

Trabajo Fin de Máster
ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN
DEL MODELO HIDROLÓGICO
DISTRIBUIDO TETIS EN EL ÁMBITO
REGIONAL DE LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR
UTILIZANDO INFORMACIÓN
ESTÁNDAR

Intensificación: RECURSOS HÍDRICOS

Autor:

RONNY RIOS PACHECO

Director:

DR. FÉLIX FRANCÉS GARCÍA

ENERO,2017



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma



Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO TETIS EN EL ÁMBITO REGIONAL DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR UTILIZANDO INFORMACIÓN ESTÁNDAR

Título del TFM en inglés: ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF THE DISTRIBUTED HYDROLOGICAL MODEL TETIS IN THE REGIONAL AMBIT OF THE HYDROGRAPHIC DEMARCATION OF THE JÚCAR USING STANDARD INFORMATION

Título del TFM en valenciano: ANÀLISI DE LA IMPLEMENTACIÓ DEL MODEL HIDROLÒGIC DISTRIBUÏT TETIS EN L'ÀMBIT REGIONAL DE LA DEMARCACIÓ HIDROGRÀFICA DEL XÚQUER UTILITZANT INFORMACIÓ ESTÀNDAR

Alumno: RONNY RIOS PACHECO

Director: DR. FÉLIX FRANCÉS GARCÍA

Codirector/es:

Fecha de Lectura: ENERO 2017

Resumen

En español (máximo 2000 palabras)

La dinámica poblacional genera una creciente necesidad de contar con los recursos hídricos necesarios para cubrir la demanda de la población, por tal motivo es necesario tener una mejor comprensión de los procesos del ciclo hidrológico; es así que la modelación hidrológica ha tomado mayor importancia, ya que es una herramienta que permite de forma simplificada, simular dichos procesos.

El presente trabajo denominado "Análisis de la implementación del modelo hidrológico distribuido TETIS en el ámbito regional de la demarcación hidrográfica del Júcar utilizando información estándar", tiene como objetivo principal de estudio, explorar la posibilidad de extrapolar la calibración de cuencas aforadas a cuencas no aforadas, mediante la modelación hidrológica distribuida y con información estándar, dentro de un estudio regional.

El trabajo se centró en cuatro aspectos: implementación de los fenómenos kársticos en un modelo regional, análisis del desfase temporal de los datos hidrometeorológicos, la transferencia de los FCs del modelo TETIS a cuencas no aforadas y por último la influencia del flujo subterráneo en la extrapolación de la calibración. En el primer aspecto se probaron mediante la calibración los diversos mapas de capacidad de percolación y metodologías para incluir el karst en el modelo, que si bien es cierto muchas de ellas mejoraron los índices de eficiencia, solo una dio una mejor representación de la cuenca en estudio. En el segundo, el desfase temporal influyo mucho en los resultados ya que al desplazar los datos de aforo 1 día, mejoran de forma general los resultados. El tercero, sirvió para poder comprobar la extrapolación de la calibración que puede darse en



algunos casos, siempre y cuando estos tengan condiciones hidroclimáticas similares. Y finalmente en el último se determinó que en el caso de TETIS es más difícilmente extrapolable el reparto del flujo subterráneo, para el caso del flujo conectado y no conectado.

De los resultados obtenidos se indica, que puede llevarse a cabo el traslado de los factores correctores de cuencas aforadas a cuencas no aforadas o con serie de datos incompletos, solo cuando tengan características hidroclimáticas similares, teniendo mayor garantía si la estación aforada tiene una calibración y validación con resultados óptimos. En general al no ser el modelo TETIS un modelo específico de acuíferos, es más difícilmente extrapolable el reparto del flujo subterráneo entre el flujo conectado y no conectado, por lo que requerirá generalmente la estimación de este flujo. Siendo otra opción combinar TETIS con un modelo de acuíferos como MODFLOW.

En valenciano (máximo 2000 palabras)

La dinàmica poblacional genera una creixent necessitat de comptar amb els recursos hídrics necessaris per a cobrir la demanda de la població, per tal motiu és necessari tindre una millor comprensió dels processos del cicle hidrològic; és així que la modelació hidrològica ha pres major importància, ja que és una ferramenta que permet de forma simplificada, simular els dits processos.

El present treball denominat "Anàlisi de la implementació del model hidrològic distribuït TETIS en l'àmbit regional de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer utilitzant informació estàndard", té com a objectiu principal d'estudi, explorar la possibilitat d'extrapolar el calibratge de conques aforades a conques no aforades, per mitjà de la modelació hidrològica distribuïda i amb informació estàndard dins d'un estudi regional.

El treball es va centrar en quatre aspectes: implementació dels fenòmens kàrstics en un model regional, anàlisi del desfasament temporal de les dades hidrometeorològiques, la transferència dels FCs del model TETIS a conques no aforades i finalment la influència del flux subterrani en l'extrapolació de la calibratge. En el primer aspecte es van provar per mitjà de la calibratge els diversos mapes de capacitat de percolació i metodologies per a incloure el karst en el model, que si bé és cert moltes d'elles van millorar els índexs d'eficiència, només una va donar una millor representació de la conca d'estudi. En el segon, el desfasament temporal influïx molt en els resultats ja que al desplaçar les dades d'aforament 1 dia, milloraven de forma general els resultats. El tercer va servir per a poder comprovar l'extrapolació del calibratge que pot donar-se en alguns casos, sempre que estos tinguen condicions hidroclimàtiques semblants. I finalment en l'últim es va determinar que en el cas de TETIS és més difícilment extrapolable el repartiment del flux subterrani, per al cas del flux connectat i no connectat.

Dels resultats obtinguts es indica que pot dur-se a terme el trasllat dels factors correctors de conques aforades a conques no aforades o amb sèrie de dades incompletes, només quan tinguen característiques hidroclimàtiques semblants, tenint major garantia si l'estació aforada té una



calibratge i una validació amb resultats òptims. En general al no ser el model TETIS un model específic d'aqüífers, és més difícilment extrapolable el repartiment del flux subterrani entre el flux connectat i no connectat, per la qual cosa requerirà generalment l'estimació d'aquest flux. Sent una altra opció combinar TETIS amb un model d'aqüífers com MODFLOW.

En inglés (máximo 2000 palabras)

The existence of population dynamics generates an increasing of water necessity to cover population demand, hence it is necessary to have a better understanding of hydrological process; therefore the hydrological modeling has taken major importance, since it able to simplify form and simulate the above mentioned processes.

The present study titled "Implementation Analysis of hydrological distributed model TETIS in the regional area of the Hydrographic Demarcation of the Júcar using standard information", The main purpose of study is to explore the possibility on extrapolating calibration of the gauged basins and ungauged basins, by means of the hydrological distributed modeling and with standard information inside a regional study.

The work focused on four aspects: implementation of the karstic phenomena in a regional model, analysis of the temporary lack of gap of the information hidrometeorológicos, the transfer of the FCs of the model TETIS to not privileged basins and finally the influence of the base flow in the extrapolation of the calibration. In the first aspect, it was proved by calibration of various percolation capacity maps and method to include the karst in the model. Many of them improved the indexes of efficiency, only one gave a better representation of the basin in study. In the second aspect, the temporary lack of gap highly influence the results on daily discharge data, it improved the general form the results. The third aspect served to verify the extrapolation of the calibration that can be applied in some cases, as long as these have similar conditions of hydroclimate. And finally, the last aspect determined the difficulties on extrapolation availability of base flow distribution in TETIS, for both connected and not connected flow.

The results of the study showed the possibility to transfer the correction factors of gauged and ungauged basin, when they have similar hydroclimate characteristic, having major guarantee if the gauged station has a calibration and validation with ideal results. In general, including in TETIS, it is difficult to extrapolate the distribution of the underground flow between the connected and not connected flow for what it will need generally the estimation of this flow. Another option is combining TETIS with an aquifers model such as MODFLOW.

Palabras clave español (máximo 5): Modelación hidrológica/ información estándar/ cuenca no aforada/ Parametros distribuidos/ TETIS.

Palabras clave valenciano (máximo 5): Modelació hidrològica/ Informació estàndard/ conque no aforada/ Paràmetres distribuïts/ TETIS.

Palabras clave inglés (máximo 5): Hydrological modeling/ Standard information/ Basin not gauged/ Distributed parameters/ TETIS.

*A Dios, por mostrarme el camino correcto,
A mi esposa e hijo, quienes son el motor y motivo para seguir adelante,
A mis padres, porque el fruto de sus esfuerzos se ve reflejado en lo que soy,
Y a mis hermanos, por el cariño que me brindan.*

Agradecimientos

A mi director de trabajo de fin de master, Dr. Félix Francés García, mi más amplio agradecimiento por la confianza y el apoyo brindado para que el presente trabajo sea posible.

A los miembros del GIHMA por sus grandes aportes y tiempo que me han dado para poder desarrollar este trabajo.

A mis compañeros del Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, por la amistad brindada.

Todo esto no hubiera posible sin el apoyo incondicional de mi amada esposa Evelyn, y al esfuerzo de mis padres Nelva y Edgardo, que a pesar de la distancia siempre estuvieron a mi lado.

A ellos, mi reconocimiento y gratitud

ÍNDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Motivación y objetivos.....	12
1.2 Estructura del documento.....	13
CAPITULO 2. MODELO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICO TETIS.....	14
2.1 Formulación del modelo	15
2.2 Parámetros del modelo.....	18
2.3 Condiciones iniciales	19
2.4 Algoritmo de optimización SCE-UA para la calibración automática del modelo TETIS.	20
CAPITULO 3. ÁREA DE ESTUDIO	21
3.1 Confederación Hidrográfica del Júcar.....	22
3.1.1 Situación Geográfica	22
3.1.2 Características climáticas generales	23
3.1.3 Topografía	23
3.1.4 Geología.....	24
3.1.5 Marco Hidrogeológico.....	25
3.1.6 Uso de suelo.....	26
CAPITULO 4. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA	29
4.1 Información meteorológica	30
4.1.1 Series de Precipitación y Temperatura.....	30
4.1.2 Evapotranspiración de referencia	32
4.2 Información hidrológica.....	36
CAPITULO 5. ESTIMACIÓN DE PARAMETROS ESPACIALES PARA LA MODELIZACIÓN	40
5.1 Parámetros derivados del MED	42
5.1.1 Mapa de elevación digital del terreno	42
5.1.2 Mapa de dirección de flujo.....	43
5.1.3 Mapa de celdas drenantes acumuladas	44
5.1.4 Mapa de pendientes	45
5.1.5 Mapa de velocidades de ladera	46
5.2 Parámetros derivados del mapa de uso de suelos	47
5.2.1 Mapa de cobertura del suelo	47
5.2.2 Factor de vegetación	48
5.2.3 Intercepción, almacenamiento superficial, y profundidad de raíces.....	55
5.3 Parámetros hidráulicos del terreno	57
5.3.1 Mapa de capacidad de almacenamiento hídrico del suelo	57
5.3.2 Capacidad de infiltración	59

5.3.3	Capacidad de percolación	60
5.3.4	Fenómenos Kársticos	62
5.4	Parámetros geomorfológicos	63
CAPITULO 6. ANÁLISIS DE LA CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN		64
6.1	Comparación de mapas de capacidad de percolación	65
6.2	Desfase temporal a escala diaria.....	68
6.3	Calibración y validación.	69
6.3.1	Estación Amadorio.....	70
6.3.2	Estación de Arenós.....	75
6.3.3	Estación de Bellús	79
6.3.4	Estación de Benageber	84
6.3.5	Estación de Beniarrés.....	88
6.3.6	Estación de Castellar.....	93
6.3.7	Estación de Guadalest.....	97
6.3.8	Estación de María Cristina.....	102
6.3.9	Estación de Pajaroncillo	106
6.3.10	Estación de Ulldecona	111
CAPITULO 7. ANALISIS DEL FLUJO SUBTERRANEO PROFUNDO.....		116
7.1	Sin modificar el FC 7	117
7.2	Modificando el FC 7.....	122
CAPITULO 8. CONCLUSIONES.....		130
CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA.....		133

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Factores correctores y parámetros	19
Tabla N° 3.1 Uso de Suelo Demarcación Hidrográfica del Júcar según Corine Land Cover 2006	27
Tabla N° 4.1 Coordenadas de las estaciones de aforo	36
Tabla N° 5.1 Mapas, escala y parámetros estimados	41
Tabla N° 5.2 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para los cultivos tipo secano no arborizado	49
Tabla N° 5.2 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para la viña	50
Tabla N° 5.4 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para el arroz	50
Tabla N° 5.5 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para el arroz	51
Tabla N° 5.6 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para el Olivo	52
Tabla N° 5.7 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para los cultivos en la categoría de Hortalizas	53
Tabla N° 5.8 Resumen del factor de vegetación mensual para la Confederación Hidrográfica del Júcar.	54
Tabla N° 5.9 Intercepción, almacenamiento en charcos y profundidad de raíces en las distintas en los distintos usos de suelo.	55
Tabla N° 5.10 Reclasificación de los mapas AWC_TOP y ROO.	57
Tabla N° 5.11 Valores de permeabilidad asignados para las diferentes categorías cualitativas de permeabilidad en los tres casos (Kp0, Kp1 y Kp2).	61
Tabla N° 5.13 Coeficientes y exponentes adoptados para la OCG.	63
Tabla N° 6.1 Resultados en la calibración automática de los distintos mapas de Kp en la estación de Pajaroncillo para el periodo 2004-2007.	67
Tabla N° 6.2 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Amadorio_8004.	70
Tabla N° 6.3 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse Amadorio_8004, para el periodo ene 2004-dic 2007.	70
Tabla N° 6.4 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Amadorio_8004.	71
Tabla N° 6.5 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Amadorio_8004, para el periodo ene 2002-dic 2003.	72
Tabla N° 6.6 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Amadorio_8004	73
Tabla N° 6.7 Resultado de la validación espacial del embalse Amadorio_8004 en las otras estaciones.	74
Tabla N° 6.8 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Amadorio_8004 en las otras estaciones.	74
Tabla N° 6.9 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Arenos_8005.	75
Tabla N° 6.10 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse Arenos_8005, para el periodo ene 2004-dic 2007.	75
Tabla N° 6.11 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Arenos_8005.	76
Tabla N° 6.12 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Arenos_8005, para el periodo ene 2002-dic 2003.	77
Tabla N° 6.13 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Arenos_8005.	77
Tabla N° 6.14 Resultado de la validación espacial del embalse Arenos_8005 en las otras estaciones.	78
Tabla N° 6.15 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Arenos_8005 en las otras estaciones.	79
Tabla N° 6.16 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Bellus_8032.	79

Tabla N° 6.17 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse Bellus_8032, para el periodo ene 2004-dic 2007.	80
Tabla N° 6.18 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Bellus_8032.	80
Tabla N° 6.19 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Bellus_8032, para el periodo ene 2002-dic 2003.	81
Tabla N° 6.20 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Bellus_8032.	82
Tabla N° 6.21 Resultado de la validación espacial del embalse Bellus_8032 en las otras estaciones.	83
Tabla N° 6.22 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Bellus_8032 en las otras estaciones.	83
Tabla N° 6.23 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Benageber_8014.	84
Tabla N° 6.24 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse Benageber_8014, para el periodo ene 2004-dic 2007.	84
Tabla N° 6.25 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Benageber_8014.	85
Tabla N° 6.26 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Benageber_8014, para el periodo ene 2002-dic 2003.	86
Tabla N° 6.27 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Benageber_8014.	86
Tabla N° 6.28 Resultado de la validación espacial del embalse Benageber_8014 en las otras estaciones.	87
Tabla N° 6.29 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Benageber_8014 en otras estaciones.	88
Tabla N° 6.30 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Beniarres_8007.	88
Tabla N° 6.31 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse Beniarres_8007, para el periodo ene 2004-dic 2007.	89
Tabla N° 6.32 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Beniarres_8007.	89
Tabla N° 6.33 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Beniarres_8007, para el periodo ene 2002-dic 2003.	90
Tabla N° 6.34 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Beniarres_8007.	91
Tabla N° 6.35 Resultado de la validación espacial del embalse Beniarres_8007 en las otras estaciones.	92
Tabla N° 6.36 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Beniarres_8007 en las otras estaciones.	92
Tabla N° 6.37 Factores correctores obtenidos en la calibración de la estación Castellar_8091.	93
Tabla N° 6.38 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración de la estación Castellar_8091, para el periodo ene 2004-dic 2007.	93
Tabla N° 6.39 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración de la estación Castellar_8091.	94
Tabla N° 6.40 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal de la estación Castellar_8091, para el periodo ene 2002-dic 2003.	95
Tabla N° 6.41 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal de la estación Castellar_8091.	95
Tabla N° 6.42 Resultado de la validación espacial de la estación Castellar_8091 en las otras estaciones.	96
Tabla N° 6.43 Resultado de la validación espacio-temporal de la estación Castellar_8091 en las otras estaciones.	97

Tabla N° 6.44 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Guadalest_8015.	97
Tabla N° 6.45 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse Guadalest_8015, para el periodo ene 2004-dic 2007.....	98
Tabla N° 6.46 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Guadalest_8015.	98
Tabla N° 6.47 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Guadalest_8015, para el periodo ene 2002-dic 2003.....	99
Tabla N° 6.48 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Guadalest_8015.	100
Tabla N° 6.49 Resultado de la validación espacial del embalse Guadalest_8015 en las otras estaciones.	101
Tabla N° 6.50 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Guadalest_8015 en las otras estaciones.	101
Tabla N° 6.51 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse María Cristina_8017....	102
Tabla N° 6.52 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse María Cristina_8017, para el periodo ene 2004-dic 2007.....	102
Tabla N° 6.53 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse María Cristina_8017.	103
Tabla N° 6.54 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse María Cristina_8017, para el periodo ene 2002-dic 2003.....	104
Tabla N° 6.55 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse María Cristina_8017.	104
Tabla N° 6.56 Resultado de la validación espacial del embalse María Cristina_8017 en las otras estaciones.	105
Tabla N° 6.57 Resultado de la validación espacio-temporal, embalse María Cristina_8017.	106
Tabla N° 6.58 Factores correctores obtenidos en la calibración de la estación Pajaroncillo_8090....	106
Tabla N° 6.59 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración de la estación Pajaroncillo_8090, para el periodo ene 2004-dic 2007.....	107
Tabla N° 6.60 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal de la estación Pajaroncillo_8090.	107
Tabla N° 6.61 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal de la estación Pajaroncillo_8090, para el periodo ene 2002-dic 2003.....	108
Tabla N° 6.62 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal de la estación Pajaroncillo_8090.	109
Tabla N° 6.63 Resultado de la validación espacial de la estación Pajaroncillo_8090 en las otras estaciones.	110
Tabla N° 6.64 Resultado de la validación espacio-temporal de la estación Pajaroncillo_8090 en las otras estaciones.	110
<i>Tabla N° 6.65 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Ulldecona_8025.</i>	<i>111</i>
Tabla N° 6.66 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse Ulldecona_8025, para el periodo ene 2004-dic 2007.	111
Tabla N° 6.67 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Ulldecona_8025.....	112
Tabla N° 6.68 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Ulldecona_8025, para el periodo ene 2002-dic 2003.	113
Tabla N° 6.69 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Ulldecona_8025.....	113
Tabla N° 6.70 Resultado de la validación espacial del embalse Ulldecona_8025 en las otras estaciones.	114

Tabla N° 6.71 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Uldecona_8025 en las otras estaciones.	115
Tabla N° 7.1 Resumen del periodo de validación espacial en todas las estaciones utilizando el mapa Kp1_15.	118
Tabla N° 7.2 Resumen del periodo de validación espacio-temporal en todas las estaciones utilizando el mapa Kp1_15.	119
Tabla N° 7.3 Resumen del periodo de validación espacial en todas las estaciones para el caso Kp1_15 1 Día.	120
Tabla N° 7.4 Resumen del periodo de validación espacio-temporal en todas las estaciones para el caso Kp1_15 1 Día.	121
<i>Tabla N° 7.5 Resumen de la modificación del FC 7 para el caso Kp1_15_1 Día.</i>	<i>122</i>
Tabla N° 7.6 Resumen del periodo de validación espacial modificando el FC 7 en todas las estaciones utilizando el mapa Kp1_15.	123
Tabla N° 7.7 Resumen del periodo de validación espacio-temporal modificando el FC 7 en todas las estaciones utilizando el mapa Kp1_15.	125
Tabla N° 7.8 Resumen del periodo de validación espacial modificando el FC 7 en todas las estaciones en el caso Kp1_15_1 Día.	126
Tabla N° 7.9 Resumen del periodo de validación espacio-temporal modificando el FC 7 en todas las estaciones en el caso Kp1_15_1 Día.	128

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Esquema conceptual a escala de celda del modelo distribuido TETIS	16
Figura N° 2.2 Movimiento vertical y horizontal en el modelo TETIS.....	17
Figura N° 2.3 Descripción esquemática de un parámetro efectivo para un flujo a través de un medio poroso heterogéneo (Grayson, R. y Blöschl, G., 2001)	18
Figura N° 3.3 Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.....	22
Figura N° 3.3 Polígono de frecuencia y altitud media – Demarcación Hidrográfica del Júcar.	24
Figura N° 3.4 Agrupaciones litológicas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (Fuente: Pagina web de la “Confederación Hidrográfica del Júcar”-Marco físico).....	25
Figura N° 3.5 Formaciones hidrogeológicas permeables (Fuente: IGME/Mapa de permeabilidades 1:200000)	26
Figura N° 3.6 Porcentaje de distribución espacial del uso del suelo en la Demarcación Hidrográfica del Júcar según el proyecto Corine Land Cover 2006.....	28
Figura N° 4.1 Mapa de distribución de rejillas de los puntos interpolados del proyecto SPAIN02V4 ...	30
Figura N° 4.2 Mapa de Precipitación media anual de la serie SPAIN02V4, periodo 1971-2010	31
Figura N° 4.3 Mapa de Temperatura media anual de la serie SPAIN02V4, periodo 1971-2008.....	32
Figura N° 4.4 Mapa de precipitación y evapotranspiración media mensual de la serie SPAIN02V4, en las cuencas de los embalses de Arenós y Benageber para el periodo 1971-2007.....	33
Figura N° 4.5 Mapa de precipitación y evapotranspiración media mensual de la serie SPAIN02V4, en las cuencas de los embalses de María Cristina y Ulldecona para el periodo 1971-2007	34
Figura N° 4.6 Mapa de precipitación y evapotranspiración media mensual de la serie SPAIN02V4, en las cuencas de los embalses de Bellús y Beniarrés para el periodo 1971-2007	34
Figura N° 4.7 Mapa de precipitación y evapotranspiración media mensual de la serie SPAIN02V4, en las cuencas de los embalses de Amadorio y Guadalest para el periodo 1971-2007.....	35
Figura N° 4.8 Mapa de precipitación y evapotranspiración media mensual de la serie SPAIN02V4, en las cuencas de las estaciones de aforo de Castellar y Pajaroncillo para el periodo 1971-2007.....	35
Figura N° 4.9 Ubicación de las estaciones de aforo.....	36
Figura N° 4.10 Evolución de la aportación anual (a) y Aportación media mensual (b), en los embalses de Benageber y Arenós para la serie 1999-2007.	37
Figura N° 4.11 Evolución de la aportación anual (a) y Aportación media mensual (b), en las estaciones de aforo de Castellar y Pajaroncillo para la serie 1999-2007.	37
Figura N° 4.12 Evolución de la aportación anual (a) y Aportación media mensual (b), en los embalses de Beniarrés y Bellús para la serie 1999-2007.	38
Figura N° 4.13 Evolución de la aportación anual (a) y Aportación media mensual (b), en los embalses de María Cristina y Ulldecona para la serie 1999-2007.....	39
Figura N° 4.14 Evolución de la aportación anual (a) y Aportación media mensual (b), en los embalses de Amadorio y Guadalest para la serie 1999-2007.....	39
Figura N° 5.1 Mapa del modelo de elevación digital del terreno, Confederación Hidrográfica del Júcar	42
Figura N° 5.2 Mapa de dirección de flujo, Confederación Hidrográfica del Júcar.....	43
Figura N° 5.3 Mapa de celdas drenantes acumuladas, Confederación Hidrográfica del Júcar	44
Figura N° 5.4 Mapa de pendientes, Confederación Hidrográfica del Júcar	45
Figura N° 5.5 Mapa de velocidad de ladera, Confederación Hidrográfica del Júcar	46
Figura N° 5.6 Mapa de uso del suelo, Confederación Hidrográfica del Júcar	47
Figura N° 5.7 Valores típicos del valor de Kc para las etapas de crecimiento del cultivo.....	48
Figura N° 5.8 Distribución mensual del factor de vegetación para cada cultivo.	49
Figura N° 5.9 Distribución mensual del factor de vegetación medio para la categoría secano no arborizado.....	49
Figura N° 5.10 Distribución mensual del factor de vegetación para la categoría viña.....	50
Figura N° 5.11 Distribución mensual del factor de vegetación para la categoría Arroz.....	51

Figura N° 5.12 Distribución mensual del factor de vegetación para todas las variedades de frutales..	51
Figura N° 5.13 Distribución mensual del factor de vegetación media para la categoría de Frutales. ...	52
Figura N° 5.14 Distribución mensual del factor de vegetación para la categoría del Olivo.....	52
Figura N° 5.15 Distribución mensual de los factores de vegetación, considerados en la categoría de hortalizas.....	53
Figura N° 5.16 Distribución mensual de los factores de vegetación en la CHJ.	54
Figura N° 5.17 (a) Almacenamiento en charcos, (b) Intercepción, (c) Almacenamiento en pendiente y (d) profundidad de raíces.....	57
Figura N° 5.18 (a) Mapa reclasificado AWC_TOP y (b) Mapa reclasificado ROO.	58
Figura N° 5.19 Mapa de capacidad de almacenamiento hídrico del suelo Hu.	58
Figura N° 5.20 Mapa capacidad de infiltración Ks (mm/hora)	59
Figura N° 5.21 (a) Permeabilidad en material consolidado y (b) permeabilidad en material no consolidado.....	60
Figura N° 5.22 Mapa de permeabilidad cualitativa del IGME.	62
Figura N° 6.1 Desfase temporal entre los datos de precipitación y de aforo en el embalse de María Cristina.	69
Figura N° 6.2 Desfase temporal entre los datos de precipitación y de aforo en el embalse de Beniarrés.....	69
Figura N° 6.3 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Amadorio_8004, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.....	71
Figura N° 6.4 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Amadorio_8004, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.	73
Figura N° 6.5 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Arenos_8005, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.....	76
Figura N° 6.6 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Arenos_8005, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.....	78
Figura N° 6.7 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Bellus_8032, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.....	81
Figura N° 6.8 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Bellus_8032, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.....	82
Figura N° 6.9 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Benageber_8014, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.....	85
Figura N° 6.10 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Benageber_8014, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.	87
Figura N° 6.11 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Beniarres_8007, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.....	90
Figura N° 6.12 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Beniarres_8007, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.....	91
Figura N° 6.13 Hidrograma resultante de la calibración de la estación Castellar_8091, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.....	94
Figura N° 6.14 Hidrograma resultante de la validación temporal de la estación Castellar_8091, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.....	96
Figura N° 6.15 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Guadalest_8015, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.....	99
Figura N° 6.16 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Guadalest_8015, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.	100
Figura N° 6.17 Hidrograma resultante de la calibración del embalse María Cristina_8017, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.....	103

<i>Figura N° 6.18 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse María Cristina_8017, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.</i>	105
<i>Figura N° 6.19 Hidrograma resultante de la calibración de la estación Pajaroncillo_8090, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.</i>	108
<i>Figura N° 6.20 Hidrograma resultante de la validación temporal de la estación Pajaroncillo_8090, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.</i>	109
<i>Figura N° 6.21 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Ulldecona_8025, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.</i>	112
<i>Figura N° 6.22 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Ulldecona_8025, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.</i>	114
<i>Figura N° 7.1 (a) y (b) precipitación anual, (c) y (d) precipitación media mensual del periodo 1991-2007 empleando datos de precipitación del proyecto Spain02V04</i>	129

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación y objetivos

La dinámica poblacional genera una creciente necesidad de contar con los recursos hídricos necesarios para cubrir la demanda de la población, por tal motivo es necesario tener una mejor comprensión de los procesos del ciclo hidrológico; es así que la modelación hidrológica ha tomado mayor importancia, ya que es una herramienta que permite de forma simplificada, simular los procesos hidrológicos. El estudio de estos procesos brindan un instrumento que sirve de apoyo en trabajos relacionados a la utilización del agua tales como: gestión del recurso, calidad del agua, protección contra avenidas y recreación. Dentro de las técnicas y tipos de modelos generados hasta la actualidad, la modelación distribuida viene siendo mayormente desarrollada, dado el incremento de la capacidad de procesamiento en los ordenadores, desarrollo en la cartografía digital con mayor resolución y la disponibilidad de información hidrometeorológica espacialmente distribuida. La ventaja de la modelación distribuida es que podemos contar con una variabilidad espacial de input y parámetros, del mismo modo se puede obtener resultados en cualquier punto de la cuenca.

La representatividad de un modelo hidrológico es analizada mediante la calibración y validación del modelo, donde son comparados los datos observados (normalmente caudales) y simulados, con el objetivo de medir la similitud de dichos datos. Dado que la mayor cantidad de veces en el punto de interés no se cuenta con estaciones de aforo, se hace muy necesario realizar estudios que permitan extrapolar la calibración de cuencas aforadas a cuencas no aforadas o con series de datos incompletos.

El objetivo general del presente trabajo es explorar las posibilidades de extrapolar la calibración de cuencas aforadas a no aforadas o con serie de datos faltantes, haciendo uso de la modelación hidrológica distribuida a una escala diaria y con información estándar, dentro de un estudio de carácter regional.

El estudio se ha desarrollado en 10 estaciones de aforo, ubicadas dentro del ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Este entorno se caracteriza por la presencia de abundantes zonas kársticas. Los fenómenos kársticos son cavidades generadas en el subsuelo por la disolución de las rocas calcáreas, que pueden influir de dos maneras en el ciclo hidrológico: una de ellas es actuar como un sumidero, impidiendo el traslado del flujo subterráneo y la otra muy distinta sería el incrementar la velocidad de respuesta de la cuenca. Viendo la influencia del karst en los procesos de la cuenca y dada la naturaleza del presente estudio, es necesario incluir en la modelación estos fenómenos.

La toma de datos hidrometeorológicos, incluso a una escala diaria, es muy variada. Esto debido a que los datos son registrados usualmente en diferentes intervalos de tiempo, por ejemplo: la lluvia de 07:00 a 19:00, el caudal en las estaciones de aforo de 00:00 a 24:00 y en los embalse al final del día. Si a lo anterior unimos, que la cuenca en estudio tiene un tiempo de respuesta alto y que la lluvia se concentra al final del intervalo de registro, ocasionaría que el caudal sea registrado al día siguiente de ocurrida la precipitación. De esta manera se forzaría al modelo a simular un desfase diario, cuando realmente es de unas pocas horas.

Para cumplir el objetivo general en este caso de estudio se han desarrollado los siguientes objetivos específicos:

- Caracterización hidrológica y climática de las cuencas en estudio.
- Recopilación de datos existentes, estimación de parámetros necesarios para la simulación en el modelo TETIS y desarrollo de una metodología para incluir los fenómenos kársticos.
- Presentación de los resultados del análisis en la calibración y validación, en este resultado también se incluye el desfase de los datos.
- Analizar la extrapolación del reparto del flujo subterráneo en el modelo TETIS.

1.2 Estructura del documento

El presente trabajo cuenta con 9 capítulos los cuales se describen a continuación para poder contar con una perspectiva general.

El capítulo 1 presenta la introducción, donde se describe brevemente el motivo y los objetivos del trabajo. En el capítulo 2 se describe las características principales del modelo hidrológico distribuido TETIS, tales como la formulación del modelo, parámetros, condiciones iniciales y su algoritmo de optimización SCE-UA.

El capítulo 3 describe de manera general las características de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tales como la situación geográfica, características climáticas, topografía, geología, hidrogeología y uso de suelo. En el capítulo 4 se presenta la descripción y análisis de los datos hidrometeorológicos de las 10 cuencas en estudio.

En el capítulo 5 se describe la estimación de los parámetros espaciales necesarios para la implementación del modelo TETIS.

En el capítulo 6 se muestra el análisis de la calibración y validación cruzada entre las 10 cuencas, como si fuesen cuencas no aforadas, del mismo modo se analiza la importancia de la introducción de los fenómenos kársticos en el modelamiento hidrológico. Dado la existencia de un desfase temporal entre los datos, se incluyó también este caso en el análisis de este capítulo. En el capítulo 7 se analiza la extrapolación del reparto del flujo subterráneo en el modelo TETIS y en el capítulo 8 se sintetizan las principales conclusiones del trabajo.

CAPITULO 2. MODELO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICO TETIS

El modelo de simulación hidrológica distribuida TETIS desarrollado por el instituto de Ingeniería Del Agua Y Medio Ambiente (IIAMA) de la universidad politécnica de valencia tiene como propósito conseguir de la mejor forma posible la respuesta hidrológica producida por la precipitación de lluvia o nieve, considerando los diferentes procesos físicos involucrados.

El modelo representa a la cuenca en una malla de celdas que están conectadas entre sí por la distribución topográfica, de modo que cada celda tiene un valor afiliado para los distintos parámetros necesarios para una adecuada caracterización.

El modelo incorpora adecuadamente la variabilidad espacial de los ciclos hidrológicos y su base conceptual, por eso necesita de partida 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).

A continuación se realiza una descripción más detallada del modelo TETIS, presentando su estructura, los procesos internos, parámetros del modelo, las condiciones iniciales y finalmente el algoritmo de calibración automática (SCE-UA), basada en las siguientes referencias: (Vélez, 2001), (Francés, F., Vélez, J.J. et al, 2007), (J.J., 2008), (Vélez, J.J. y Francés, F., 2009), (Bussi, 2010).

2.1 Formulación del modelo

En el modelo distribuido TETIS el proceso lluvia-escorrentía se representa mediante un balance hídrico en cada celda y en el intervalo de tiempo que se considere en la modelación, asumiendo que el agua se distribuye en seis tanques de almacenamiento conceptuales e interconectados (Figura. 2.1) que representan el almacenamiento del agua en una columna de suelo los cuales son: intercepción, nieve, almacenamiento estático, almacenamientos superficial, gravitacional y acuífero.

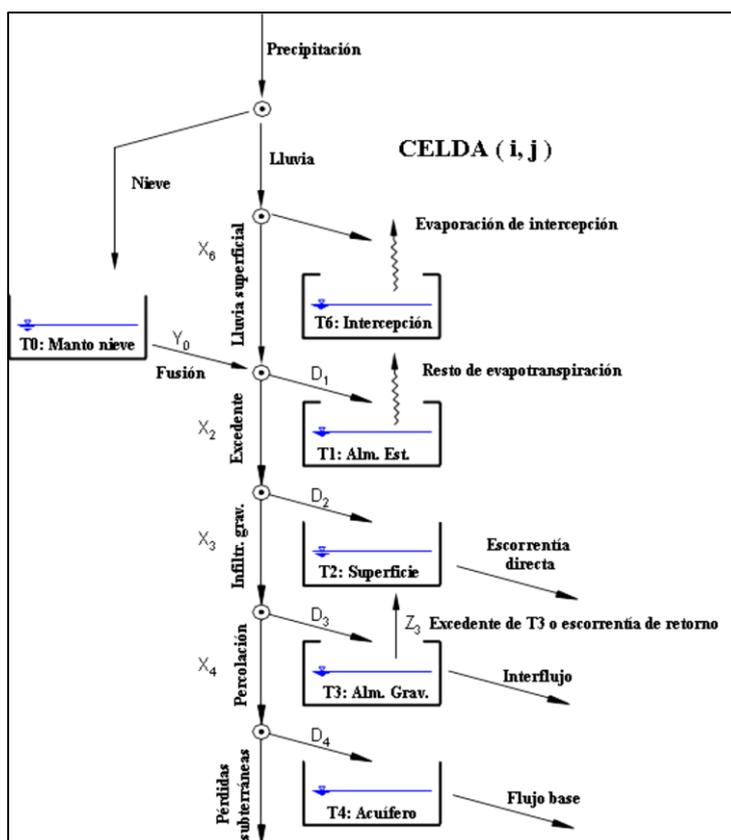


Figura N° 2.1 Esquema conceptual a escala de celda del modelo distribuido TETIS
Fuente: Descripción del modelo conceptual distribuido TETIS, DIHMA, UPV

El flujo entre los tanques es función del agua almacenada en ellos, por lo que las variables de estado son los volúmenes almacenados en cada uno de los tanques. La función que relaciona el flujo con estas variables de estado es función del esquema conceptual adoptado, del tipo de tanque y de las características morfológicas de la celda e hidrológicas del suelo en la misma.

Los flujos verticales entre cada tanque representan los procesos hidrológicos: lluvia (X_1), nieve (X_0), lluvia directa (X_6), excedente (X_2), infiltración (X_3), percolación (X_4) y pérdidas subterráneas (X_5). Los horizontales representan: escorrentía directa (Y_2), interflujo (Y_3) y flujo base (Y_4). Además existen dos flujos de salida: evapotranspiración (Y_1) y evaporación del agua interceptada (Y_6).

El modelo TETIS conceptualmente es una malla interconectada en tres direcciones (Figura 2.2). Los tres tanques inferiores drenan hacia el correspondiente tanque aguas abajo, siguiendo las direcciones del flujo dado por el MED hasta alcanzar la red de drenaje formada por cárcavas y cauces.

El sistema presenta tres elementos diferenciados, definidos por las áreas umbrales para que las diferentes componentes de la escorrentía salgan a la superficie: las laderas, las cárcavas y los cauces.

En las laderas el flujo superficial tiene lugar en combinación entre flujo laminar y a través de una red de surcos. A la vez, el interflujo y el flujo base se originan en las capas de suelo. Una vez el

interflujo, en su recorrido, alcanza una celda con área drenada superior al área umbral para el interflujo, sale a la superficie, incorporándose a la escorrentía superficial que fluye en las cárcavas. Lo mismo ocurre cuando el flujo base alcanza una celda cuya área drenada es superior al umbral para el flujo base; a partir de este punto, las tres salidas de agua se reunirán en un cauce.

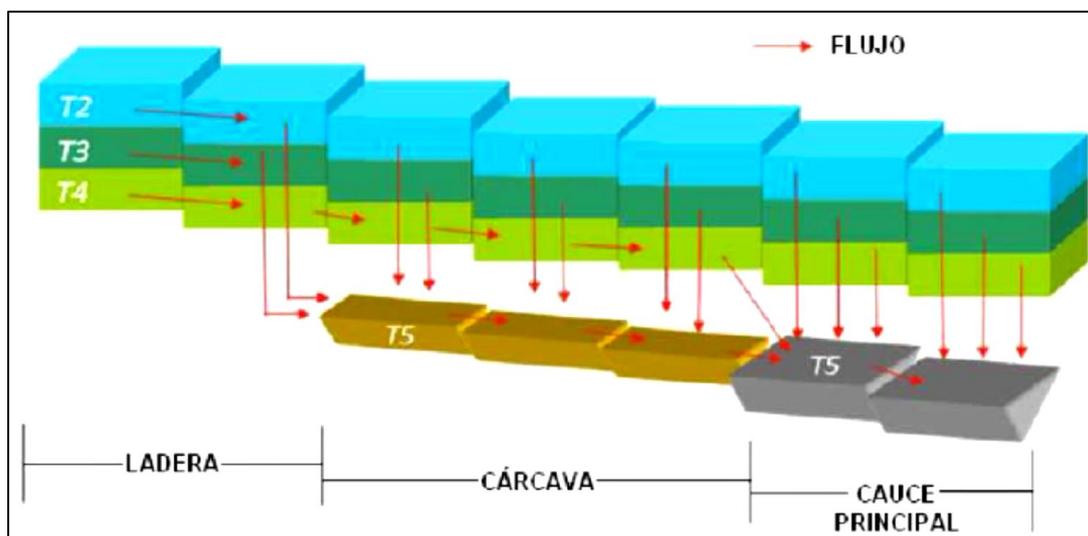


Figura N° 2.2 Movimiento vertical y horizontal en el modelo TETIS
Fuente: Descripción del modelo conceptual distribuido TETIS, DIHMA, UPV

El transporte del flujo a lo largo de la red de cauce hasta la desembocadura de la cuenca utilizado en el modelo TETIS se realiza mediante la combinación de la metodología de la onda cinemática y la información geomorfológica de la cuenca, a esta combinación se la ha nombrado como onda cinemática geomorfológica (OCG).

Las relaciones que se emplean en el modelo son:

Relación entre el caudal a sección llena Q_b con el área acumulada Λ de una determinada sección del cauce. Siendo κ el coeficiente y φ el exponente según la expresión:

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

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 $c2$ (*) el coeficiente y $\varepsilon2$ el exponente según la expresión:

$$w = a2 * Q^{\alpha2}$$

(*): En la expresión anterior, no es necesario estimar un valor para el coeficiente $a2$, al estar completamente determinado en función del caudal a banca llena y del ancho de la sección dominante. En efecto, si:

$$Q_t = Q_b : w = wb, a2 = wb * Q_b^{-\alpha2}.$$

Relación entre el diámetro característico del sedimento d , la pendiente del cauce s_0 y el calado y . Siendo cd el coeficiente y θ el exponente, según la expresión.

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

Relación entre el coeficiente de rugosidad n y el diámetro característico del sedimento d . Siendo cn el coeficiente y ξ el exponente según la expresión:

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

2.2 Parámetros del modelo

Los parámetros representan las características del sistema a modelar y dado que en el caso del modelo TETIS, el cual divide a la cuenca en una malla de celdas se hace imprescindible representar cada celda con un valor uniforme del parámetro.

Se puede asumir que un valor medido en el interior de la celda (de varios metros o kilómetros) sea el representativo de la misma, sin embargo realmente una celda hidrológicamente se comporta de una manera muy diferente a la de un punto, como puede ser en el caso de un parámetro de conductividad hidráulica del suelo que es obtenido a partir de unos centímetros del suelo, por lo que el valor medido no suele ser representativo de una celda entera (Grayson, R. y Blöschl, G., 2001)

En TETIS se ajusta el parámetro para que los resultados del modelo se acerquen a los valores observados de la variable de salida (calibrar el valor del parámetro), entonces el parámetro pierde su significado físico y representa algo similar a un valor medio en la celda llamándose entonces 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).

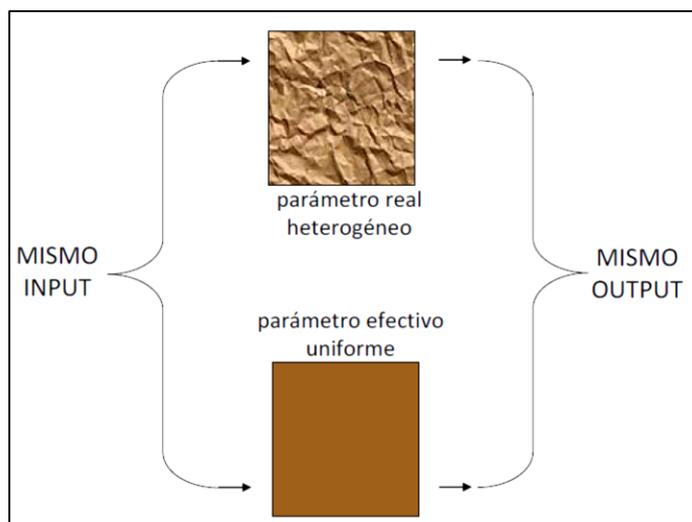


Figura N° 2.3 Descripción esquemática de un parámetro efectivo para un flujo a través de un medio poroso heterogéneo (Grayson, R. y Blöschl, G., 2001)

Las características físicas expresan el valor 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 las distintas fuentes citadas anteriormente. 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. Asimismo, siendo 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: $\theta_{i,j} = R_i \cdot \theta_i$, $j=1, \dots, n$, $i=1, \dots, p$.

Donde:

θ_i , es el parámetro efectivo i-ésimo 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.

p es el número total de parámetros por celda.

La virtud de usar una estructura del parámetro como esta es que, en la fase de calibración se reduce notablemente el número de variables que deben ser ajustadas, siendo necesario calibrar solamente de forma global el parámetro y no el mismo en cada celda.

El modelo hidrológico TETIS cuenta con 9 factores correctores (Tabla 2.1) que podrán ser ajustados en la calibración.

