cuantiles cincominutal, Puente - Autovía A7

Cuantiles cincominutal	
T (Años)	Q (m³/s)
5	53
10	91
25	175
50	280
100	480



---

# CAPITULO 9. RESUMEN Y CONCLUSIONES

---



Las crecidas en la cuenca del Barranco del Carraixet son eventos recurrentes, y que a pesar que la mayor parte del año permanece seco, durante la ocurrencia de precipitaciones extremas es especialmente caudaloso y violento, con alto riesgo de desbordes e inundaciones. Conocer el funcionamiento hidrológico de este tipo de cauces efímeros ayudaría a una correcta planificación y prevención frente al riesgo de las inundaciones.

La información hidrometeorológica disponible ha sido de dos tipos, puntual, procedente del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) a escala diaria y cincominutal, información de tipo interpolada procedente del proyecto Spain02 para la serie de Spain02V2 y Spain02V4 a escala diaria.

La información disponible de la red SAIH contiene registros con algunos datos puntuales faltantes o en estado de fallo, lo que afecta la precisión en la simulación del modelo hidrológico distribuido.

La información interpolada del proyecto Spain02 muestra representación equivalente o superior a la de la información SAIH, sin embargo sólo se cuenta con información hasta el año 2007. Este tipo de información puede ser muy útil para sustituir la información del SAIH en los datos faltantes, teniendo en cuenta que es tipo de información sólo se dispone a escala diaria.

La serie de datos puntual define una precipitación media anual en la cuenca equivalente a 330 mm/año, un máximo de 471 mm correspondiente al año de 1990 y un mínimo de 228 mm en el año 1995. La precipitación media diaria en el año 2000 fue de 111.7 mm y para 1990 de 100.40mm. Por su parte la serie de precipitación interpolada serie Spain02\_V2, define una precipitación anual media en la cuenca de 416 mm/año, un máximo de 546 mm en el año 2002, y un mínimo de 255 mm en el año 1995. En el mismo orden la serie Spain02\_V4 arroja una precipitación media anual de la cuenca equivalente a 482 mm, con un máximo de 614 mm en el año 2002, y un mínimo de 319 mm en el año 1995. Por tanto se puede decir que la serie de Spain02 da valores superiores en precipitación con respecto a la serie SAIH.

Con respecto al modelo hidrológico TETIS, éste se puede emplear como un modelo de simulación continua, puesto que mantiene el balance de agua, lo cual lo hace aplicable para la gestión de los recursos hídricos, siempre y cuando se tenga en cuenta el efecto temporal y espacial de los procesos físicos en los parámetros y en los respectivos factores correctores. Sin embargo si se desea caracterizar un evento de crecida es recomendable de que por lo menos la escala temporal sea horaria.

De la representación de los eventos de crecidas más significativos como los de octubre del año 2000, diciembre de 1989 y setiembre de 1990, el que mayor importancia tuvo de estos tres, fue el del año 2000 con una intensidad máxima a las 06:45 horas, de 76.8 mm/h y un caudal máximo a las 8:40 horas con un valor de 100.60 m<sup>3</sup>/s registrados en la estación de Bétera. En el mapa de intensidades de precipitación concerniente al evento del día 24 de octubre del año 2000, nos muestran la variabilidad que tiene la lluvia, pudiéndose observar que los valores mayores se registraron en la parte media y baja de la cuenca.



Se ha comprobado que el Sistema de Información Geográfica SIG es una herramienta valiosa para el tratamiento y presentación de todo tipo de información distribuida. Su utilización en la determinación de los parámetros de los modelos, automatiza el proceso y mejora la precisión obtenida.

La evolución en el uso de los suelos ha venido siendo muy marcada a lo largo del tiempo, de tal forma que la expansión del uso con fines urbanos y el desarrollo industrial en los últimos años, ha generado una ocupación y degradación de los espacios agrícolas. Esta reducción de la cubierta vegetal juega un factor muy importante en los procesos hidrológicos, ya que contribuye a intensificar la concentración de la escorrentía superficial.

Del análisis sobre la el tipo de curva hipsométrica al que pertenece la cuenca, así como la visita de campo que se realizó, se puede evidenciar que el Barranco del Carraixet pertenece al tipo de cuenca sedimentaria en fase de vejez. Siendo uno de los problemas fundamentales en los eventos de crecidas la cantidad de sedimentos que se arrastran a lo largo del cauce. Es por ello que sería importante realizar un estudio enfocado en dicho problema. Así mismo se puede extraer que el cauce se desarrolla sobre una plataforma aluvial, con una sinuosidad moderada, un ancho promedio de 130 m, pendiente media del orden de 0.017 y una profundidad que oscila entre los 3 y los 5 m con respecto al nivel del terreno natural. Se ha podido verificar la existencia de cultivos cercanos al cauce, que sumados a la existencia de algunos puntos críticos en los bordes de ambas márgenes de dicho cauce, indican la necesidad de implementar medidas de tratamiento y protección para reducir el riesgo de desbordes.