Tabla Nº 2.1 Factores correctores y parámetros

Factor corrector (Rj)	Parámetro ($\theta_{i,j}$)	Símbolo
FC1	Capacidad de almacenamiento hídrico	Hu
FC2	Índice de cobertura de vegetación	λ
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 poder realizar la simulación hidrológica será necesario precisar las condiciones iniciales de las variables de estado las cuales en el modelo TETIS son:

Ho, Nivel de agua equivalente en el manto de nieve.

H6, Almacenamiento del tanque de intercepción.

H1, Almacenamiento estático.

H2, Almacenamiento superficial.

H3, Almacenamiento gravitacional.

H4. Almacenamiento en acuíferos.

Una posibilidad para considerar niveles distribuidos en el espacio (un valor para cada celda) es definir los valores iniciales de los almacenamientos como los producidos por una simulación anterior, por ejemplo de un periodo de calentamiento. El programa también permite utilizar valores de estado inicial definidos por el usuario, pero homogéneos por regiones.

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

El método SCE-UA "Shuffled Complex Evolution - University of Arizona" que puede encontrarse en publicaciones (Duan, Q. Sorooshian, S. y Gupta, V.K., 1994), donde según sus autores el método SCE-UA es una estrategia de optimización global diseñada para ser efectiva y eficiente frente a una gran gama de problemas. El objetivo del método es explorar el conjunto óptimo de parámetros que minimicen una función objetivo, para luego comparar una variable observada y una simulada por el modelo, habitualmente 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 las funciones objetivos que se usaran para la calibración automática de los parámetros y en la validación del modelo son el error cuadrático medio, RMSE y el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe, NSE:

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

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

Donde:

\hat{Q}_i es el caudal simulado.

Q_i es el caudal observado.

\bar{Q} es el valor medio de los caudales observados.

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 (Kothyari, U. C. y Singh, V. P., 1999)

CAPITULO 3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Confederación Hidrográfica del Júcar

3.1.1 Situación Geográfica

La confederación Hidrográfica del Júcar tiene una superficie total 42, 851 Km², que se extiende dentro de las Comunidades Autónomas de Aragón, Castilla-La Mancha, Cataluña, Valencia y la región de Murcia. En la Figura 3.3 se observa los límites geográficos y la red hidrográfica de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Límites de la CHJ

- Norte : Demarcación del Ebro
- Sur : Demarcación del Segura
- Oeste : Demarcación del Tajo, Guadiana y Guadalquivir.
- Este : El Mediterráneo



Figura N° 3.1 *Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.*
Fuente: *Plan Hidrológico De La Demarcación Hidrográfica Del Júcar 2015-2021-Memoria*

3.1.2 Características climáticas generales

El clima en la Demarcación Hidrográfica del Júcar es un clima típico mediterráneo, con veranos cálidos y con inviernos suaves. Las máximas temperaturas se registran en los meses de julio y agosto, coincidiendo con la estación seca. Las temperaturas medias anuales varían entre los 8 y los 20 °C. La pluviosidad media anual es de unos 550 mm, sin embargo existe una gran variabilidad espacial de la lluvia, con valores que van desde 350 hasta 900 mm.

Se podrían distinguir cuatro zonas climáticas:

Una primera zona abarcaría desde el litoral ubicado en la frontera con Cataluña, al norte, y Cullera al sur: Las precipitaciones anuales se sitúan en el entorno de los 500-700 mm, exceptuando las llanuras centrales de Valencia en la que desciende entre 400 y 500 mm, con un máximo principal en otoño seguido por la estación de primavera, luego por un periodo seco estival.

La segunda zona climática, que se extiende hacia el sur hasta Alicante, es más lluviosa, situándose las precipitaciones anuales entre 550 y 850 mm. El otoño sigue siendo la estación más lluviosa, seguida de la primavera. La sequía estival es muy marcada.

La tercera zona correspondería a la zona de Cuenca y Teruel, desde el norte hasta El Peral por el sur. La precipitación es similar a la de la zona anterior, aunque con zonas que pueden alcanzar los 900 mm y con unas temperaturas ligeramente más bajas debido a la mayor continentalidad y a la mayor altitud (11°C de media anual).

La cuarta zona, situada al sur, desde El Peral hasta los límites con la Demarcación Hidrográfica del Segura, es la más árida de las cuatro con una precipitación media anual de 380 mm y temperaturas ligeramente superiores (14° de media anual).

3.1.3 Topografía

La topografía de la Confederación Hidrográfica del Júcar se ha caracterizado haciendo uso del modelo de elevación digital de resolución de 500x500 del Instituto Geográfico Nacional IGN de España. La Demarcación Hidrográfica del Júcar se encuentra entre las cotas 0 y 1994 m.s.n.m., teniendo altitudes mayormente por debajo de los 1000 m.s.n.m.

A) Polígonos de frecuencia

La distribución del porcentaje de superficie ocupada por diferentes intervalos de alturas para la CHJ se observan en la Figura 3.3, donde se aprecia que el rango de altitud más frecuente es 700 a 800 m.s.n.m., con un área de 5548 Km² teniendo un porcentaje de 13%.

B) Altitud media

Se refiere a la ordenada de la curva hipsométrica que a la que corresponde el 50% del área acumulada, también puede calcularse mediante un promedio ponderado de elevación y área de la cuenca, se obtuvo como resultado que la altitud media de la Demarcación Hidrográfica del Júcar es de 753.5 m.s.n.m.

En la Figura 3.3 se muestra en el eje de las abscisas inferior el porcentaje de área acumulada y en la parte superior de las abscisas el porcentaje de área entre cada intervalo de altitudes, representando cada una la curva hipsométrica y el polígono de frecuencia respectivamente.

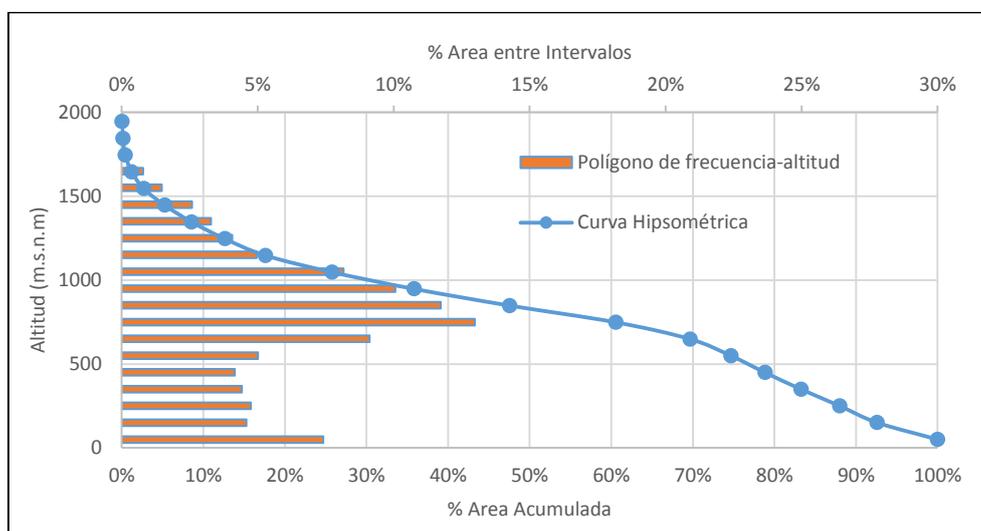


Figura N° 3.2 Polígono de frecuencia y altitud media – Demarcación Hidrográfica del Júcar.

3.1.4 Geología

Se pueden distinguir tres clases de formaciones geológicas:

Primero se tiene formaciones carbonatadas del Mesozoico, con permeabilidades que varían entre baja y muy alta. Estas formaciones están presentes mayormente en los sectores septentrionales y suroccidental de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Seguidamente las formaciones detríticas y carbonatadas del Terciario, con permeabilidades que varían entre bajas y altas. Dichas formaciones predominan en el sector central y centro occidental de la demarcación, y coinciden con los cursos medios de los ríos Júcar y Cabriel. Así mismo se describen extensos brotes de estas formaciones en la zona de la fosa de Teruel, el curso alto y medio del río Mijares e igualmente en el sector de la zona del Bajo Vinalopó. En general predominan las formaciones detríticas sobre las carbonatadas.

Por ultimo las formaciones detríticas del Cuaternario, con permeabilidades variables entre medias y muy altas. Estas formaciones destacan en las llanuras litorales del sector oriental de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, entre las que sobresalen las planas de Vinaroz, Oropesa-Torreblanca, Castellón, Sagunto, Valencia, Jaraco, Gandía, Oliva- Pego, Ondara-Denia y el Bajo Vinalopó.

En la Figura 3.4 se muestra las distintas agrupaciones litológicas presentes en la Demarcación Hidrográfica del Júcar:

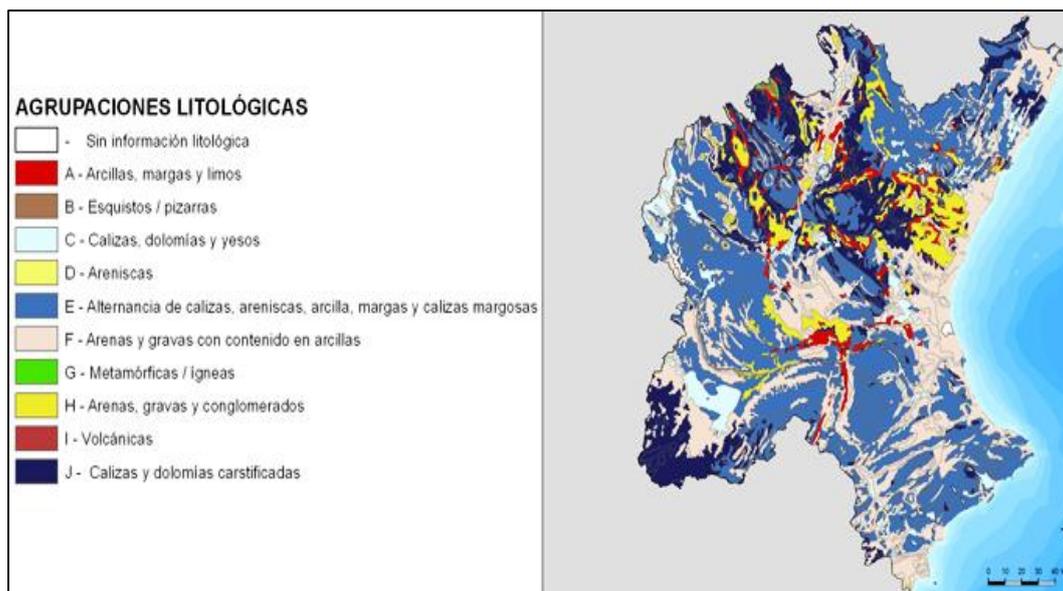


Figura Nº 3.3 Agrupaciones litológicas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (Fuente: Pagina web de la "Confederación Hidrográfica del Júcar"-Marco físico)

3.1.5 Marco Hidrogeológico

Para caracterizar el marco hidrogeológico dentro del ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, se ha tomado como fuente de apoyo el mapa cualitativo de permeabilidades, con el que cuenta el Instituto Geológico y Minero De España (IGME), a un escala 1:200.000, el cual tiene una diferenciación basado en cinco grados de permeabilidades: Muy Alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja. Se detalla también en este mapa, siete grupos de rocas (carbonatadas, detrítica, detrítica (cuaternario), metadetrítica, ígneas, volcánicas y evaporíticas).

En la Figura 3.5 se puede observar que al norte de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, sobresalen las zonas carbonatadas sobre las otras formaciones, con grados de permeabilidad entre medio y alto.

A lo largo del litoral de la Demarcación Hidrográfica del Júcar destaca mayoritariamente la formación detrítica (cuaternario), con una permeabilidad en su mayoría de grado medio. El ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar tiene 90 masas de agua subterránea y 26 masas de agua impermeables.

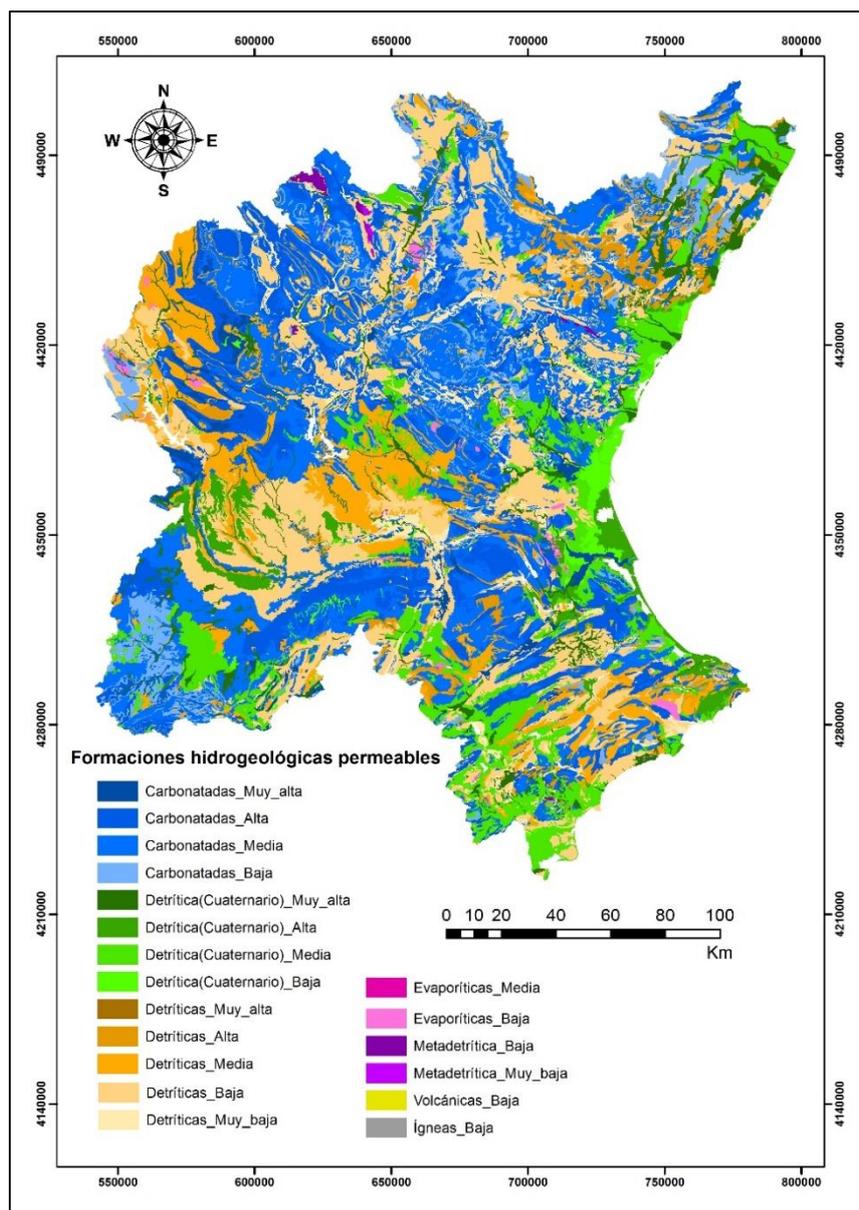


Figura N° 3.4 Formaciones hidrogeológicas permeables (Fuente: IGME/Mapa de permeabilidades 1:200000)

3.1.6 Uso de suelo

El ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar tiene una superficie total de 42,765 Km², de lo cual el 2.54% es de uso urbano. Se tiene un área cultivada de 19,825.75 Km², de lo cual el 31% pertenece a los cultivos de secano, seguido por las hortalizas con un 29% y los frutales con 24%. Del total de usos, el que predomina en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, son los matorrales con un 31.61% (13,516.75 Km²).

Los cultivos de secano predominan en la provincia de Albacete (50%) y Teruel (30%) que se encuentran dentro de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. La zona de Valencia, Castellón y Alicante se tiene mayor presencia de matorrales, arroz, frutales. La zona norte de Castellón es ocupada por el Olivo.

La provincia de Cuenca perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Júcar aproximadamente tiene un 30% cubierto por matorrales, y el resto por bosques y cultivos de secano. Para el presente estudio se utilizó el mapa de usos de suelo nivel 3 del proyecto Corine Land Cover 2006, el cual tiene una escala de 1:100.000. Las categorías presentes en el área de estudio se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla Nº 3.1 Uso de Suelo Demarcación Hidrográfica del Júcar según Corine Land Cover 2006

Código CLC	uso de suelo	Área (Km2)	Porcentaje
111	Tejido urbano continuo	349	0.82%
112	Tejido urbano discontinuo	361.25	0.84%
121	Zonas industriales o comerciales	193.75	0.45%
122	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	8	0.02%
123	Zonas portuarias	11.25	0.03%
124	Aeropuertos	16.25	0.04%
131	Zonas de extracción minera	49.75	0.12%
132	Escombreras y vertederos	0.5	0.00%
133	Zonas en construcción	92.25	0.22%
141	Áreas verdes urbanas	2.75	0.01%
142	Instalaciones deportivas y recreativas	19	0.04%
211	Tierras de labor en secano, cultivo de no regadío	6029.5	14.10%
212	Terrenos regados permanentemente	1504.25	3.52%
213	Arrozales	173.5	0.41%
221	Viñedos	1210	2.83%
222	Frutales (secano y regadio)	2651.5	6.20%
223	Olivares	469.75	1.10%
231	Prados y praderas	0.5	0.00%
241	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	48.5	0.11%
242	Mosaico de cultivos	5541.5	12.96%
243	Terreno principalmente agrícolas	2023.25	4.73%
244	Sistemas agroforestales	150.75	0.35%
311	Bosques de frondosas	685.25	1.60%
312	Bosques de coníferas	5334.5	12.47%
313	Bosques mixtos	782.5	1.83%
321	Pastizales naturales	1091.75	2.55%
323	Matorrales esclerófilos	7479	17.49%
324	Matorral Boscoso de transición, arbustos	6038.5	14.12%
331	Playas, dunas y arenales	31.25	0.07%
332	Roca desnuda	78.25	0.18%
333	Áreas con escasa vegetación	94.75	0.22%
334	Zonas quemadas	32.5	0.08%
411	Humedales y zonas pantanosas	9	0.02%
421	Marismas	27	0.06%
422	Salinas	15	0.04%
511	Cursos de agua	3	0.01%
512	Láminas de agua	107.5	0.25%
521	Lagunas costeras	24.5	0.06%
523	Mares y océanos	21	0.05%
	TOTAL	42762	100%

Los distintos usos de suelos fueron agrupados en 13 clasificaciones para el cálculo del factor de vegetación. Estas clasificaciones y el porcentaje que ocupan dentro de la CHJ, se observan en la Figura 3.6.

Urbano: 111, 112, 121, 122, 123, 124, 131, 132, 133, 141 y 142.

Secano no arborizado: 211 y 241

Cultivos regados: 212

Arroz: 213

Viñedo: 221

Frutales: 222

Olivo: 223

Pastizal natural: 231 y 321

Hortalizas: 242 y 244

Bosques: 311, 312 y 313

Montaña matorral: 322, 323 y 324

Vegetación escasa: 331, 332, 333 y 334

Agua continental: 411, 412, 421, 422, 423, 511, 512, 521, 522 y 523

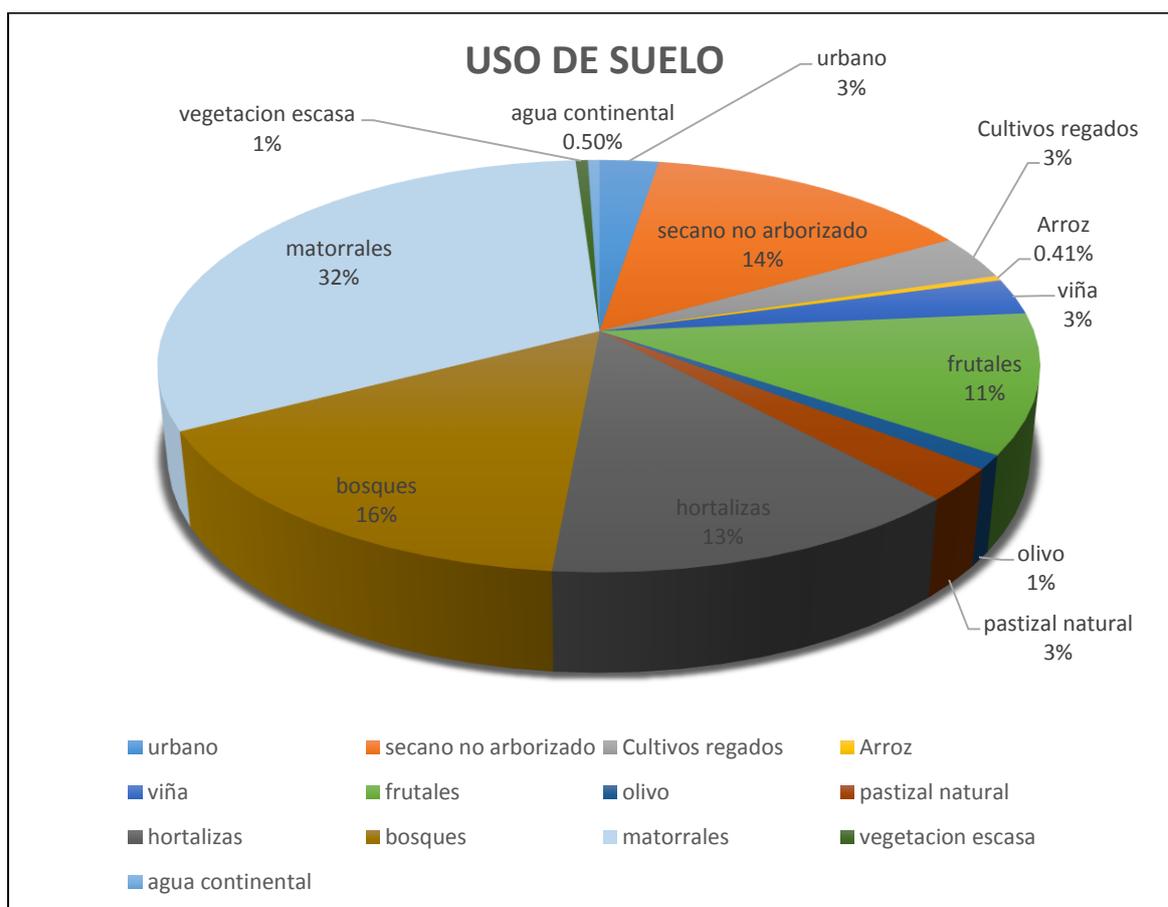


Figura Nº 3.5 Porcentaje de distribución espacial del uso del suelo en la Demarcación Hidrográfica del Júcar según el proyecto Corine Land Cover 2006.

CAPITULO 4. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

4.1 Información meteorológica

4.1.1 Series de Precipitación y Temperatura

Los datos de información meteorológica de precipitación y temperatura necesaria para la calibración y validación del modelo, fueron obtenidas de la base de datos interpolados del proyecto Spain02v4, a una escala temporal diaria y con una resolución espacial $0.11^{\circ} \times 0.11^{\circ}$. Los datos de precipitación tienen registros desde el año 1971 hasta el 2010 y el de temperatura desde 1971 hasta 2008.

Spain02V4, es la última versión del proyecto *Sain02*, desarrollado por la universidad de Cantabria; es una base de datos diaria de precipitación y temperatura máxima, mínima y media interpolada, con una mejor resolución que las versiones anteriores. Presenta buenos antecedentes en estudios anteriores, razón por la cual es utilizada en el presente trabajo. La distribución espacial de las grillas se puede observar en la Figura 4.1.

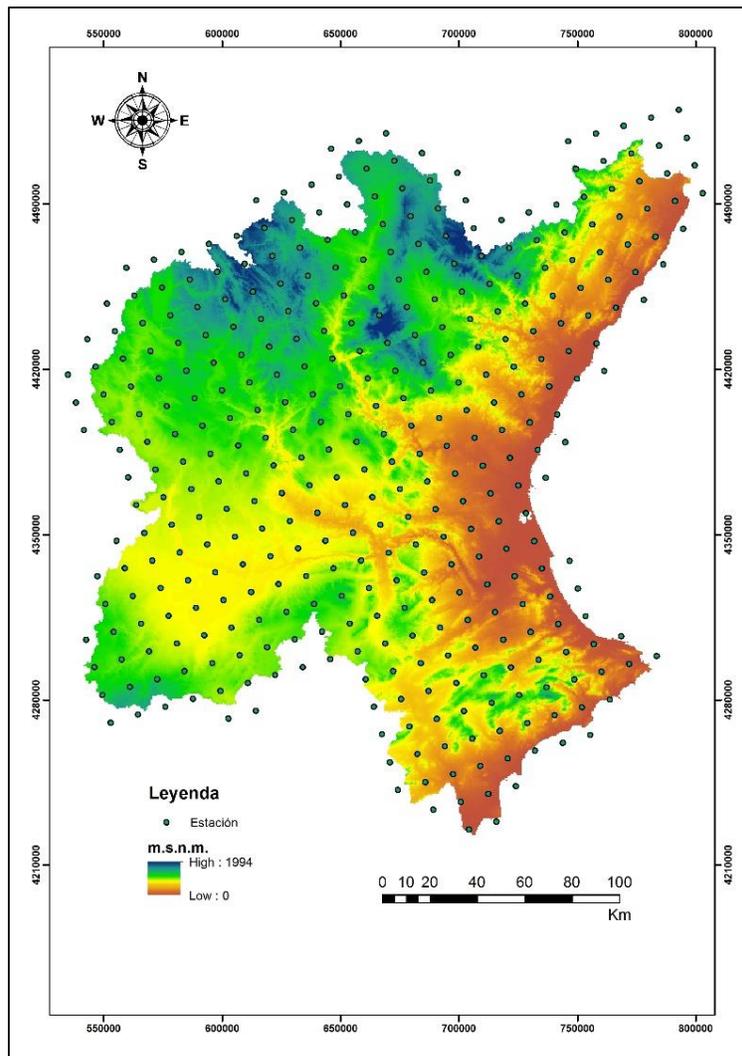


Figura N° 4.1 Mapa de distribución de rejillas de los puntos interpolados del proyecto SPAIN02V4

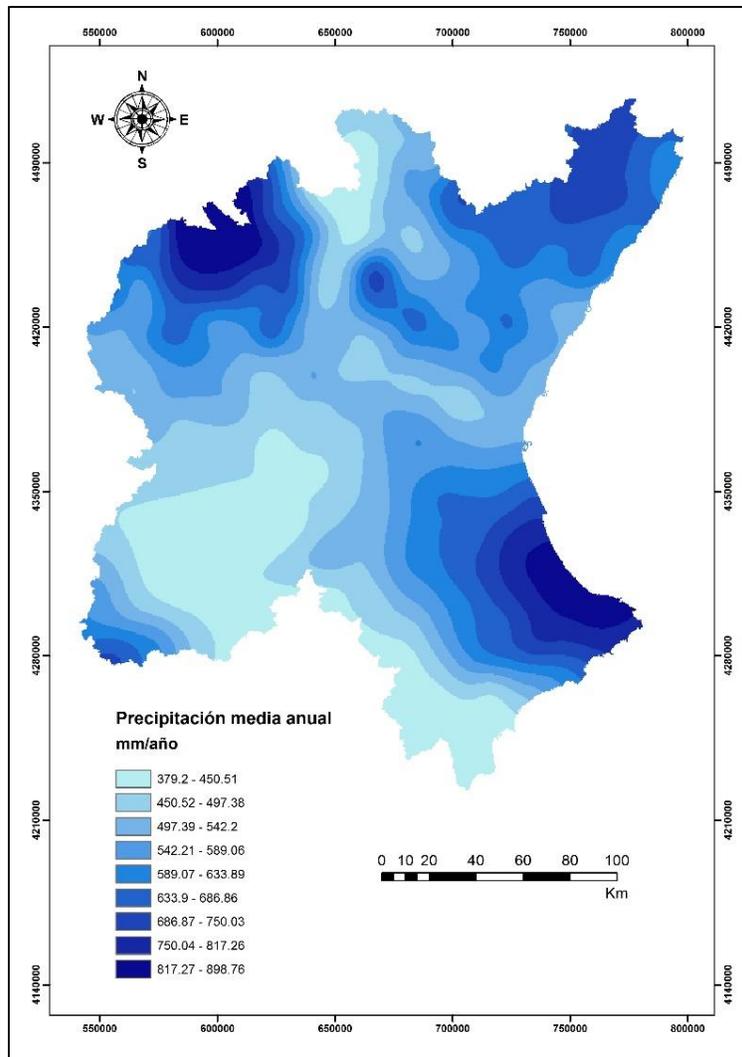


Figura N° 4.2 Mapa de Precipitación media anual de la serie SPAIN02V4, periodo 1971-2010

La Figura 4.2 muestra la distribución espacial de la precipitación media anual, notándose zonas con precipitaciones mayores a 800 mm/año, como es el caso del norte de Cuenca, Castellar y Alicante. Así mismo zonas secas como Albacete, Terruel, Valencia y la zona sur de Alicante con una precipitación aproximadamente de 400 mm/año.

En la Figura 4.3 se observa la distribución espacial de la temperatura media anual, notándose que en Albacete y en la zona costera se presentan las temperaturas más elevadas (14-20°C), y en la zona noroeste de la Demarcación Hidrográfica del Júcar se ubican las temperaturas más bajas (8-14°C).

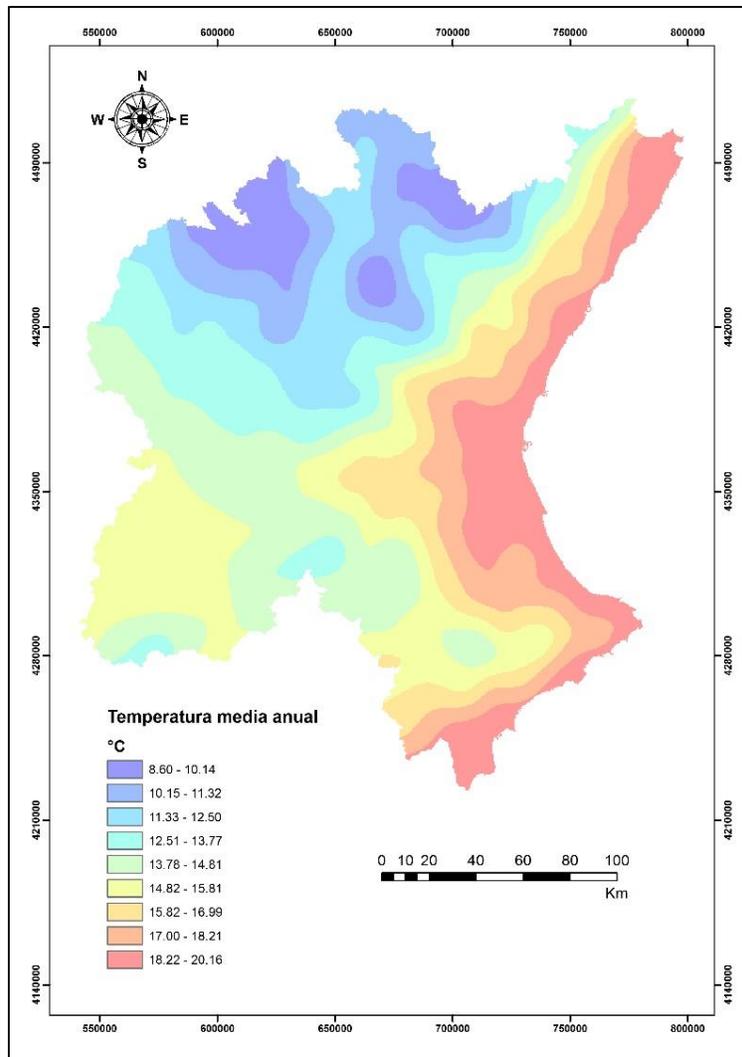


Figura N° 4.3 Mapa de Temperatura media anual de la serie SPAIN02V4, periodo 1971-2008

4.1.2 Evapotranspiración de referencia

La ecuación utilizada para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o) es de Hargreaves (Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985). Para la cual son necesarios los datos de radiación solar y temperatura.

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

Donde:

ET_o : Evapotranspiración de referencial (mm/día).

T_{med} : es la temperatura media (°C).

R_s : es la radiación solar incidente (mm/día).

La radiación solar incidente, R_s es calculada a partir de datos de temperatura y radiación solar extraterrestre, R_0 que se encuentran tabulados en función del mes, latitud y longitud del lugar, para realizar la conversión de R_0 ($MJ(m^2 \cdot día)$) a $mm/día$ de agua evaporada) se multiplicara por 0.408.

Para obtener la radiación solar incidente se utilizara la siguiente ecuación (Samani, 2000):

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

Donde:

R_s : radiación solar incidente ($mm/día$).

R_0 : radiación solar extraterrestre ($mm/día$).

KT : coeficiente empírico (adimensional).

$T_{máx}$: temperatura diaria máxima ($°C$).

$T_{mín}$: temperatura diaria mínima ($°C$).

El coeficiente KT es empírico, Hargreaves (citado en (Samani, 2000)) recomienda un valor de $KT=0.162$ para regiones del interior y $KT=0.19$ para regiones costeras, se optó por tomar un valor medio $KT=0.17$, resultando finalmente la ecuación de la evapotranspiración de referencia:

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

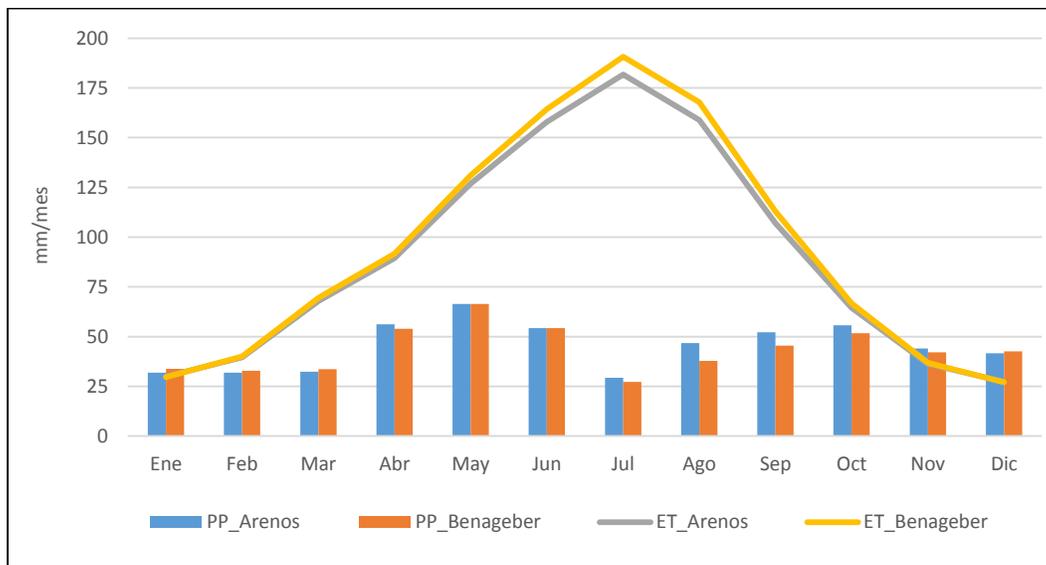


Figura N° 4.4 Mapa de precipitación y evapotranspiración media mensual de la serie SPAIN02V4, en las cuencas de los embalses de Arenós y Benageber para el periodo 1971-2007

En la Figura 4.4 se observa que la ET promedio mensual máxima se da en el mes de julio, con un valor alrededor de 175 mm/mes en ambas cuencas, así mismo la precipitación máxima (65 mm/mes) y mínima (27 mm/mes), se da en los meses de mayo y julio respectivamente.

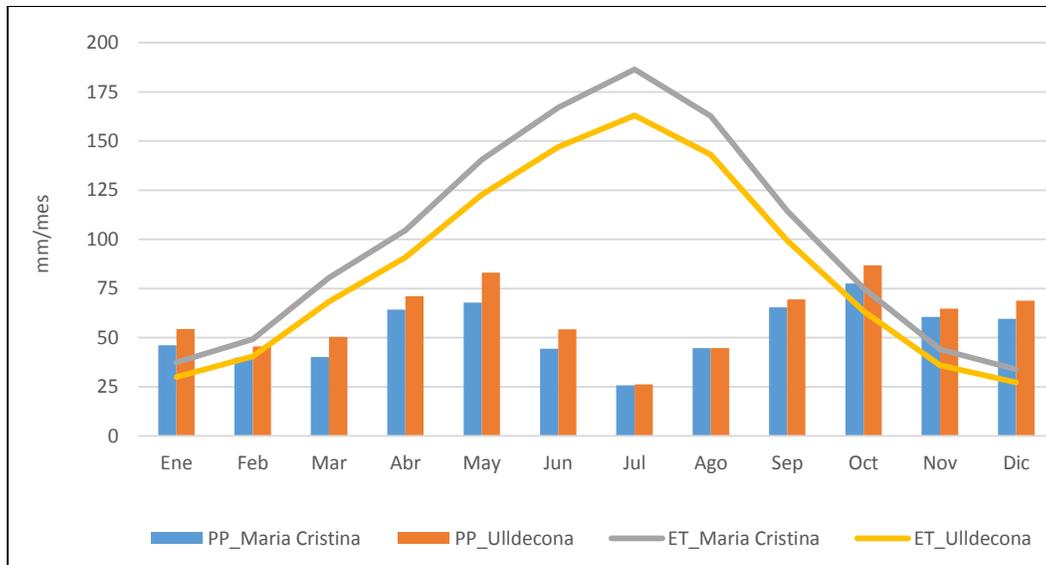


Figura N° 4.5 Mapa de precipitación y evapotranspiración media mensual de la serie SPAIN02V4, en las cuencas de los embalses de Maria Cristina y Ulldecona para el periodo 1971-2007

En la Figura 4.5 se observa que la ET promedio mensual máxima, se da en el mes de julio con un valor alrededor de 165 mm/mes en ambas cuencas, así mismo la precipitación máxima se da en los meses de mayo y octubre alrededor de 80 mm/mes, y mínima en julio (25 mm/mes).

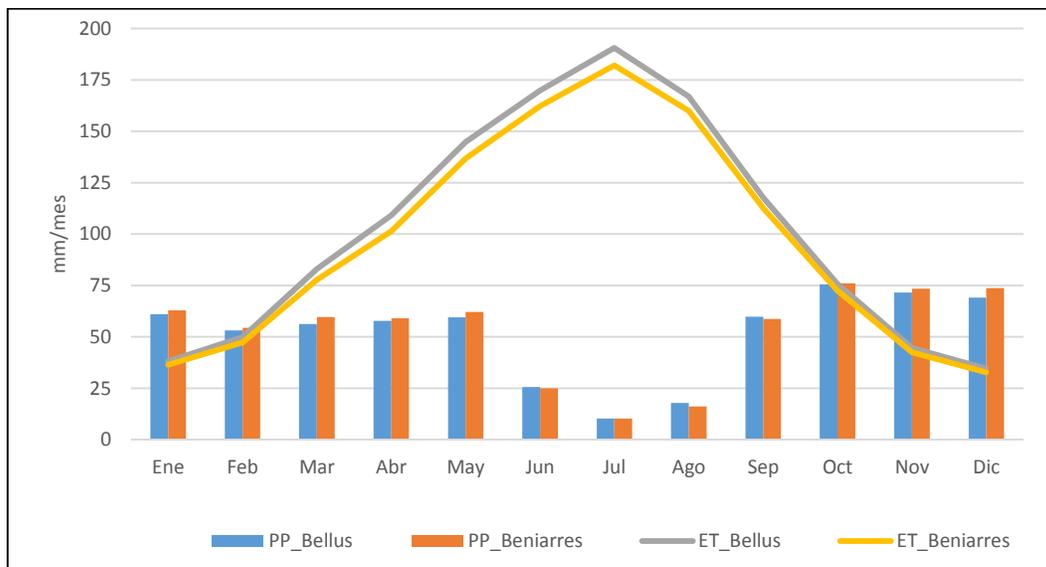


Figura N° 4.6 Mapa de precipitación y evapotranspiración media mensual de la serie SPAIN02V4, en las cuencas de los embalses de Bellús y Beniarrés para el periodo 1971-2007

En la Figura 4.6 se observa que la ET promedio mensual máxima, se da en el mes de julio con un valor alrededor de 180 mm/mes en ambas cuencas, así mismo la precipitación máxima (75 mm/mes) y mínima (10 mm/mes), se da en los meses de octubre y julio respectivamente.

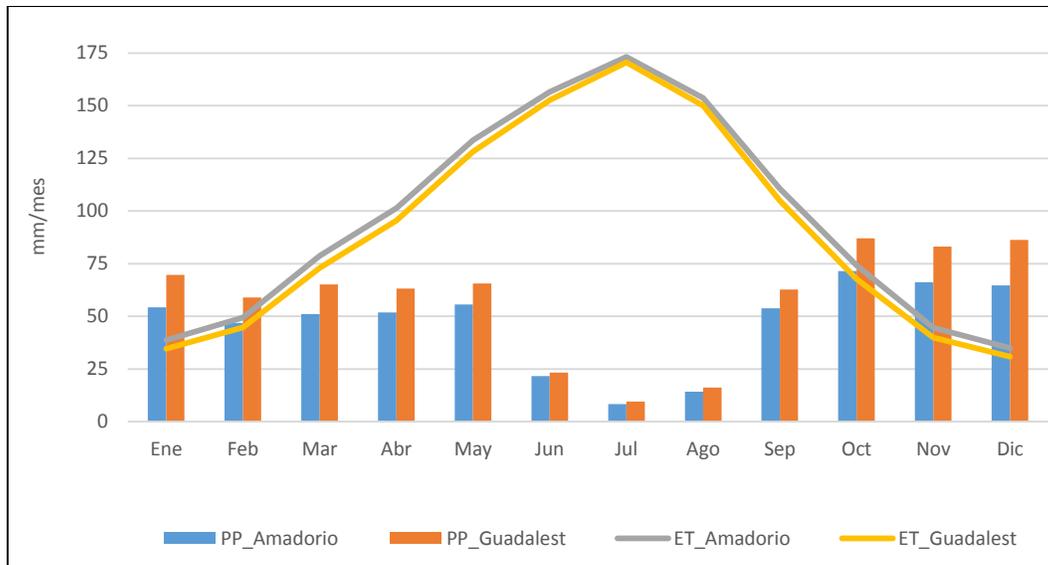


Figura N° 4.7 Mapa de precipitación y evapotranspiración media mensual de la serie SPAIN02V4, en las cuencas de los embalses de Amadorio y Guadalest para el periodo 1971-2007

En la Figura 4.7 se observa que la ET promedio mensual máxima, se da en el mes de julio con un valor alrededor de 170 mm/mes en ambas cuencas, así mismo la precipitación máxima (87 mm/mes) y mínima (10 mm/mes), se da en los meses de octubre y julio respectivamente.

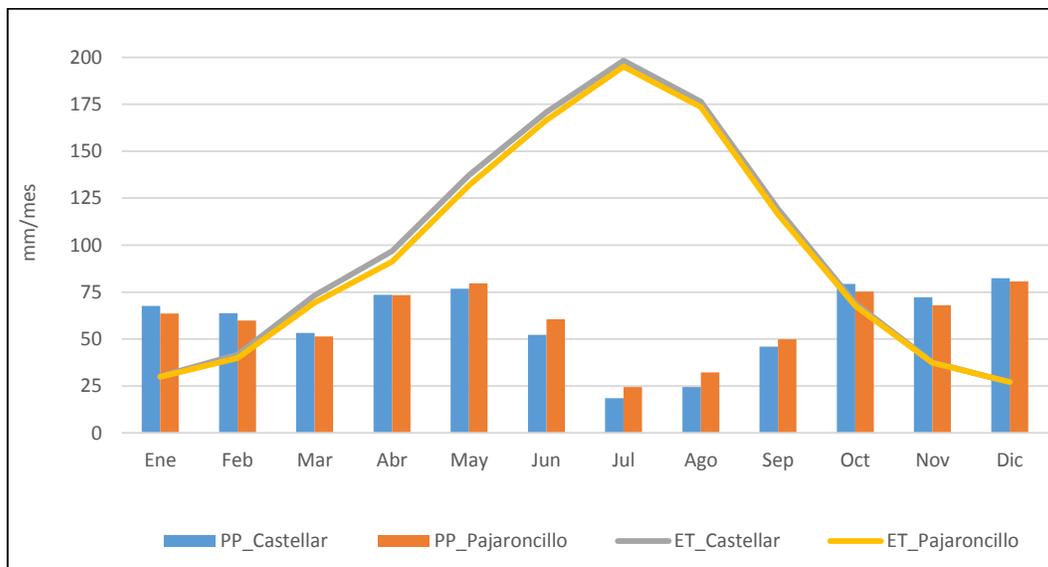


Figura N° 4.8 Mapa de precipitación y evapotranspiración media mensual de la serie SPAIN02V4, en las cuencas de las estaciones de aforo de Castellar y Pajaroncillo para el periodo 1971-2007

En la Figura 4.8 se observa que la ET promedio mensual máxima, se da en el mes de julio con un valor alrededor de 190 mm/mes en ambas cuencas, así mismo la precipitación máxima se da en los meses de mayo, octubre y diciembre con valores alrededor de 78 mm/mes, y una mínima en julio (20 mm/mes).