La calibración y validación del modelo hidrológico TETIS ha sido tanto para escala diaria como escala cincominutal. El período de calibración ha sido desde el año 2000 a 2003, donde ha quedado incluido el evento de octubre del año 2000 generado por una situación conocida como "La gota fría". Dentro del proceso de calibración se ha podido determinar que el modelo es poco influyente casi todos los factores correctores, excepto el factor corrector FC3, infiltración, el cual es el más influyente a cualquier valor que se le asigne. Los resultados de la validación no han sido favorables para algunos eventos, aunque, se pueden considerar aceptables porque para otros eventos el caudal simulado se ajusta adecuadamente al evento registrado. Luego se realizó la simulación del modelo hidrológico a escala diaria en el punto de la estación de Bétera para los dos tipos de series de datos (interpolada y puntual), con el fin de realizar una comparación frente a los caudales registros. Pudiéndose observar que existe una mayor variabilidad de la serie tipo puntual SAIH; siendo la serie interpolada de Spain02 (Spain02V2 y Saoin02V4) la que mejor responde frente a los caudales registrados, esto puede ser debido a que este tipo de serie cuenta con una mejor resolución espacial.

Se realizó también un análisis del comportamiento hidrológico que tendría la serie interpolada (Spain02) frente a caudales mínimos, si bien es cierto esto no es trascendental para el caso de crecidas, ha servido para comprobar la bondad del modelo en caudales bajos así como hacer comparación frente a los caudales mínimos registrados (SAIH). Pudiéndose concluir que serie SAIH tiene gran cantidad de registros de caudales igual a cero, mientras que la serie interpolada no registra dichos valores de caudal, y que empieza existir gran semejanza o concordancia para los



dos tipos de series a partir de un caudal de 0.2 m<sup>3</sup>/s. Asumiendo que las mediciones registradas sean correctas podemos decir que esto podría deberse a un proceso de infiltración y por ende una pérdida de transmisión en el cauce de aproximadamente de 0.2 m<sup>3</sup>/s.

Una vez obtenidos los factores obtenidos de la cuenca se realizó la simulación del modelo hidrológico a escala diaria con el objetivo de predecir los caudales para nuestro punto de interés, en la intersección con la Autovía A7. Posteriormente se realizó un análisis estadístico para obtener los cuantiles, llegándose a determinar que la serie de datos que mejor ajuste se ha tenido y mediante el análisis de caudales máximos anuales, ha sido la serie de Spain02V2, donde la función de distribución que mejor se ajusta a este tipo de serie de datos es la General Extreme Value (GEV). Este tipo de serie arroja mejores resultados porque contiene un registro más extenso, el cual ha incluido el evento extremo de 1957 y 1969. A demás se realizó un análisis estadístico de caudales diarios por encima de un límite en la estación de aforo Bétera con el fin de realizar una comparación de los tres tipos de series frente al caudal observado en la estación de aforo de Bétera, este análisis consistió en seleccionar los caudales extremos a partir de los valores que superen un cierto umbral. Observándose a determinar que los tres tipos de series coinciden entre ellas para un período de retorno de 100 años, pero difieren frente al registro aforado en la estación de Bétera para dicho período de retorno. Llegándose a concluir que las series que mejor se asemeja a los demás períodos de retorno de la serie aforada SAIH, son la serie Spain02V4 y Spain02V2

Con el registro de caudales a escala cincominutal por parte de SAIH y la serie de precipitación de Spain02V2, se ha optado por transponer los cuantiles de caudal diario máximo anual a cuantiles instantáneos a escala cincominutal, por ser los que mejor representan las característica de un evento de crecida. Los cuantiles en el punto de desagüe Puente - Autovía A7 son:

Cuantiles escala cincominutal	
T (Años)	Q (m <sup>3</sup> /s)
5	53
10	91
25	175
50	280
100	480

Respecto a los resultados obtenidos entre las distintas fuentes de información (puntual e interpolada), se determinó que la serie interpolada de Spain02 ha arrojado resultados más óptimos que la serie puntual SAIH, esto debido a que este tipo de serie cuenta con una mayor densidad espacial de información y ayuda a tener una mejor distribución de la lluvia, además de que la longitud de datos es adecuado para el análisis estadístico de caudales diarios máximos anuales Cabe resaltar también la importancia de realizar la caracterización hidrológica de los eventos crecidas a escala cincominutal, no sólo porque estas representan mejor tal evento, sino porque históricamente ha sido en este intervalo de tiempo donde se han provocado y se pueden volver a ocurrir fuertes de inundaciones que trae consigo graves afecciones económicas y humanas. Ante todo esto, es de especial interés no sólo conocer la respuesta hidrológica de este tipo cuenca efímera, que en épocas de precipitación extrema se convierte en un cauce muy violento y erosivo, sino tomar medidas de planificación y gestión frente a eventos de esta naturaleza.



---

# CAPITULO 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---



Alonso B y Jorge A (2012). Centro de Estudios Locales de Bétera. El mayor desastre que se recuerda en Bétera la riada del 28 de septiembre 1949.

Base de datos de Suelo Europea (ESDB). Mapa de almacenamiento estático del suelo y de conductividades hidráulicas horizontal y vertical del suelo. Escala 1: 100.000

Bussi, G. (2010). Calibración de un modelo conceptual distribuido del ciclo de sedimentos. Aplicación a la cuenca experimental de Goodwin Creek (EEUU). Trabajo de Investigación. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.

Camarasa, A., Mateu, J. y López, J. (2007). Cambios en los usos del suelo y producción de escorrentía en ramblas mediterráneas: Carraixet y Poyo (1956-1998).

Comisión Europea, 2006. CORINE Land Cover Map and Technical Guide. European Union Directorate-General Environment (Nuclear Safety and Civil Protection), Luxembourg.

Confederación Hidrográfica del Júcar (2004): Proyecto de prolongación del encauzamiento del Barranco del Carraixet, tramo entre Bétera y el Sifón de la acequia de Rascaña (Valencia) Fase I.

Chow, V. T., D. R. Maidment (1994). Hidrología Aplicada. Sta. Fe de Bogotá, Colombia, McGraw-Hill.

Camarasa A., Soriano J (2008): Peligro. Vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en ramblas mediterráneas: Los llanos Carraixet y Poyo.

Chávarri V. y Eduardo A (2010). Curso: Modelación Hidrológica con Hec-HMS y SIG. Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola. Departamento de Recursos Hídricos. Lima-Perú.

DIHMA (2001). *Un modelo de predicción de crecidas para el SAIH de la Confederación Hidrográfica del Tajo*. Informe Final para UTE SAIH TAJO.

FAO N° 56 Estudio de Riego y Drenaje. Evapotranspiración del cultivo. Guías para determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

Francés, F., Velez, J. I., & Vélez, J. J. (2007). *Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models*. Journal of Hydrology, 332(1), 226-240.

Francés F., Vélez J. J., Vélez J. I (2002): Modelo distribuido para la simulación hidrológica de crecidas en grandes cuencas. Conferencia en el XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

Francés F., Vélez J. J., Vélez J. I., Puricelli M., Montoya J. J., Múnera J. C., Medici C., Bussi G., (2012): Descripción del modelo conceptual distribuido de simulación hidrológica TETIS v8. Universtitat Politècnica de València



Francés, F. y Vélez, J. J. (2005). *Automatic calibration of initial state variables for flood forecasting using a distributed model*. International conference on innovation advances and implementation of flood forecasting technology, 17 to 19 October 2005, Tromsø, Norway.

Francés, F y Juan C. (2007). Integración del modelo TETIS en el sistema de alarma temprana DELFT FEWS para predicción de avenidas en tiempo real en algunas cuencas de la C.H. del Júcar.

Gaona, J (2015): Análisis de la implementación del modelo hidrológico distribuido TETIS con información estándar e incluyendo los procesos kársticos en la cuenca alta del río Mijares. Trabajo de Fin de Máster, Setiembre de 2015.

Generalitat Valenciana (1995). Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana (escala 1:100.000)

Grayson R, Blöschl G. (2001). Spatial Modelling of Catchment Dynamics. In Spatial patterns in catchment hydrology: observations and modelling, Grayson R, Blöschl G (eds). Cambridge University Press: Cambridge.ano

Herrera, S., Gutiérrez, J.M., Ancell, R., Pons, M.R., Frías M.D., and Fernández, J. (2012): Development and Analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). International Journal of Climatology, vol. 32.

Herrera, S. (2011): Desarrollo, validación y aplicaciones de Spain02: Una rejilla de alta resolución de observaciones interpoladas para precipitación y temperatura en España. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria.

Herrera, S., Gutiérrez, J.M., Frías M.D., and Fernández, J. (2012): Nuevas versiones de la rejilla pública Spain02: Datos diarios de precipitación y temperatura para estudios de regionalización y análisis de tendencias.

Herrera, S. et al. (2014): Update of the Spain02 gridded observational dataset for Euro-CORDEX evaluation: Assessing the effect of the interpolation methodology. International Journal of Climatology Submitted (May 2014). Instituto Geografico Militar (IGM). Modelo de Elevacion Digital a resolucion 100 m x 100 m.

Hogue, T.S., Gupta, H.V., Sorooshian, S. (2006). Journal of Hydrology, 320, 202-217. Martos-Rosillo, S., Moral, F., Rodriguez, M., y Ocaña, A. (2006). En: Karst, cambio climático y aguas subterráneas, (J.J. Durán, B. Andreo y F. Carrasco, Eds.).

Instituto Geologico y Minero Español. Mapa Geologico Nacional (MAGNA - escala 1:50.000).

Llamas, J. (1989). Hidrología General Principios y Aplicaciones. Univer. Autónoma de México. (F, C, D).



Méndez M. M. (2012): *Calibration and validation of the SWMM hydrological model on steep terrain watersheds in Costa Rica*.

Moisés, D. (2001). Estudios previos: Condicionantes físicos para la ordenación de la orla sudoeste de suelo urbanizable. Anexo 6: Climatología.

Nash, J. E. & Sutcliffe, J. V. (1970). *River flow forecasting through conceptual models*. Part I. A discussion of principles. *J. Hydrol.*, 10: 282–290.

Olivares A. G. (2004): Modelación Hidrológica pseudo-distribuida del Barranco del Carraixet: Aplicación al episodio de octubre de 2000.

Pascual J, Rubio J. L., Andreu V., Campo J., González O., Gimeno García E. (2001). Tamaño de área de drenaje y conectividad hidrológica en la formación de escorrentía en cuencas semiáridas mediterráneas.

Ruescas A. B. y M.J. López García. Cartografía de usos de suelo por teledetección para la modelación hidrológica, la cuenca del Carraixet (Valencia). VII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España, 1999.

Sánchez, G (2015): Estudio del régimen hídrico en la rambla de la viuda (provincia de Castellón). Análisis de la influencia de la información estándar en el modelo hidrológico. Proyecto de Fin de Carrera, noviembre de 2015.