4.2 Información hidrológica

Los datos de aforos fueron obtenidos del anuario de aforo del Centro De Estudios Y Experimentación De Obras Públicas, CEDEX. Para lo cual se escogieron 10 estaciones de aforo debido a su ubicación en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar, como se observa en la Figura N° 4.9. Además estas estaciones cuentan con una adecuada cantidad de datos completos y fiables que permitan realizar la calibración y validación del modelo. Las coordenadas de las estaciones de aforo se muestran en la Tabla N° 4.1.

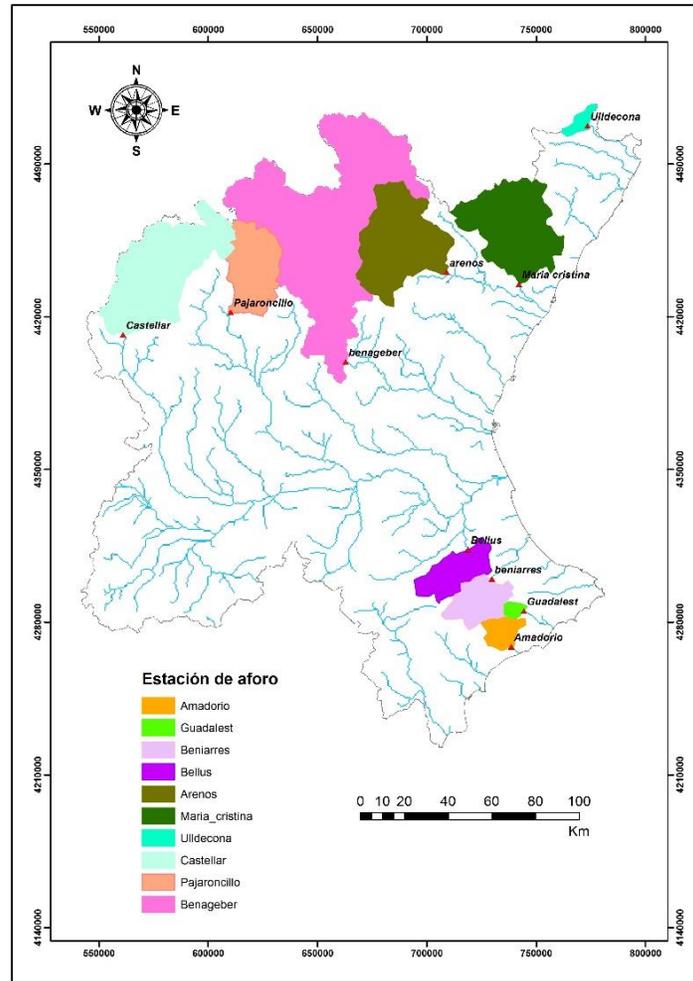


Figura N° 4.9 Ubicación de las estaciones de aforo

Tabla N° 4.1 Coordenadas de las estaciones de aforo

ESTACION	XUTM30	YUTM30	ALTITUD	ESTACION	XUTM30	YUTM30	ALTITUD
Benageber	662843	4399341	480	Pajaroncillo	610230	4422040	940
Arenós	708964	4440386	546	Ulldecona	773434	4507449	425
Beniarrés	729642	4299767	280	Bellús	718691	4313299	125
Guadalest	744383	4285194	305	Castellar	561000	4411800	817
María Cristina	742103	4434950	90	Amadorio	738513	4268781	70

a. Embalse Benageber_8014:

El embalse pertenece al sistema de explotación del Turia y está ubicado en el municipio de Benageber, termino municipal de la provincia de Valencia, con una cuenca receptora de 4217 Km².

b. Embalse Arenos_8005:

El embalse pertenece al sistema de explotación del Mijares-Plana Castellón y está ubicado en el municipio de Montanejos, termino municipal de la provincia de Castellón, con una cuenca receptora de 1430 Km².

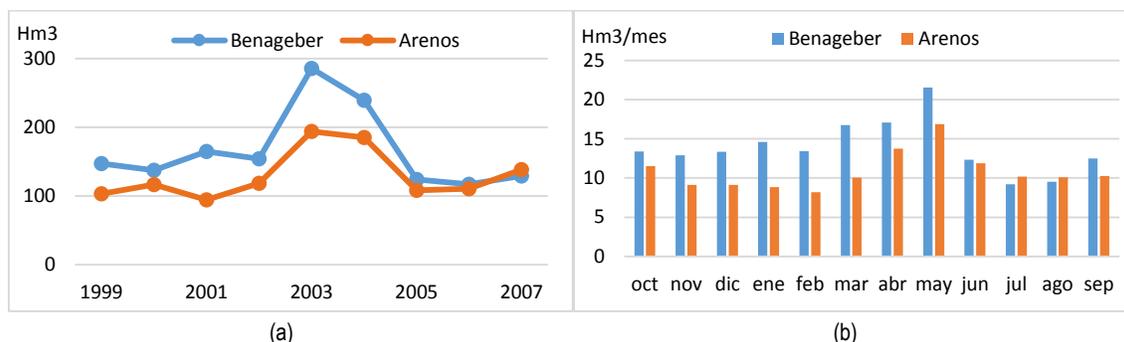


Figura N° 4.10 Evolución de la aportación anual (a) y Aportación media mensual (b), en los embalses de Benageber y Arenós para la serie 1999-2007.

En la Figura 4.10 se observa que en la serie de aportación anual de los embalses de Benageber y Arenós el año más húmedo fue el 2002 en ambos embalses. Como se observa los embalses tienen una tendencia de aportaciones similares tanto anuales y medias mensuales.

c. Estación de aforo Pajaroncillo_8090:

La estación pertenece al sistema de explotación del Júcar y está ubicado en el municipio de Pajaroncillo, termino municipal de la provincia de Cuenca, con una cuenca receptora de 829 Km².

d. Estación de aforo Castellar_8091:

La estación pertenece al sistema de explotación del Júcar y está ubicado en el municipio de San Lorenzo de la Parrilla, termino municipal de la provincia de Cuenca, con una cuenca receptora de 1793 Km².

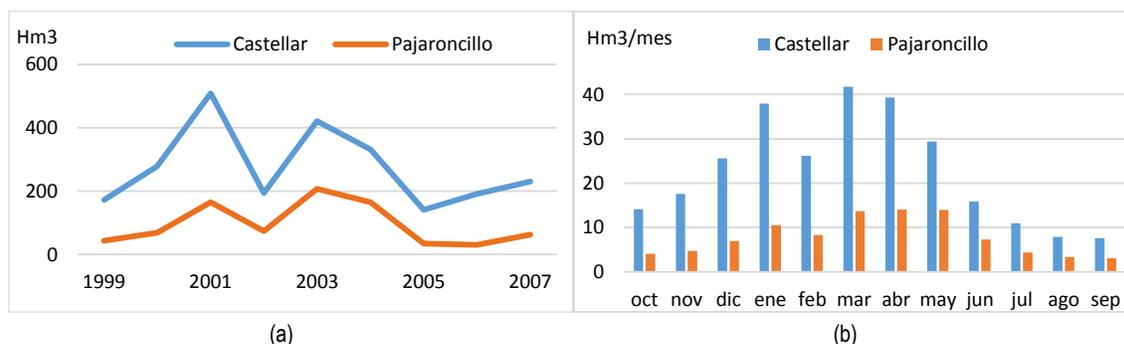


Figura N° 4.11 Evolución de la aportación anual (a) y Aportación media mensual (b), en las estaciones de aforo de Castellar y Pajaroncillo para la serie 1999-2007.

En la Figura 4.11 se observa que en la serie de aportación anual de las estaciones de aforo de Castellar y Pajaroncillo los años más húmedos son 2001 y 2003 en ambas estaciones, así mismo la aportación media mensual es mayor en el mes de marzo.

Como se puede mostrar los embalses tienen una tendencia de aportaciones similares tantas anuales y media mensuales.

e. Embalse Beniarres_8007:

El embalse pertenece al sistema de explotación de Serpis y está ubicado en el municipio de Beniarres, termino municipal de la provincia de Alicante, con una cuenca receptora de 465 Km².

f. Embalse Bellus_8032:

El embalse pertenece al sistema de explotación del Júcar y está ubicado en el municipio de Bellús, termino municipal de la provincia de Valencia, con una cuenca receptora de 493 Km².

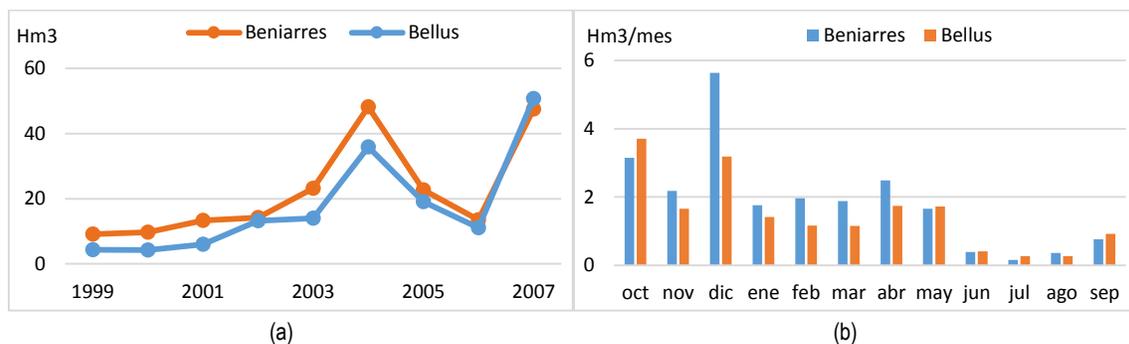


Figura N° 4.12 Evolución de la aportación anual (a) y Aportación media mensual (b), en los embalses de Beniarres y Bellús para la serie 1999-2007.

En la Figura 4.12 se observa que en la serie de aportación anual de los embalses de Beniarres y Bellús los años más húmedos son 2004 y 2007 en ambos embalses, así mismo la aportación media mensual es mayor en los meses de octubre y diciembre. Como se puede mostrar los embalses tienen una tendencia de aportaciones similares tantas anuales y medias mensuales.

g. Embalse Ulldecona_8025:

El embalse pertenece al sistema de explotación del Cenia-Maestrazgo y está ubicado en el municipio de Puebla de Benifasar, termino municipal de la provincia de Castellón, con una cuenca receptora de 94 Km².

h. Embalse María Cristina_8017:

El embalse pertenece al sistema de explotación de Mijares-Plana Castellón y está ubicado en el municipio de Alcora, termino municipal de la provincia de Castellón, con una cuenca receptora de 1405 Km².

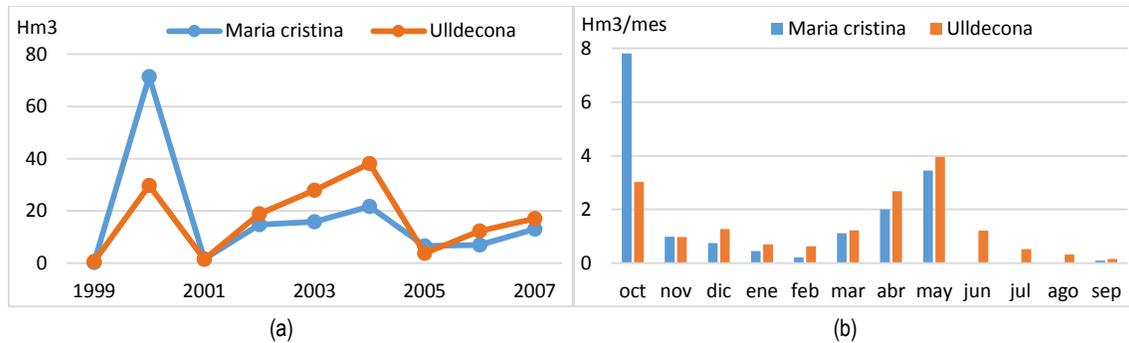


Figura N° 4.13 Evolución de la aportación anual (a) y Aportación media mensual (b), en los embalses de María Cristina y Uldecona para la serie 1999-2007.

En la Figura 4.13 se observa que en la serie de aportación anual de los embalses de María Cristina y Uldecona los años más húmedos son 2000 y 2004 en ambos embalses, así mismo la aportación media mensual es mayor en los meses de octubre y mayo. Como se puede mostrar los embalses tienen una tendencia de aportaciones similares tanto anuales y medias mensuales.

i. Embalse Guadalest_8015:

El embalse pertenece al sistema de explotación de Marina Baja y está ubicado en el municipio de Guadalest, termino municipal de la provincia de Alicante, con una cuenca receptora de 62 Km².

j. Embalse Amadorio_8004:

El embalse pertenece al sistema de explotación de Marina Baja y está ubicado en el municipio de Villajoyosa, termino municipal de la provincia de Alicante, con una cuenca receptora de 204 Km².

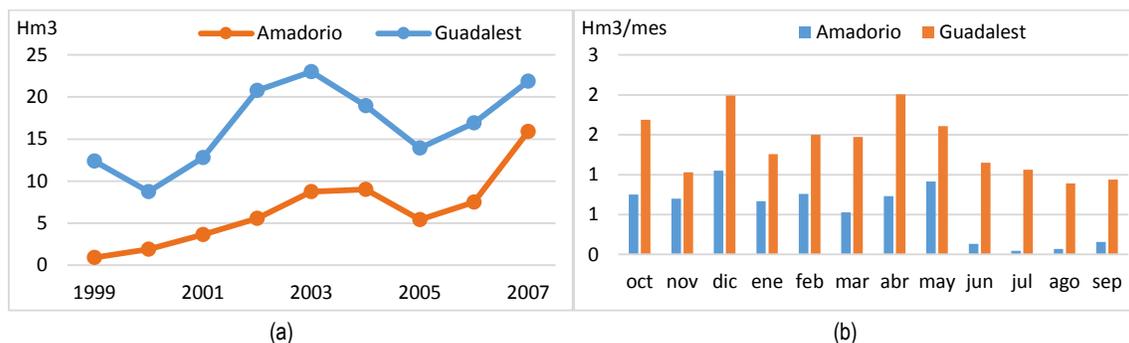


Figura N° 4.14 Evolución de la aportación anual (a) y Aportación media mensual (b), en los embalses de Amadorio y Guadalest para la serie 1999-2007.

En la Figura 4.14 se observa que en la serie de aportación anual de los embalses de Amadorio y Guadalest los años más húmedos son 2003 y 2007 en ambos embalses, así mismo la aportación media mensual es mayor en los meses de diciembre y abril. Como se puede mostrar los embalses tienen una tendencia de aportaciones anuales similares en el periodo 1999 – 2007.

CAPITULO 5. ESTIMACION DE PARAMETROS ESPACIALES PARA LA MODELIZACIÓN

El modelo TETIS requiere unos parámetros que representen la variabilidad espacial de las características de los suelos, del sustrato, de la cobertura vegetal de la cuenca, Para ello se realiza la estimación de mapas de parámetros a partir de la información medioambiental que se encuentre disponible. Los mapas deben ser congruentes con la topografía, el uso de suelo, cubierta vegetal existente y otras características del medio físico de la cuenca.

Tabla N° 5.1 Mapas, escala y parámetros estimados

MAPAS	ESCALA	PÁRAMETROS ESTIMADOS
Modelo de Elevación 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	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)	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.	1:200.000	Mapa de permeabilidad horizontal y vertical del acuífero.
Mapa del karst de España	1:1.000.000	Empleado en la identificación de zonas karst en la CHJ.

5.1 Parámetros derivados del MED

5.1.1 Mapa de elevación digital del terreno

El modelo de elevación digital del terreno se obtuvo del Centro Nacional De Información Geográfica (CNIG), en formato ráster, el tamaño inicial de celda fue de 100x100 m. Debido a el tiempo necesario para el proceso de calibración automática de los parámetros del modelo, se optó por agregar las celdas a una resolución espacial de 500x500m. Por este motivo, el resto de mapas de parámetros empleados tendrán esta misma resolución espacial.

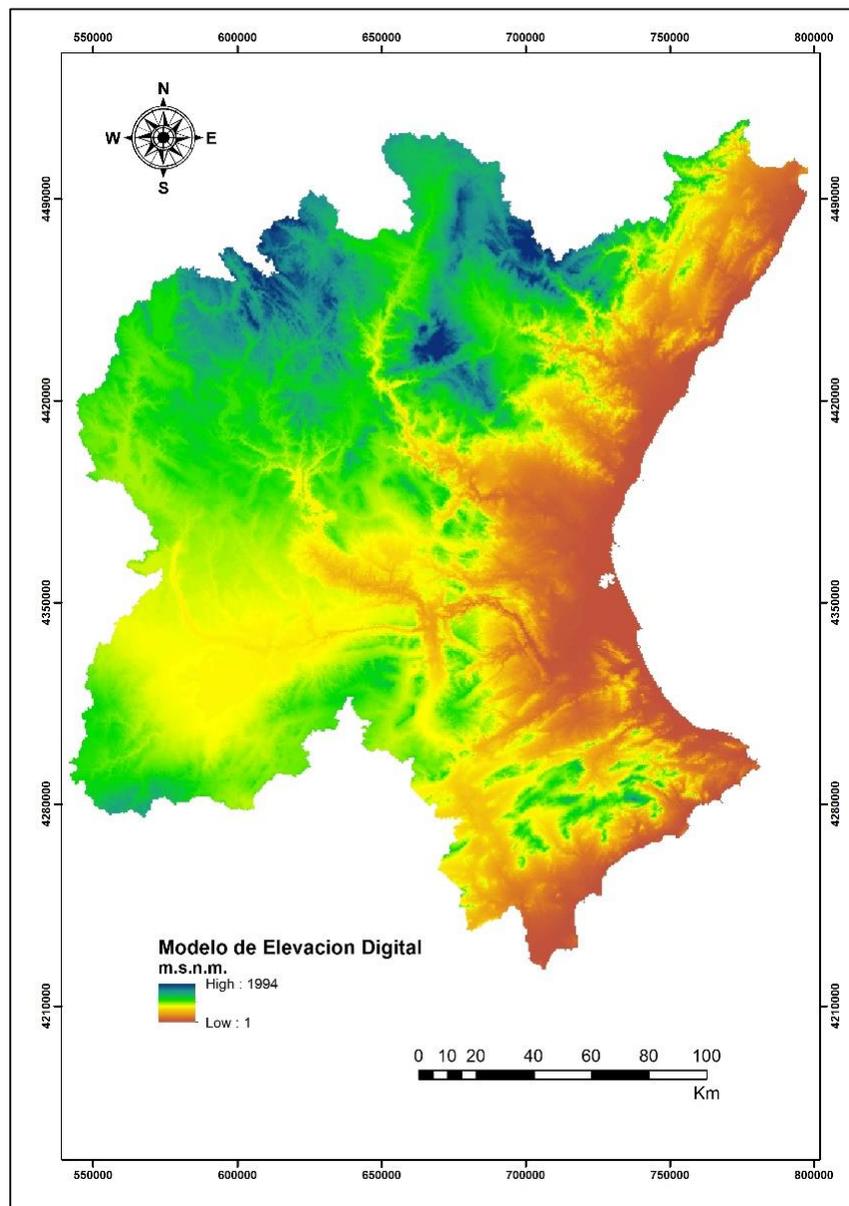


Figura N° 5.1 Mapa del modelo de elevación digital del terreno, Confederación Hidrográfica del Júcar

5.1.2 Mapa de dirección de flujo

El mapa de dirección de flujo representa la dirección en la que cada celda vierte sus aguas. Para el cálculo de este mapa se utilizó el programa ArcGIS, que utiliza la misma nomenclatura de direcciones, que es usada en TETIS.

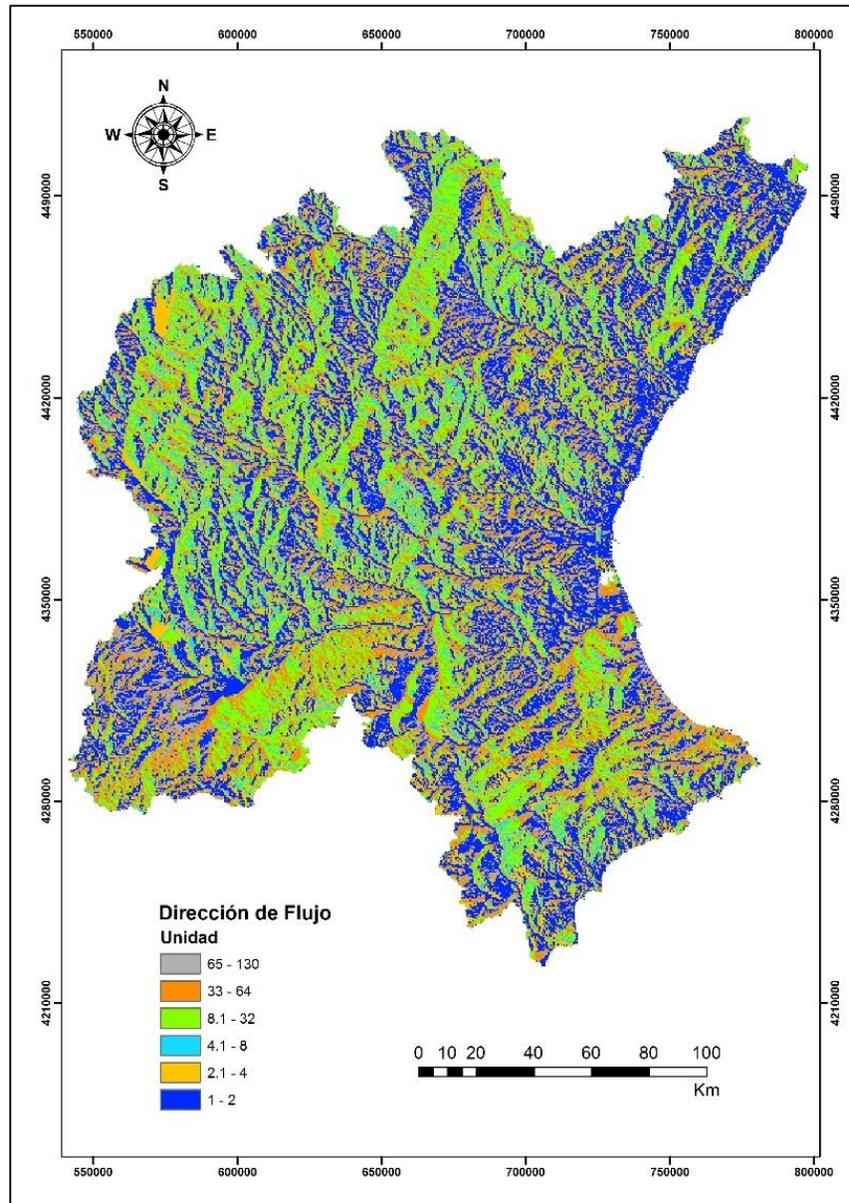


Figura N° 5.2 Mapa de dirección de flujo, Confederación Hidrográfica del Júcar

5.1.3 Mapa de celdas drenantes acumuladas

El mapa de celdas drenantes acumuladas es un mapa en el cual se va acumulando la cantidad de celdas que se vierten en cada una, es decir, cada celda tienen el valor igual al número de celdas que drenan a través de ella. Para el cálculo del mapa de celdas drenantes acumuladas se parte del mapa de dirección de flujo. En la Figura 5.3 se muestra el mapa de celdas drenantes acumuladas en la CHJ.

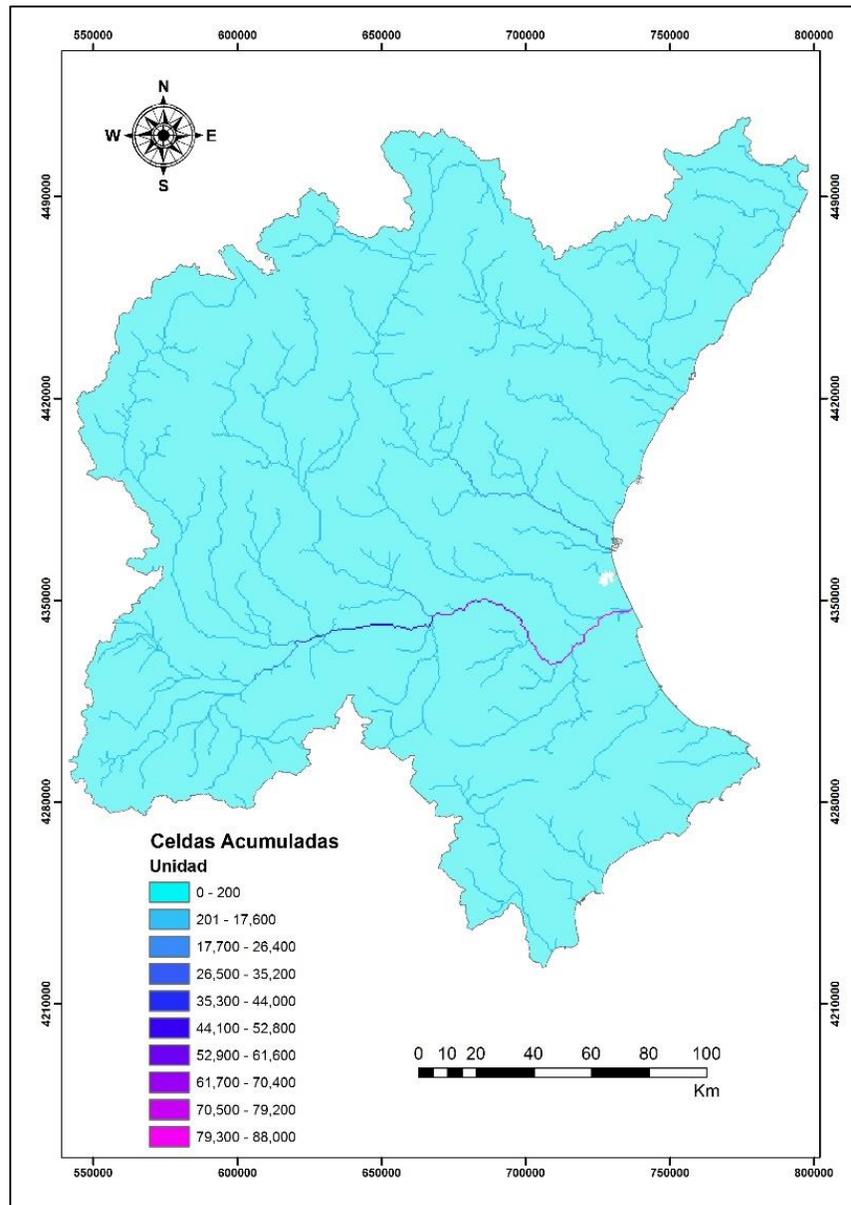


Figura N° 5.3 Mapa de celdas drenantes acumuladas, Confederación Hidrográfica del Júcar

5.1.4 Mapa de pendientes

El mapa de pendientes tiene que estar en unidades m/m, por lo cual se ha empleado el software ArcGIS para el cálculo de este mapa. En la Figura 5.4 se muestra el mapa de pendientes para la CHJ.

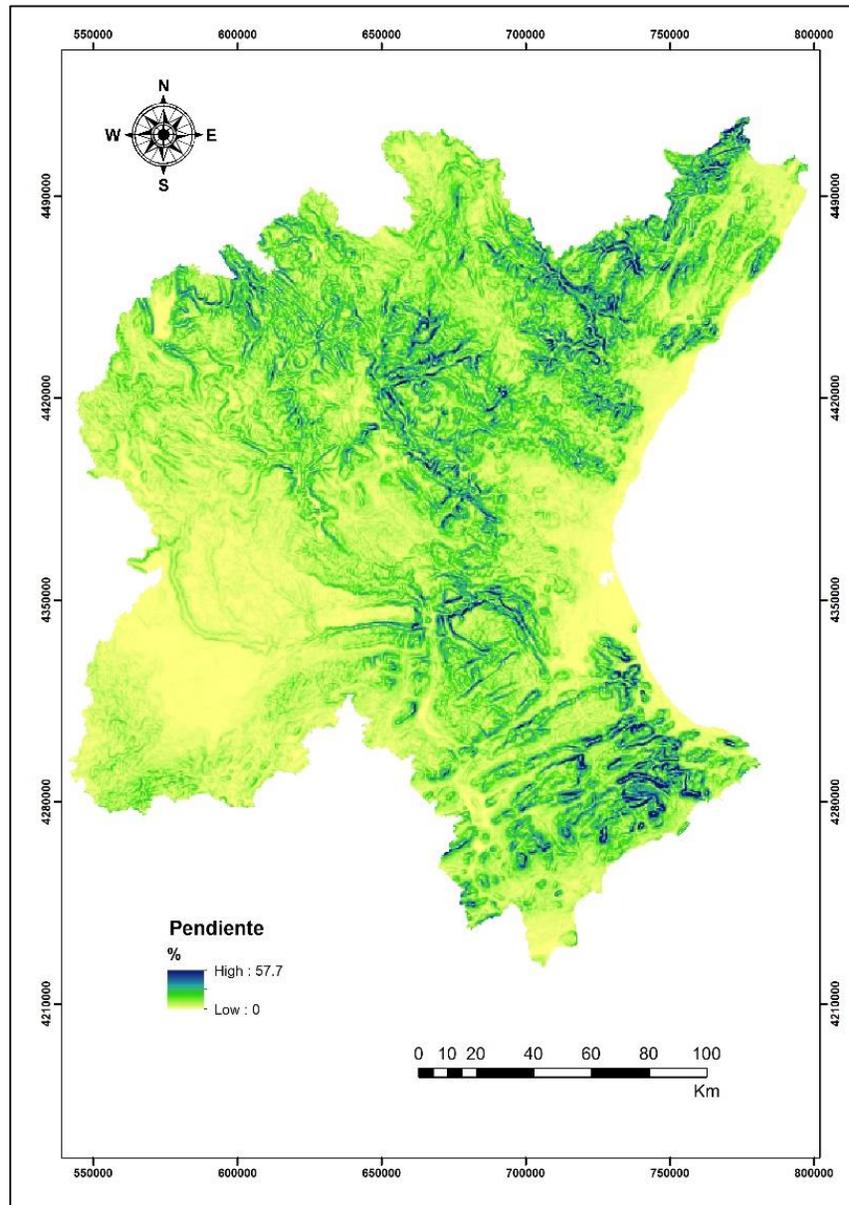


Figura N° 5.4 Mapa de pendientes, Confederación Hidrográfica del Júcar

5.1.5 Mapa de velocidades de ladera

La velocidad del flujo se ha considerado como estacionaria, pero distinta según la pendiente, por lo cual se usará la siguiente formula:

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

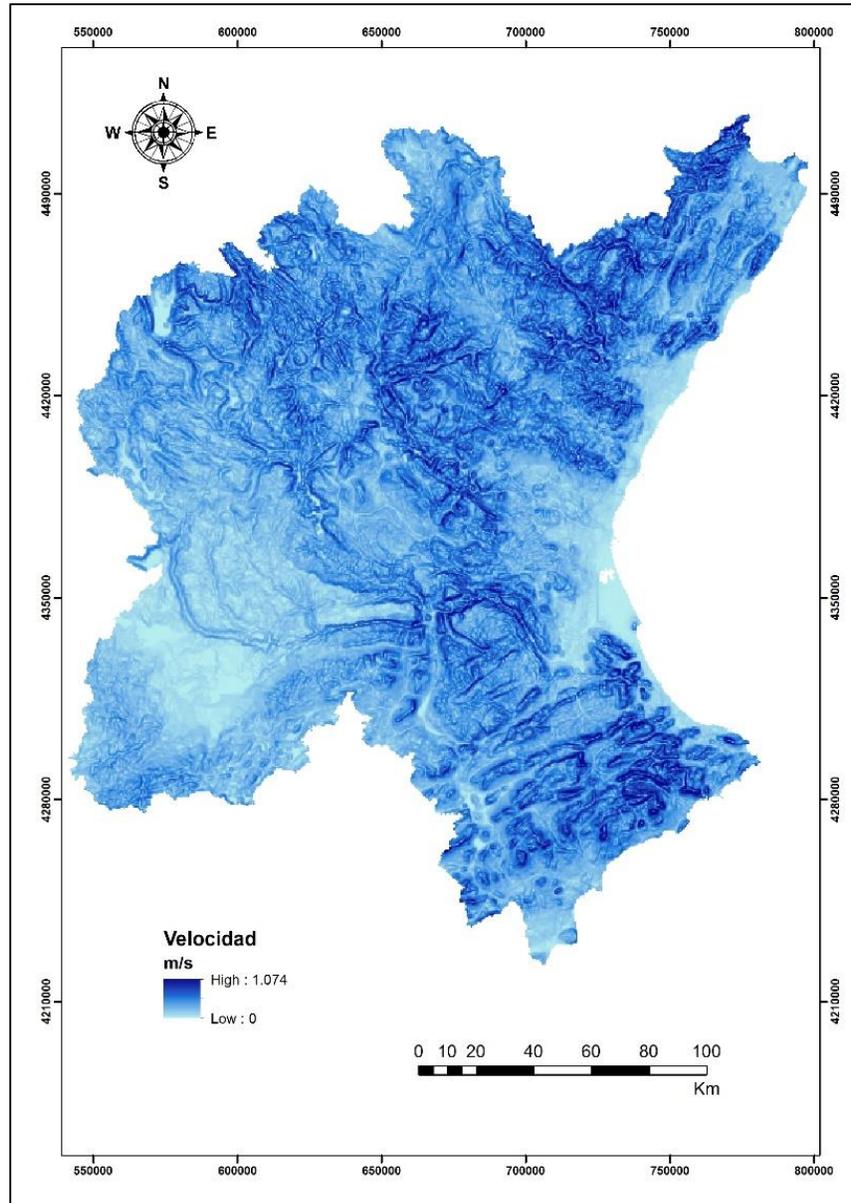


Figura N° 5.5 Mapa de velocidad de ladera, Confederación Hidrográfica del Júcar

5.2 Parámetros derivados del mapa de uso de suelos

5.2.1 Mapa de cobertura del suelo

Se ha utilizado el mapa del Proyecto Corine Land Cover del 2006, para poder definir el mapa de uso de suelos presentes en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Este mapa nos servirá para poder crear el mapa de cobertura de suelo que será usado en TETIS. En la Figura 5.6 se muestra el mapa de usos de suelo en la CHJ.

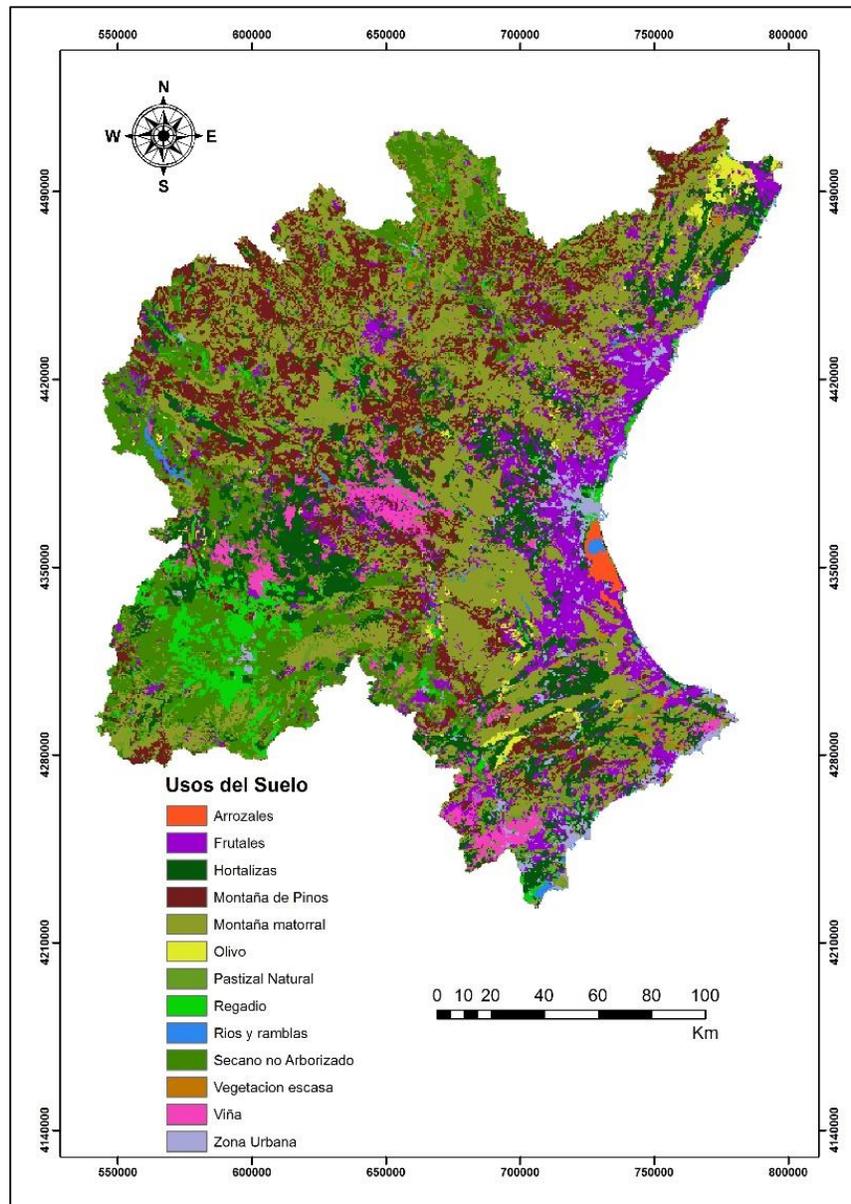


Figura N° 5.6 Mapa de uso del suelo, Confederación Hidrográfica del Júcar

5.2.2 Factor de vegetación

El factor de vegetación medirá la contribución del cultivo sobre las necesidades hídricas del mismo. Este factor depende del tipo y desarrollo del cultivo, igualmente del clima. Para calcular el factor de vegetación, se empleará la metodología definida por la FAO, el cual se caracteriza en determinar la duración de 4 fases de desarrollo del cultivo (Figura 5.7). Este factor se incluirá en el modelo en formato texto.

- Fase inicial. Dura desde la siembra hasta que el cultivo alcanza un 10% del suelo cubierto por las hojas.
- Fase de desarrollo del cultivo. 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 recolección.

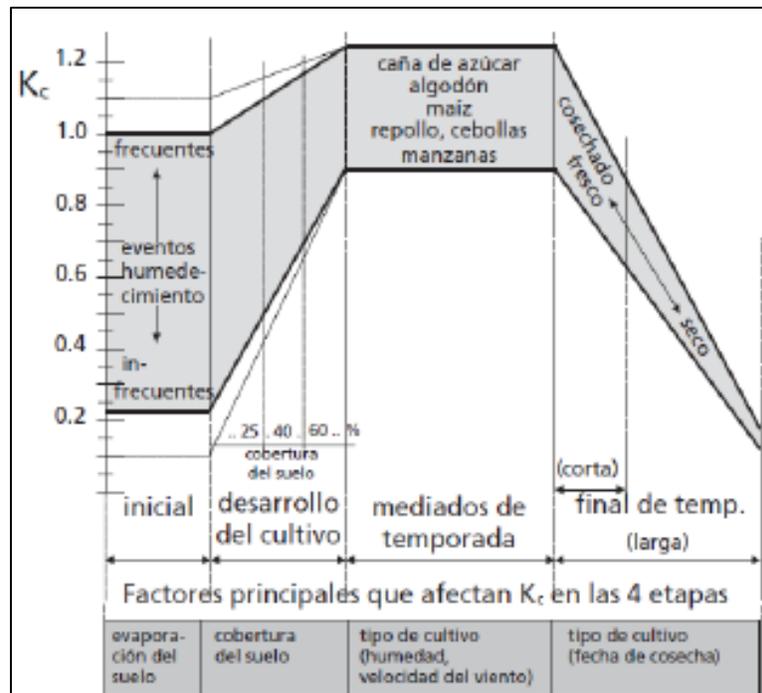


Figura N° 5.7 Valores típicos del valor de K_c para las etapas de crecimiento del cultivo

Fuente: Documento FAO N° 56 Riego y Drenaje

Para realizar los cálculos del factor de vegetación se agruparon los distintos usos de suelo como se indica en el apartado 3.1.6.

Factor de vegetación en superficies cultivadas

- I. Secano no arborizado.- Dentro de esta categoría se incluyó a los cultivos como: trigo, girasol, alfalfa y cebada. En la Tabla 5.2 y en la Figura 5.8 se muestra las distribuciones del factor de evapotranspiración de los cultivos antes mencionados, y en la Figura 5.9 se muestra la distribución mensual medio del factor de vegetación para la clase Secano no Arborizado.

Tabla Nº 5.2 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para los cultivos tipo secano no arborizado

Periodo del cultivo	Trigo		Cebada		Girasol		Alfalfa	
	Longitud (días)	Kc						
Inicial	20	0.3	20	0.3	25	0.35	10	0.35
Desarrollo de cultivo	25	Crecimiento	25	Crecimiento	35	Crecimiento	20	Crecimiento
Mediados de temporada	60	1.15	60	1.15	45	1.075	20	1.075
Final de temporada	30	0.325	30	0.325	25	0.35	10	0.35
Total	135		135		130		60	
Fecha de siembra	Marzo/Abril		Marzo/Abril		Abril/Mayo		Enero/Abril	

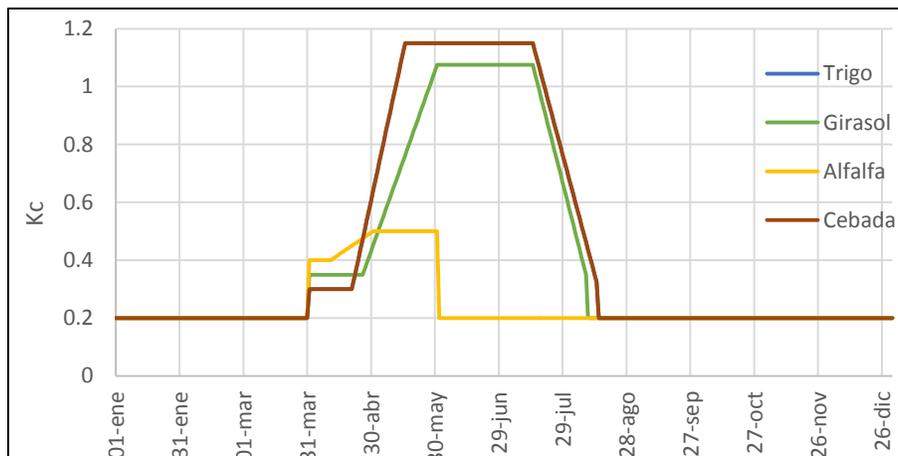


Figura Nº 5.8 Distribución mensual del factor de vegetación para cada cultivo.

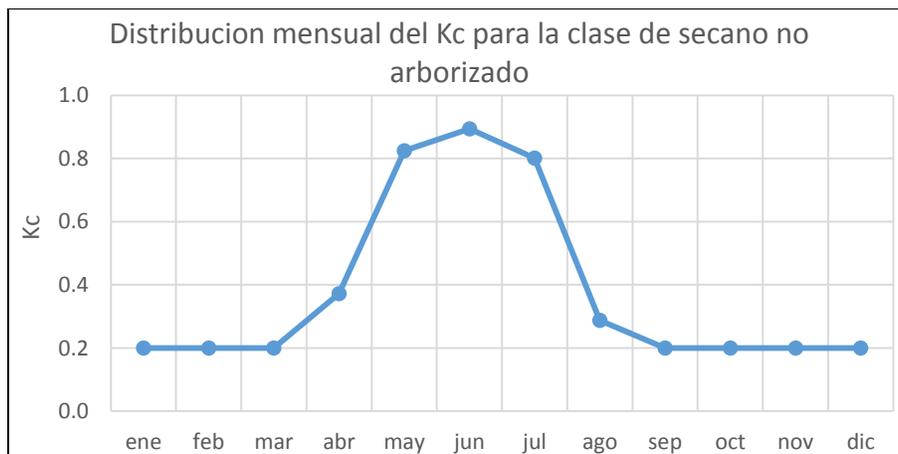


Figura Nº 5.9 Distribución mensual del factor de vegetación medio para la categoría secano no arborizado

- II. Viña.- Dentro de esta categoría se incluyó el viñedo, como es un solo cultivo solo bastará con definir la longitud de cada etapa y el factor de vegetación del mismo, estos se muestran en la Tabla 5.2 y en la Figura 5.10.