Saxton, K.E., Johnson, H.P., y Shaw, R.H. (1974). Modeling evapotranspiration and soil moisture. *Trans. ASAE* 17(4):673-677.

Saxton, K & WJ Rawls. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1569-1578.

Singh, P.K, Kumar, R.C, Purohit, M Kothari and P.K Dashora (2009). "Application of Principle Component analysis In Grouping Geomorphic Parameters for Hydrological Modelling". *Ware Res. Manage, Vol. 23, pp. 325-339*.

Vélez, J. J. (2003). *Desarrollo de un modelo distribuido de predicción en tiempo real para eventos de crecidas*. PhD Tesis. Universidad Politécnica de Valencia.

Vélez, J. J. y Francés, F. (2009). *Calibración automática de las condiciones iniciales de humedad para mejorar la predicción de eventos de crecida*. *Avances Recursos Hidráulicos*.



---

# CAPITULO 11. ANEXOS

---

## 11.1 Resumen fotográfico



*Figura N° 11.1 Vista satelital del punto de desagüe, autovía A7*

En la Fig. N° 1.11, se muestra el emplazamiento del Barranco del Carraixet, en la intersección con la autovía A7. El cauce presenta una sinuosidad moderada, atravesando una planicie aluvial que evidencia un pasado marcado por inundaciones.



*Figura N° 11.2 Vista Panorámica, punto de desagüe – Intersección del cauce principal del Barranco del Carraixet y la Autovía A7*

Se observa en las siguientes figuras, la presencia de sedimentos gruesos (arenas, gravas) que constituyen evidencias del poder de arrastre del flujo dentro del cauce.



*Figura N° 11.3 Puente de la vía A-7, intercepción con el Barranco del Carraixet.*

Aguas arriba del cauce del Barranco del Carraixet en la parte central del Puente, existe una estructura de concreto que pertenecería a una caja de válvulas.



*Figura N° 11.4 Infraestructura de concreto, caja de válvulas*

En las siguientes imágenes se pueden apreciar algunos puntos críticos, vulnerables ante un evento de crecida, especialmente en la zona adyacente a los aleros del puente, en donde se puede observar la existencia de material erosionable conformando el borde del cauce.



*Figura N° 11.5 Autopista A-7, material erosionable aguas abajo y aguas arriba del puente*

Aguas abajo del puente, en la margen derecha del cauce, se verificó la existencia de una estructura de protección antigua a base de enrocado



*Figura N° 11.6 Infraestructura de protección, material de enrocado*

Se ha podido apreciar existe una gran extensión de frutales cítricos, así como otros frutales como la sandía.



*Figura N° 11.7 Cultivo frutícola naranja y sandia*

## 11.2 Análisis estadístico de caudales diarios máximos anuales, Autovía A7

### 11.2.1 Modelo de precipitación serie de Spain02V4

A partir de los datos obtenidos de la simulación de la serie Spain02V4 en nuestro punto de desagüe de la cuenca autovía A7 para el período de 1971 a 2007, se han obtenido los caudales diarios máximos anuales. En la tabla N° 11.1 se muestran los parámetros estimados que definen a las funciones de distribución.

Tabla N° 11.1 Parámetros obtenidos con AFINS para las funciones de distribución con la serie Spain02V4

PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN					
Gumbel		GEV		TCEV	
Theta	0.161303	Betha	-0.392313	Theta 1	0.366325
Lambda	2.97486	Alpha	4.83229	Theta 2	0.0758835
		Xo	5.59221	Lambda 1	3.78178
				Lambda 2	0.693835

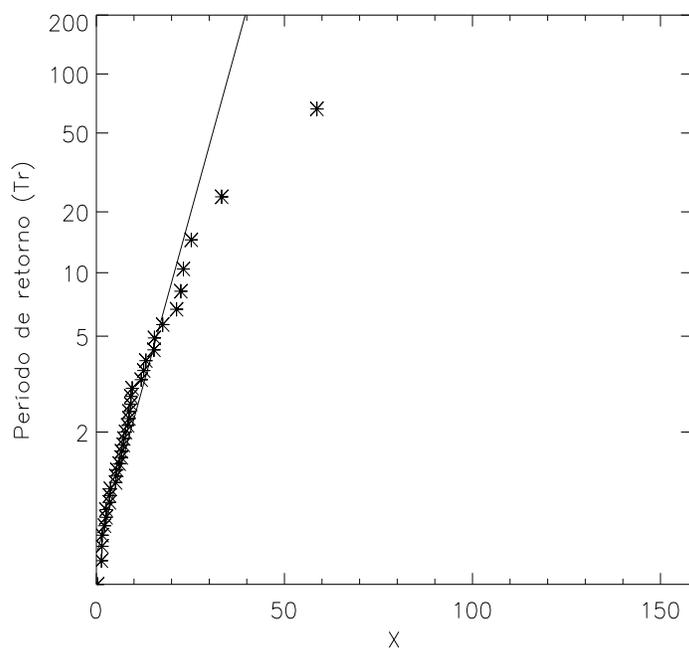


Figura N° 11.8 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie Spain02v4

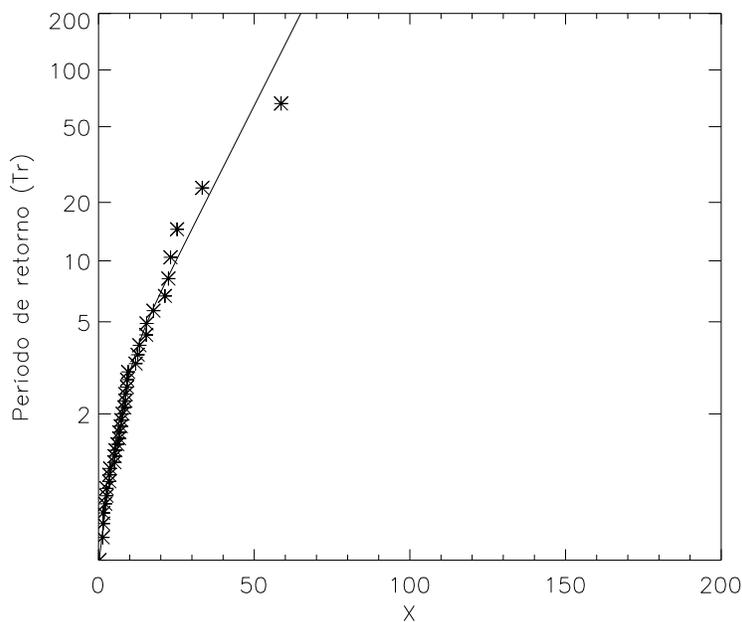


Figura N° 11.9 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie Spain02v4

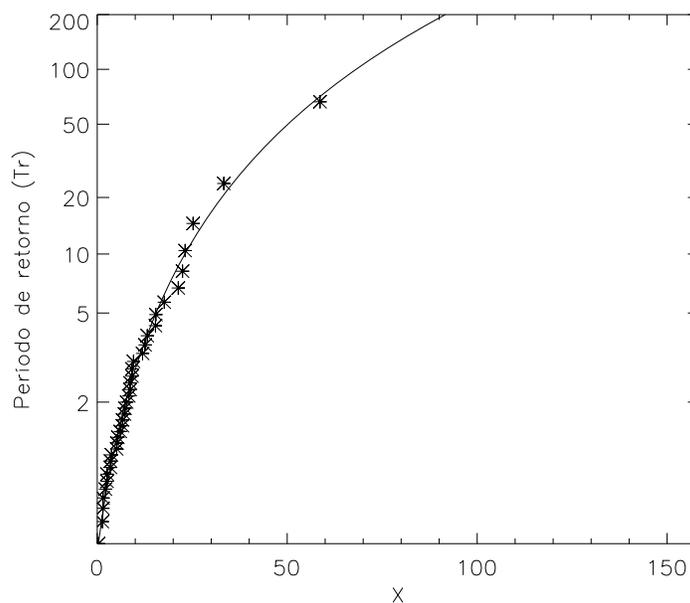


Figura N° 11.10 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie Spain02v4

Las distribuciones que más se aproximan a esta serie de datos es GEV. Es por ello que se ha seleccionado dicha distribución, ya que representa un mejor ajuste que las otras distribuciones.

A partir del ajuste de la función de distribución seleccionada GEV, para la serie de datos de caudal diario máximo anual, resultado de la simulación de 58 años, se extraen los cuantiles asociados a distintos periodos de retorno y se muestran en la Tabla 11.2

Tabla Nº 11.2 Cuantiles de caudal diario máximo anual para la serie Spain02v4

Cuantiles	
T (Años)	Q (m <sup>3</sup> /s)
5	15.46
10	23.06
25	36.47
50	50.20
100	68.14

## 11.3 Representaciones gráficas de las funciones de distribución descartadas

### 11.3.1 Análisis estadístico de caudales diarios máximos anuales, Autovía A7

#### 11.3.1.1 Modelo de precipitación serie Spain02V2

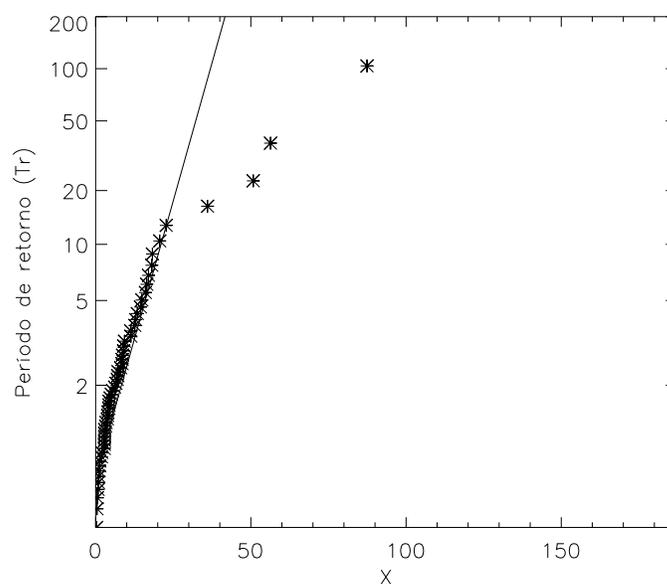


Figura Nº 11.11 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie Spain02v2