Tabla N° 5.3 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para la viña

Periodo del cultivo	Viña	
	Longitud (días)	Kc
Inicial	30	0.3
Desarrollo de cultivo	60	Crecimiento
Mediados de temporada	40	0.7
Final de temporada	80	0.45
Total	210	
Fecha de siembra	Abril	

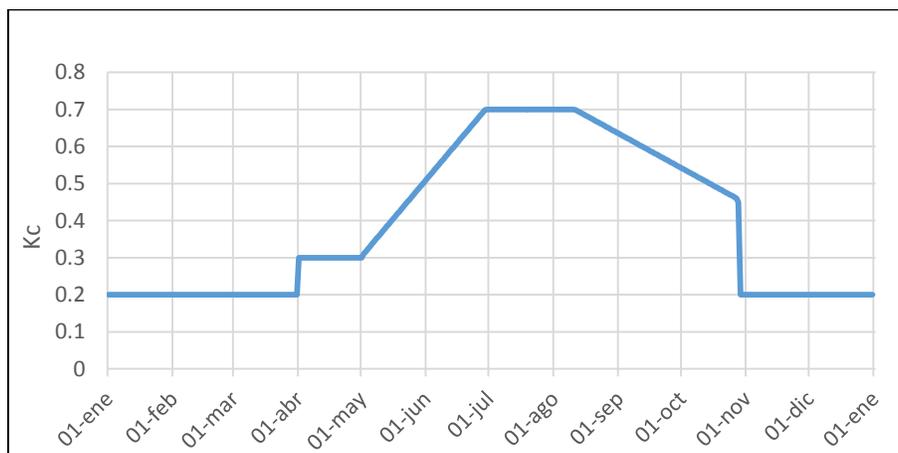


Figura N° 5.10 Distribución mensual del factor de vegetación para la categoría viña.

- III. Arroz.- En esta categoría corresponde el cultivo de los arrozales, en el cual la determinación del factor de vegetación se realiza directamente con los datos de la FAO, lo cuales se muestran en la Tabla 5.4 y en la Figura 5.11.

Tabla N° 5.4 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para el arroz.

Periodo del cultivo	Arroz	
	Longitud (días)	Kc
Inicial	30	1.05
Desarrollo de cultivo	30	Crecimiento
Mediados de temporada	60	1.2
Final de temporada	30	0.75
Total	150	
Fecha de siembra	Mayo	

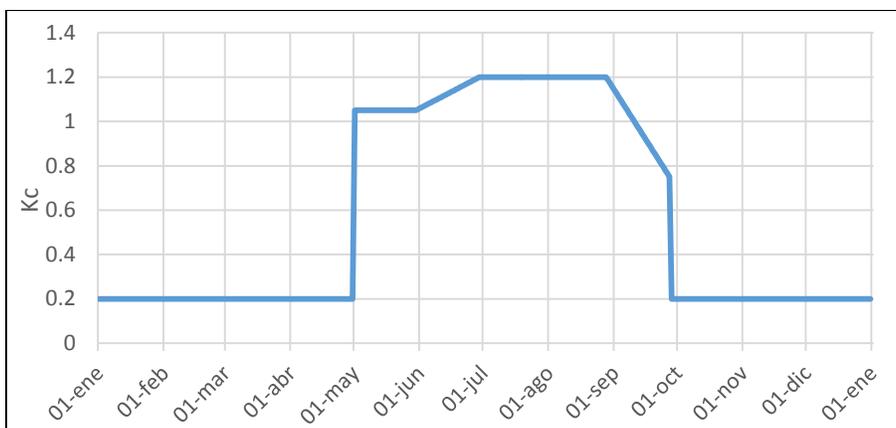


Figura N° 5.11 Distribución mensual del factor de vegetación para la categoría Arroz.

IV. Frutales.- En esta categoría se ha considerado cuatro variedades de frutas que se cultivan en la Demarcación Hidrográfica del Júcar; Cítrico, Manzano, Albaricoque y Sandía. En la Tabla 5.5 y en la Figura 5.12 se muestra las distribuciones del factor de evapotranspiración de los cultivos antes mencionados, y en la Figura 5.13 la media del factor de vegetación para la categoría de frutales.

Tabla N° 5.5 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para el arroz.

Periodo del cultivo	Cítrico		Manzano		Albaricoque		Sandía	
	Longitud (días)	Kc						
Inicial	60	0.65	20	0.6	20	0.55	20	0.4
Desarrollo de cultivo	90	Crecimiento	70	Crecimiento	70	Crecimiento	30	Crecimiento
Mediados de temporada	120	0.6	120	0.95	120	0.9	30	1
Final de temporada	95	0.65	60	0.75	60	0.65	30	0.75
Total	365		270		270		110	
Fecha de siembra	Enero		Marzo		Marzo		Marzo	

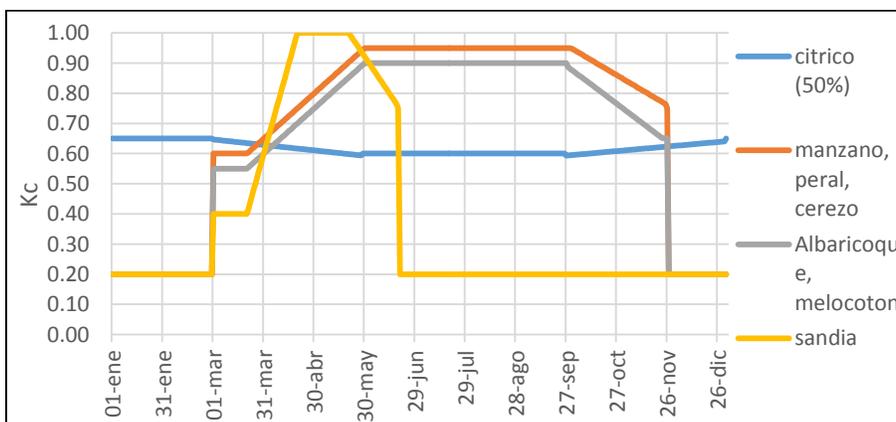


Figura N° 5.12 Distribución mensual del factor de vegetación para todas las variedades de frutales.

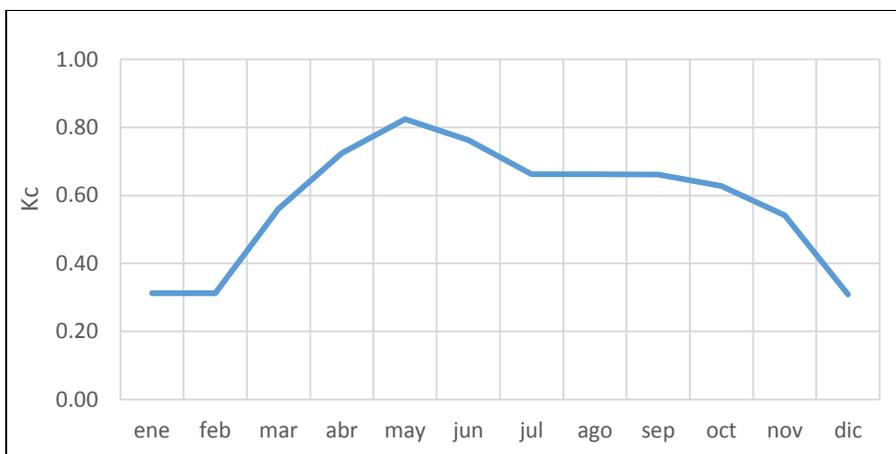


Figura N° 5.13 Distribución mensual del factor de vegetación media para la categoría de Frutales.

- V. Olivo.- Dentro de esta categoría se incluyó el olivo, como es un solo cultivo solo bastará con calcular la longitud de cada etapa y el factor de vegetación del mismo, estos factores de vegetación se muestran en la Tabla 5.6 y en la Figura 5.14.

Tabla N° 5.6 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para el Olivo.

Periodo del cultivo	Olivo	
	Longitud (días)	Kc
Inicial	30	0.65
Desarrollo de cultivo	90	Crecimiento
Mediados de temporada	60	0.7
Final de temporada	90	0.7
Total	270	
Fecha de siembra	Marzo	

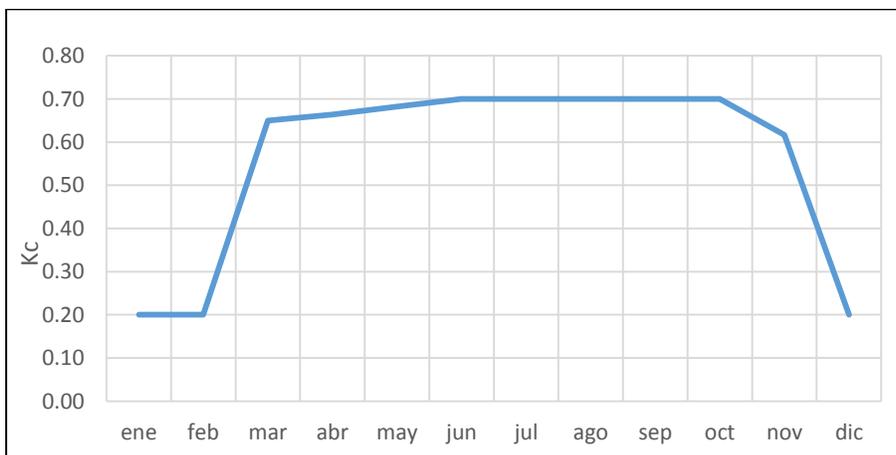


Figura N° 5.14 Distribución mensual del factor de vegetación para la categoría del Olivo.

- VI. Hortalizas.- En esta categoría se ha considerado seis variedades de Hortalizas que se cultivan en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Por lo cual se ha determinado el factor de

vegetación de la media de las seis variedades. Estos factores de vegetación se pueden observar en la Figura 5.15.

Tabla N° 5.7 Duración de las etapas de desarrollo y factor de vegetación para los cultivos en la categoría de Hortalizas.

Periodo del cultivo	Cebolla		Patata		Melón		Tomate		Judía verde		Lechuga	
	Longitud (días)	Kc										
Inicial	25	0.7	30	0.5	25	0.5	30	0.6	20	0.5	35	0.7
Desarrollo de cultivo	30	Crecimiento	35	Crecimiento	35	Crecimiento	40	Crecimiento	30	Crecimiento	50	Crecimiento
Mediados de temporada	10	1	50	1.15	40	1.05	45	1.15	30	1.05	45	1
Final de temporada	5	1	30	0.75	20	0.75	30	0.8	10	0.9	10	0.95
Total	70		145		120		145		90		140	
Fecha de siembra	Abril		Abril		Mayo		Abril		Marzo		Febrero	

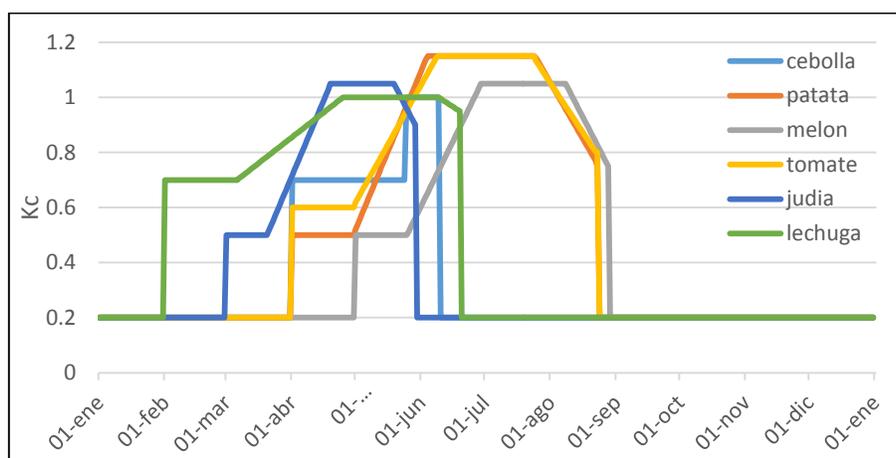


Figura N° 5.15 Distribución mensual de los factores de vegetación, considerados en la categoría de hortalizas.

VII. Cultivos regados.- el factor de vegetación para los cultivos en la categoría de regadío, fueron tomados los mismos de la categoría de las hortalizas.

Factor de vegetación en superficies no cultivadas

Para el caso del factor de vegetación en superficies no cultivadas, se tomaron los valores asumidos en trabajos similares, desarrollados en nuestra área de estudio. Las categorías incluidas dentro de la clasificación de superficies no cultivadas son: Bosques, Pastizal natural, Matorrales, Urbana, vegetación escasa y agua continental. El resumen se muestra en la Tabla 5.8 y en la Figura 5.16.

Tabla N° 5.8 Resumen del factor de vegetación mensual para la Confederación Hidrográfica del Júcar.

Categorías	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
urbano	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
secano no arborizado	0.20	0.20	0.20	0.37	0.82	0.89	0.80	0.29	0.20	0.20	0.20	0.20
Cultivos regados	0.20	0.28	0.35	0.65	0.81	0.74	0.65	0.49	0.20	0.20	0.20	0.20
Arroz	0.20	0.20	0.20	0.20	1.05	1.13	1.20	1.20	0.87	0.20	0.20	0.20
viña	0.20	0.20	0.20	0.30	0.40	0.61	0.70	0.68	0.59	0.47	0.20	0.20
frutales	0.31	0.31	0.56	0.72	0.82	0.76	0.66	0.66	0.66	0.63	0.54	0.31
olivo	0.20	0.20	0.65	0.66	0.68	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.62	0.20
pastizal natural	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
hortalizas	0.20	0.28	0.35	0.65	0.81	0.74	0.65	0.49	0.20	0.20	0.20	0.20
bosques	0.70	0.70	0.73	0.80	0.87	0.90	0.90	0.90	0.90	0.86	0.80	0.73
matorrales	0.60	0.60	0.63	0.70	0.77	0.80	0.80	0.80	0.80	0.76	0.70	0.63
vegetación escasa	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
agua continental	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

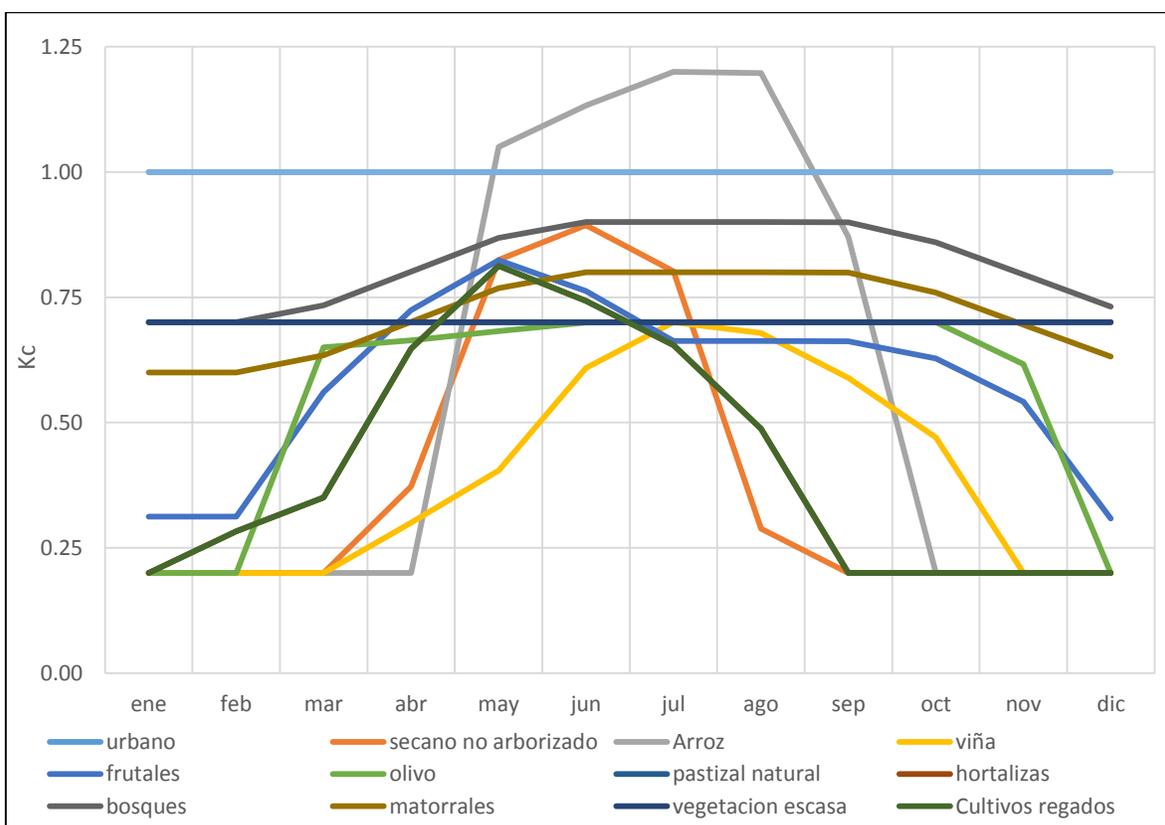


Figura N° 5.16 Distribución mensual de los factores de vegetación en la CHJ.

5.2.3 Intercepción, almacenamiento superficial, y profundidad de raíces

5.2.3.1 Intercepción

Se refiere a la cantidad de agua retenida por la intercepción de la precipitación, ya sea por objetos y/o vegetación, que se evaporan directamente sin alcanzar el suelo, para la determinación de la intercepción, se ha utilizado el mapa de usos de suelo y se ha reclasificado con valores de estudios previos. Este parámetro se introducirá en TETIS mediante el fichero de texto juntamente con el factor ET.

5.2.3.2 Almacenamiento superficial

El almacenamiento superficial es la suma del almacenamiento en charcos y el almacenamiento por pendiente, para su cálculo se empleara el mapa de usos de suelos y el modelo de elevación digital respectivamente.

$$\text{Almacenamiento debido a la pendiente (mm)} = 10 - 1.3 * \text{pendiente (m/m)}; \text{pendiente} < 0.075 \text{ (m/m)}$$

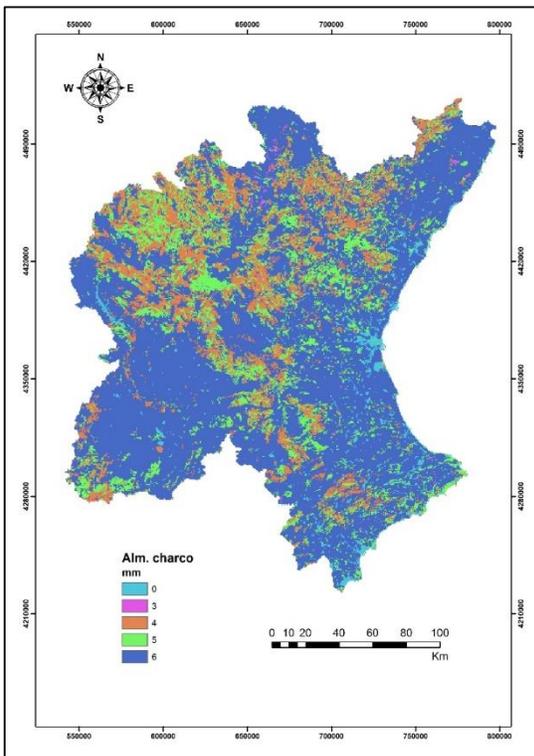
5.2.3.3 Profundidad de raíces

Para el cálculo de profundidad de raíces, se ha reclasificado el mapa de usos de suelo del Proyecto Corine Land Cover 2006. En la Tabla 5.9 se muestra los valores utilizados en la reclasificación del mapa de uso de suelos y en la Figura 5.17 se observa los mapas ya trabajados.

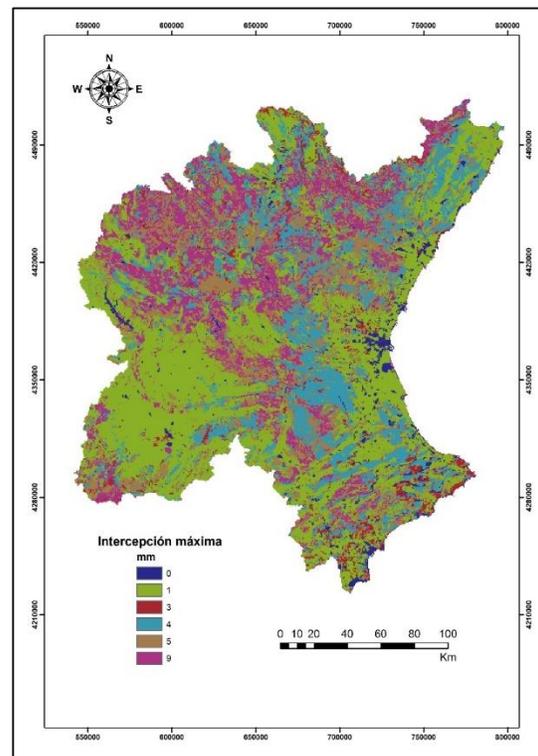
Tabla Nº 5.9 Intercepción, almacenamiento en charcos y profundidad de raíces en las distintas en los distintos usos de suelo.

Clases	Código	Clasificación CLC 2006	Prof. Raíces (m)	Almac. Charcos (mm)	Intercepción (mm)
urbano	111	Tejido urbano continuo	0.06	0	0
	112	Tejido urbano discontinuo	0.1	5	3
	121	Zonas industriales o comerciales	0.06	0	0
	122	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	0.06	0	0
	123	Zonas portuarias	0.1	0	0
	124	Aeropuertos	0.1	0	0
	131	Zonas de extracción minera	0.01	0	0
	132	Escombreras y vertederos	0.06	0	0
	133	Zonas en construcción	0.06	0	0
	141	Áreas verdes urbanas	0.1	5	3
	142	Instalaciones deportivas y recreativas	0.1	5	3
Secano no arborizado	211	Tierras de labor en secano, cultivo de no regadío	0.8	6	1
	241	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0.7	6	1
Regadío	212	Terrenos regados permanentemente	0.5	6	1
Arrozales	213	Arrozales	0.75	6	1
Viña	221	Viñedos	0.8	6	1
Frutales	222	Frutales (secano y regadío)	1.5	6	1
	243	Terreno principalmente agrícolas	0.75	6	5

Olivo	223	Olivares	1.45	6	1
Pastizal natural	231	Prados y praderas	0.6	6	3
	321	Pastizales naturales	0.6	6	3
Hortalizas	242	Mosaico de cultivos	0.7	6	1
	244	Sistemas agroforestales	0.55	4	9
Bosques	311	Bosques de frondosas	1	4	9
	312	Bosques de coníferas	1.25	4	9
	313	Bosques mixtos	1	4	9
Montaña matorral	322	Landas y matorrales mesófilos	0.7	6	3
	323	Matorrales esclerófilos	0.7	6	4
	324	Matorral Boscoso de transición, arbustos	0.7	5	5
Vegetación escasa	331	Playas, dunas y arenales	0	0	0
	332	Roca desnuda	0.02	0	0
	333	Áreas con escasa vegetación	0.02	3	0
	334	Zonas quemadas	0	0	0
Ríos y ramblas	411	Humedales y zonas pantanosas	0	0	0
	412	turberas y prados turbosos	0	0	0
	421	Marismas	0	0	0
	422	Salinas	0	0	0
	423	Zonas llanas inter mareales	0	0	0
	511	Cursos de agua	0	0	0
	512	Láminas de agua	0	0	0
	521	Lagunas costeras	0	0	0
	522	Estuarios	0	0	0
	523	Mares y océanos	0	0	0



(a)



(b)

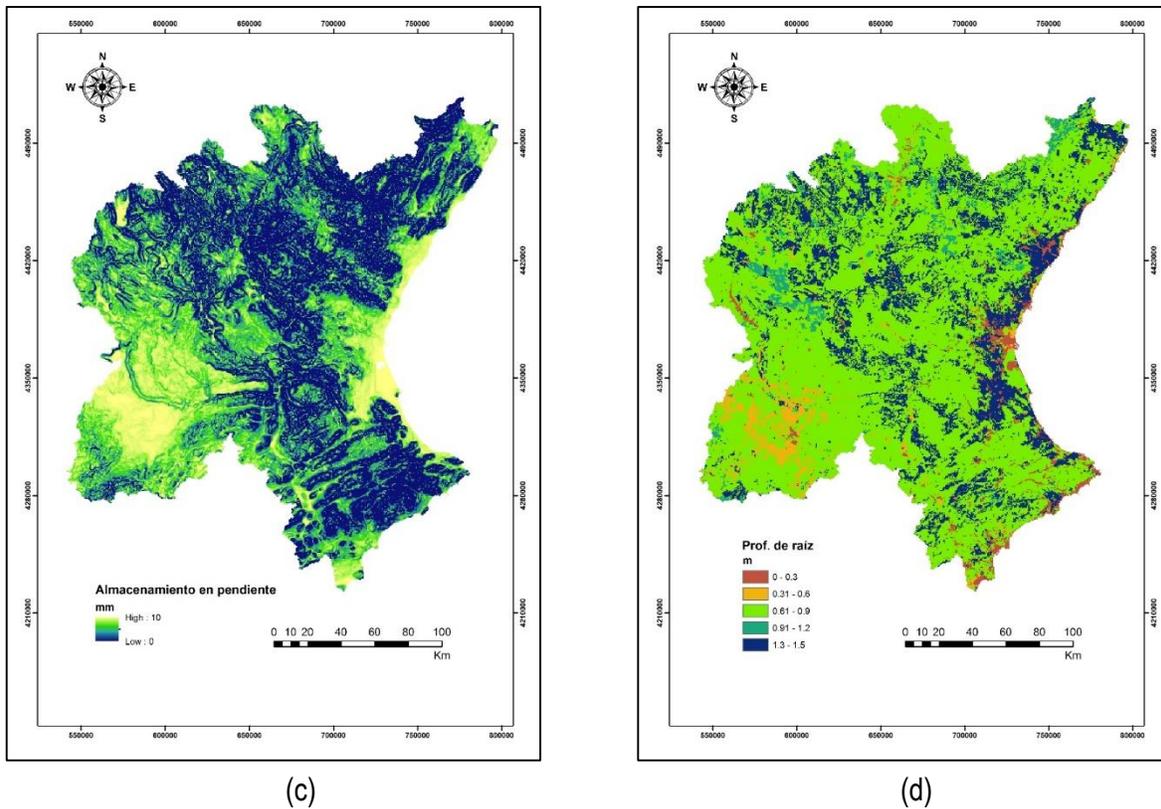


Figura N° 5.17 (a) Almacenamiento en charcos, (b) Intercepción, (c) Almacenamiento en pendiente y (d) profundidad de raíces.

5.3 Parámetros hidráulicos del terreno

5.3.1 Mapa de capacidad de almacenamiento hídrico del suelo

El almacenamiento hídrico del suelo (H_u), es la suma del almacenamiento superficial (charcos + pendiente) y el almacenamiento capilar del suelo, para este último se utilizó el mapa de profundidad de raíces y a su vez la cartografía tomada de la base de datos de suelo europea ESDB, que también fue reclasificado y uso el mapa de capacidad de agua disponible en la capa superior del suelo (AWC_TOP) y el obstáculo de raíces (ROO) como se muestra en la Tabla 5.10 y en la Figura 5.18. El mapa de capacidad de almacenamiento hídrico del suelo H_u se observa en la Figura 5.19.

$$H_u = Almsup + AWC * TOP * \min(Prof. raíces; ROO)$$

Tabla N° 5.10 Reclasificación de los mapas AWC_TOP y ROO .

AWC_TOP (mm/m)	AWC_TOP reclasificado (mm/m)	ROO (cm)	ROO reclasificado (cm)
Baja (<100mm/m)	80	>80	200
Media (100-140 mm/m)	120	60-80	70
Alta (140-190 mm/m)	165	40-60	50
Muy Alta (>190 mm/m)	200	20-40	30

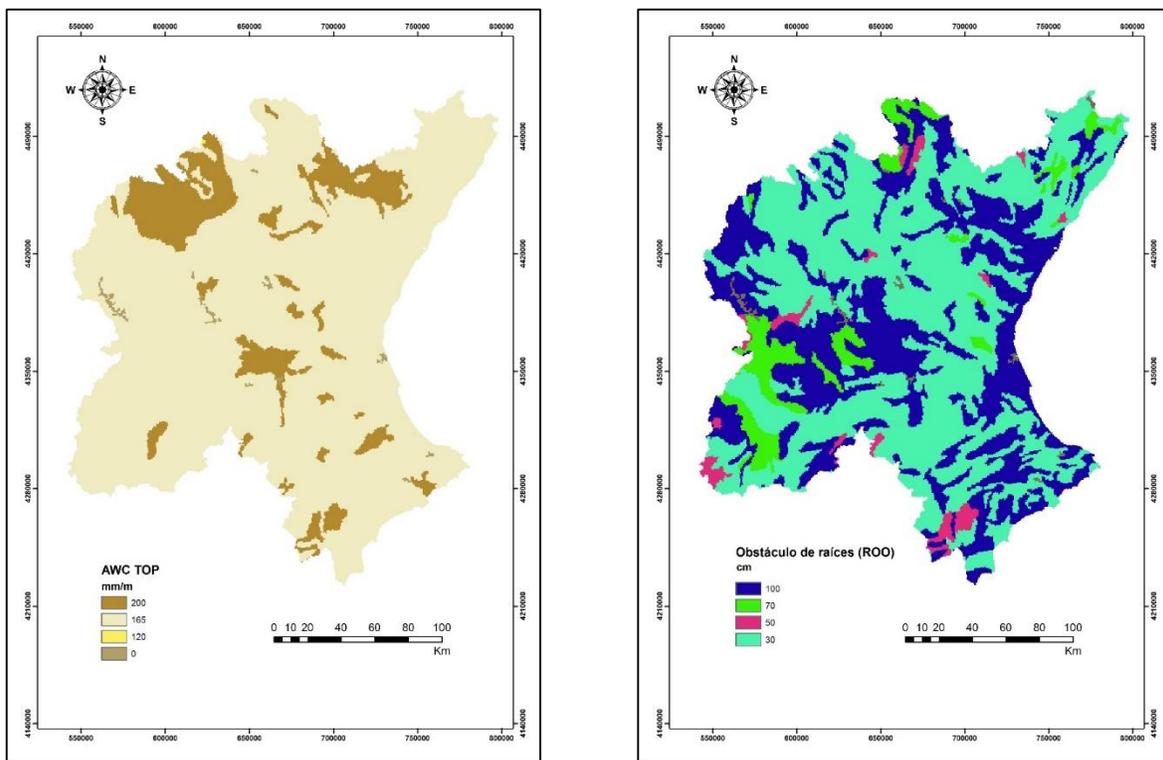


Figura N° 5.18 (a) Mapa reclasificado AWC_TOP y (b) Mapa reclasificado ROO.

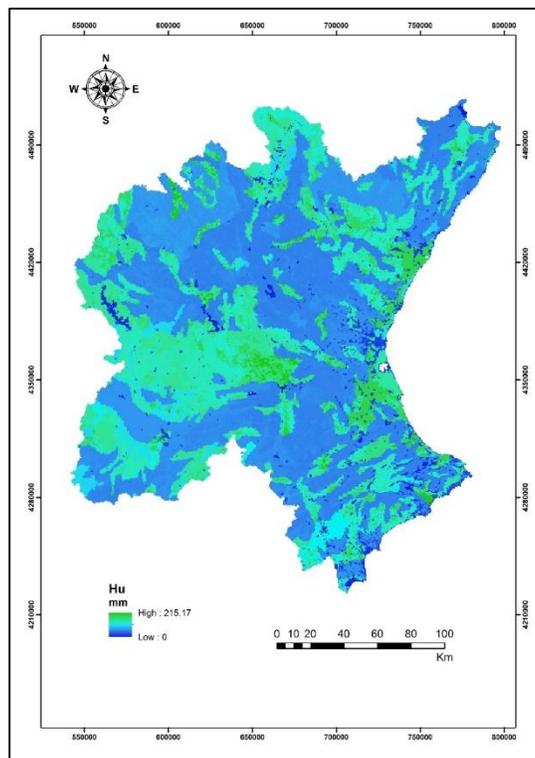


Figura N° 5.19 Mapa de capacidad de almacenamiento hídrico del suelo Hu.

5.3.2 Capacidad de infiltración

La capacidad de infiltración K_s , se obtiene aplicando las funciones de pedo-transferencia de Saxton y Rawls (2006), mediante el cual se relacionan parámetros hidráulicos del suelo con las características físicas del mismo como la textura, procedente de la Base de Datos del Suelo Europea ESDB. Para el mapa de conductividad hidráulica del interflujo K_{ss} se empleará el mismo mapa K_s . El mapa K_{ss} ya será corregido por el factor corrector respectivo. En la Figura 5.20 se puede observar el mapa resultante K_s en mm/hora.

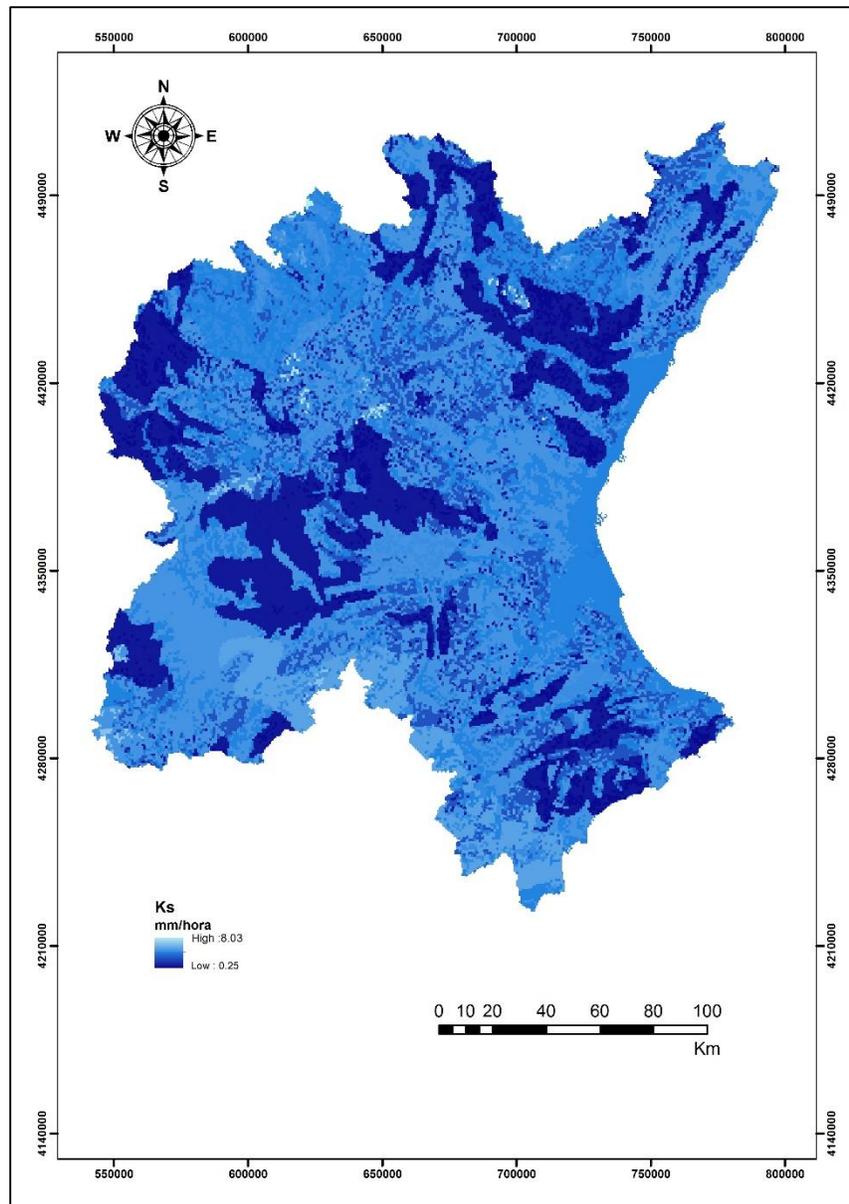
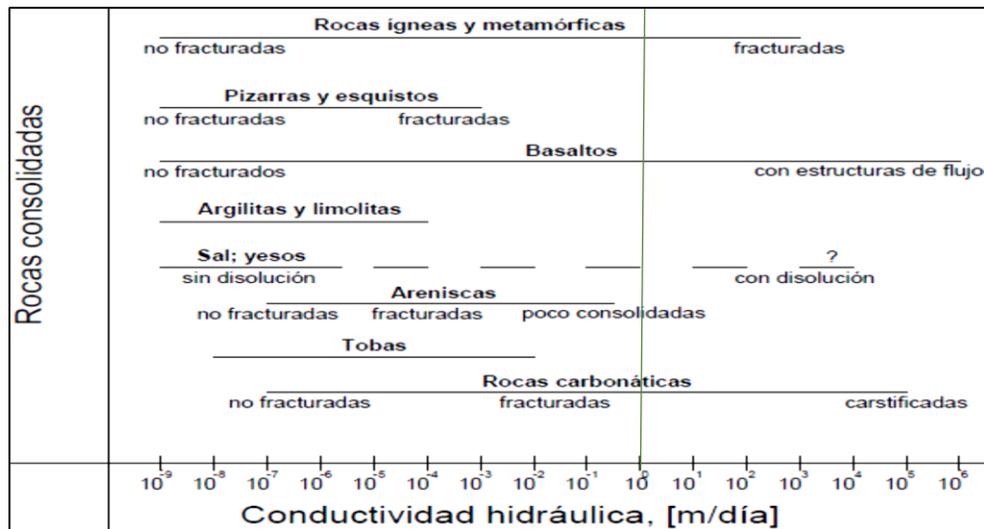


Figura N° 5.20 Mapa capacidad de infiltración K_s (mm/hora)

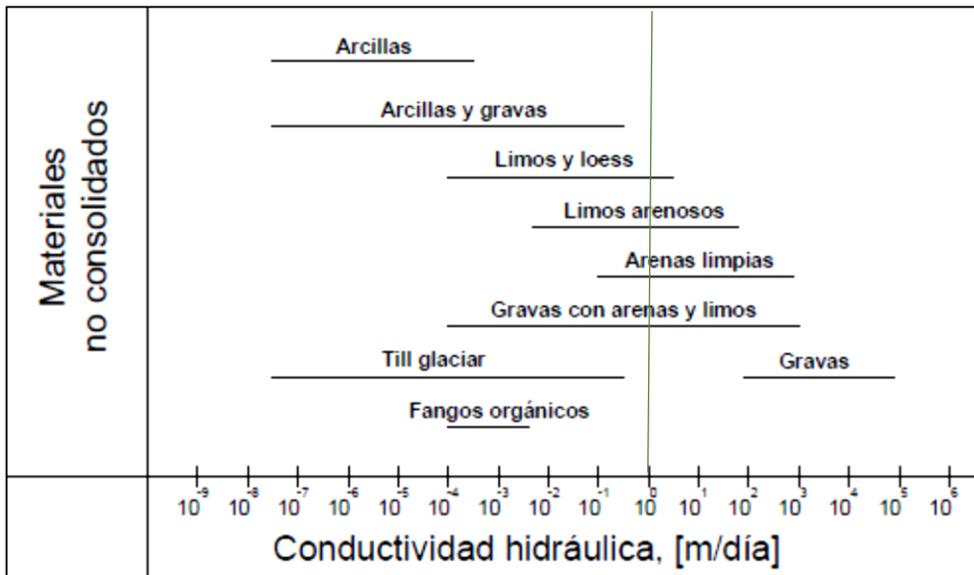
5.3.3 Capacidad de percolación

Para estimar la capacidad de percolación K_p , se ha empleado el mapa de permeabilidad cualitativa del IGME, realizando la asignación de valores empleados en anteriores trabajos (K_{p0}) y asimismo otros valores (K_{p1} y K_{p2}) que fueron tomados en base a la Figura 5.20. Los valores de todos estos se detallan en la Tabla 5.11.

En la Figura 5.22 se observa el mapa de permeabilidad cualitativo del IGME que se toma como base para definir el mapa de capacidad de percolación.



(a)



(b)

Figura N° 5.21 (a) Permeabilidad en material consolidado y (b) permeabilidad en material no consolidado.

Fuente: M. Puricelli (2003), Tesis Doctoral.

Tabla Nº 5.11 Valores de permeabilidad asignados para las diferentes categorías cualitativas de permeabilidad en los tres casos (Kp0, Kp1 y Kp2).

Categoría	Kp0 (mm/h)	Tipo de roca (Kp1 y Kp2)	Kp1 (mm/h)	Kp2 (mm/h)
C-MB	0.000417	rocas carbonáticas	0.041667	0.000417
C-B	0.074095	rocas carbonáticas	0.416667	0.041667
C-M	13.176157	rocas carbonáticas	4.166667	4.166667
C-A	2343.088855	rocas carbonáticas	416.666667	416.666667
C-MA	416666.666700	rocas carbonáticas	41666.666667	41666.666667
E-MB	0.041667	yesos	0.041667	0.000417
E-B	0.740950	yesos	0.416667	0.041667
E-M	13.176157	yesos	4.166667	4.166667
D-MB	0.000004	arcilla y limo	0.041667	0.000417
D-B	0.000417	arcilla y limo	0.416667	0.041667
D-M	0.041667	arena, limo	4.166667	4.166667
D-A	4.166667	arena, limo	416.666667	416.666667
D-MA	416.666667	arena, limo	4166.666667	4166.666667
M-MB	0.000000	arenisca	0.041667	0.000417
M-B	0.000023	arenisca	0.416667	0.041667
M-M	0.001318	arenisca	4.166667	4.166667
Q-B	0.007409	gravas con arenas y limos	0.416667	0.041667
Q-M	1.317616	gravas con arenas y limos	4.166667	4.166667
Q-A	234.308886	gravas con arenas y limos	416.666667	416.666667
Q-MA	41666.666670	gravas con arenas y limos	41666.666667	41666.666667
V-MB	0.360000	ígneas	0.041667	0.000417
V-B	1.138420	ígneas	0.416667	0.041667
I-MB	0.000000	ígneas	0.041667	0.000417
I-B	0.000036	ígneas	0.416667	0.041667

Donde la primera letra corresponde a la unidad litológica: (C) Caliza, (E) Evaporitas, (D) Detrítica, (M) Metadetrítica, (Q) Cuaternario, (V) Volcánico, (I) Ígnea. Y la segunda al grado cualitativo de permeabilidad: (MB) Muy baja, (B) Baja, (M) Media, (A) Alta, (MA) Muy alta. La columna "tipo de roca" hace referencia a la clase de roca que se tomó en cuenta de la Figura 5.21, para designar los valores de Kp1 y Kp2.

Para los mapas de conductividad hidráulica del acuífero Ksa y del acuífero profundo Kps se emplea el mismo mapa de capacidad de percolación Kp.

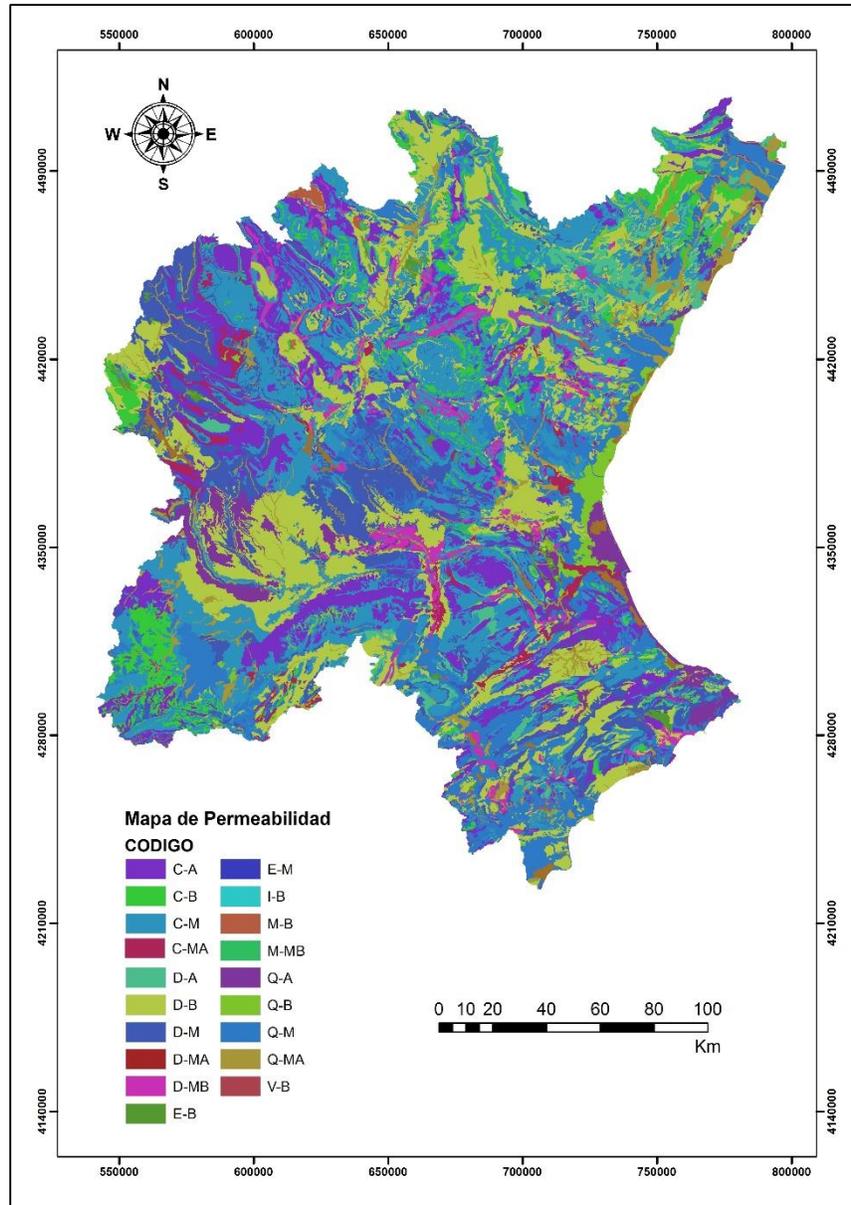


Figura N° 5.22 Mapa de permeabilidad cualitativa del IGME.

5.3.4 Fenómenos Kársticos

Para representar la influencia de los fenómenos kársticos se emplearán dos metodologías:

- La primera metodología consistirá en replicar lo que se realizó en el informe de las marinas (IIAMA, 2011), en el cual se construirá un mapa de localización de zonas potencialmente kársticas a partir de la información geológica, reclasificando a las zonas de rocas carbonatadas como zonas con presencia de karst. Una vez obtenido el mapa de zonas kársticas se ha redefinido los mapas de parámetros de la siguiente manera:

- El mapa de permeabilidad horizontal del suelo (k_{ss}) se le ha multiplicado por un factor de 200 en las zonas no kársticas y por un factor de 1000 en las zonas kársticas.
 - El mapa de permeabilidad del sustrato (k_p), sumado un valor de 15 mm/h en las zonas kársticas.
 - El mapa de conductividad hidráulica horizontal del sustrato (k_{sa}) se ha estimado como igual al mapa de permeabilidad vertical del sustrato (k_p) corregido.
 - El factor de pérdidas (k_p) se ha estimado igual a $0.1 \times k_p$.
- b) La segunda metodología consistirá en utilizar el mapa Kárstico de 1:1000000 del IGME, el cual señala las zonas karst presentes en la demarcación, para luego redefinir los mapas de parámetros. En esta metodología se subdivide en dos metodologías que serán usadas independientemente o combinadas, dichas metodologías se describen a continuación:
- El mapa de permeabilidad del sustrato (k_p) se modifica sumándole 15 ó 50 mm/hora en las zonas kársticas.
 - El mapa de permeabilidad horizontal del suelo (k_{ss}) se le multiplica por un factor de 200 en las zonas no kársticas y por un factor de 1000 en las zonas kársticas.

El mapa karst del IGME, viene diferenciado por distintas intensidades de karstificación en formato de imagen no editable, sin embargo también está disponible el mismo mapa karst en formato vectorial que no está diferenciado por intensidades, este último es el que se utilizó en este trabajo.

5.4 Parámetros geomorfológicos

Como se mencionó en la descripción del modelo TETIS se utilizará las ecuaciones de la onda cinemática geomorfológica para determinar la propagación de la escorrentía en la red de drenaje, para utilizar dicha ecuación es necesario obtener los nueve parámetros (coeficientes y exponentes) geomorfológicos.

En nuestro caso de estudio se empleará los valores obtenidos del estudio de la cuenca del Tajo (DIHMA, 2001), en el cual se detallan cinco zonas geomorfológicas (zona de alta montaña, cuenca media, cuenca baja, zona de cabecera y cauce del río), los parámetros de la ecuación de onda cinemática se muestran en la Tabla 5.12.

Tabla Nº 5.12 Coeficientes y exponentes adoptados para la OCG.

Coeficiente		Exponente	
K	1.2968	Φ	0.7571
c1	3.1301	ϵ_1	0.5088
		ϵ_2	0.3253
cd	6.5156	θ	0.6548
cn	0.047	ξ	0.1667

CAPITULO 6. ANÁLISIS DE LA CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

La calibración en el modelo TETIS corresponde a identificar los valores de los 9 factores correctores con el objetivo de obtener la mejor aproximación entre los flujos simulados y observados. La identificación de los factores correctores se puede realizar de dos formas; la primera es manual, mediante prueba y error, la segunda es hacerla automáticamente con la ayuda de técnicas de optimización matemática. Para este último es necesario determinar la sensibilidad de cada factor corrector lo cual conlleva a realizar pruebas sucesivas de los parámetros.

La validación tiene por objetivo medir la bondad del modelo, en este proceso se toma los parámetros calibrados y se procede a la simulación en un periodo diferente al de calibración. El ajuste entre los resultados simulados y observados durante la calibración suelen ser más satisfactorio que los obtenidos en el proceso de validación, sin embargo los resultados de la validación son más representativos de la exactitud de la predicción que se hagan con el modelo (Palacios V., 1986).

En este capítulo se realizó primeramente la comparación del empleo de 2 mapas de capacidad de percolación (Kp_1 y Kp_2) y diversas metodologías para implementar los fenómenos karst, que fueron descritas anteriormente. Seguidamente se analizó el desfase temporal entre los datos de precipitación y de aforo. Y finalmente se procedió a comparar la calibración y validación cruzada empleando los mapas de capacidad de percolación y la metodología de representación de fenómenos kársticos elegida en el apartado 6.1.

6.1 Comparación de mapas de capacidad de percolación

Al tener distintos valores para el mapa de capacidad de percolación (Kp_0 , Kp_1 y Kp_2), se optó por realizar la comparación en la estación de *Pajaroncillo_8090*, a fin de elegir los mapas que mejor representen a la cuenca. A su vez se desarrolló las metodologías planteadas en el apartado 5.3.4 para representar los fenómenos kársticos.

En total se tiene 14 casos para ser calibrados automáticamente, de los cuales se escogió los que mejor representen a la cuenca, para luego ser utilizados en la calibración y validación de todas las estaciones de aforo. El periodo de calibración es enero 2004 hasta diciembre 2007 y un año de periodo de calentamiento, a una escala temporal diaria. Los 14 Casos se detallan a continuación:

Mapas sin caracterizar fenómenos Karst

Kp_0 : Utilizando el mapa de capacidad de percolación con los valores de la Tabla 5.12 (Kp_0)

Kp_1 : Utilizando el mapa de capacidad de percolación con los valores de la Tabla 5.12 (Kp_1)

Kp_2 : Utilizando el mapa de capacidad de percolación con los valores de la Tabla 5.12 (Kp_2)

Metodologías para representar el Karst, siendo mapa base Kp_0

Kp_0_karst : Caso karst realizando la primera metodología, teniendo como base el mapa Kp_0 .

Kp_0_15 : Caso karst realizando la segunda metodología, donde se modifica el mapa Kp_0 sumando 15 mm/hora en las zonas karst.

Metodologías para representar el Karst, siendo mapa base Kp1

Kp1_karst: Caso karst realizando la primera metodología, teniendo como base el mapa Kp1.

Kp1_15: Caso karst realizando la segunda metodología, donde se modifica el mapa Kp1 sumando 15 mm/hora en las zonas karst.

Kp1_15_Kss: Caso karst realizando la segunda metodología, donde se modifica el mapa Kp1 sumando 15 mm/hora en las zonas karst y a su vez modificando el mapa Kss.

Kp1_50: Caso karst realizando la segunda metodología, donde se modifica el mapa Kp1 sumando 50 mm/hora en las zonas karst.

Kp1_50_Kss: Caso karst realizando la segunda metodología, donde se modifica el mapa Kp1 sumando 50 mm/hora en las zonas karst y a su vez modificando el mapa Kss.

Metodologías para representar el Karst, siendo mapa base Kp2

Kp2_karst: Caso karst realizando la primera metodología, teniendo como base el mapa Kp2.

Kp2_15: Caso karst realizando la segunda metodología, donde se modifica el mapa Kp2 sumando 15 mm/hora en las zonas karst.

Kp2_15_Kss: Caso karst realizando la segunda metodología, donde se modifica el mapa Kp2 sumando 15 mm/hora en las zonas karst y a su vez modificando el mapa Kss.

Kp2_50: Caso karst realizando la segunda metodología, donde se modifica el mapa Kp2 sumando 50 mm/hora en las zonas karst.

Kp2_50_Kss: Caso karst realizando la segunda metodología, donde se modifica el mapa Kp2 sumando 50 mm/hora en las zonas karst y a su vez modificando el mapa Kss.

Después de realizar la calibración automática en cada caso, se procedió a su comparación, teniendo en cuenta los flujos medios y el indicador de eficiencia Nash. Estos resultados se muestran en la Tabla 6.1.

Tabla Nº 6.1 Resultados en la calibración automática de los distintos mapas de Kp en la estación de Pajaroncillo para el periodo 2004-2007.

ALMACENAMIENTOS Y FLUJOS MEDIOS EN LA CUENCA	Kp0	Metodología Karst		Kp1	Metodología Karst					Kp2	Metodología Karst				
		Kp0_karst	Kp0_15		Kp1_karst	Kp1_15	Kp1_15_Kss	Kp1_50	Kp1_50_Kss		Kp2_karst	Kp2_15	Kp2_15_Kss	Kp2_50	Kp2_50_Kss
* Cubierta vegetal															
BL Nivel medio en la cuenca [mm]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
BL Lluvia [mm]	3455	3455	3455	3455	3455	3455	3455	3455	3455	3455	3455	3455	3455	3455	3455
BL Evaporación desde interc. [mm]	1054	1127	1052	1089	1075	1093	1179	1062	1104	1048	1009	1051	1057	1043	1243
* Suelo (alm. estático)															
BL Nivel medio en la cuenca [mm]	81	78	78	74	82	90	67	89	81	89	104	103	92	100	46
BL Lluvia directa [mm]	2401	2328	2403	2366	2380	2362	2276	2393	2351	2407	2445	2404	2398	2412	2212
BL Evapotranspiración [mm]	1521	1695	1499	1555	1584	1689	1732	1592	1654	1556	1528	1650	1603	1608	1707
* Agua en superficie															
BL Nivel medio en la cuenca [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BL Excedente [mm]	829	589	853	780	762	640	524	764	667	810	862	710	758	759	493
BL Escorrentía directa [mm]	63	0.9	69	53	21	17	7	4	2	63	3	48	5	8	5
* Almacenamiento gravitacional															
BL Nivel medio en la cuenca[mm]	9	2	8	8	11	1	0	11	0	8	3	8	0	2	0
BL Infiltración [mm]	766	588	784	727	741	623	517	760	665	747	858	662	753	751	488
BL Interflujo [mm]	333	202	322	347	397	30	16	63	18	326	79	318	72	68	48
* Acuífero															
BL Nivel medio en la cuenca [mm]	0	15	0	2	1	14	15	10	23	0	16	0	12	12	8
BL Percolación [mm]	432	385	461	379	342	593	501	689	647	420	778	343	681	682	440
BL Flujo subt. conectado [mm]	0	174	0	9	10	332	316	313	348	0	332	0	288	297	230
BL Flujo subt. profundo [mm]	432	203	461	379	342	262	184	380	290	420	445	343	385	375	206
Caudal de salida de la cuenca [mm]	395	377	391	409	428	378	339	381	368	389	415	366	365	373	283
NASH	0.70	0.79	0.74	0.72	0.72	0.75	0.74	0.76	0.72	0.74	0.75	0.76	0.80	0.78	0.55

El mapa $Kp0$ fue elegido directamente para ser comparado en el apartado 6.3, ya que en anteriores trabajos siempre ha sido empleado.

Luego de realizado las calibraciones se observó en la Tabla 6.1 lo siguiente:

En la calibración se observa que usando el mapa $Kp2$ se obtiene un índice de Nash ligeramente mayor que el $Kp1$, y unos flujos medios similares en la cuenca.

Al plantear las metodologías donde se incluye los fenómenos kársticos, se muestra que en los casos; $Kp0_{15}$, $Kp1_{15}_{Kss}$, $Kp1_{50}$, $Kp1_{50}_{Kss}$, $Kp2_{karst}$, $Kp2_{15}_{Kss}$, $Kp2_{50}$ y $Kp2_{50}_{Kss}$, se da una escorrentía directa con valores muy bajos, que no son propios de la cuenca. En los casos $Kp0_{karst}$, $Kp1_{karst}$ y $Kp2_{15}$, presentan un flujo subterráneo conectado con valores bajos incluso 0, que tampoco es característico de esta cuenca, ya que esta cuenca tiene flujo base. Cabe destacar que en general se obtiene unos índices de Nash similares para todos los casos.

El caso $Kp1_{15}$, es el único que representa de la mejor manera los flujos medios de la cuenca de Pajaroncillo. Por los motivos expuestos anteriormente, se eligió para la calibración y validación que se desarrollara en el apartado 6.3, el mapa de capacidad de percolación $Kp1$ y la metodología $Kp1_{15}$.

6.2 Desfase temporal a escala diaria

Al usar datos de precipitación del proyecto *Spain02V4*, y de aforo del CEDEX se observó que ocurría un desfase temporal entre dichos datos, lo que podría deberse a la toma de datos y/o al tiempo de concentración. Ante esta situación se planteó agregar una columna al análisis del apartado 6.3, con el fin de comparar el efecto de este desfase en los resultados de simulación. La descripción de la columna se detalla a continuación:

Kp1_15_1 Día: Escenario donde los datos observados de aforo, fueron desplazados un día atrás para corregir el desfase temporal. El mapa de capacidad de percolación empleado para este caso es $Kp1_{15}$, ya que este mapa presenta mejores resultados.

En la Figura 6.1 y 6.2 se observa que existe un desfase temporal entre los datos de aforo (Q Orig) y precipitación (PP). En los gráficos las líneas punteadas representan el caudal observado y simulado, con el desfase original, mientras que las líneas solidas son el caudal observado y simulado, luego de ser desplazados 1 día. Se puede observar que al desplazar el caudal a un día anterior mejora el resultado de las simulaciones.

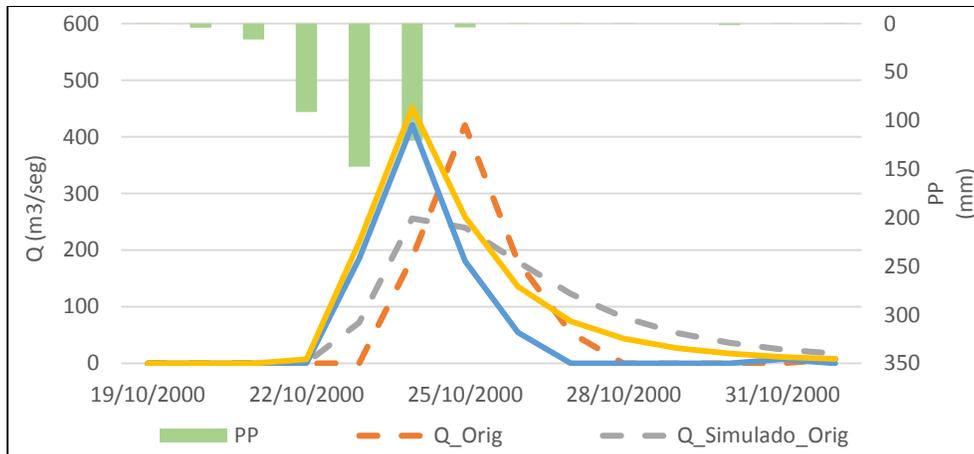


Figura N° 6.1 Desfase temporal entre los datos de precipitación y de aforo en el embalse de María Cristina.

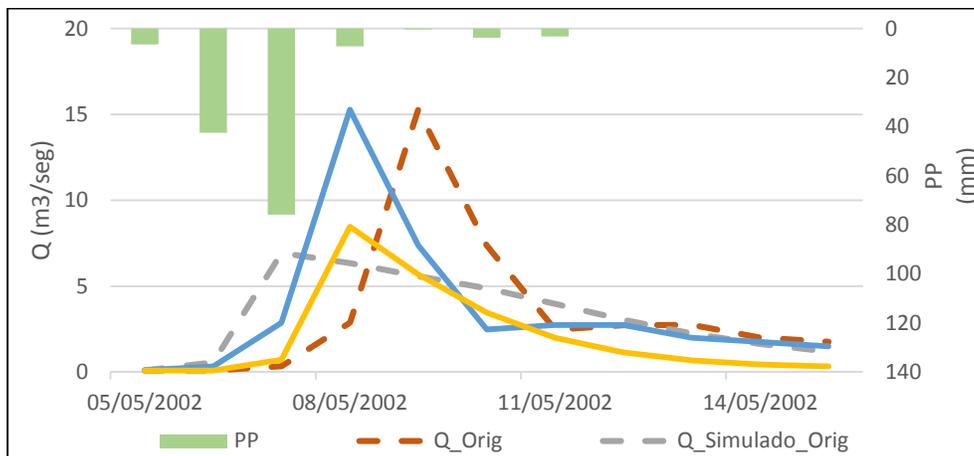


Figura N° 6.2 Desfase temporal entre los datos de precipitación y de aforo en el embalse de Beniarrés.

6.3 Calibración y validación.

A partir de los datos interpolados diarios de precipitación y temperatura de *Spain02V4*, y con la serie de caudales medios diarios obtenidos del CEDEX para cada estación, se realizó la modelación hidrológica utilizando el modelo hidrológico distribuido TETIS. Dado la cantidad de estaciones por calibrar se optó por realizar la identificación de los factores correctores de forma automática utilizando la técnica de optimización matemática SCE-UA, con la que cuenta el modelo TETIS. La calibración se realizó a los 9 factores correctores, teniendo en cuenta la sensibilidad de cada uno.

El periodo de calibración es desde enero del 2004 a diciembre del 2007 a una escala temporal diaria. Para resolver la posible influencia del estado inicial de los seis tanques de almacenamiento del suelo, en la calibración y en la validación, se utilizó un periodo de calentamiento de un año.

La calibración y validación temporal se desarrollaron para cada estación de aforo empleando los casos (Kp0, Kp1 y Kp1_15) descritos en el apartado 6.1, y también el escenario con el desfase

temporal $Kp1_{15_1Día}$. La validación espacial y espacio-temporal se realizó de forma cruzada entre todas las estaciones de aforo.

6.3.1 Estación Amadorio

6.3.1.1 Calibración

Se realizó la calibración automáticamente en el embalse *Amadorio_8004* para el periodo enero 2004 hasta diciembre 2007, en la Tabla 6.2 se muestra los factores correctores que fueron obtenidos en la calibración automática para los cuatro casos elegidos y descritos en el apartado 6.1.

Tabla Nº 6.2 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Amadorio_8004*.

FACTOR CORRECTOR	Amadorio_8004			
	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
FC 1 Almacenamiento estático	0.141	1.137	1.922	1.694
FC 2 Evaporación	0.445	0.442	0.727	1.280
FC 3 Infiltración	0.841	0.842	1.991	1.795
FC 4 Escorrentía directa	0.0001	0.0002	1.589	0.004
FC 5 Percolación	0.928	1.943	1.226	1.736
FC 6 Interflujo	0.0001	0.088	80.532	49.535
FC 7 Flujo subterráneo profundo	0.251	0.845	1.915	0.604
FC 8 Flujo base	83.731	10.352	99.925	68.958
FC 9 Velocidad del flujo base	0.815	0.813	0.009	0.296

Tabla Nº 6.3 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse *Amadorio_8004*, para el periodo ene 2004-dic 2007.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	607	607	607	607
Evaporación desde interc. [mm/año]	96	96	107	119
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	5	60	76	48
Lluvia directa [mm/año]	511	511	500	488
Evapotranspiración [mm/año]	83	186	287	326
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	36	11	0	0
Excedente [mm/año]	427	324	197	149
Escorrentía directa [mm/año]	67	47	9	8
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	534	63	6	6
Infiltración [mm/año]	341	264	188	140
Interflujo [mm/año]	0	1	2	3
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	17	47	1	14
Percolación [mm/año]	153	238	155	120
Flujo subt. conectado [mm/año]	2	4	0	11

Flujo subt. profundo [mm/año]	145	220	155	103
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	70	51	35	34

En la Tabla 6.3 se observa que incrementa el interflujo y la evapotranspiración cuando se introduce el karst (Kp1_15) en el modelo, así mismo disminuye la escorrentía directa y el flujo subterráneo conectado. Al realizar el desplazamiento del caudal, genera que se incremente el flujo subterráneo conectado disminuyendo el interflujo.

Tabla Nº 6.4 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Amadorio_8004.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol.	46%	6%	-27%	-27%
NASH	0.24	0.32	0.56	0.51

Como se muestra en la Tabla 6.4, se da mejores indicadores de eficiencia al introducir los fenómenos kársticos (Kp1_15), y teniendo peores resultados al emplear el mapa Kp0.

En la Figura 6.3 se observa que el resultado de los almacenamientos y aportaciones subterráneas del periodo de calentamiento son buenos. Por otra parte el modelo no reproduce todos los caudales picos, subestimándolos en su mayoría, sin embargo se obtiene un índice de eficiencia de 0.51 con el cual se podría considerar los resultados como aceptables.

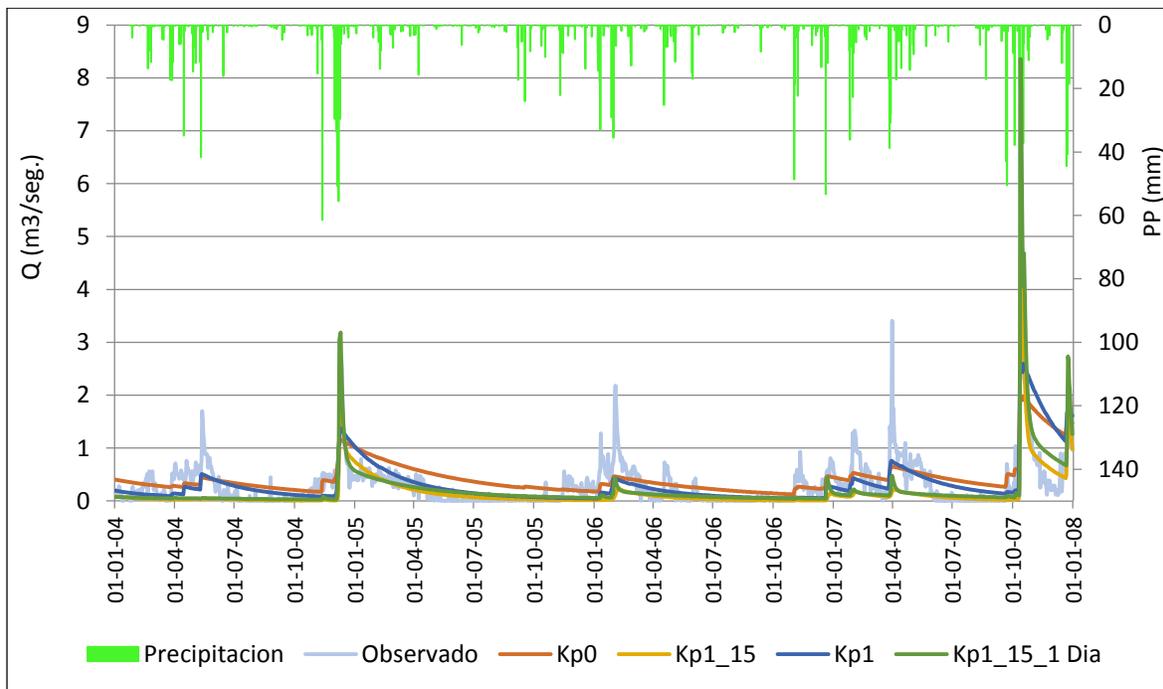


Figura Nº 6.3 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Amadorio_8004, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.

6.3.1.2 Validación

La validación temporal se realizó para el periodo enero 2002 a diciembre 2003 y para la validación espacio-temporal se procedió a realizarla en las 9 estaciones restantes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tal como se mencionó en el apartado 6.2.

A. Validación temporal

Utilizando los factores correctores obtenidos en la calibración, se realizó la validación temporal en el periodo enero 2002 a diciembre 2003. En la Tabla 6.5 se observa que incrementa el interflujo y la evapotranspiración cuando se introduce el karst (Kp1_15) en el modelo. Al realizar el desplazamiento del caudal (Kp1_15 1 Día), genera que se incremente el flujo subterráneo conectado disminuyendo el interflujo.

Tabla Nº 6.5 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Amadorio_8004, para el periodo ene 2002-dic 2003.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	309	309	309	309
Evaporación desde interc. [mm/año]	58	57	65	72
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	6	66	68	39
Lluvia directa [mm/año]	252	252	244	237
Evapotranspiración [mm/año]	53	105	170	208
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	30	12	0	0
Excedente [mm/año]	200	148	68	30
Esorrentía directa [mm/año]	29	24	2	1
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	334	29	4	1
Infiltración [mm/año]	166	123	66	29
Interflujo [mm/año]	0	1	2	3
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	15	25	1	6
Percolación [mm/año]	77	112	56	27
Flujo subt. conectado [mm/año]	1	1	0	2
Flujo subt. profundo [mm/año]	73	105	56	24
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	30	25	11	5

En la Tabla 6.6 se muestra que da la misma manera que en la calibración, en la validación se da una mejores indicadores de eficiencia del modelo, al introducir los fenómenos kársticos (Kp1_15), así mismo da peores resultados al usar el mapa Kp0.

Tabla Nº 6.6 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Amadorio_8004

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol.	66%	38%	-35%	-66%
NASH	0.02	0.13	0.31	0.30

En la Figura 6.4 se observa que el resultado de los almacenamientos y aportaciones subterráneas del periodo de calentamiento no son tan buenos. El modelo subestima los caudales picos.

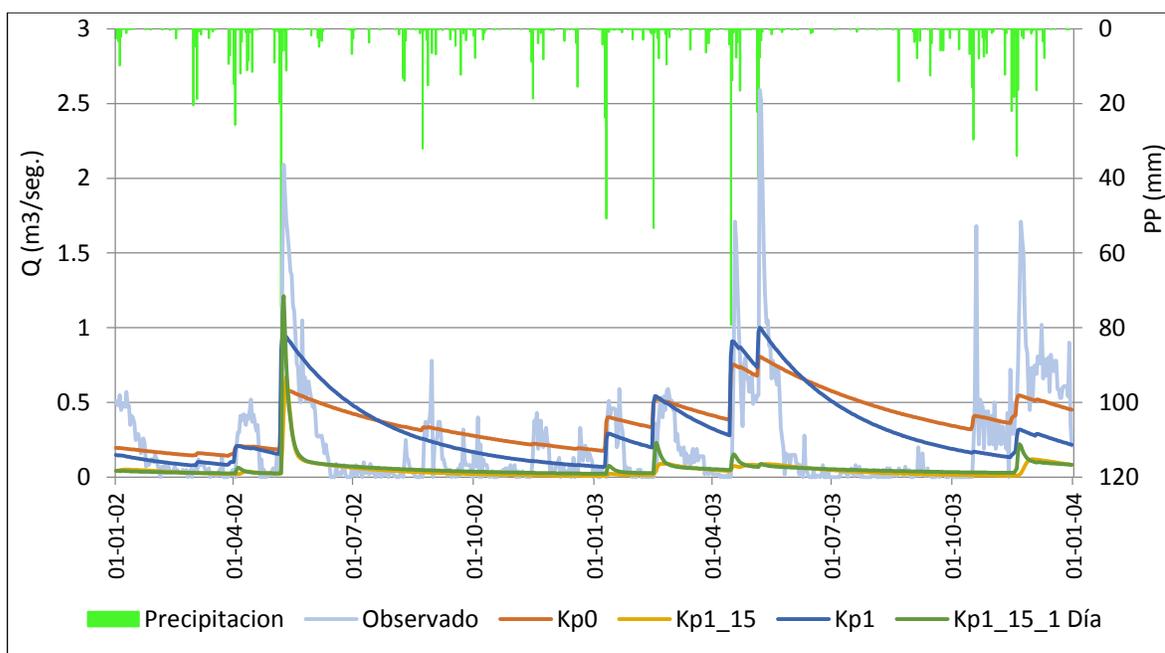


Figura Nº 6.4 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Amadorio_8004, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.

B. Validación espacial

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Amadorio_8004, para realizar la validación espacial en las otras 9 estaciones (primera fila de la Tabla 6.7), así mismo para los cuatro casos elegidos en el apartado 6.2.

Para poder distinguir fácilmente los resultados se ha empleado un código de colores, los cuales indican en el caso de Nash valores positivos, y en el caso de error de volumen, señala que se encuentran en un rango de +/-50%.

Tabla Nº 6.7 Resultado de la validación espacial del embalse Amadorio_8004 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-95%	106%	-95%	-9%	-78%	-64%	-43%	-76%	541%
NASH (Kp0)	-0.47	0.07	-0.07	0.04	-0.92	-1.00	0.04	-1.77	-0.57
Kp1									
Error Vol. (%)	-93%	63%	-98%	-33%	-88%	-80%	-71%	-85%	275%
NASH (Kp1)	-0.44	0.13	-0.08	0.04	-1.14	-1.61	-0.01	-2.17	-0.10
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-93%	-17%	-99%	-48%	-99%	-92%	-88%	-96%	38%
Nash (Kp1_15)	-0.38	0.34	-0.09	0.09	-1.57	-2.26	0.13	-2.97	0.07
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-95.00	-18.00	-99.00	-48.00	-98.00	-93.00	-83.00	-96.00	4.40
Nash (Kp1_15)	-0.44	0.50	-0.09	0.12	-1.55	-2.32	0.20	-3.06	0.18

En la Tabla 6.7 se muestra que se da una validación espacial mejor en la estación de Beniarrés, Bellús y María Cristina.

C. Validación espacio – temporal

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Amadorio_8004, se realizó la validación espacio-temporal, en las 9 estaciones restantes y en el periodo de enero 2002 hasta diciembre 2003. En la Tabla 6.8 se muestra que se da una validación espacio-temporal mejor en la estación de Beniarrés, Bellús y María Cristina, de la misma manera que en la validación espacial anterior.

Tabla Nº 6.8 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Amadorio_8004 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-97%	223%	-94%	103%	-83%	-61%	-56%	-66%	399%
NASH (Kp0)	-0.74	-0.55	-0.06	-0.01	-0.78	-0.52	-0.38	-0.68	-0.33
Kp1									
Error Vol. (%)	-96%	190%	-97%	66%	-88%	-74%	-74%	-71%	229%
NASH (Kp1)	-0.72	-0.49	-0.06	0.02	-0.85	-0.78	-0.73	-0.70	-0.04
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-91%	25%	-99%	59%	-98%	-81%	-93%	-86%	20%
Nash (Kp1_15)	-0.60	-0.31	-0.07	0.07	-1.14	-1.14	-1.15	-1.31	0.03
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-94.00	-41.00	99.00	-29.00	-97.00	-89.00	-92.00	-93.00	-16.00
Nash (Kp1_15)	-0.66	0.52	-0.08	0.21	-0.49	-1.62	-0.28	-2.05	0.10

6.3.2 Estación de Arenós

6.3.2.1 Calibración

Se realizó la calibración automáticamente en el embalse *Arenos_8005* para el periodo enero 2004 hasta diciembre 2007, en la Tabla 6.9 se muestra los factores correctores que fueron obtenidos en la calibración automática para los cuatro casos elegidos y descritos en el apartado 6.1.

Tabla Nº 6.9 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Arenos_8005*.

FACTOR CORRECTOR	Arenos_8005			
	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
FC 1 Almacenamiento estático	0.971	1.083	1.399	1.341
FC 2 Evaporación	0.414	0.397	0.425	0.441
FC 3 Infiltración	0.913	1.747	1.899	1.885
FC 4 Escorrentía directa	0.6340	1.7798	1.152	1.221
FC 5 Percolación	0.290	0.067	0.039	0.045
FC 6 Interflujo	27.9412	24.024	27.204	36.473
FC 7 Flujo subterráneo profundo	0.859	1.029	0.974	1.138
FC 8 Flujo base	23.740	73.261	89.161	82.372
FC 9 Velocidad del flujo base	0.010	0.023	0.026	0.079

Tabla Nº 6.10 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse *Arenos_8005*, para el periodo ene 2004-dic 2007.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	1	1	1
Lluvia [mm/año]	513	513	513	513
Evaporación desde interc. [mm/año]	158	156	159	161
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	57	68	85	77
Lluvia directa [mm/año]	355	357	354	352
Evapotranspiración [mm/año]	196	195	217	221
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	165	169	147	141
Escorrentía directa [mm/año]	11	4	3	3
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	72	102	83	64
Infiltración [mm/año]	154	164	144	139
Interflujo [mm/año]	4	5	6	7
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	1	1	1
Percolación [mm/año]	81	72	66	66
Flujo subt. conectado [mm/año]	0	1	0	0
Flujo subt. profundo [mm/año]	81	72	66	66
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	80	92	76	73

En la Tabla 6.10 se observa que incrementa la evapotranspiración y disminuye la escorrentía directa cuando se introduce el karst (Kp1_15) en el modelo.

Tabla Nº 6.11 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Arenos_8005.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol.	-14%	-1%	-17%	-21%
NASH	0.59	0.64	0.52	0.53

Como se muestra en la Tabla 6.11, se obtiene mejores indicadores de eficiencia empleando el mapa de capacidad de percolación Kp1, empeora ligeramente los indicadores cuando se implementa los fenómenos kársticos (Kp1_15).

En la Figura 6.5 se observa que el resultado de los almacenamientos y aportaciones subterráneas del periodo de calentamiento son óptimos. El modelo no reproduce todos los caudales picos, subestimándolos, sin embargo se obtiene un índice de eficiencia de 0.64 con el cual se podría considerar los resultados como aceptables.

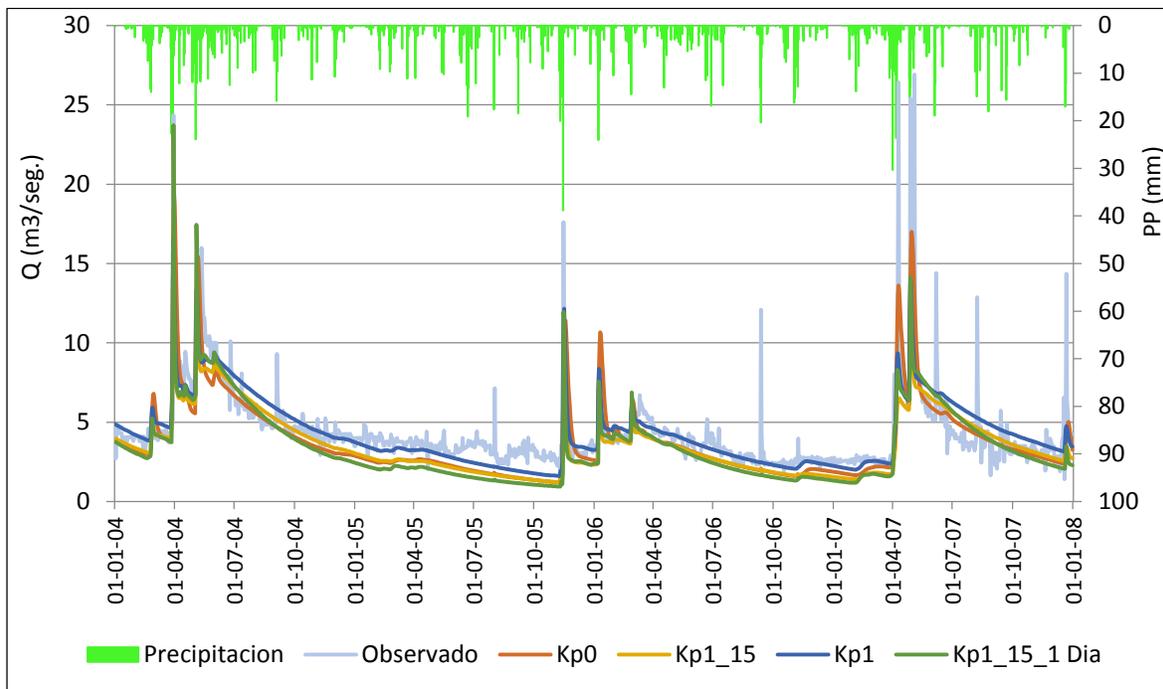


Figura Nº 6.5 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Arenos_8005, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.

6.3.2.2 Validación

La validación temporal se realizó para el periodo enero 2002 a diciembre 2003 y para la validación espacio-temporal se procedió a realizarla en las 9 estaciones restantes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tal como se mencionó en el apartado 6.2.

A. Validación temporal

Utilizando los factores correctores obtenidos en la calibración, se realizó la validación temporal en el periodo enero 2002 a diciembre 2003. En la Tabla 6.12 se observa que incrementa la evapotranspiración cuando se introduce el karst (Kp1_15) en el modelo y disminuye la escorrentía directa.

Tabla Nº 6.12 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Arenos_8005, para el periodo ene 2002-dic 2003.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	1	1	1
Lluvia [mm/año]	344	344	344	344
Evaporación desde interc. [mm/año]	83	82	84	86
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	68	78	99	92
Lluvia directa [mm/año]	261	263	260	259
Evapotranspiración [mm/año]	96	94	106	108
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	162	165	146	142
Escorrentía directa [mm/año]	17	9	7	7
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	68	102	82	68
Infiltración [mm/año]	146	157	139	136
Interflujo [mm/año]	4	5	6	7
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	1	1
Percolación [mm/año]	78	64	57	58
Flujo subt. conectado [mm/año]	0	0	0	0
Flujo subt. profundo [mm/año]	78	64	57	58
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	63	69	61	63

En la Tabla 6.13 se muestra que en la validación empeora los indicadores al emplear el mapa de capacidad de percolación Kp1, de la misma manera sucede al hacer uso de los otros mapas. En la Figura 6.6 se observa el hidrograma resultante de la simulación para el periodo enero 2002 hasta diciembre 2003.

Tabla Nº 6.13 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Arenos_8005.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol.	18%	20%	14%	11%
NASH	0.27	0.27	0.42	0.43

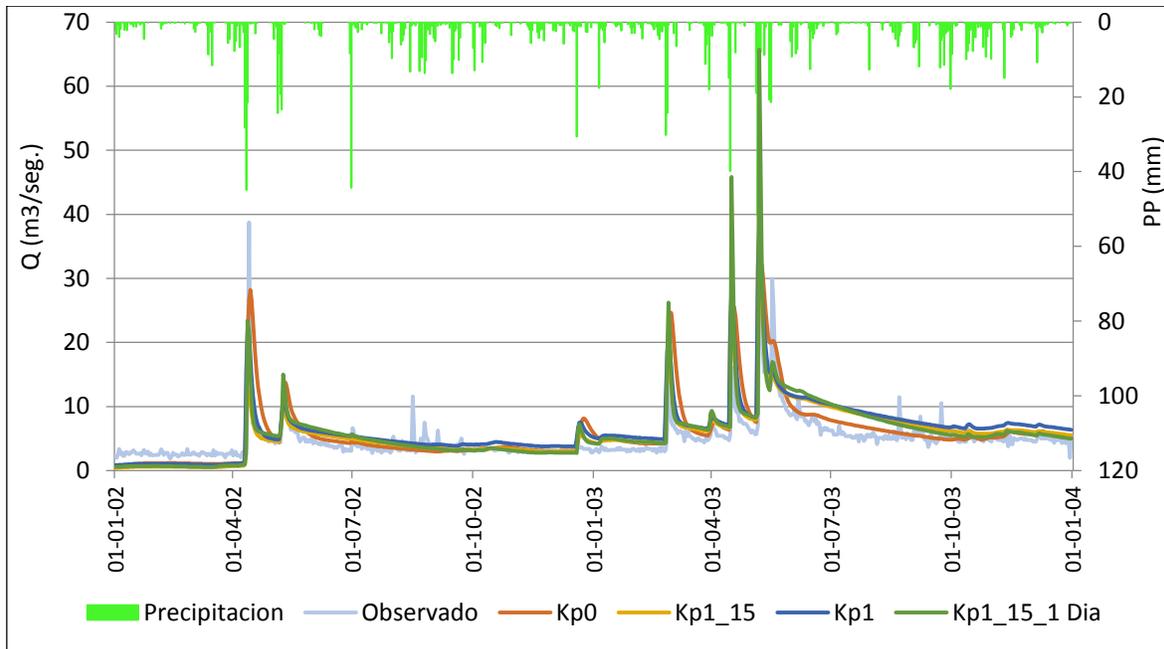


Figura N° 6.6 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Arenos_8005, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.

B. Validación espacial

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Arenos_8005, para realizar la validación espacial en las otras 9 estaciones, así mismo para los cuatro casos elegidos en el apartado 6.2. En la Tabla 6.14 se muestra que se da una validación espacial mejor en la estación de Arenós y Guadalest.

Tabla N° 6.14 Resultado de la validación espacial del embalse Arenos_8005 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	5%	283%	-83%	204%	-19%	92%	302%	25%	1201%
NASH (Kp0)	0.32	-1.80	-0.02	0.11	0.42	-3.35	-23.10	-0.22	-3.73
Kp1									
Error Vol. (%)	47%	207%	-73%	191%	-34%	135%	288%	0%	1566%
NASH (Kp1)	0.25	-1.05	-0.02	0.21	0.13	-6.25	-12.83	0.08	-5.68
Kp1_15									
Error Vol. (%)	2%	182%	-87%	128%	-56%	63%	291%	-4%	1029%
Nash (Kp1_15)	0.33	-0.74	-0.05	0.26	-0.26	-1.72	-10.19	0.10	-2.37
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-7.90	186.00	-88.00	126.00	-54.00	51.00	300.00	-5.16	959.00
Nash (Kp1_15)	0.38	-1.10	-0.05	0.45	-0.17	-1.52	-12.70	0.39	-2.50

C. Validación espacio – temporal

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Arenos_8005, se realizó la validación espacio-temporal, en las 9 estaciones restantes y en el periodo de enero 2002 hasta diciembre 2003. En la Tabla 6.8 se muestra que se da una validación espacio-temporal mejor en la estación de Pajaroncillo y Guadalest.

Tabla Nº 6.15 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Arenos_8005 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-21%	518%	-82%	644%	-27%	103%	376%	-2%	1040%
NASH (Kp0)	0.24	-11.08	0.00	-2.01	0.33	-2.58	-17.75	-1.52	-3.02
Kp1									
Error Vol. (%)	-3%	283%	-79%	442%	-50%	130%	245%	-40%	1189%
NASH (Kp1)	0.28	-6.62	-0.03	-0.58	-0.05	-4.50	-10.38	-0.61	-4.02
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-14%	332%	-86%	467%	-60%	83%	361%	-27%	941%
Nash (Kp1_15)	0.26	-6.51	-0.04	-0.55	-0.21	-1.64	-12.12	-0.39	-2.21
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-24.00	223.00	83.00	317.00	-56.00	74.00	363.00	-22.00	1080.00
Nash (Kp1_15)	0.26	-1.63	-0.04	-0.31	0.03	-1.40	-0.60	0.20	-2.36

6.3.3 Estación de Bellús

6.3.3.1 Calibración

Se realizó la calibración automáticamente en el embalse Bellus_8032 para el periodo enero 2004 hasta diciembre 2007, en la Tabla 6.16 se muestra los factores correctores que fueron obtenidos en la calibración automática para los cuatro casos elegidos y descritos en el apartado 6.1.

Tabla Nº 6.16 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Bellus_8032.

FACTOR CORRECTOR	Bellus_8032			
	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
FC 1 Almacenamiento estático	1.783	1.733	1.733	1.374
FC 2 Evaporación	1.496	1.504	1.503	1.989
FC 3 Infiltración	0.556	0.524	0.525	0.525
FC 4 Escorrentía directa	0.0077	0.0739	0.061	1.630
FC 5 Percolación	0.220	0.294	0.294	1.018
FC 6 Interflujo	2.0398	31.755	31.936	49.931
FC 7 Flujo subterráneo profundo	0.044	0.302	0.311	0.110
FC 8 Flujo base	93.196	94.681	94.129	109.878
FC 9 Velocidad del flujo base	0.547	0.030	0.033	1.223

Tabla Nº 6.17 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse Bellus_8032, para el periodo ene 2004-dic 2007.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	625	625	625	625
Evaporación desde interc. [mm/año]	140	140	140	144
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	56	54	54	37
Lluvia directa [mm/año]	485	486	486	482
Evapotranspiración [mm/año]	355	353	353	349
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	129	132	132	130
Esorrentía directa [mm/año]	20	22	22	24
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	128	17	12	4
Infiltración [mm/año]	109	110	110	106
Interflujo [mm/año]	8	9	10	11
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	2	0	1	16
Percolación [mm/año]	49	66	79	88
Flujo subt. conectado [mm/año]	6	0	0	16
Flujo subt. profundo [mm/año]	42	66	79	68
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	45	59	47	56

En la Tabla 6.17 se observa que disminuye el flujo subterráneo conectado y a su vez incrementa el interflujo cuando se introduce el karst (Kp1_15) en el modelo.