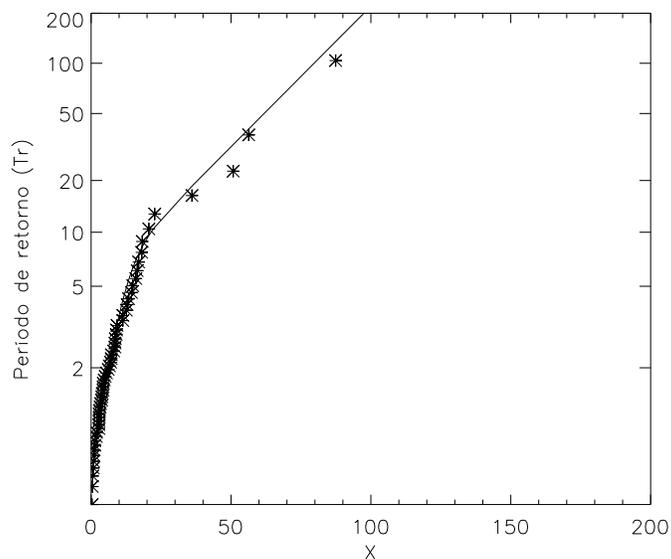


Figura N° 11.12 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie Spain02v2

### 11.3.2 Análisis estadístico por encima de un límite para cada tipo de serie

#### 11.3.2.1 Modelo de precipitación, serie aforada SAIH

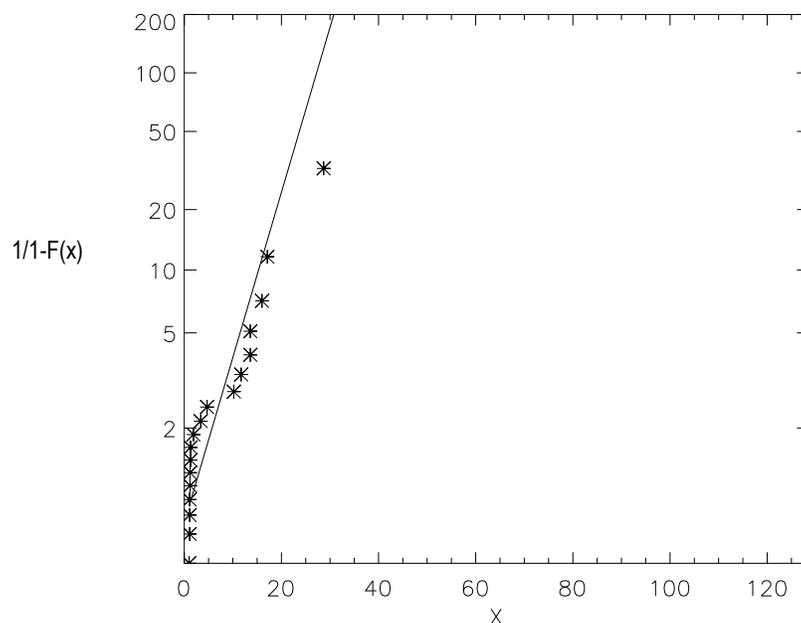


Figura N° 11.13 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie SAIH

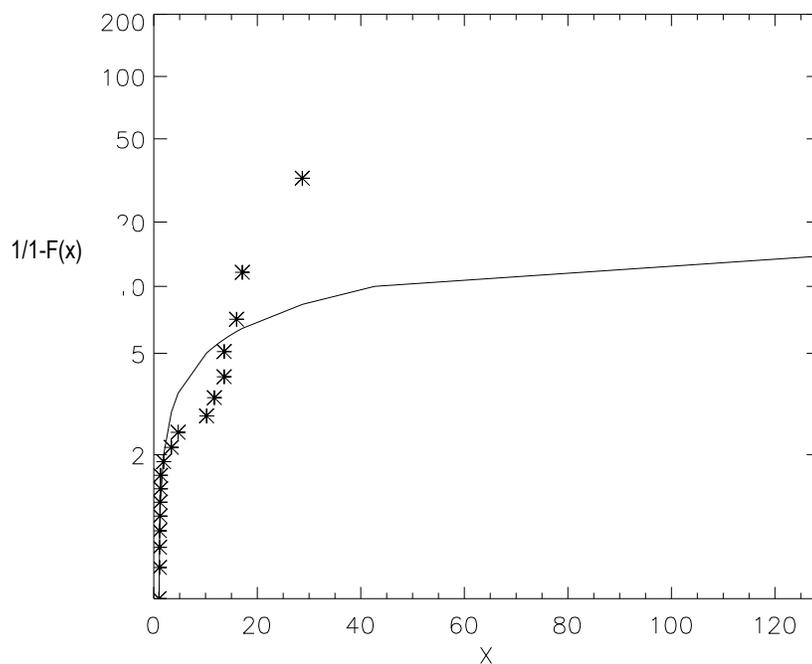


Figura N° 11.14 Representación gráfica del ajuste de la distribución GEV para la serie SAIH