Tabla Nº 6.18 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Bellus_8032.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-20%	2%	-18%	-2.7%
NASH	0.32	0.42	0.43	0.86

Como se muestra en la Tabla 6.18, se obtiene mejores indicadores de eficiencia al emplear el mapa de capacidad de percolación Kp1, de la misma manera sucede al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15) y en el escenario donde se desplazó el caudal observado (Kp1_15_1 Día).

En la Figura 6.7 se observa que el resultado de los almacenamientos y aportaciones subterráneas del periodo de calentamiento son buenos. El modelo no reproduce los caudales picos, se llega a obtener un índice de eficiencia de 0.86 con el cual se podría considerar los resultados como óptimos.

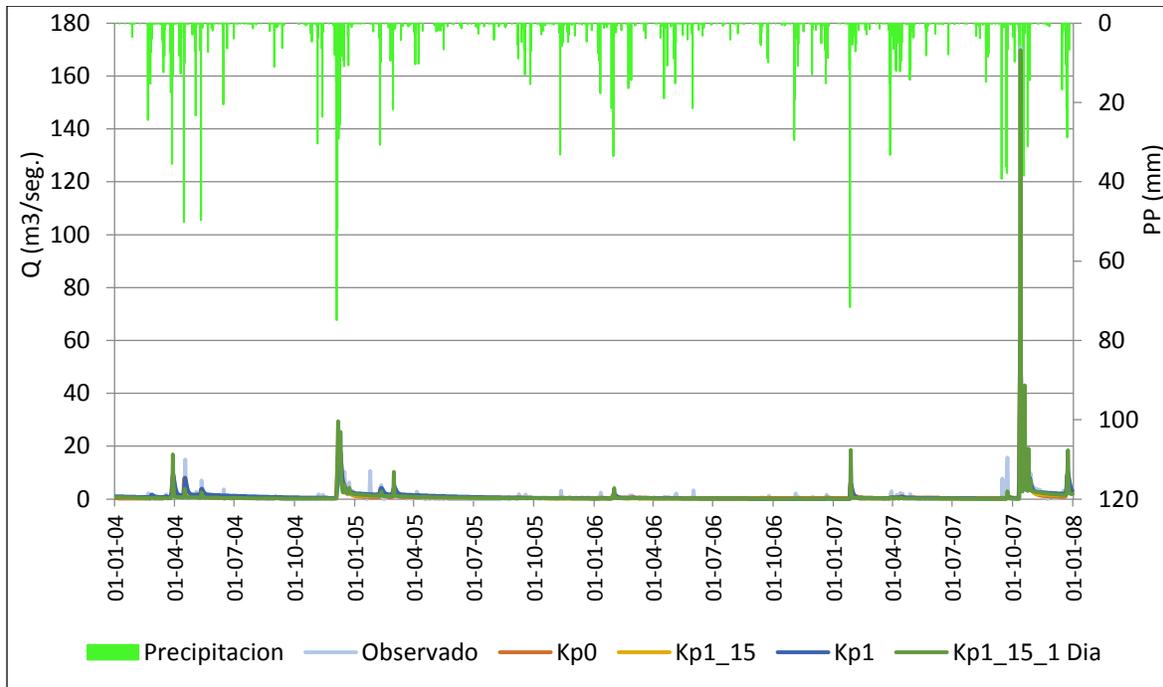


Figura N° 6.7 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Bellus_8032, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.

6.3.3.2 Validación

La validación temporal se realizó para el periodo enero 2002 a diciembre 2003 y para la validación espacio-temporal se procedió a realizarla en las 9 estaciones restantes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tal como se mencionó en el apartado 6.2.

A. Validación temporal

Utilizando los factores correctores obtenidos en la calibración, se realizó la validación temporal en el periodo enero 2002 a diciembre 2003. En la Tabla 6.19 se observa que incrementa el flujo subterráneo profundo cuando se introduce el karst (Kp1_15) en el modelo.

Tabla N° 6.19 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Bellus_8032, para el periodo ene 2002-dic 2003.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	358	358	358	358
Evaporación desde interc. [mm/año]	83	83	83	85
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	54	53	53	36
Lluvia directa [mm/año]	275	275	275	273
Evapotranspiración [mm/año]	228	227	227	228

Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	46	48	48	45
Escurrentía directa [mm/año]	9	9	9	7
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	57	11	8	3
Infiltración [mm/año]	38	39	39	38
Interflujo [mm/año]	8	9	10	11
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	0	1	8
Percolación [mm/año]	16	23	27	31
Flujo subt. conectado [mm/año]	2	0	0	5
Flujo subt. profundo [mm/año]	15	23	27	24
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	15	23	19	17

Tabla Nº 6.20 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Bellus_8032.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	12%	71%	45%	9.7%
NASH	0.35	0.19	0.22	0.47

En la Tabla 6.20 se muestra que en la validación empeoran en los indicadores de eficiencia del modelo al emplear el mapa de capacidad de percolación Kp1, sin embargo sigue siendo mejor el escenario Kp1_15_1 Día. En la Figura 6.8 se observa el hidrograma resultante de la simulación para el periodo enero 2002 hasta diciembre 2003.

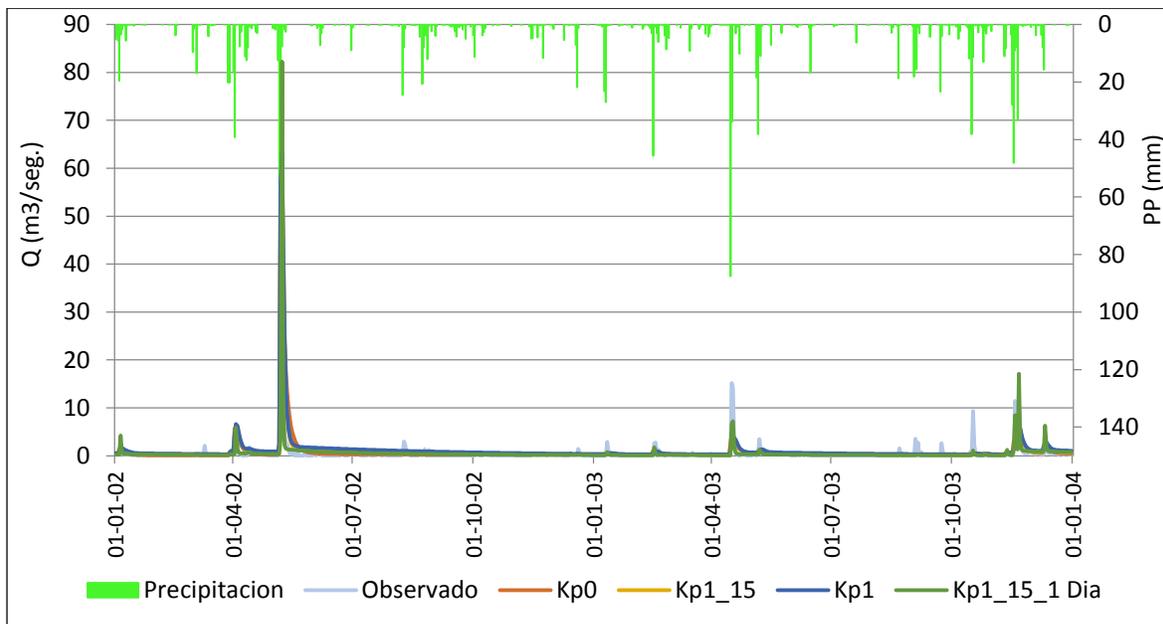


Figura Nº 6.8 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Bellus_8032, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.

B. Validación espacial

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Bellus_8032, para realizar la validación espacial en las otras 9 estaciones, así mismo para los cuatro casos elegidos en el apartado 6.2. En la Tabla 6.21 se muestra que no se da una validación espacial aceptable para los factores correctores de esta estación.

Tabla Nº 6.21 Resultado de la validación espacial del embalse Bellus_8032 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-84%	26%	-93%	-89%	-85%	30%	-42%	-93%	261%
NASH (Kp0)	0.74	-0.14	-0.03	-1.09	-1.73	-11.66	-0.55	-2.77	-0.10
Kp1									
Error Vol. (%)	-87%	38%	-95%	-91%	-84%	27%	-52%	-92%	203%
NASH (Kp1)	-0.27	-0.31	-0.05	-1.17	-1.64	-16.07	-1.76	-2.71	0.07
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-92%	34%	-98%	-96%	-89%	27%	-57%	-94%	98%
Nash (Kp1_15)	-0.36	-0.32	-0.06	-1.34	-1.98	-16.11	-1.73	-2.83	0.20
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-94.00	-51.00	-97.00	-93.00	-90.00	73.00	-44.00	-94.00	131.00
Nash (Kp1_15)	-0.40	-3.33	-0.02	-1.41	-2.06	-41.00	-1.96	-2.80	-2.52

C. Validación espacio – temporal

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Bellus_8032, se realizó la validación espacio-temporal, en las 9 estaciones restantes y en el periodo de enero 2002 hasta diciembre 2003. En la Tabla 6.22 se muestra que se da una validación espacio-temporal solo en la estación de María Cristina.

Tabla Nº 6.22 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Bellus_8032 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-92%	-14%	-96%	-90%	-89%	-69%	-78%	-95%	-20%
NASH (Kp0)	-0.57	-0.02	-0.01	-0.67	-1.15	-0.18	-1.37	-1.74	0.22
Kp1									
Error Vol. (%)	-86%	-2%	-96%	-89%	-81%	-62%	-81%	-91%	-6%
NASH (Kp1)	-0.46	0.05	-0.01	-0.66	-0.98	-0.03	-2.27	-1.54	0.08
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-92%	-4%	-98%	-94%	-87%	-62%	-84%	-92%	-42%
Nash (Kp1_15)	-0.59	0.04	-0.01	-0.79	-1.17	-0.05	-2.35	-1.59	0.08
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-86.00	9.40	-98.00	-87.00	-82.00	-4.50	-68.00	-90.80	-4.20
Nash (Kp1_15)	-0.39	-1.76	-0.01	-0.13	-1.25	-15.80	-2.77	-1.93	0.34

6.3.4 Estación de Benageber

6.3.4.1 Calibración

Se realizó la calibración automáticamente en el embalse *Benageber_8014* para el periodo enero 2004 hasta diciembre 2007, en la Tabla 6.23 se muestra los factores correctores que fueron obtenidos en la calibración automática para los cuatro casos elegidos y descritos en el apartado 6.1. En la Tabla 6.24 se muestra los almacenamientos y flujos medios para el periodo de calibración.

Tabla Nº 6.23 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Benageber_8014*.

FACTOR CORRECTOR	Benageber_8014			
	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
FC 1 Almacenamiento estático	1.022	1.088	0.899	0.749
FC 2 Evaporación	0.786	0.983	0.880	0.851
FC 3 Infiltración	0.834	0.777	1.204	1.958
FC 4 Escorrentía directa	0.0041	0.2196	0.273	0.105
FC 5 Percolación	0.159	0.115	0.033	0.364
FC 6 Interflujo	20.5583	13.974	13.479	82.541
FC 7 Flujo subterráneo profundo	0.346	0.039	1.007	0.032
FC 8 Flujo base	89.914	85.021	49.771	5.511
FC 9 Velocidad del flujo base	0.520	0.491	0.406	0.540

Tabla Nº 6.24 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse *Benageber_8014*, para el periodo ene 2004-dic 2007.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	487	487	487	487
Evaporación desde interc. [mm/año]	162	169	166	165
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	34	29	28	25
Lluvia directa [mm/año]	326	318	322	323
Evapotranspiración [mm/año]	249	265	248	237
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	87	63	82	93
Escorrentía directa [mm/año]	2	2	1	1
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	31	29	47	5
Infiltración [mm/año]	85	61	81	93
Interflujo [mm/año]	12	13	14	15
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	5	0	66
Percolación [mm/año]	49	37	45	79
Flujo subt. conectado [mm/año]	0	13	0	19

Flujo subt. profundo [mm/año]	49	24	45	51
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	36	39	35	33

Tabla Nº 6.25 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Benageber_8014.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-1%	9%	-1%	-7.7%
NASH	0.35	0.22	0.25	0.30

Como se muestra en la Tabla 6.25, se obtiene mejores indicadores de eficiencia del modelo empleando el mapa de capacidad de percolación Kp0 y en el escenario Kp1_15_1Día.

En la Figura 6.9 se observa que el modelo no reproduce todos los caudales picos, sin embargo se representan mejor al utilizar el mapa Kp0, se llega a obtener un índice de eficiencia de 0.35.

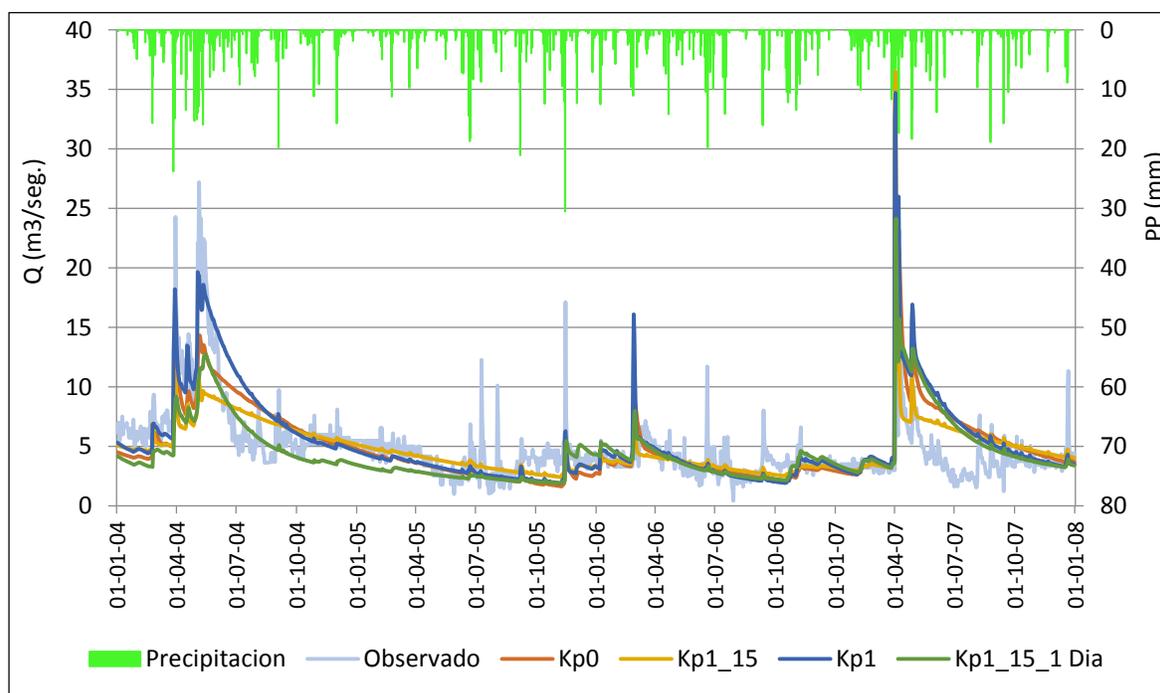


Figura Nº 6.9 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Benageber_8014, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.

6.3.4.2 Validación

La validación temporal se realizó para el periodo enero 2002 a diciembre 2003 y para la validación espacio-temporal se procedió a realizarla en las 9 estaciones restantes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tal como se mencionó en el apartado 6.2.

A. Validación temporal

Utilizando los factores correctores obtenidos en la calibración, se realizó la validación temporal en el periodo enero 2002 a diciembre 2003. En la Tabla 6.26 se observa que disminuye el interflujo y el flujo subterráneo conectado cuando se emplea el mapa de capacidad de percolación Kp1 en el modelo.

Tabla Nº 6.26 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Benageber_8014, para el periodo ene 2002-dic 2003.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	0	0	0
Lluvia [mm/año]	328	328	328	328
Evaporación desde interc. [mm/año]	88	93	91	90
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	46	40	38	34
Lluvia directa [mm/año]	240	235	237	238
Evapotranspiración [mm/año]	149	168	153	145
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	84	59	77	88
Escurrentía directa [mm/año]	4	3	2	1
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	35	32	48	7
Infiltración [mm/año]	80	56	75	87
Interflujo [mm/año]	12	13	14	15
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	5	1	55
Percolación [mm/año]	46	31	39	73
Flujo subt. conectado [mm/año]	0	9	0	12
Flujo subt. profundo [mm/año]	46	21	39	44
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	27	27	24	26

Tabla Nº 6.27 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Benageber_8014.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	4%	6%	-7%	5.2%
NASH	0.66	0.11	0.19	0.61

En la Tabla 6.27 se muestra que en la validación, se obtienen mejores indicadores de eficiencia al emplear el mapa de capacidad de percolación Kp0 y al desplazar el caudal (Kp1_15_1Día). En la Figura 6.10 se observa el hidrograma resultante de la simulación para el periodo enero 2002 hasta diciembre 2003.

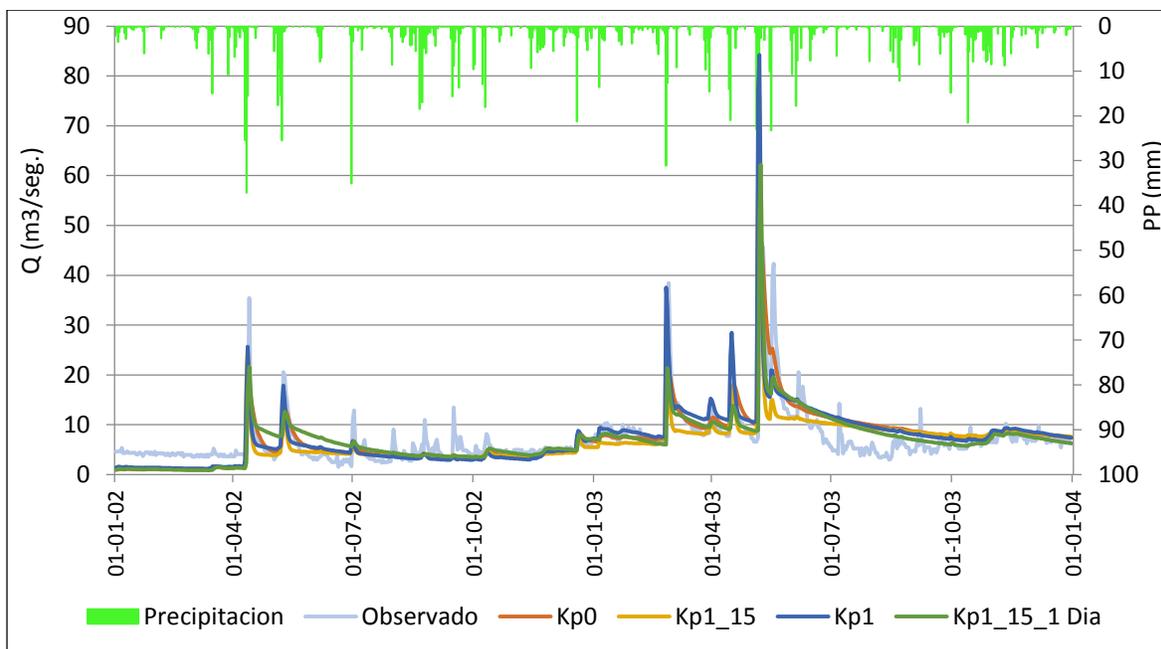


Figura N° 6.10 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Benageber_8014, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.

B. Validación espacial

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Benageber_8014* para realizar la validación espacial en las otras 9 estaciones, y al mismo tiempo para los cuatro casos elegidos en el apartado 6.2. En la Tabla 6.28 se muestra que no se da una validación espacial aceptable para los factores correctores de esta estación.

Tabla N° 6.28 Resultado de la validación espacial del embalse Benageber_8014 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-33%	201%	-86%	138%	-49%	202%	8%	-56%	898%
NASH (Kp0)	0.22	-1.16	-0.03	0.23	0.01	-12.53	0.13	-0.46	-2.11
Kp1									
Error Vol. (%)	-8%	171%	-83%	119%	-51%	223%	4%	-55%	1001%
NASH (Kp1)	0.50	-8.46	-0.03	-0.33	-0.06	-49.44	-2.69	-0.69	-8.04
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-27%	151%	-90%	97%	-67%	223%	-13%	-50%	834%
Nash (Kp1_15)	0.17	-6.72	-0.06	-0.16	-0.63	-31.06	-1.02	-0.63	-6.64
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-33.00	175.00	-89.00	110.00	-57.00	243.00	-12.00	-51.00	817.00
Nash (Kp1_15)	0.16	-2.60	-0.05	0.50	-0.36	-16.00	0.28	-0.34	-2.90

C. Validación espacio – temporal

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Benageber_8014* para realizar la validación espacio-temporal en las 9 estaciones restantes y en el periodo de enero

2002 hasta diciembre 2003. En la Tabla 6.29 se muestra que no se da una validación espacio-temporal aceptable en las 9 estaciones de aforo.

Tabla Nº 6.29 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Benageber_8014 en otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-48%	305%	-87%	410%	-52%	165%	-24%	-44%	634%
NASH (Kp0)	0.11	-4.73	-0.03	-0.49	0.17	-3.11	-0.25	0.32	-0.90
Kp1									
Error Vol. (%)	-24%	226%	-86%	312%	-44%	135%	-34%	-49%	610%
NASH (Kp1)	0.41	-23.37	-0.04	-3.73	0.15	-9.64	-6.33	-0.50	-2.95
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-46%	201%	-92%	278%	-70%	143%	-48%	-48%	492%
Nash (Kp1_15)	0.06	-20.97	-0.05	-1.67	-0.38	-8.76	-2.70	-0.66	-3.19
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-45.00	170.00	-84.00	230.00	-59.00	196.00	-37.00	-40.00	804.00
Nash (Kp1_15)	0.07	-1.92	-0.05	0.02	-0.07	-6.40	0.08	0.25	-1.53

6.3.5 Estación de Beniarrés

6.3.5.1 Calibración

Se realizó la calibración automáticamente en el embalse *Beniarres_8007* para el periodo enero 2004 hasta diciembre 2007, en la Tabla 6.30 se muestra los factores correctores que fueron obtenidos en la calibración automática para los cuatro casos elegidos y descritos en el apartado 6.1. En la Tabla 6.24 se observa que disminuye el interflujo e incrementa la escorrentía directa al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15).

Tabla Nº 6.30 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse Beniarres_8007.

FACTOR CORRECTOR	Beniarres_8007			
	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
FC 1 Almacenamiento estático	2.998	1.438	1.558	1.384
FC 2 Evaporación	0.980	1.803	1.748	1.931
FC 3 Infiltración	0.899	1.337	1.290	1.595
FC 4 Escorrentía directa	0.0051	0.5464	0.463	1.568
FC 5 Percolación	0.307	0.726	0.761	1.591
FC 6 Interflujo	28.5548	60.832	58.936	66.311
FC 7 Flujo subterráneo profundo	0.090	1.518	1.503	0.849
FC 8 Flujo base	46.209	67.921	62.665	88.658
FC 9 Velocidad del flujo base	0.222	0.020	0.021	0.069

Tabla Nº 6.31 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse Beniarres_8007, para el periodo ene 2004-dic 2007.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	684	680	682	680
Evaporación desde interc. [mm/año]	136	153	151	154
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	122	46	51	42
Lluvia directa [mm/año]	548	528	531	527
Evapotranspiración [mm/año]	401	357	364	359
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	122	163	158	161
Esorrentía directa [mm/año]	31	44	43	39
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	45	15	12	7
Infiltración [mm/año]	91	119	115	122
Interflujo [mm/año]	16	17	18	19
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	2	0	1	10
Percolación [mm/año]	28	90	91	106
Flujo subt. conectado [mm/año]	3	0	1	7
Flujo subt. profundo [mm/año]	24	90	91	96
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	71	66	61	57

Tabla Nº 6.32 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Beniarres_8007.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	3%	-4%	-12%	-16%
NASH	0.37	0.46	0.49	0.53

Como se detalla en la Tabla 6.32, son mejores los indicadores de eficiencia del modelo al emplear el mapa de capacidad de percolación Kp1, de la misma manera sucede al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15) y en el escenario Kp1_15_1Día. En la Figura 6.11 se observa el hidrograma resultante para el periodo de calibración.

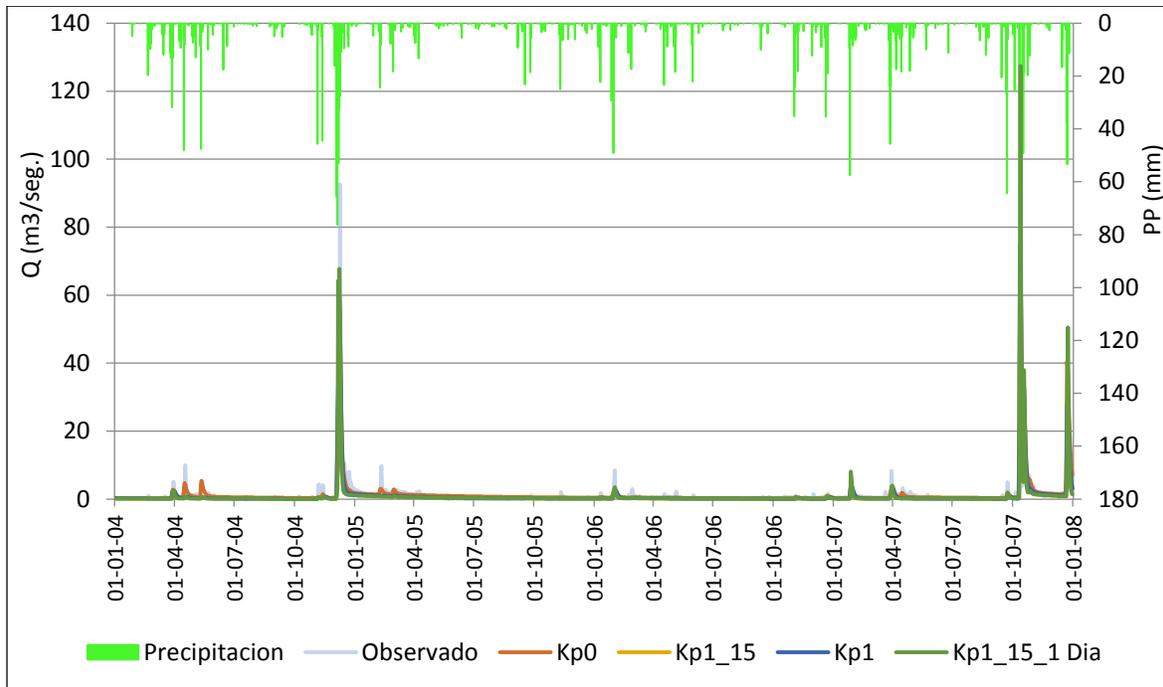


Figura N° 6.11 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Beniarres_8007, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.

6.3.5.2 Validación

La validación temporal se realizó para el periodo enero 2002 a diciembre 2003 y para la validación espacio-temporal se procedió a realizarla en las 9 estaciones restantes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tal como se mencionó en el apartado 6.2.

A. Validación temporal

Utilizando los factores correctores obtenidos en la calibración, se realizó la validación temporal en el periodo enero 2002 a diciembre 2003. En la Tabla 6.33 se observa que cuando se introduce el karst (Kp1_15) en el modelo, disminuye el interflujo y la escorrentía directa, a su vez incrementa la infiltración.

Tabla N° 6.33 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Beniarres_8007, para el periodo ene 2002-dic 2003.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	355	355	355	355
Evaporación desde interc. [mm/año]	78	89	88	89
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	106	41	44	37
Lluvia directa [mm/año]	277	266	267	265
Evapotranspiración [mm/año]	234	228	230	229

Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	30	37	33	35
Escurrentía directa [mm/año]	8	6	6	4
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	21	6	4	2
Infiltración [mm/año]	23	30	27	31
Interflujo [mm/año]	16	17	18	19
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	0	2	5
Percolación [mm/año]	7	24	23	28
Flujo subt. conectado [mm/año]	1	0	0	2
Flujo subt. profundo [mm/año]	6	24	23	25
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	18	10	10	8

Tabla Nº 6.34 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Beniarres_8007.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-7%	-47%	-52%	-44%
NASH	0.29	0.31	0.29	0.52

En la Tabla 6.34 se muestra que en la validación, del mismo modo que en la calibración, son mejores los indicadores de eficiencia del modelo al emplear el mapa de capacidad de percolación Kp1 y el escenario Kp1_15_1 Día. En la Figura 6.12 se observa el hidrograma resultante de la simulación para el periodo enero 2002 hasta diciembre 2003.

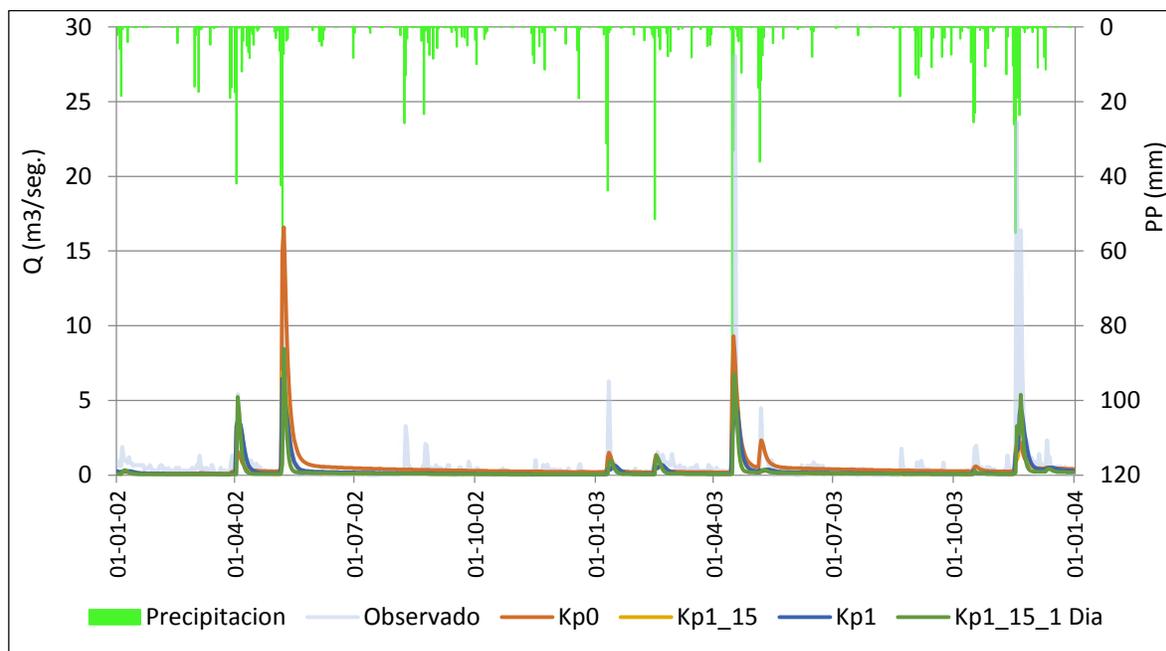


Figura Nº 6.12 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Beniarres_8007, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.

B. Validación espacial

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Beniarrés_8007* para realizar la validación espacial en las otras 9 estaciones, y al mismo tiempo para los cuatro casos elegidos en el apartado 6.2. En la Tabla 6.28 se muestra que se da una validación espacial aceptable al desplazar los caudales observados e incluir los fenómenos kársticos, para las estaciones de Bellús, Guadalest y María Cristina.

Tabla Nº 6.35 Resultado de la validación espacial del embalse *Beniarrés_8007* en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-75%	-93%	-20%	-85%	-79%	23%	-23%	-92%	262%
NASH (Kp0)	-0.07	-0.05	0.12	-1.02	-1.40	-0.06	0.32	-2.70	0.05
Kp1									
Error Vol. (%)	-95%	-99%	-28%	-96%	-94%	-29%	-83%	-97%	41%
NASH (Kp1)	-0.43	-0.08	0.23	-1.45	-2.30	-0.75	0.05	-3.10	0.12
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-97%	-100%	-47%	-99%	-96%	-32%	-85%	-97%	-18%
Nash (Kp1_15)	-0.47	-0.09	0.21	-1.57	-2.42	-0.60	0.03	-3.14	0.14
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-98	-99.00	-51.00	-98.00	-96.00	-37.00	9.30	-97.00	-24.00
Nash (Kp1_15)	-0.59	-0.01	0.36	-1.57	-2.50	-0.87	0.30	-3.18	0.32

C. Validación espacio – temporal

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Benageber_8014* para realizar la validación espacio-temporal en las 9 estaciones restantes y en el periodo de enero 2002 hasta diciembre 2003. En la Tabla 6.29 se muestra que se da una validación espacio-temporal aceptable en la estación de Bellús.

Tabla Nº 6.36 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse *Beniarrés_8007* en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-73%	-92%	58%	-83%	-71%	-13%	-52%	-86%	78%
NASH (Kp0)	-0.18	-0.04	0.28	-0.64	-0.59	0.18	-0.10	-1.32	0.17
Kp1									
Error Vol. (%)	-92%	-98%	11%	-94%	-90%	-81%	-95%	-95%	-45%
NASH (Kp1)	-0.57	-0.07	0.24	-0.96	-1.35	-0.11	-1.49	-1.79	0.03
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-96%	-100%	-14%	-98%	-93%	-81%	-97%	-96%	-72%
Nash (Kp1_15)	-0.68	-0.07	0.27	-1.09	-1.50	-0.11	-1.56	-1.84	0.01
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-96	-99.00	-44.00	-97.00	-93.00	-72.00	-94.00	-95.00	-45.00
Nash (Kp1_15)	-0.69	-0.01	0.39	-0.48	-1.87	-0.60	-0.45	-2.25	0.11

6.3.6 Estación de Castellar

6.3.6.1 Calibración

Se realizó la calibración automáticamente en el embalse *Castellar_8091* para el periodo enero 2004 hasta diciembre 2007. En la Tabla 6.37 se muestra los factores correctores que fueron obtenidos en la calibración automática para los cuatro casos elegidos y descritos en el apartado 6.1. En la Tabla 6.38 se observa que disminuye el interflujo e incrementa el flujo subterráneo conectado al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15).

Tabla Nº 6.37 Factores correctores obtenidos en la calibración de la estación *Castellar_8091*.

FACTOR CORRECTOR	Castellar_8091			
	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
FC 1 Almacenamiento estático	1.375	1.375	1.373	1.375
FC 2 Evaporación	0.687	0.687	0.687	0.687
FC 3 Infiltración	0.430	0.430	0.428	0.430
FC 4 Escorrentía directa	0.0020	0.0020	0.001	0.002
FC 5 Percolación	0.267	0.267	0.267	0.267
FC 6 Interflujo	85.0301	85.030	85.318	85.030
FC 7 Flujo subterráneo profundo	0.007	0.007	0.007	0.007
FC 8 Flujo base	25.000	25.000	25.005	25.000
FC 9 Velocidad del flujo base	0.980	0.980	0.983	0.980

Tabla Nº 6.38 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración de la estación *Castellar_8091*, para el periodo ene 2004-dic 2007.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	590	590	590	590
Evaporación desde interc. [mm/año]	0	0	0	0
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	76	76	76	76
Lluvia directa [mm/año]	590	590	590	590
Evapotranspiración [mm/año]	420	420	420	420
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	1	1	1
Excedente [mm/año]	195	195	195	195
Escorrentía directa [mm/año]	20	20	20	20
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	30	5	3	3
Infiltración [mm/año]	175	175	175	175
Interflujo [mm/año]	20	21	22	23
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	18	61	39	38
Percolación [mm/año]	115	158	170	170

Flujo subt. conectado [mm/año]	34	82	80	79
Flujo subt. profundo [mm/año]	80	80	94	95
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	117	120	105	104

Tabla Nº 6.39 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración de la estación Castellar_8091.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-3%	0%	-13%	-14%
NASH	0.74	0.74	0.76	0.76

Como se detalla en la Tabla 6.39, son ligeramente mejores los indicadores de eficiencia del modelo al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15) y el escenario con desplazamiento de caudal (Kp1_15 1 Día). En la Figura 6.13 se observa el hidrograma resultante para el periodo de calibración.

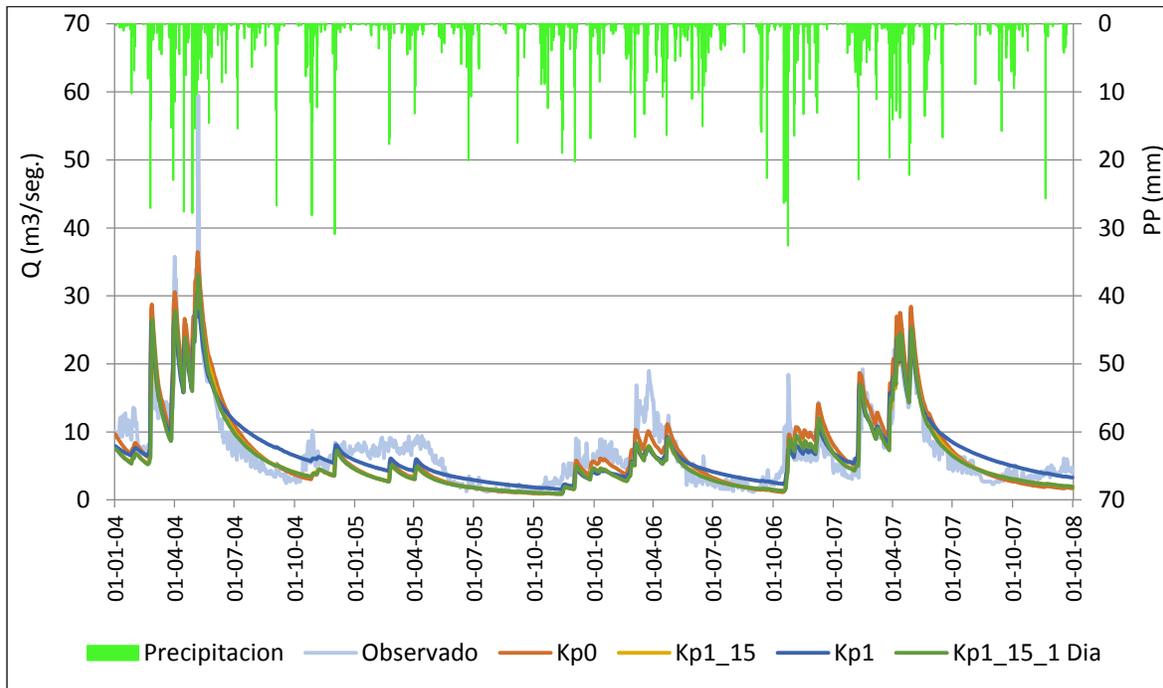


Figura Nº 6.13 Hidrograma resultante de la calibración de la estación Castellar_8091, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.

6.3.6.2 Validación

La validación temporal se realizó para el periodo enero 2002 a diciembre 2003 y para la validación espacio-temporal se procedió a realizarla en las 9 estaciones restantes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tal como se mencionó en el apartado 6.2.

A. Validación temporal

Utilizando los factores correctores obtenidos en la calibración, se realizó la validación temporal en el periodo enero 2002 a diciembre 2003. En la Tabla 6.40 se observa que cuando se introduce el karst (Kp1_15) en el modelo disminuye el interflujo e incrementa el flujo subterráneo conectado.

Tabla Nº 6.40 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal de la estación Castellar_8091, para el periodo ene 2002-dic 2003.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	411	411	411	411
Evaporación desde interc. [mm/año]	0	0	0	0
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	91	91	91	91
Lluvia directa [mm/año]	411	411	411	411
Evapotranspiración [mm/año]	221	221	221	221
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	1	2	1
Excedente [mm/año]	180	180	180	180
Escurrentía directa [mm/año]	18	18	18	17
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	36	7	4	4
Infiltración [mm/año]	163	163	163	163
Interflujo [mm/año]	20	21	22	23
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	18	74	47	47
Percolación [mm/año]	107	146	158	158
Flujo subt. conectado [mm/año]	28	55	59	59
Flujo subt. profundo [mm/año]	74	74	86	87
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	91	87	81	80

Tabla Nº 6.41 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal de la estación Castellar_8091.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-3%	5%	-3%	-7%
NASH	0.74	0.73	0.75	0.77

En la Tabla 6.41 se muestra que en la validación son mejores los indicadores de eficiencia al emplear el mapa de capacidad de percolación Kp1_15. Al desplazar el caudal e implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15 1 Día) se observa una mejora mayor. En la Figura 6.14 se observa el hidrograma resultante de la simulación para el periodo enero 2002 hasta diciembre 2003.

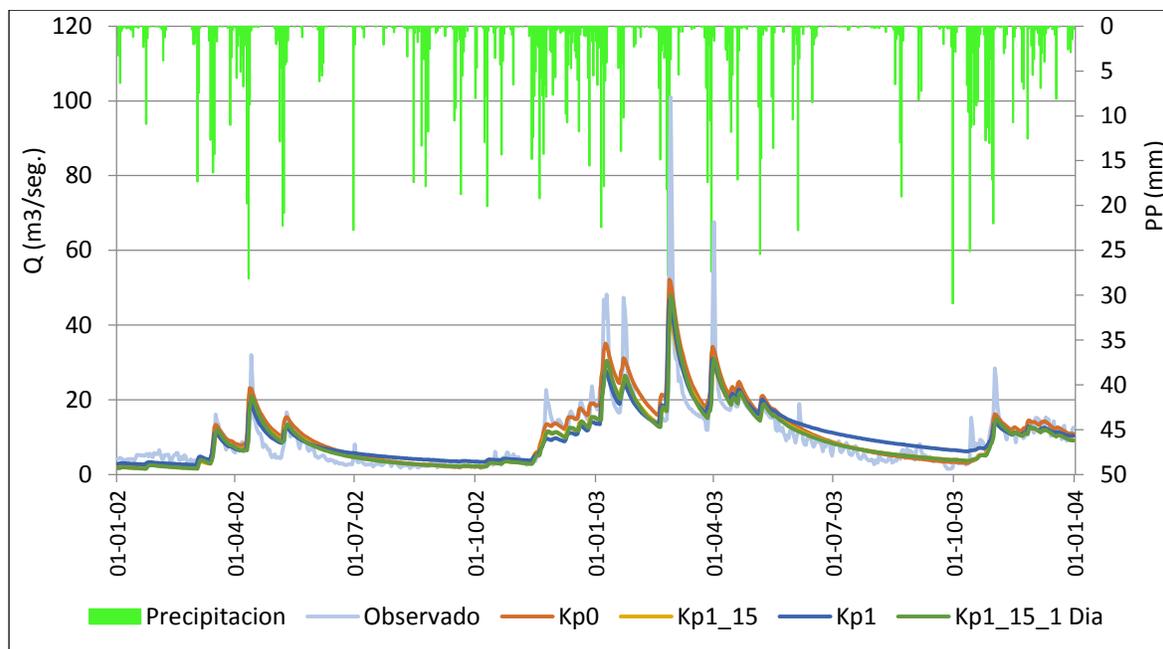


Figura N° 6.14 Hidrograma resultante de la validación temporal de la estación Castellar_8091, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.

B. Validación espacial

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Castellar_8091* para realizar la validación espacial en las otras 9 estaciones, y al mismo tiempo para los cuatro casos elegidos en el apartado 6.2. En la Tabla 6.42 se muestra que se da una validación espacial aceptable al desplazar los caudales observados e incluir los fenómenos kársticos (Kp1_15_1 Día), para las estaciones de Pajaroncillo y Arenós.

Tabla N° 6.42 Resultado de la validación espacial de la estación Castellar_8091 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	61%	310%	-61%	243%	112%	395%	51%	-11%	1933%
NASH (Kp0)	0.32	-1.73	0.17	-0.26	-14.38	-29.00	-0.36	-0.79	-16.48
Kp1									
Error Vol. (%)	74%	282%	-68%	222%	115%	387%	49%	-12%	1701%
NASH (Kp1)	0.34	-1.46	0.13	-0.13	-8.08	-24.61	-0.22	0.28	-10.99
Kp1_15									
Error Vol. (%)	54%	275%	-72%	213%	93%	384%	43%	-16%	1547%
Nash (Kp1_15)	0.50	-1.12	0.12	-0.16	-8.28	-20.06	-0.08	0.15	-10.84
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	30.00	235.00	-75.00	170.00	55.00	341.00	33.00	-33.00	1350.00
Nash (Kp1_15)	0.62	-1.10	0.15	-0.01	-4.35	-21.57	0.04	0.19	-8.84

C. Validación espacio – temporal

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Castellar_8091* para realizar la validación espacio-temporal en las 9 estaciones restantes y en el periodo de enero 2002 hasta diciembre 2003. En la Tabla 6.43 se muestra que se da una validación espacio-temporal aceptable en las estaciones de Pajaroncillo y Arenós.