### 11.3.2.2 Modelo de precipitación, serie simulada SAIH

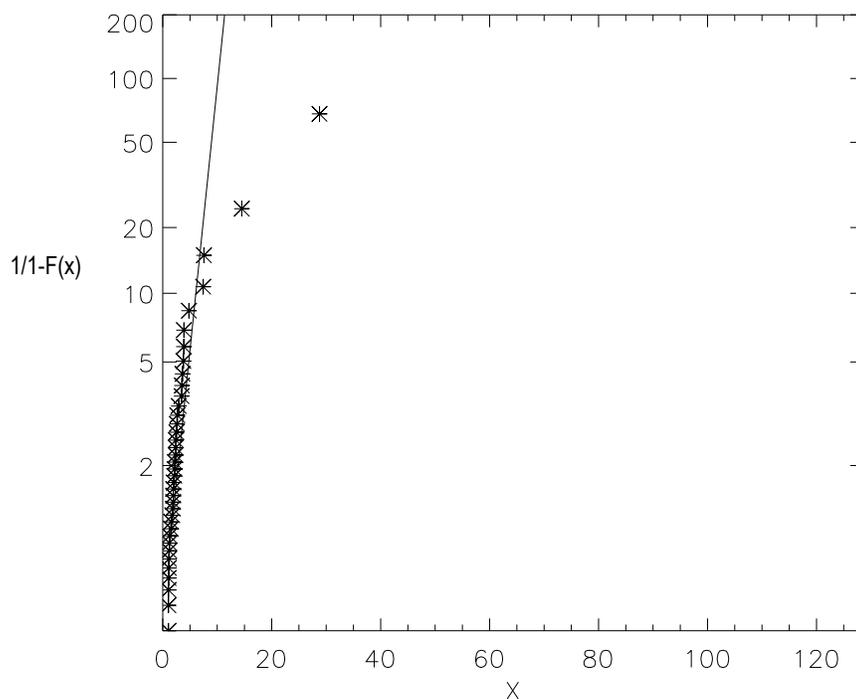


Figura N° 11.15 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie simulada SAIH

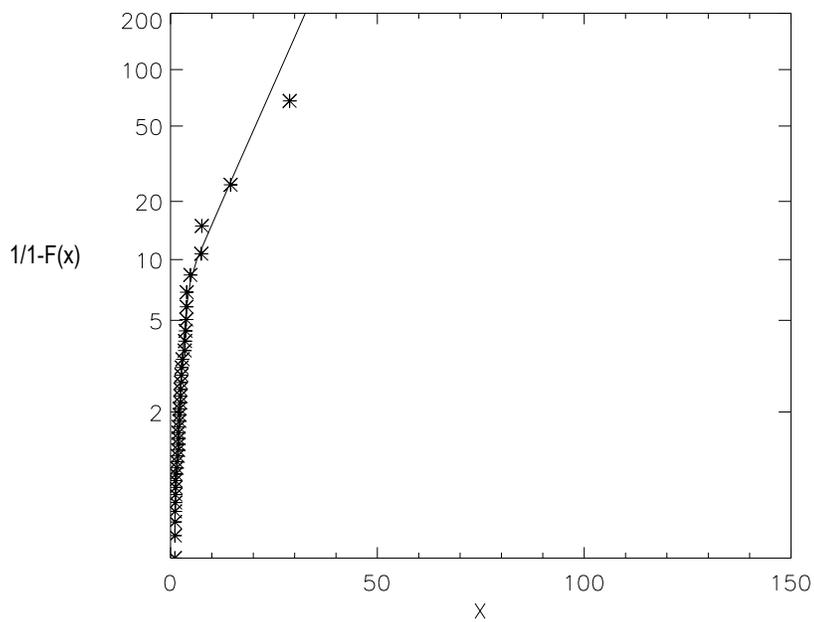


Figura N° 11.16 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie simulada SAIH

### 11.3.2.3 Modelo de precipitación Spain02\_V2

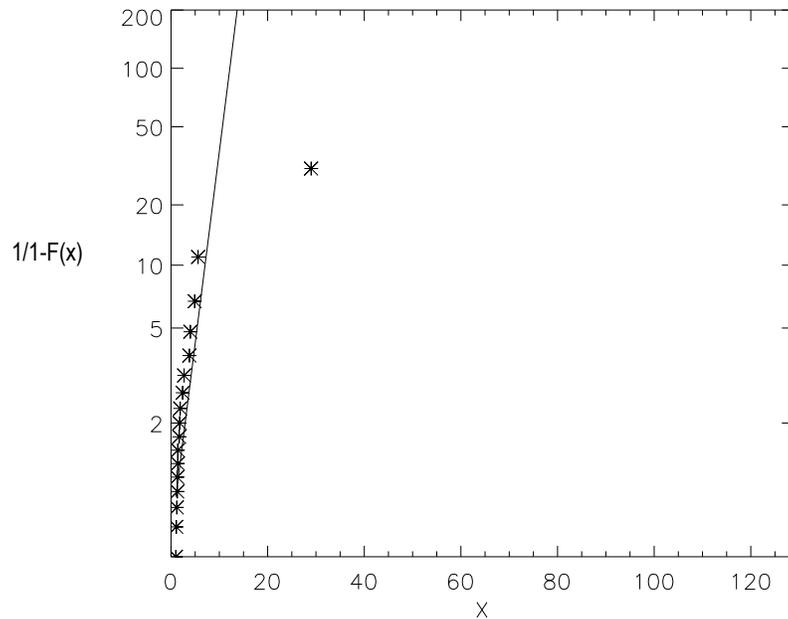


Figura N° 11.17 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie Spain02V2

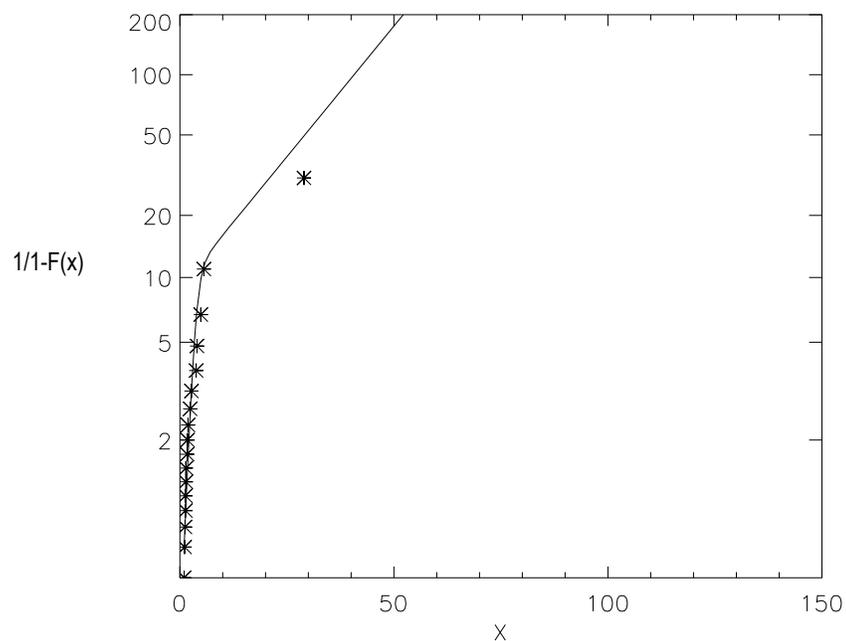


Figura N° 11.18 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie Spain02V2

#### 11.3.2.4 Modelo de precipitación Spain02\_V4

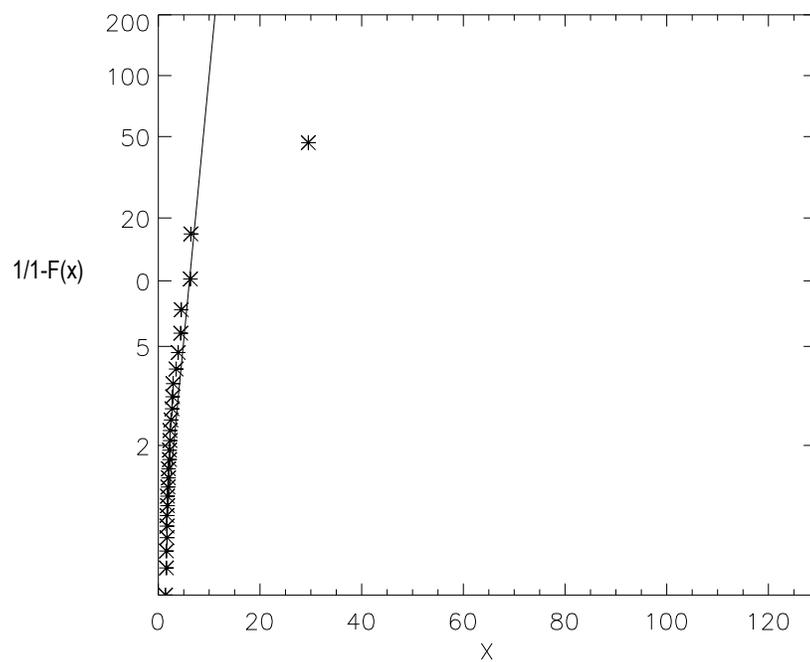


Figura N° 11.19 Representación gráfica del ajuste de la distribución Gumbel para la serie Spain02V4

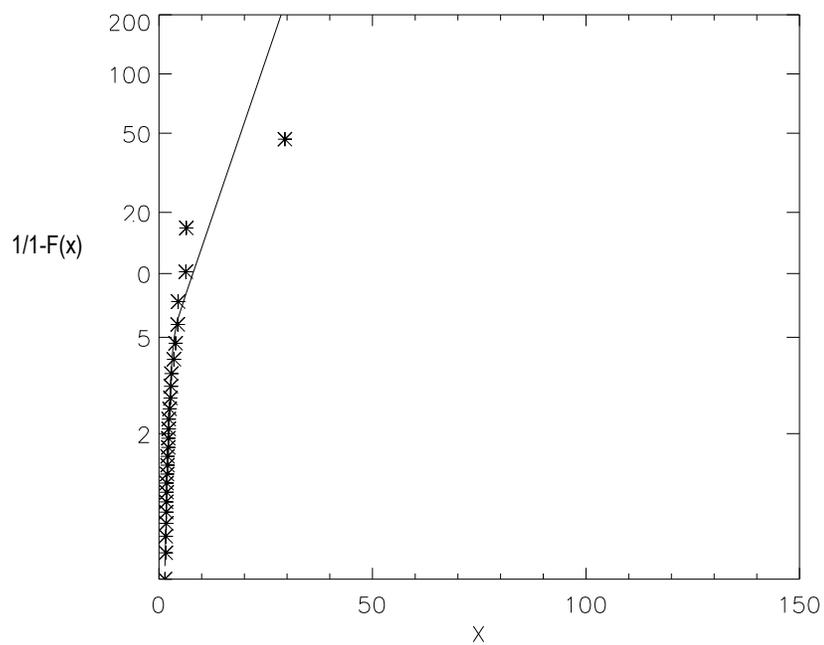


Figura N° 11.20 Representación gráfica del ajuste de la distribución TCEV para la serie Spain02V4