Tabla Nº 6.43 Resultado de la validación espacio-temporal de la estación *Castellar_8091* en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	61%	310%	-61%	243%	112%	395%	51%	-11%	1933%
NASH (Kp0)	0.32	-1.73	0.17	-0.26	-14.38	-29.00	-0.36	-0.79	-16.48
Kp1									
Error Vol. (%)	46%	518%	-64%	667%	149%	428%	14%	28%	1559%
NASH (Kp1)	0.46	-9.34	0.15	-3.81	-6.41	-15.46	-1.02	-0.27	-11.12
Kp1_15									
Error Vol. (%)	38%	513%	-65%	655%	139%	426%	11%	26%	1559%
Nash (Kp1_15)	0.51	-7.80	0.14	-3.61	-6.35	-13.26	-0.44	-0.34	-11.59
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	17.00	282.00	-73.00	362.00	93.00	362.00	11.00	-6.80	1248.00
Nash (Kp1_15)	0.62	-1.23	0.15	-2.19	-3.65	-18.00	-0.20	0.35	-6.70

6.3.7 Estación de Guadalest

6.3.7.1 Calibración

Se realizó la calibración automáticamente en el embalse *Guadalest_8015* para el periodo enero 2004 hasta diciembre 2007. En la Tabla 6.44 se muestra los factores correctores que fueron obtenidos en la calibración automática para los cuatro casos elegidos y descritos en el apartado 6.1. En la Tabla 6.45 se observa que disminuye el interflujo y la evapotranspiración, e incrementa el flujo subterráneo conectado al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15).

Tabla Nº 6.44 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Guadalest_8015*.

FACTOR CORRECTOR	Guadalest_8015			
	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
FC 1 Almacenamiento estático	2.458	1.180	1.180	1.952
FC 2 Evaporación	0.983	0.975	0.970	1.288
FC 3 Infiltración	0.755	1.145	1.140	1.043
FC 4 Escorrentía directa	0.0022	1.6621	1.660	0.568
FC 5 Percolación	0.598	0.087	0.087	0.004
FC 6 Interflujo	20.4643	11.779	11.779	30.434
FC 7 Flujo subterráneo profundo	0.288	0.026	0.026	0.800
FC 8 Flujo base	57.249	37.541	37.540	5.513
FC 9 Velocidad del flujo base	0.341	0.004	0.004	0.017

Tabla Nº 6.45 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse Guadalest_8015, para el periodo ene 2004-dic 2007.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	780	780	780	780
Evaporación desde interc. [mm/año]	120	119	119	126
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	70	32	32	49
Lluvia directa [mm/año]	660	660	660	654
Evapotranspiración [mm/año]	299	218	218	301
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	0	0	0
Excedente [mm/año]	358	440	441	350
Esorrentía directa [mm/año]	75	69	68	54
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	150	249	196	148
Infiltración [mm/año]	284	373	374	299
Interflujo [mm/año]	24	25	26	27
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	11	28	22	3
Percolación [mm/año]	75	139	191	18
Flujo subt. conectado [mm/año]	1	78	93	1
Flujo subt. profundo [mm/año]	70	58	94	18
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	239	305	279	280

Tabla Nº 6.46 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Guadalest_8015.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-23%	-1%	-3%	-9%
NASH	0.37	0.49	0.49	0.64

Como se detalla en la Tabla 6.46, mejores son los indicadores de eficiencia al emplear el mapa de capacidad de percolación Kp1, de la misma manera sucede al desplazar los caudales aforados (Kp1_15_1 Día) e implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15). En la Figura 6.15 se observa el hidrograma resultante para el periodo de calibración.

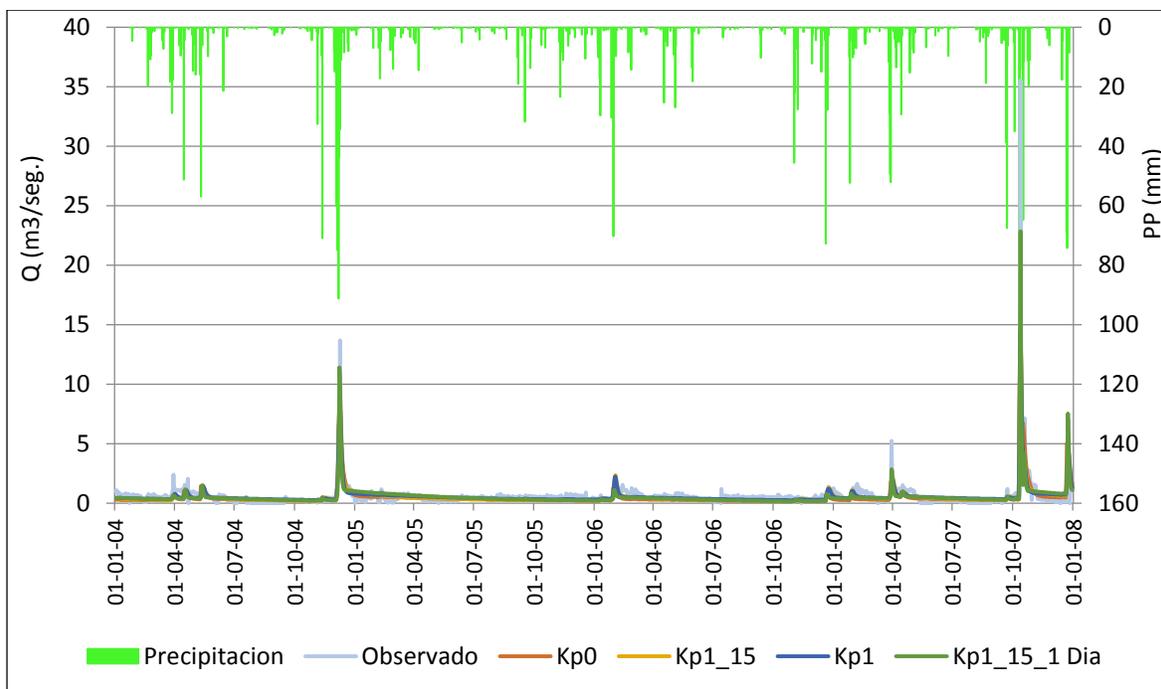


Figura N° 6.15 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Guadalest_8015, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.

6.3.7.2 Validación

La validación temporal se realizó para el periodo enero 2002 a diciembre 2003 y para la validación espacio-temporal se procedió a realizarla en las 9 estaciones restantes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tal como se mencionó en el apartado 6.2.

A. Validación temporal

Utilizando los factores correctores obtenidos en la calibración, se realizó la validación temporal en el periodo enero 2002 a diciembre 2003. En la Tabla 6.47 se observa que cuando se introduce el karst (Kp1_15) en el modelo disminuye el interflujo e incrementa el flujo subterráneo conectado.

Tabla N° 6.47 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Guadalest_8015, para el periodo ene 2002-dic 2003.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	404	404	404	404
Evaporación desde interc. [mm/año]	72	71	71	75
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	68	34	34	48
Lluvia directa [mm/año]	332	332	332	329
Evapotranspiración [mm/año]	184	142	141	197

Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	0	0	0
Excedente [mm/año]	146	192	193	131
Escurrentía directa [mm/año]	23	22	22	11
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	112	173	126	107
Infiltración [mm/año]	125	171	172	122
Interflujo [mm/año]	24	25	26	27
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	8	25	20	3
Percolación [mm/año]	34	71	96	9
Flujo subt. conectado [mm/año]	1	34	44	1
Flujo subt. profundo [mm/año]	31	34	51	9
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	89	114	106	102

Tabla Nº 6.48 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Guadalest_8015.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-53%	-40%	-40%	-38%
NASH	-0.15	0.25	0.26	0.20

En la Tabla 6.48 se muestra que en la validación los indicadores de eficiencia son mejores al emplear el mapa de capacidad de percolación Kp1, de la misma manera sucede al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15). En la Figura 6.16 se observa el hidrograma resultante de la simulación para el periodo enero 2002 hasta diciembre 2003.

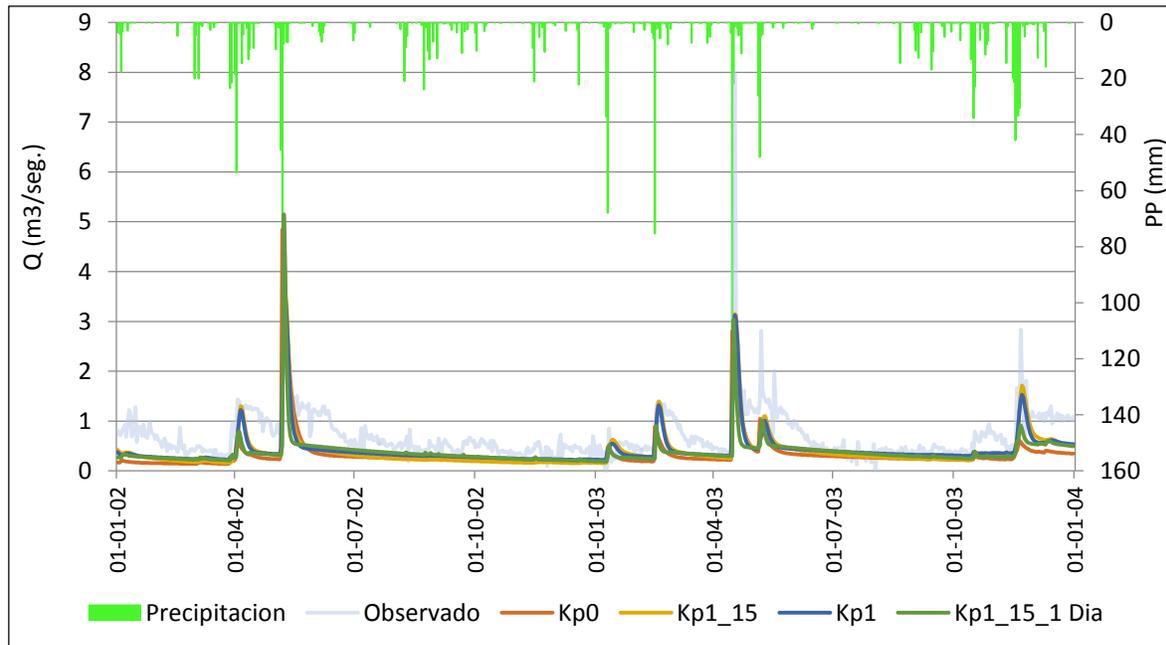


Figura Nº 6.16 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Guadalest_8015, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.

B. Validación espacial

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Guadalest_8015* para realizar la validación espacial en las otras 9 estaciones, y al mismo tiempo para los cuatro casos elegidos en el apartado 6.2. En la Tabla 6.49 se muestra que se da una validación espacial aceptable al desplazar los caudales observados e incluir los fenómenos kársticos (Kp1_15_1 Día) para la estación de Beniarriés.

Tabla Nº 6.49 Resultado de la validación espacial del embalse *Guadalest_8015* en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarriés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-70%	25%	-94%	-2%	-82%	-75%	33%	-90%	272%
NASH (Kp0)	-0.06	0.39	-0.06	0.12	-0.92	-1.27	-0.11	-2.54	0.06
Kp1									
Error Vol. (%)	-1%	129%	-83%	91%	-48%	6%	185%	-56%	951%
NASH (Kp1)	0.25	-0.23	-0.05	0.07	-0.16	-0.28	-3.44	-0.80	-2.10
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-17%	138%	-86%	91%	-61%	14%	221%	-45%	898%
Nash (Kp1_15)	0.28	-0.27	-0.04	0.05	-0.41	-0.11	-4.06	-0.34	-2.22
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	0.44	49.00	-89.00	21.00	-61.00	-57.00	98.00	-85.00	431.00
Nash (Kp1_15)	0.20	0.33	-0.06	0.12	-0.33	-0.71	-1.18	-2.19	-0.54

C. Validación espacio – temporal

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Guadalest_8015* para realizar la validación espacio-temporal en las 9 estaciones restantes y en el periodo de enero 2002 hasta diciembre 2003. En la Tabla 6.43 se muestra que se da una validación espacio-temporal aceptable en la estación de Beniarriés.

Tabla Nº 6.50 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse *Guadalest_8015* en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarriés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	-76%	20%	-94%	92%	-81%	-72%	-19%	-85%	72%
NASH (Kp0)	-0.26	0.01	-0.04	0.17	-0.58	-0.59	0.29	-1.28	0.17
Kp1									
Error Vol. (%)	-29%	171%	-88%	253%	-50%	-12%	110%	-59%	461%
NASH (Kp1)	0.17	-0.80	-0.05	-0.30	-0.11	-0.19	-0.07	-0.45	-0.78
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-33%	189%	-87%	268%	-58%	-5%	153%	-51%	505%
Nash (Kp1_15)	0.15	-0.93	-0.04	-0.38	-0.19	-0.08	-0.52	-0.24	-1.08
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-32.00	3.80	-84.00	56.00	-49.00	-30.00	14.00	-7.30	423.00
Nash (Kp1_15)	0.15	0.48	-0.05	0.23	0.06	-0.23	-0.19	-1.15	-0.55

6.3.8 Estación de María Cristina

6.3.8.1 Calibración

Se realizó la calibración automáticamente en el embalse *María Cristina_8017* para el periodo enero 2004 hasta diciembre 2007. En la Tabla 6.51 se muestra los factores correctores que fueron obtenidos en la calibración automática para los cuatro casos elegidos y descritos en el apartado 6.1. En la Tabla 6.45 se observa que incrementa el interflujo, disminuye la escorrentía directa al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15).

Tabla Nº 6.51 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *María Cristina_8017*.

FACTOR CORRECTOR	María Cristina_8017			
	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
FC 1 Almacenamiento estático	1.882	1.882	2.807	2.124
FC 2 Evaporación	0.779	0.779	0.616	0.688
FC 3 Infiltración	0.697	0.697	1.642	1.649
FC 4 Escorrentía directa	0.0040	0.0038	0.029	1.018
FC 5 Percolación	0.253	0.253	1.356	1.686
FC 6 Interflujo	0.0447	0.071	45.932	66.720
FC 7 Flujo subterráneo profundo	0.947	0.946	1.662	1.597
FC 8 Flujo base	73.530	73.586	47.785	56.889
FC 9 Velocidad del flujo base	0.299	0.299	0.069	0.095

Tabla Nº 6.52 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse *María Cristina_8017*, para el periodo ene 2004-dic 2007.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	630	630	631	630
Evaporación desde interc. [mm/año]	162	162	152	158
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	64	64	118	79
Lluvia directa [mm/año]	469	469	479	473
Evapotranspiración [mm/año]	322	322	346	324
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	149	149	142	153
Escorrentía directa [mm/año]	14	14	7	7
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	152	145	2	1
Infiltración [mm/año]	134	135	135	146
Interflujo [mm/año]	28	29	30	31
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	1

Percolación [mm/año]	89	98	130	141
Flujo subt. conectado [mm/año]	0	0	0	0
Flujo subt. profundo [mm/año]	89	98	130	141
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	15	15	12	12

Tabla Nº 6.53 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse María Cristina_8017.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	77%	81%	46%	39%
NASH	0.44	0.44	0.60	0.63

Como se detalla en la Tabla 6.53, mejores indicadores de eficiencia se obtienen al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15), de la misma manera sucede al desplazar los caudales aforados (Kp1_15_1 Día). En la Figura 6.17 se observa el hidrograma resultante para el periodo de calibración.

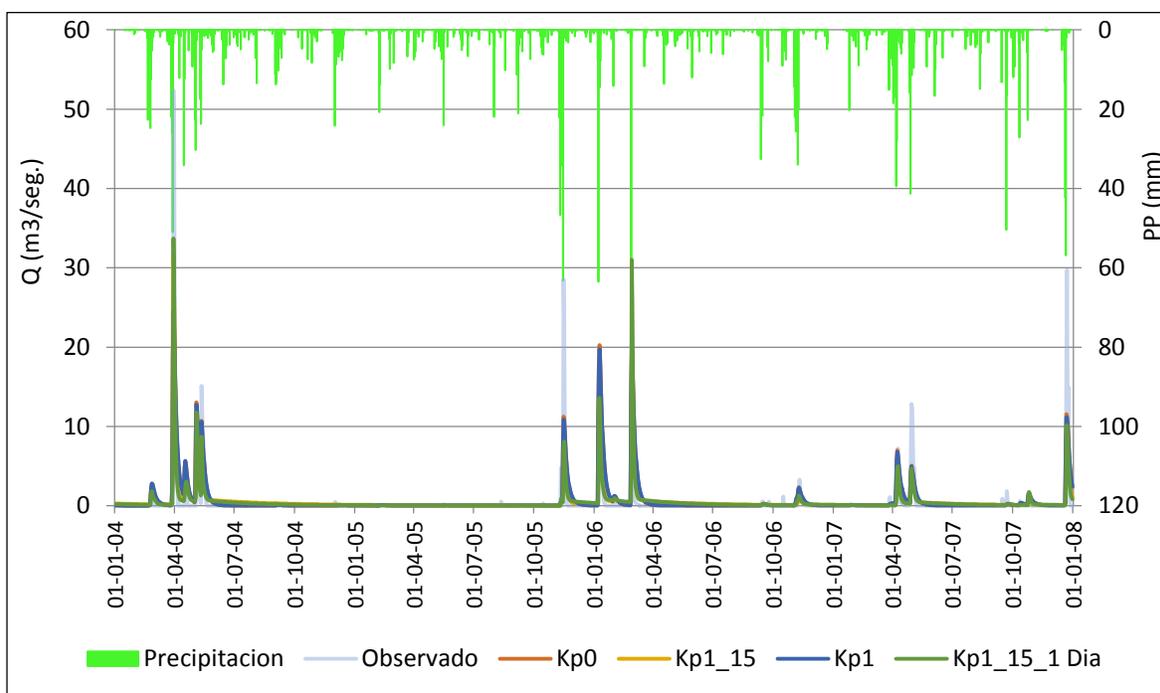


Figura Nº 6.17 Hidrograma resultante de la calibración del embalse María Cristina_8017, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.

6.3.8.2 Validación

La validación temporal se realizó para el periodo enero 2002 a diciembre 2003 y para la validación espacio-temporal se procedió a realizarla en las 9 estaciones restantes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tal como se mencionó en el apartado 6.2.

A. Validación temporal

Utilizando los factores correctores obtenidos en la calibración, se realizó la validación temporal en el periodo enero 2002 a diciembre 2003. En la Tabla 6.54 se muestra que incrementa el interflujo y disminuye la escorrentía directa al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15).

Tabla Nº 6.54 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse María Cristina_8017, para el periodo ene 2002-dic 2003.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Lluvia [mm/año]	391	391	391	391
Evaporación desde interc. [mm/año]	95	95	89	92
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	69	69	126	88
Lluvia directa [mm/año]	296	296	302	299
Evapotranspiración [mm/año]	198	198	192	191
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	89	89	89	96
Escorrentía directa [mm/año]	7	7	4	4
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	50	46	2	1
Infiltración [mm/año]	82	82	85	92
Interflujo [mm/año]	28	29	30	31
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	1
Percolación [mm/año]	55	58	82	89
Flujo subt. conectado [mm/año]	0	0	0	0
Flujo subt. profundo [mm/año]	55	58	82	89
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	7	7	7	7

Tabla Nº 6.55 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse María Cristina_8017.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	77%	25%	30%	37%
NASH	0.44	0.62	0.54	0.77

En la Tabla 6.55 se muestra que en la validación son mejores los indicadores de eficiencia al desplazar los caudales observados 1 día (Kp1_15_1 Día). En la Figura 6.18 se observa el hidrograma resultante de la simulación para el periodo enero 2002 hasta diciembre 2003.

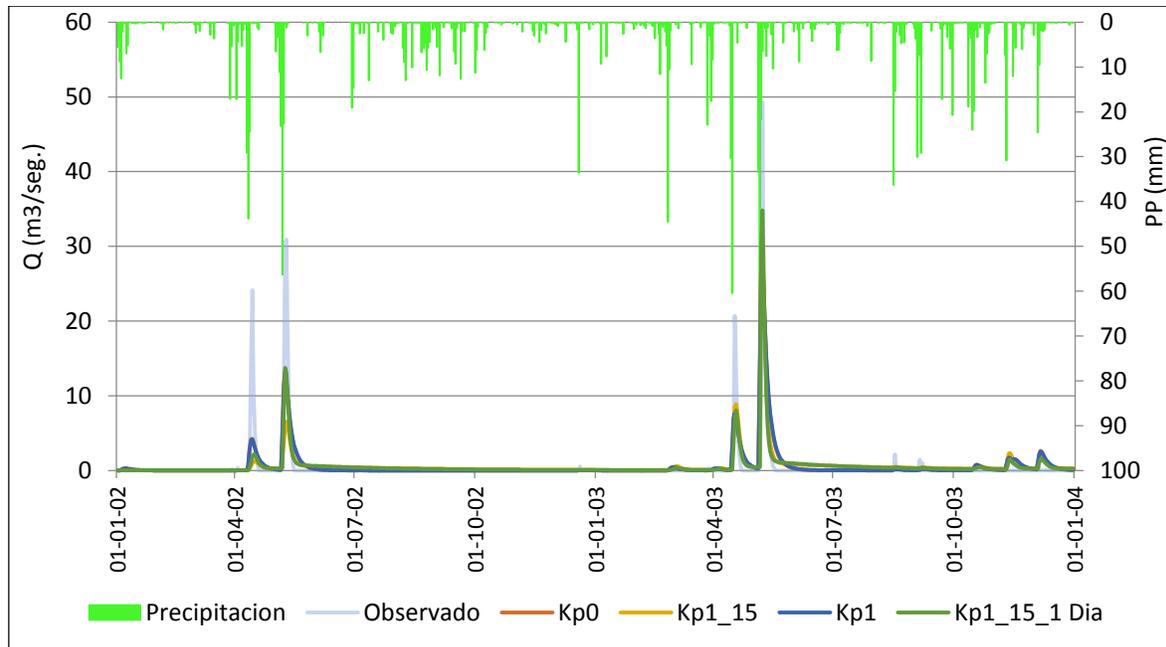


Figura N° 6.18 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse María Cristina_8017, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.

B. Validación espacial

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *María Cristina_8017* para realizar la validación espacial en las otras 9 estaciones, y al mismo tiempo para los cuatro casos elegidos en el apartado 6.2. En la Tabla 6.56 se muestra que se da una validación espacial aceptable al desplazar los caudales observados e incluir los fenómenos kársticos (Kp1_15_1 Día) para la estación de Beniarrés.

Tabla N° 6.56 Resultado de la validación espacial del embalse María Cristina_8017 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós
Kp0									
Error Vol. (%)	-98%	17%	-98%	-59%	-95%	-96%	-27%	-66%	-98%
NASH (Kp0)	-0.45	0.19	-0.03	0.24	-1.24	-2.35	-4.18	0.08	-3.05
Kp1									
Error Vol. (%)	-98%	17%	-98%	-58%	-95%	-96%	-27%	-67%	-97%
NASH (Kp1)	-0.45	0.21	-0.03	0.23	-1.25	-2.31	-3.94	0.10	-3.03
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-93%	-8%	-99%	-49%	-98%	-93%	-37%	-87%	-95%
Nash (Kp1_15)	-0.38	0.32	-0.08	0.16	-1.53	-2.19	-0.35	-0.01	-2.88
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-94.00	-17.00	-99.00	-53.00	-98.00	-94.00	-32.00	-87.00	-96.00
Nash (Kp1_15)	-0.40	0.55	-0.01	0.28	-1.52	-2.29	-0.53	0.27	-2.97

C. Validación espacio – temporal

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *María Cristina_8017* para realizar la validación espacio-temporal en las 9 estaciones restantes y en el periodo de enero 2002 hasta diciembre 2003. En la Tabla 6.43 se muestra que se da una validación espacio-temporal aceptable en la estación de Bellús.

Tabla Nº 6.57 Resultado de la validación espacio-temporal, embalse *María Cristina_8017*.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós
Kp0									
Error Vol. (%)	-98%	17%	-98%	-59%	-95%	-96%	-27%	-66%	-98%
NASH (Kp0)	-0.45	0.19	-0.03	0.24	-1.24	-2.35	-4.18	0.08	-3.05
Kp1									
Error Vol. (%)	-97%	55%	-97%	1%	-93%	-91%	-57%	-80%	-93%
NASH (Kp1)	-0.67	-1.71	-0.02	0.28	-0.76	-1.00	-0.82	-1.44	-1.43
Kp1_15									
Error Vol. (%)	-92%	36%	-99%	62%	-98%	-83%	-39%	-91%	-87%
Nash (Kp1_15)	-0.59	-2.57	-0.07	0.51	-1.09	-0.91	-0.18	-1.60	-1.20
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	-93.00	-10.00	-99.00	-4.40	-97.00	-8.80	-40.00	-90.00	-91.00
Nash (Kp1_15)	-0.62	-0.10	-0.07	0.56	-0.45	-1.40	-0.63	-0.43	-1.70

6.3.9 Estación de Pajaroncillo

6.3.9.1 Calibración

Se realizó la calibración automáticamente en el embalse *Pajaroncillo_8090* para el periodo enero 2004 hasta diciembre 2007. En la Tabla 6.58 se muestra los factores correctores que fueron obtenidos en la calibración automática para los cuatro casos elegidos y descritos en el apartado 6.1. En la Tabla 6.59 se observa que incrementa el flujo subterráneo conectado, a su vez disminuye la escorrentía directa y el interflujo al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15).

Tabla Nº 6.58 Factores correctores obtenidos en la calibración de la estación *Pajaroncillo_8090*.

FACTOR CORRECTOR	Pajaroncillo_8090			
	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
FC 1 Almacenamiento estático	1.950	1.887	2.325	2.725
FC 2 Evaporación	0.730	0.807	0.843	0.846
FC 3 Infiltración	0.321	0.322	0.394	0.421
FC 4 Escorrentía directa	0.610	1.328	0.495	1.617
FC 5 Percolación	0.023	0.039	0.907	1.062
FC 6 Interflujo	102.568	105.554	82.465	103.719
FC 7 Flujo subterráneo profundo	0.423	0.222	0.006	0.001
FC 8 Flujo base	38.708	37.728	101.538	42.826
FC 9 Velocidad del flujo base	0.054	0.079	1.411	1.791

Tabla Nº 6.59 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración de la estación Pajaroncillo_8090, para el periodo ene 2004-dic 2007.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	1	1	1
Lluvia [mm/año]	645	645	645	643
Evaporación desde interc. [mm/año]	209	216	219	220
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	80	72	83	94
Lluvia directa [mm/año]	436	429	426	424
Evapotranspiración [mm/año]	304	309	335	352
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	154	142	119	104
Escurrentía directa [mm/año]	3	3	2	2
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	9	9	1	1
Infiltración [mm/año]	150	139	117	102
Interflujo [mm/año]	32	33	34	35
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	14	25
Percolación [mm/año]	84	72	112	98
Flujo subt. conectado [mm/año]	0	0	63	71
Flujo subt. profundo [mm/año]	84	72	49	26
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	72	72	70	77

Tabla Nº 6.60 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal de la estación Pajaroncillo_8090.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-17%	-17%	-19%	-11%
NASH	0.70	0.72	0.75	0.82

Como se detalla en la Tabla 6.60, los mejores indicadores de eficiencia se obtienen al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15) y al desplazar los caudales aforados (Kp1_15_1 Día). En la Figura 6.19 se observa el hidrograma resultante para el periodo de calibración.

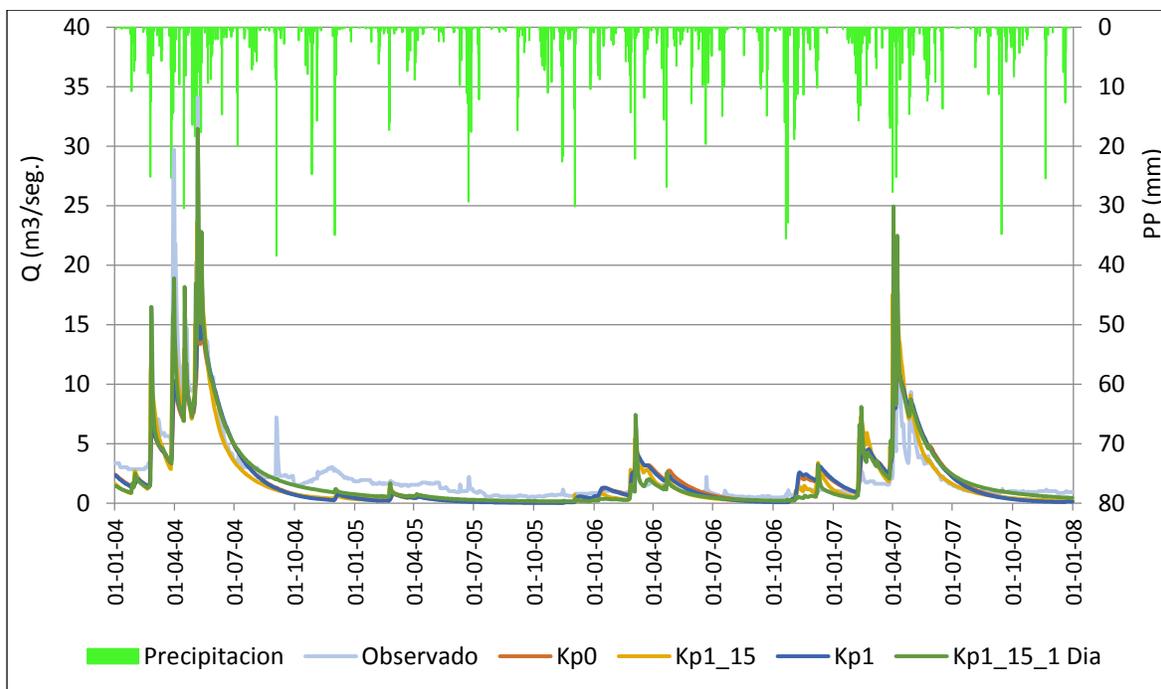


Figura N° 6.19 Hidrograma resultante de la calibración de la estación Pajaroncillo_8090, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.

6.3.9.2 Validación

La validación temporal se realizó para el periodo enero 2002 a diciembre 2003 y para la validación espacio-temporal se procedió a realizarla en las 9 estaciones restantes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tal como se mencionó en el apartado 6.2.

A. Validación temporal

Utilizando los factores correctores obtenidos en la calibración, se realizó la validación temporal en el periodo enero 2002 a diciembre 2003. En la Tabla 6.54 se observa el incremento del flujo subterráneo conectado, a su vez disminuye la escorrentía directa y el interflujo al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15).

Tabla N° 6.61 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal de la estación Pajaroncillo_8090, para el periodo ene 2002-dic 2003.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	1	1	1
Lluvia [mm/año]	440	440	440	439
Evaporación desde interc. [mm/año]	110	114	116	116
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	94	85	99	113
Lluvia directa [mm/año]	331	326	325	323
Evapotranspiración [mm/año]	159	167	184	194

Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	158	146	120	102
Escurrentía directa [mm/año]	11	10	5	4
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	17	17	2	1
Infiltración [mm/año]	147	136	115	98
Interflujo [mm/año]	32	33	34	35
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	19	31
Percolación [mm/año]	79	67	109	93
Flujo subt. conectado [mm/año]	0	0	58	65
Flujo subt. profundo [mm/año]	79	67	47	22
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	77	76	69	73

Tabla Nº 6.62 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal de la estación Pajaroncillo_8090.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-8%	-8%	-16%	-0.86%
NASH	0.55	0.54	0.31	0.64

En la Tabla 6.62 se muestra que en la validación empeora los indicadores de eficiencia al haber implementado los fenómenos kársticos (Kp1_15), sin embargo sigue dichos indicadores siguen siendo mejores al desplazar los caudales observados 1 día (Kp1_15_1 Día). En la Figura 6.20 se observa el hidrograma resultante de la simulación para el periodo enero 2002 hasta diciembre 2003.

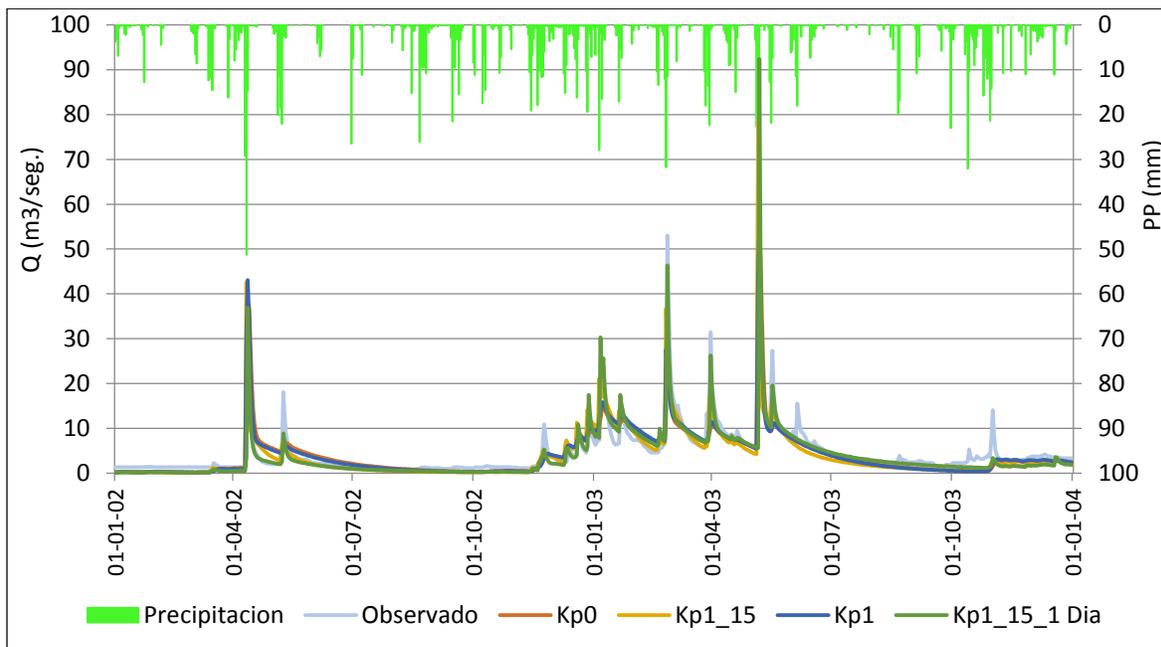


Figura Nº 6.20 Hidrograma resultante de la validación temporal de la estación Pajaroncillo_8090, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.

B. Validación espacial

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Pajaroncillo_8090* para realizar la validación espacial en las otras 9 estaciones, y al mismo tiempo para los cuatro casos elegidos en el apartado 6.2. En la Tabla 6.63 se muestra que se da una validación espacial aceptable al desplazar los caudales observados e incluir los fenómenos kársticos (Kp1_15_1 Día) para las estaciones de Bellús y Castellar.

Tabla Nº 6.63 Resultado de la validación espacial de la estación *Pajaroncillo_8090* en las otras estaciones.

	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	188%	-72%	132%	-49%	-9%	234%	27%	-63%	1174%
NASH (Kp0)	-4.10	0.08	-0.18	0.33	-2.09	-68.01	-6.06	-0.72	-14.22
Kp1									
Error Vol. (%)	160%	-77%	116%	-57%	-12%	217%	12%	-66%	979%
NASH (Kp1)	-4.93	0.02	-0.44	0.15	-1.90	-73.73	-6.59	-0.83	-14.53
Kp1_15									
Error Vol. (%)	114%	-83%	68%	-61%	-29%	186%	15%	-73%	765%
Nash (Kp1_15)	-4.63	0.00	-0.55	-0.03	-0.89	-55.67	-6.20	-1.21	-18.05
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	85.00	-77.00	61.00	-45.00	-37.00	140.00	10.00	-77.00	729.00
Nash (Kp1_15)	-1.57	0.40	0.63	0.23	-0.23	-33.25	-2.46	-1.38	-10.30

C. Validación espacio – temporal

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Pajaroncillo_8090* para realizar la validación espacio-temporal en las 9 estaciones restantes y en el periodo de enero 2002 hasta diciembre 2003. En la Tabla 6.64 se muestra que se da una validación espacio-temporal aceptable en la estación de Castellar.

Tabla Nº 6.64 Resultado de la validación espacio-temporal de la estación *Pajaroncillo_8090* en las otras estaciones.

	Beniarrés	Ulldecona	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	303%	-65%	432%	-34%	37%	216%	-6%	-26%	1065%
NASH (Kp0)	-23.87	0.07	-12.87	0.67	-1.82	-28.16	-20.62	0.06	-14.92
Kp1									
Error Vol. (%)	232%	-72%	365%	-43%	25%	170%	-23%	-36%	838%
NASH (Kp1)	-23.32	0.02	-14.35	0.54	-1.17	-24.76	-21.74	0.10	-12.34
Kp1_15									
Error Vol. (%)	151%	-77%	245%	-47%	-4%	137%	-19%	-54%	591%
Nash (Kp1_15)	-27.10	-0.02	-19.23	0.18	-1.42	-22.50	-20.62	-0.48	-15.74
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	78.00	-72.00	150.00	-25.00	-1.21	103.00	-12.00	-61.00	628.00
Nash (Kp1_15)	-2.80	0.42	-6.60	0.62	-0.78	-20.26	-6.94	-0.21	-7.40

6.3.10 Estación de Uldecona

6.3.10.1 Calibración

Se realizó la calibración automáticamente en el embalse *Uldecona_8025* para el periodo enero 2004 hasta diciembre 2007. En la Tabla 6.658 se muestra los factores correctores que fueron obtenidos en la calibración automática para los cuatro casos elegidos y descritos en el apartado 6.1. En la Tabla 6.66 se observa que incrementa la escorrentía directa y disminuye la infiltración al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15).

Tabla Nº 6.65 Factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Uldecona_8025*.

FACTOR CORRECTOR	Uldecona_8025			
	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
FC 1 Almacenamiento estático	1.987	1.987	1.987	1.945
FC 2 Evaporación	0.476	0.476	0.476	0.526
FC 3 Infiltración	0.011	0.001	0.002	0.003
FC 4 Escorrentía directa	0.210	0.210	0.212	0.253
FC 5 Percolación	0.323	0.320	0.320	0.348
FC 6 Interflujo	97.431	97.430	97.246	94.510
FC 7 Flujo subterráneo profundo	0.182	0.180	0.181	0.214
FC 8 Flujo base	72.520	72.520	72.504	70.608
FC 9 Velocidad del flujo base	0.004	0.004	0.004	0.010

Tabla Nº 6.66 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la calibración del embalse *Uldecona_8025*, para el periodo ene 2004-dic 2007.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	1	1	1
Lluvia [mm/año]	635	635	635	635
Evaporación desde interc. [mm/año]	153	153	153	157
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	69	69	69	64
Lluvia directa [mm/año]	482	482	482	478
Evapotranspiración [mm/año]	235	235	235	245
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	246	246	246	232
Escorrentía directa [mm/año]	226	244	242	227
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Infiltración [mm/año]	20	2	4	5
Interflujo [mm/año]	36	37	38	39
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	2	0	0	0
Percolación [mm/año]	18	2	4	5
Flujo subt. conectado [mm/año]	0	0	0	0

Flujo subt. profundo [mm/año]	17	2	4	5
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	227	243	241	227

Tabla N° 6.67 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de calibración del embalse Ulldecona_8025.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-36%	-32%	-32%	-36%
NASH	0.48	0.48	0.49	0.54

Como se detalla en la Tabla 6.67, los indicadores de eficiencia son mejores al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15) y al desplazar los caudales aforados (Kp1_15_1 Día). En la Figura 6.21 se observa el hidrograma resultante para el periodo de calibración.

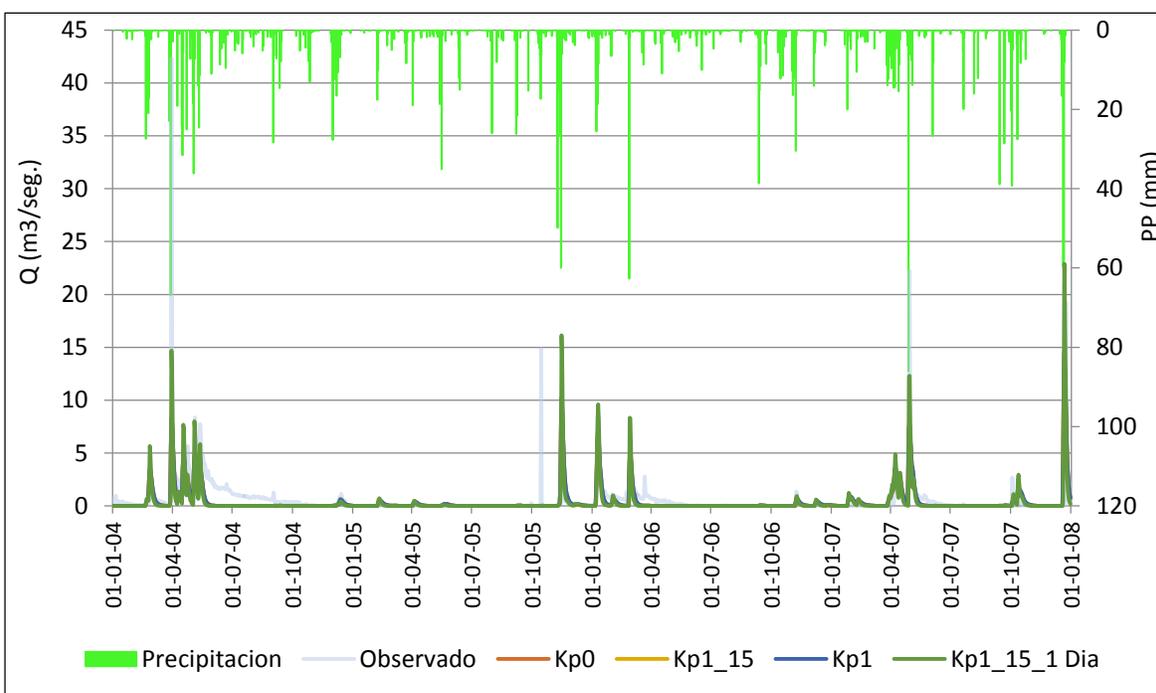


Figura N° 6.21 Hidrograma resultante de la calibración del embalse Ulldecona_8025, en el periodo enero 2004 a diciembre 2007.

6.3.10.2 Validación

La validación temporal se realizó para el periodo enero 2002 a diciembre 2003 y para la validación espacio-temporal se procedió a realizarla en las 9 estaciones restantes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, tal como se mencionó en el apartado 6.2.

A. Validación temporal

Utilizando los factores correctores obtenidos en la calibración, se realizó la validación temporal en el periodo enero 2002 a diciembre 2003. En la Tabla 6.68 se observa que incrementa la escorrentía directa y disminuye la infiltración al implementar los fenómenos kársticos (Kp1_15).

Tabla Nº 6.68 Resumen de almacenamientos y flujos medios de la cuenca obtenidos en la validación temporal del embalse Ulldecona_8025, para el periodo ene 2002-dic 2003.

Almacenamiento y flujos medios en la cuenca	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Cubierta vegetal				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	1	1	1
Lluvia [mm/año]	415	415	415	415
Evaporación desde interc. [mm/año]	95	95	95	99
Suelo (Alm. estático)				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	85	85	85	77
Lluvia directa [mm/año]	321	321	321	317
Evapotranspiración [mm/año]	111	111	111	121
Agua en superficie				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Excedente [mm/año]	211	211	211	197
Escorrentía directa [mm/año]	194	209	207	193
Almacenamiento gravitacional				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	0	0	0	0
Infiltración [mm/año]	17	2	3	4
Interflujo [mm/año]	36	37	38	39
Acuífero				
Nivel medio en la cuenca [mm/día]	1	0	0	0
Percolación [mm/año]	15	2	3	4
Flujo subt. conectado [mm/año]	0	0	0	0
Flujo subt. profundo [mm/año]	15	2	3	4
Caudal de salida de la cuenca [mm/año]	195	209	208	193

Tabla Nº 6.69 Indicadores de eficiencia del modelo en el evento de validación temporal del embalse Ulldecona_8025.

Indicador de eficiencia	Kp0	Kp1	Kp1_15	Kp1_15 1 Día
Error Vol. (%)	-16%	-11%	-11%	-34%
NASH	0.52	0.51	0.52	0.67

En la Tabla 6.69 se muestra que en la validación sigue siendo mejores los indicadores de eficiencia al desplazar los caudales observados 1 día (Kp1_15_1 Día). En la Figura 6.22 se observa el hidrograma resultante de la simulación para el periodo enero 2002 hasta diciembre 2003.

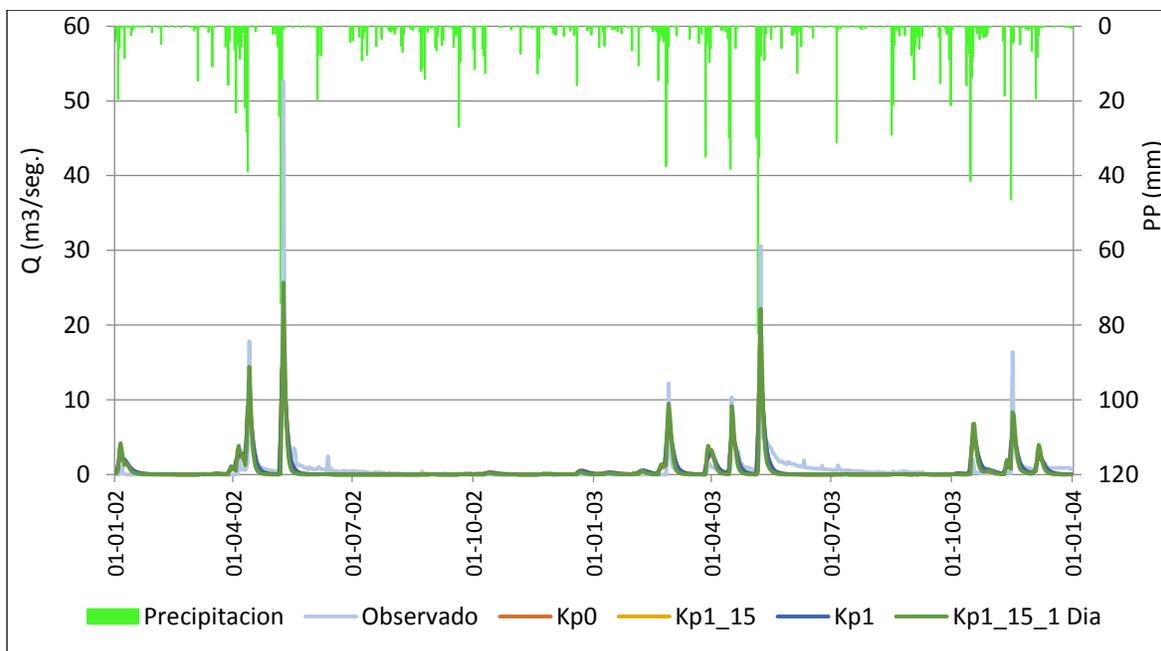


Figura N° 6.22 Hidrograma resultante de la validación temporal del embalse Ulldecona_8025, en el periodo enero 2002 a diciembre 2003.

B. Validación espacial

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Ulldecona_8025* para realizar la validación espacial en las otras 9 estaciones, y al mismo tiempo para los cuatro casos elegidos en el apartado 6.2. En la Tabla 6.70 se muestra que no se da una validación espacial aceptable en ningún caso.

Tabla N° 6.70 Resultado de la validación espacial del embalse Ulldecona_8025 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	141%	337%	350%	53%	194%	426%	53%	10%	2206%
NASH (Kp0)	-5.24	-6.52	-4.10	-3.72	-63.91	-125.51	-4.91	-13.20	-48.14
Kp1									
Error Vol. (%)	168%	345%	364%	70%	231%	441%	55%	20%	2325%
NASH (Kp1)	-7.13	-6.81	-4.49	-5.29	-86.66	-132.53	-5.12	-17.56	-53.95
Kp1_15									
Error Vol. (%)	163%	344%	362%	66%	220%	437%	55%	18%	2310%
Nash (Kp1_15)	-6.92	-6.81	-4.47	-4.95	-79.80	-132.53	-5.17	-16.62	-53.80
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	134.00	319.00	335.00	70.00	163.00	410.00	50.00	0.42	2210.00
Nash (Kp1_15)	-8.89	-8.48	-5.75	-8.16	-83.00	-176.00	-6.57	-20.60	-80.45

C. Validación espacio – temporal

Se ha empleado los factores correctores obtenidos en la calibración del embalse *Ulldecona_8025* para realizar la validación espacio-temporal en las 9 estaciones restantes y en el periodo de enero 2002 hasta diciembre 2003. En la Tabla 6.70 se muestra que no se da una validación espacio-temporal aceptable en ningún caso.

Tabla Nº 6.71 Resultado de la validación espacio-temporal del embalse Ulldecona_8025 en las otras estaciones.

	Pajaroncillo	Beniarrés	Bellús	Castellar	Benageber	Amadorio	Guadalest	Arenós	María Cristina
Kp0									
Error Vol. (%)	136%	698%	1089%	97%	259%	531%	25%	92%	2724%
NASH (Kp0)	-5.25	-29.42	-25.69	-3.66	-36.33	-88.05	-17.80	-15.56	-60.70
Kp1									
Error Vol. (%)	159%	737%	1156%	118%	292%	572%	28%	107%	2917%
NASH (Kp1)	-6.95	-32.09	-28.37	-5.26	-43.92	-101.58	-18.75	-18.29	-67.93
Kp1_15									
Error Vol. (%)	155%	715%	1125%	113%	283%	543%	27%	102%	2871%
Nash (Kp1_15)	-6.68	-31.15	-27.68	-4.91	-42.05	-95.16	-18.98	-17.57	-66.77
Kp1_15_1 Día									
Error Vol. (%)	102.00	450.00	756.00	84.00	228.00	540.00	41.00	56.00	2311.00
Nash (Kp1_15)	-7.13	-12.85	-42.95	-2.38	-58.00	-224.89	-19.00	-24.50	-67.20

CAPITULO 7. ANALISIS DEL FLUJO SUBTERRANEO PROFUNDO

Al tener en cuenta que el modelo TETIS no es un modelo específico de acuífero, se decidió calibrar el factor corrector 7 (Flujo subterráneo profundo), con el fin de que mejore los resultados de la validación cruzada (validación espacial y validación espacio-temporal) mostrados en el apartado 6.3.

El FC 7 se modificó tomando los FCs de 1 de las 10 estaciones, y con estos factores se realizó la calibración automática solo del FC 7 en cada una de las 9 estaciones restantes, se repitió este mismo proceso para todas las estaciones. La calibración se realizó en el periodo de enero 2004 hasta diciembre del 2007, con el fin de mejorar los resultados de la validación espacial del apartado 6.3.

En este capítulo para determinar si los resultados de la calibración y validación son aceptables, se consideró según la literatura un índice de Nash-Sutcliffe superior a 0.5 (Moriasi D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., Bingner R. L., Harmel R. D., Veith T. L., 2007).

Como se observó en el capítulo 6, al incluir los fenómenos kársticos ($Kp1_{15}$) se obtiene mejores resultados en la mayoría de cuencas estudiadas, por lo tanto se empleó este mapa para el análisis del presente capítulo. Por otro lado habiéndose presentado el desfase temporal de datos que se menciona en el apartado 6.2, se decidió también desarrollar el caso $Kp1_{15_1\text{ Día}}$. Por lo cual en este capítulo se analizó dos casos paralelamente. Se comparó primeramente los resultados del apartado 6.3, los cuales están sin modificar el FC 7, luego a continuación el resultado con la modificación (calibración) del FC 7.

7.1 Sin modificar el FC 7

- Validación espacial

En la Tabla 7.1 se muestra las validaciones espaciales realizadas en el apartado 6.3, utilizando el mapa $Kp1_{15}$ sin modificar el FC 7. En la primera columna de la tabla están las estaciones de aforo de las cuales fueron utilizados los factores correctos y en la primera fila se ubican las estaciones en las cuales fueron realizadas las validaciones utilizando los FC de la primera columna, la Tabla 7.3 se distribuye de la misma manera, con la diferencia que la validación espacial es del caso $Kp1_{15_1\text{ Día}}$ (caudales desplazados).

- Validación espacio-temporal

En la Tabla 7.2 se detalla las validaciones espacio-temporales realizadas en el apartado 6.3, utilizando el mapa $Kp1_{15}$ sin modificar el FC 7. De la misma manera La Tabla 7.4 muestra el resumen de la validación espacio-temporal para el caso $Kp1_{15_1\text{ Día}}$ (caudales desplazados).

Tabla N^o 7.1 Resumen del periodo de validación espacial en todas las estaciones utilizando el mapa Kp1_15.

Estación FCs	Indicador	Amadorio	Arenós	Bellús	Benageber	Beniarrés	Castellar	Guadalest	María Cristina	Pajaroncillo	Ulldecona
Amadorio	% Error Vol.		-96%	-48%	-92%	-17%	-99%	-88%	38%	-93%	-99%
	Nash		-2.97	0.09	-2.26	0.34	-1.57	0.13	0.07	-0.38	-0.09
Arenós	% Error Vol.	291%		128%	63%	182%	-56%	-4%	1029%	2%	-87%
	Nash	-10.19		0.26	-1.72	-0.74	-0.26	0.10	-2.37	0.33	-0.05
Bellús	% Error Vol.	27%	-94%		-89%	34%	-96%	-57%	98%	-92%	-98%
	Nash	-16.11	-2.83		-1.98	-0.32	-1.34	-1.73	0.20	-0.36	-0.06
Benageber	% Error Vol.	223%	-50%	97%		151%	-67%	-13%	834%	-27%	-90%
	Nash	-31.06	-0.63	-0.16		-6.72	-0.63	-1.02	-6.64	0.17	-0.06
Beniarrés	% Error Vol.	-32%	-97%	-47%	-96%		-99%	-85%	-18%	-97%	-100%
	Nash	-0.60	-3.14	0.21	-2.42		-1.57	0.03	0.14	-0.47	-0.09
Castellar	% Error Vol.	384%	-16%	213%	93%	275%		43%	1547%	54%	-72%
	Nash	-20.06	0.15	-0.16	-8.28	-1.12		-0.08	-10.84	0.50	0.12
Guadalest	% Error Vol.	221%	-45%	91%	14%	138%	-61%		898%	-17%	-86%
	Nash	-4.06	-0.34	0.05	-0.11	-0.27	-0.41		-2.22	0.28	-0.04
María Cristina	% Error Vol.	-37%	-95%	-49%	-93%	-8%	-98%	-87%		-93%	-99%
	Nash	-0.35	-2.88	0.16	-2.19	0.32	-1.53	-0.01		-0.38	-0.08
Pajaroncillo	% Error Vol.	186%	-73%	68%	-29%	114%	-61%	15%	765%		-83%
	Nash	-55.67	-1.21	-0.55	-0.89	-4.63	-0.03	-6.20	-18.05		0.00
Ulldecona	% Error Vol.	437%	18%	362%	220%	344%	66%	55%	2310%	163%	
	Nash	-132.53	-16.62	-4.47	-79.80	-6.81	-4.95	-5.17	-53.80	-6.92	

En la Tabla 7.1 se observa que para las estaciones de Amadorio, Ulldecona, Benageber y Castellar, ningún conjunto de FCs realiza una validación espacial aceptable. La validación espacial aceptable se menciona a continuación:

- Con los FC de Castellar se da una validación espacial aceptable en la estación de Pajaroncillo, sin la necesidad de modificar el FC 7.

Tabla Nº 7.2 Resumen del periodo de validación espacio-temporal en todas las estaciones utilizando el mapa Kp1_15.

Estación FCs	Indicador	Amadorio	Arenós	Bellús	Benageber	Beniarrés	Castellar	Guadalest	María Cristina	Pajaroncillo	Ulldecona
Amadorio	% Error Vol.		-86%	59%	-81%	25%	-98%	-93%	20%	-91%	-99%
	Nash		-1.31	0.07	-1.14	-0.31	-1.14	-1.15	0.03	-0.60	-0.07
Arenós	% Error Vol.	361%		467%	83%	332%	-60%	-27%	941%	-14%	-86%
	Nash	-12.12		-0.55	-1.64	-6.51	-0.21	-0.39	-2.21	0.26	-0.04
Bellús	% Error Vol.	-62%	-92%		-87%	-4%	-94%	-84%	-42%	-92%	-98%
	Nash	-0.05	-1.59		-1.17	0.04	-0.79	-2.35	0.08	-0.59	-0.01
Benageber	% Error Vol.	143%	-48%	278%		201%	-70%	-48%	492%	-46%	-92%
	Nash	-8.76	-0.66	-1.67		-20.97	-0.38	-2.70	-3.19	0.06	-0.05
Beniarrés	% Error Vol.	-81%	-96%	-14%	-93%		-98%	-97%	-72%	-96%	-100%
	Nash	-0.11	-1.84	0.27	-1.50		-1.09	-1.56	0.01	-0.68	-0.07
Castellar	% Error Vol.	426%	26%	655%	139%	513%		11%	1559%	38%	-65%
	Nash	-13.26	-0.34	-3.61	-6.35	-7.80		-0.44	-11.59	0.51	0.14
Guadalest	% Error Vol.	153%	-51%	268%	-5%	189%	-58%		505%	-33%	-87%
	Nash	-0.52	-0.24	-0.38	-0.08	-0.93	-0.19		-1.08	0.15	-0.04
María Cristina	% Error Vol.	-39%	-87%	62%	-83%	36%	-98%	-91%		-92%	-99%
	Nash	-0.18	-1.20	0.51	-0.91	-2.57	-1.09	-1.60		-0.59	-0.07
Pajaroncillo	% Error Vol.	137%	-54%	245%	-4%	151%	-47%	-19%	591%		-77%
	Nash	-22.50	-0.48	-19.23	-1.42	-27.10	0.18	-20.62	-15.74		-0.02
Ulldecona	% Error Vol.	543%	102%	1125%	283%	715%	113%	27%	2871%	155%	
	Nash	-95.16	-17.57	-27.68	-42.05	-31.15	-4.91	-18.98	-66.77	-6.68	

En la Tabla 7.2 se observa que para las estaciones de Amadorio, Arenós, Ulldecona, Benageber, Beniarrés y Guadalest, ningún conjunto de FCs realiza una validación espacio-temporal aceptable. La validación aceptable se menciona a continuación:

- Con los FC de Castellar se da una validación espacial y espacio temporal aceptables en la estación de Pajaroncillo, sin la necesidad de modificar el FC 7.

Tabla Nº 7.3 Resumen del periodo de validación espacial en todas las estaciones para el caso Kp1_15 1 Día.

Estación FCs	Indicador	Amadorio	Arenós	Bellús	Benageber	Beniarrés	Castellar	Guadalest	María Cristina	Pajaroncillo	Ulldecona
Amadorio	% Error Vol.		-96%	-48%	-93%	-18%	-98%	-83%	4%	-95%	-99%
	Nash		-3.06	0.12	-2.32	0.50	-1.55	0.20	0.18	-0.44	-0.09
Arenós	% Error Vol.	300%		126%	51%	186%	-54%	-5%	959%	-8%	-88%
	Nash	-12.70		0.45	-1.52	-1.10	-0.17	0.39	-2.50	0.38	-0.05
Bellús	% Error Vol.	73%	-94%		-90%	-51%	-93%	-44%	131%	-94%	-97%
	Nash	-41.00	-2.80		-2.06	-3.33	-1.41	-1.96	-2.52	-0.40	-0.02
Benageber	% Error Vol.	243%	-51%	110%		175%	-57%	-12%	817%	-33%	-89%
	Nash	-16.00	-0.34	0.50		-2.60	-0.36	0.28	-2.90	0.16	-0.05
Beniarrés	% Error Vol.	-37%	-97%	-49%	-96%		-98%	9%	-24%	-98%	-99%
	Nash	-0.87	-3.18	0.38	-2.50		-1.57	0.30	0.32	-0.50	-0.01
Castellar	% Error Vol.	341%	-33%	170%	55%	235%		33%	1350%	30%	-75%
	Nash	-21.57	0.19	-0.01	-4.35	-1.10		0.04	-8.84	0.62	0.15
Guadalest	% Error Vol.	98%	-85%	21%	-57%	49%	-61%		431%	0%	-89%
	Nash	-1.18	-2.19	0.12	-0.71	0.33	-0.33		-0.54	0.20	-0.06
María Cristina	% Error Vol.	-32%	-96%	-53%	-94%	-17%	-98%	-87%		-94%	-99%
	Nash	-0.53	-2.97	0.28	-2.29	0.55	-1.52	0.27		-0.40	-0.01
Pajaroncillo	% Error Vol.	140%	-77%	61%	-37%	85%	-45%	10%	729%		-77%
	Nash	-33.25	-1.38	0.63	-0.23	-1.57	0.23	-2.46	-10.30		0.40
Ulldecona	% Error Vol.	410%	0%	335%	163%	319%	70%	50%	2210%	134%	
	Nash	-176.00	-20.60	-5.75	-83.00	-8.48	-8.16	-6.57	-80.45	-8.89	

En la Tabla 7.3 se observa que para las estaciones de Amadorio, Benageber y Ulldecona, ningún conjunto de factores correctores realiza una validación espacial aceptable. La validación espacial aceptable se menciona a continuación:

- Con los FC de Amadorio se da una validación espacial aceptable en la estación de Beniarrés, sin modificar el FC 7.
- Con los FC de Castellar se da una validación espacial aceptable en la estación de Pajaroncillo, sin modificar el FC 7.
- Con los FC de María Cristina se da una validación espacial en la estación de Beniarrés, sin modificar el FC 7.

Tabla Nº 7.4 Resumen del periodo de validación espacio-temporal en todas las estaciones para el caso Kp1_15 1 Día.

Estación FCs	Indicador	Amadorio	Arenós	Bellús	Benageber	Beniarrés	Castellar	Guadalest	María Cristina	Pajaroncillo	Ulldecona
Amadorio	% Error Vol.		-93%	-29%	-89%	-41%	-97%	-92%	-16%	-94%	99%
	Nash		-2.05	0.21	-1.62	0.52	-0.49	-0.28	0.10	-0.66	-0.08
Arenós	% Error Vol.	363%		317%	74%	223%	-56%	-22%	1080%	-24%	83%
	Nash	-0.60		-0.31	-1.40	-1.63	0.03	0.20	-2.36	0.26	-0.04
Bellús	% Error Vol.	-5%	-91%		-82%	9%	-87%	-68%	-4%	-86%	-98%
	Nash	-15.80	-1.93		-1.25	-1.76	-0.13	-2.77	0.34	-0.39	-0.01
Benageber	% Error Vol.	196%	-40%	230%		170%	-59%	-37%	804%	-45%	-84%
	Nash	-6.40	0.25	0.02		-1.92	-0.07	0.08	-1.53	0.07	-0.05
Beniarrés	% Error Vol.	-72%	-95%	-44%	-93%		-97%	-94%	-45%	-96%	-99%
	Nash	-0.60	-2.25	0.39	-1.87		-0.48	-0.45	0.11	-0.69	-0.01
Castellar	% Error Vol.	362%	-7%	362%	93%	282%		11%	1248%	17%	-73%
	Nash	-18.00	0.35	-2.19	-3.65	-1.23		-0.20	-6.70	0.62	0.15
Guadalest	% Error Vol.	14%	-7%	56%	-30%	4%	-49%		423%	-32%	-84%
	Nash	-0.19	-1.15	0.23	-0.23	0.48	0.06		-0.55	0.15	-0.05
María Cristina	% Error Vol.	-40%	-91%	-4%	-9%	-10%	-97%	-90%		-93%	-99%
	Nash	-0.63	-1.70	0.56	-1.40	-0.10	-0.45	-0.43		-0.62	-0.07
Pajaroncillo	% Error Vol.	103%	-61%	150%	-1%	78%	-25%	-12%	628%		-72%
	Nash	-20.26	-0.21	-6.60	-0.78	-2.80	0.62	-6.94	-7.40		0.42
Ulldecona	% Error Vol.	540%	56%	756%	228%	450%	84%	41%	2311%	102%	
	Nash	-224.89	-24.50	-42.95	-58.00	-12.85	-2.38	-19.00	-67.20	-7.13	

En la Tabla 7.4 se observa que para las estaciones de Amadorio, Ulldecona y Benageber, ningún conjunto de factores correctores realiza una validación espacio-temporal aceptable. La validación espacio-temporal aceptable se menciona a continuación:

- Con los FC de Amadorio se da una validación espacial y espacio-temporal aceptables en la estación de Beniarrés, sin modificar el FC 7.
- Con los FC de Castellar se da una validación espacial y espacio-temporal aceptables en la estación de Pajaroncillo, sin modificar el FC 7.

7.2 Modificando el FC 7

La modificación (calibración) se realizó utilizando los factores correctores de 1 de las 10 estaciones de aforo y calibrando automáticamente solo el FC 7 en cada una de las 9 estaciones restantes, se siguió el mismo procedimiento para todas las estaciones de aforo. En la Tabla 7.5 se detalla los valores del FC 7 modificados en el caso *Kp1_15_1 Día*. La primera columna de la tabla son las estaciones de las cuales se utilizó los factores correctores y la primera fila son las estaciones en las cuales se realizó la calibración automática del FC 7, con el objetivo de mejorar el índice de eficiencia de Nash.

Tabla Nº 7.5 Resumen de la modificación del FC 7 para el caso *Kp1_15_1 Día*.

Estación FC 7	Amadorio	Arenós	Bellús	Benageber	Beniarrés	Castellar	Guadalest	María Cristina	Pajaroncillo	Ulldecona
Amadorio		NC	NC	NC	NC	NC	0	NC	0	0
Arenós	NC		NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0
Bellús	NC	NC		NC	NC	NC	NC	NC	0	0
Benageber	NC	0	5497		NC	NC	0	NC	0	0
Beniarrés	NC	NC	NC	NC		NC	0	NC	0	0
Castellar	NC	NC	3525	NC	NC		3525	NC	NC	0
Guadalest	NC	NC	NC	NC	NC	0		NC	NC	0
María Cristina	NC	0	NC	NC	NC	NC	0		NC	0
Pajaroncillo	NC	NC	6300	NC	NC	NC	NC	NC		0
Ulldecona	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	

NC: En la calibración automática el FC 7 no cambia o no fue muy significativa la variación del índice de eficiencia de Nash.

- Validación espacial (modificación del FC7)

En la Tabla 7.6 se muestra las validaciones cruzadas modificando el FC 7 y empleando el mapa *Kp1_15*, en la primera columna de la tabla están las estaciones de aforo de las cuales fueron utilizados los factores correctos, y en la primera fila se ubican las estaciones en donde fueron realizadas las modificaciones del FC 7, y manteniendo constante los otros FCs de la primera columna. La Tabla 7.8 se distribuye de la misma manera, con la diferencia que es el caso *Kp1_15_1 Día* (caudales desplazados).

- Validación espacio-temporal (modificación del FC7)

En la Tabla 7.7 se detalla la validación espacio-temporal utilizando el mapa *Kp1_15* con el FC 7 modificado, de la misma manera la Tabla 7.9 para el caso *Kp1_15_1 Día* (caudales desplazados), la distribución de las tablas es la misma que la Tabla 7.6.

Tabla Nº 7.6 Resumen del periodo de validación espacial modificando el FC 7 en todas las estacione utilizando el mapa Kp1_15.

Estación FCs	Indicador	Amadorio	Arenós	Bellús	Benageber	Beniarrés	Castellar	Guadalest	María Cristina	Pajaroncillo	Ulldecona
Amadorio	% Error Vol.		-27%	0%	0%	0%	0%	0%	49%	0%	-50%
	Nash		-0.80	0.10	-1.70	0.34	-0.17	0.31	0.19	0.48	0.44
Arenós	% Error Vol.	236%		99%	51%	143%	0%	0%	853%	0%	-21%
	Nash	-9.00		0.29	-1.00	-0.70	0.67	0.11	-1.70	0.27	0.31
Bellús	% Error Vol.	23%	-68%		-35%	29%	-33%	0%	103%	-26%	-78%
	Nash	-17.00	-1.00		0.02	-0.31	0.15	-1.82	0.30	0.66	0.19
Benageber	% Error Vol.	172%	-13%	0%		123%	0%	646%	646%	0%	-47%
	Nash	-31.00	-1.00	0.43		-6.00	0.30	-1.00	-6.20	0.46	0.21
Beniarrés	% Error Vol.	0%	-70%	0%	-40%		-41%	0%	0%	-44%	-82%
	Nash	-0.99	-1.00	0.23	-0.40		0.18	0.16	0.19	0.49	0.13
Castellar	% Error Vol.	151%	0%	75%	0%	150%		0%	500%	0%	-42%
	Nash	-12.00	-1.39	0.16	-1.13	-0.50		0.11	-1.70	0.57	0.32
Guadalest	% Error Vol.	89%	-30%	13%	0%	68%	0%		306%	0%	-56%
	Nash	-2.00	0.06	0.10	-0.68	-0.20	0.23		-0.30	0.32	0.24
María Cristina	% Error Vol.	0%	-46%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	-58%
	Nash	-0.46	-0.20	0.20	-1.23	0.33	-0.09	0.20		0.60	0.35
Pajaroncillo	% Error Vol.	36%	-50%	0%	0%	34%	-5%	0%	240%		-63%
	Nash	-52.00	-1.00	-0.46	-3.95	-4.00	-2.00	-5.74	-17.00		-0.01
Ulldecona	% Error Vol.	417%	23%	352%	183%	321%	80%	64%	2306%	159%	
	Nash	-127.00	-16.00	-4.00	-58.00	-6.00	-6.00	-5.00	-55.00	-6.80	

En la Tabla 7.6 se observa que para la estación de Amadorio, a pesar de modificar el FC 7 no se pudo realizar una validación espacial aceptable. Al realizar la modificación del FC 7 incrementan la cantidad de estaciones con una validación espacial aceptable. Las estaciones que tiene una validación espacial aceptable se mencionan a continuación:

- Con los FC de Arenós y modificando el FC 7 se da una validación espacial aceptable en la estación de Castellar.
- Con los FC de Bellús y modificando el FC 7 se da una validación espacial aceptable en la estación de Pajaroncillo.
- Con los FC de Beniarrés y modificando el FC 7 se da una validación espacial aceptable en la estación de Pajaroncillo.

- Con los FC de Castellar y modificando el FC 7 se da una validación espacial aceptable en la estación de Pajaroncillo y Uldecona.
- Con los FC de María Cristina y modificando el FC 7 se da una validación espacial aceptable en la estación de Pajaroncillo.

En la Tabla 7.7 se observa que al realizar la modificación del FC 7 incrementa la cantidad de estaciones con una validación aceptable. Las estaciones que tiene una validación aceptable se mencionan a continuación:

- Con los FC de Arenós y modificando el FC 7 se da una validación tanto espacial como espacial-temporal aceptable en la estación de Castellar.
- Con los FC de Castellar y modificando el FC 7 se da una validación tanto espacial como espacial-temporal aceptable en la estación de Pajaroncillo y Uldecona.
- Con los FC de María Cristina y modificando el FC 7 se da una validación tanto espacial como espacial-temporal aceptable en la estación de Pajaroncillo.

Tabla Nº 7.7 Resumen del periodo de validación espacio-temporal modificando el FC 7 en todas las estaciones utilizando el mapa Kp1_15.

Estación FCs	Indicador	Amadorio	Arenós	Bellús	Benageber	Beniarrés	Castellar	Guadalest	María Cristina	Pajaroncillo	Uldecona
Amadorio	% Error Vol.		2%	136%	22%	32%	27%	-29%	26%	2%	-34%
	Nash		-0.50	-0.10	-1.19	-0.23	-0.27	0.44	0.02	0.32	0.46
Arenós	% Error Vol.	276%		405%	69%	271%	5%	-24%	894%	-12%	-5%
	Nash	-8.60		-0.34	-1.30	-5.00	0.56	-0.31	-2.10	0.33	0.32
Bellús	% Error Vol.	-67%	-72%		-34%	-18%	-2%	-77%	-38%	-19%	-75%
	Nash	-0.03	-0.69		0.01	0.26	-0.07	-0.90	0.08	0.27	0.24
Benageber	% Error Vol.	84%	7%	225%		166%	12%	-35%	467%	-13%	-40%
	Nash	-7.00	-1.80	-1.60		-20.00	0.36	-2.00	-3.14	0.47	0.23
Beniarrés	% Error Vol.	-76%	-79%	46%	-44%		-10%	-44%	-67%	-30%	-78%
	Nash	-0.06	-1.10	0.23	-0.21		0.08	0.19	0.02	0.18	0.20
Castellar	% Error Vol.	115%	39%	317%	22%	261%		30%	527%	0%	-26%
	Nash	-2.00	-1.15	-1.15	0.04	-3.00		-0.29	-2.13	0.62	0.32
Guadalest	% Error Vol.	4%	-20%	125%	31%	90%	15%		153%	-8%	-46%
	Nash	0.43	0.13	-0.10	-1.00	-0.48	0.22		-0.18	0.37	0.24
María Cristina	% Error Vol.	-6%	-15%	155%	33%	37%	28%	-25%		-3%	-39%
	Nash	0.03	0.23	0.31	-1.30	-1.70	0.20	-0.01		0.62	0.36
Pajaroncillo	% Error Vol.	-16%	-33%	129%	28%	41%	30%	-35%	140%		-50%
	Nash	-17.00	-1.50	-17.00	-5.80	-19.00	-3.00	-18.00	-13.00		-0.06
Uldecona	% Error Vol.	488%	103%	1037%	247%	611%	123%	3100%	2795%	139%	
	Nash	-79.00	-17.00	-26.00	-35.00	-26.00	-5.00	-18.00	-64.00	-5.97	

Tabla Nº 7.8 Resumen del periodo de validación espacial modificando el FC 7 en todas las estaciones en el caso Kp1_15_1 Día.

Estación FCs	Indicador	Amadorio	Arenós	Bellús	Benageber	Beniarrés	Castellar	Guadalest	María Cristina	Pajaroncillo	Ulldecona
Amadorio	% Error Vol.		-96%	-48%	-93%	-18%	-98%	10%	4%	24%	-71%
	Nash		-3.06	0.12	-2.32	0.50	-1.55	0.30	0.18	0.45	0.35
Arenós	% Error Vol.	300%		126%	51%	186%	-54%	-5%	959%	-8%	-19%
	Nash	-12.70		0.45	-1.52	-1.10	-0.17	0.39	-2.50	0.38	0.50
Bellús	% Error Vol.	73%	-94%		-90%	-51%	-93%	-44%	131%	-1%	-82%
	Nash	-41.00	-2.80		-2.06	-3.33	-1.41	-1.96	-2.52	0.18	0.20
Benageber	% Error Vol.	0%	-14%	62%		175%	-57%	8%	817%	62%	-41%
	Nash	-16.00	0.56	0.54		-2.60	-0.36	0.29	-2.90	0.21	0.26
Beniarrés	% Error Vol.	-37%	-97%	-49%	-96%		-98%	-9%	-24%	-63%	-81%
	Nash	-0.87	-3.18	0.38	-2.50		-1.57	0.37	0.32	0.16	0.19
Castellar	% Error Vol.	341%	-33%	88%	55%	235%		-40%	1350%	30%	-38%
	Nash	-21.57	0.19	0.18	-4.35	-1.10		0.14	-8.84	0.62	0.47
Guadalest	% Error Vol.	98%	-85%	21%	-57%	49%	-40%		431%	0%	-76%
	Nash	-1.18	-2.19	0.12	-0.71	0.33	0.01		-0.54	0.20	0.05
María Cristina	% Error Vol.	-32%	-40%	-53%	-94%	-17%	-98%	17%		-94%	-49%
	Nash	-0.53	0.04	0.28	-2.29	0.55	-1.52	0.40		-0.40	0.53
Pajaroncillo	% Error Vol.	140%	-77%	-40%	-37%	85%	-45%	10%	729%		-66%
	Nash	-33.25	-1.38	0.70	-0.23	-1.57	0.23	-2.46	-10.30		0.40
Ulldecona	% Error Vol.	410%	0%	335%	163%	319%	70%	50%	2210%	134%	
	Nash	-176.00	-20.60	-5.75	-83.00	-8.48	-8.16	-6.57	-80.45	-8.89	

En la Tabla 7.8 se observa que para las estaciones de Amadorio y Benageber, a pesar de modificar el FC 7, no se pudo realizar una validación espacial aceptable. Al realizar la modificación del FC 7 incrementan la cantidad de estaciones con una validación espacial aceptable. Las estaciones que tienen una validación espacial aceptable se mencionan a continuación:

- Con los FC de Amadorio y modificando el FC 7 se da una validación espacial aceptable en la estación de Beniarrés.
- Con los FC de Arenós y modificando el FC 7 se da una validación espacial aceptable en la estación de Ulldecona.
- Con los FC de Benageber y modificando el FC 7 se da una validación espacial aceptable en la estación de Arenós.

- Con los FC de Castellar y modificando el FC 7 se da una validación aceptable en la estación de Pajaroncillo.
- Con los FC de María Cristina y modificando el FC 7 se da una validación aceptable en la estación de Beniarrés y Uldecona.
- Con los FC de Pajaroncillo y modificando el FC 7 se da una validación aceptable en la estación de Bellús.

En la Tabla 7.9 se observa que al realizar la modificación del FC 7, incrementan la cantidad de estaciones con una validación espacio-temporal aceptable. Las estaciones que tiene una validación aceptable se mencionan a continuación:

- Con los FC de Amadorio se da una validación tanto espacial como espacial-temporal aceptable en la estación de Beniarrés.
- Con los FC de Arenós y modificando el FC 7 se da una calibración y validación temporal aceptable en la estación de Uldecona.
- Con los FC de Benageber y modificando el FC 7 se da una validación tanto espacial como espacial-temporal aceptable en la estación de Arenós.
- Con los FC de Castellar se da una validación tanto espacial como espacial-temporal aceptable en la estación de Pajaroncillo.
- Con los FC de María Cristina y modificando el FC 7 se da una calibración y validación temporal aceptable en la estación de Uldecona.

Cabe destacar que aunque no cumplieren con el criterio mínimo de Nash, las validaciones entre las estaciones de Beniarrés y Bellús podrían considerarse aceptables.

Tabla Nº 7.9 Resumen del periodo de validación espacio-temporal modificando el FC 7 en todas las estaciones en el caso Kp1_15_1 Día.

Estación FCs	Indicador	Amadorio	Arenós	Bellús	Benageber	Beniarrés	Castellar	Guadalest	María Cristina	Pajaroncillo	Ulldecona
Amadorio	% Error Vol.		-93%	-29%	-89%	-41%	-97%	-17%	-16%	8%	-72%
	Nash		-2.05	0.21	-1.62	0.52	-0.49	0.51	0.10	0.35	0.40
Arenós	% Error Vol.	363%		317%	74%	223%	-56%	-22%	1080%	-24%	-13%
	Nash	-0.60		-0.31	-1.40	-1.63	0.03	0.20	-2.36	0.26	0.52
Bellús	% Error Vol.	-5%	-91%		-82%	9%	-87%	-68%	-4%	-27%	-85%
	Nash	-15.80	-1.93		-1.25	-1.76	-0.13	-2.77	0.34	0.10	0.30
Benageber	% Error Vol.	0%	2%	148%		170%	-59%	-7%	804%	72%	-38%
	Nash	-6.40	0.61	0.30		-1.92	-0.07	0.24	-1.53	0.30	0.23
Beniarrés	% Error Vol.	-72%	-95%	-44%	-93%		-97%	-30%	-45%	-23%	-85%
	Nash	-0.60	-2.25	0.39	-1.87		-0.48	0.22	0.11	0.10	0.23
Castellar	% Error Vol.	362%	-7%	212%	93%	282%		-50%	1248%	17%	-37%
	Nash	-18.00	0.35	-0.84	-3.65	-1.23		-0.14	-6.70	0.62	0.45
Guadalest	% Error Vol.	14%	-7%	56%	-30%	4%	-4%		423%	-32%	70%
	Nash	-0.19	-1.15	0.23	-0.23	0.48	0.45		-0.55	0.15	0.05
María Cristina	% Error Vol.	-40%	-13%	-4%	-9%	-10%	-97%	8%		-93%	-46%
	Nash	-0.63	0.12	0.56	-1.40	-0.10	-0.45	0.25		-0.62	0.54
Pajaroncillo	% Error Vol.	103%	-61%	9%	-1%	78%	-25%	-12%	628%		-62%
	Nash	-20.26	-0.21	-4.50	-0.78	-2.80	0.62	-6.94	-7.40		0.50
Ulldecona	% Error Vol.	540%	56%	756%	228%	450%	84%	41%	2311%	102%	
	Nash	-224.89	-24.50	-42.95	-58.00	-12.85	-2.38	-19.00	-67.20	-7.13	

Como se detallan en los resultados anteriores se da el traslado de FCs de forma aceptable entre estaciones con similares características hidroclimáticas, como se observa en la Figura 7.1. Este resultado indicaría que es posible el traslado de los factores correctores a otra estación sin datos de aforo, sin embargo en otros casos el FC7 no es trasladable.

Cabe destacar que en el traslado de FCs entre las estaciones Beniarrés-Bellús y Castellar-Pajaroncillo no se necesitó la modificación del FC7 para obtener unas validaciones (espacial y espacio-temporal) aceptables, esto puede deberse a que las estaciones de donde se tomaron los factores correctores (Beniarrés y Castellar) tienen una calibración y validación temporal óptima.

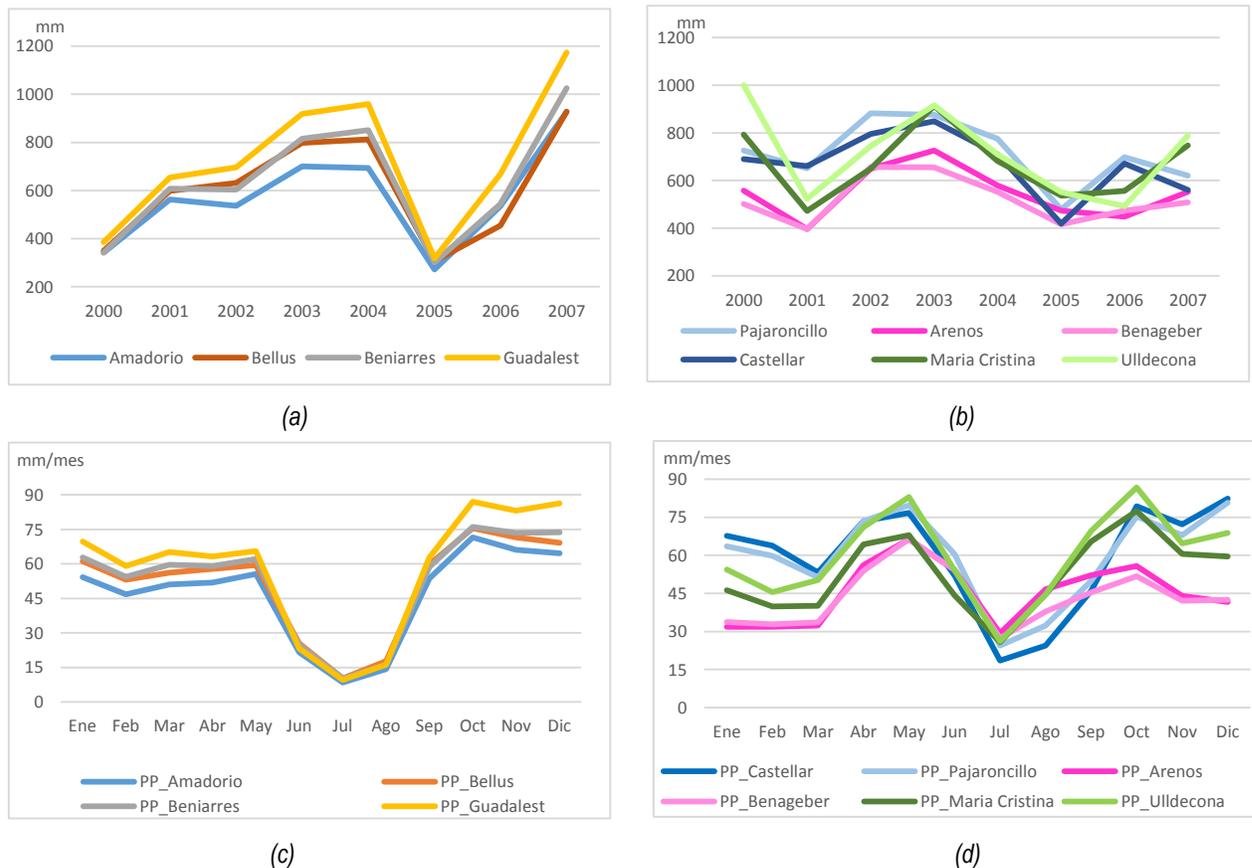


Figura N° 7.1 (a) y (b) precipitación anual, (c) y (d) precipitación media mensual del periodo 1991-2007 empleando datos de precipitación del proyecto Spain02V04



CAPITULO 8. CONCLUSIONES

El objetivo general del presente trabajo es explorar las posibilidades de extrapolar la calibración de cuencas aforadas a no aforadas o con serie de datos faltantes, haciendo uso de la modelación hidrológica distribuida a una escala diaria y con información estándar, dentro de un estudio de carácter regional. Para lograr dicho objetivo se trabajó una metodología consistente en la validación cruzada entre 10 estaciones de aforo, simulando de esta manera un traslado de FCs de cuencas aforadas a no aforadas. Al tener la región de estudio abundantes zonas karst, se probaron diversas metodologías para introducir los fenómenos kársticos en el modelo. Así mismo, observado un desfase temporal entre los datos de precipitación y de aforo se desplazó el caudal a un día anterior obteniendo en forma general mejores resultados. Luego en la validación cruzada al no obtener buenos resultados para todos los casos, se realizó la calibración solo del FC 7 correspondiente al flujo subterráneo profundo, con el objetivo de mejorar las validaciones cruzadas, y probar que es más difícilmente extrapolable el reparto del flujo subterráneo.

De los resultados obtenidos en el trabajo se destacan las siguientes conclusiones:

Se ha desarrollado una metodología que permite estimar regionalmente de forma explícita los fenómenos kársticos, mejorando de esta manera los resultados de la modelación hidrológica en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. La metodología propuesta requiere de una reclasificación del mapa de capacidad de percolación y el empleo de un mapa de zonas karst.

Los mapas de parámetros deben ser escogidos adecuadamente. En este caso el mapa de capacidad percolación fue el más estudiado, ya que existe una gran cantidad de zonas kársticas en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. La estimación de los parámetros trae consigo una serie de incertidumbres debidas a la escala espacial y/o a la calidad de los datos, sin embargo estos errores son corregidos en su mayoría por los factores correctores del modelo TETIS.

El emplear mapas estándar a escala regional (suelo, geológico, uso de suelo, elevación) y variable en el espacio, facilitan y uniformizan la estimación de los parámetros del modelo TETIS. Del mismo modo el empleo de información meteorológica distribuida en toda la Demarcación Hidrográfica del Júcar, simplifica los procesos de simulación del modelo, cuando este se realiza a una escala regional. La calibración automática facilita en gran medida el trabajo de estimación de los FCs.

En modelos diarios, un desfase temporal entre los datos de precipitación y de aforo puede llegar a ser importante como se muestra en los resultados del capítulo 6 y 7, por lo cual se requiere tener en consideración un análisis de este desfase.

Puede llevarse a cabo el traslado de los factores correctores de cuencas aforadas a cuencas no aforadas o con serie de datos incompletos, solo cuando tengan características hidroclimáticas similares, teniendo mayor garantía de buenos resultados si la estación aforada tiene una calibración y validación con resultados óptimos tal como se describe en el apartado 7.2. En cualquier caso al no ser el modelo TETIS un modelo específico de acuíferos, es más difícilmente extrapolable el reparto del

flujo subterráneo entre el flujo conectado y no conectado, por lo que requerirá generalmente la calibración y/o estimación de este flujo. Otra opción sería combinar TETIS con un modelo de acuíferos como por ejemplo MODFLOW.

CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA

- Bussi, G. (2010). *Calibración de un modelo conceptual distribuido del ciclo de sedimentos. Aplicación a la cuenca experimental de Goodwin Creek (EEUU)*. Universidad Politécnica de Valencia: Trabajo de Investigación. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
- DIHMA. (2001). *Un Modelo de Predicción de Crecidas para el SAIH de la Confederación Hidrográfica del Tajo*. informe final para UTE SAIH TAJO.
- Duan, Q. Sorooshian, S. y Gupta, V.K. (1994). Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. *Journal of Hydrology*, 158:265-284.
- Francés, F., Vélez, J.J. et al. (2007). Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 332: 226 -240.
- Grayson, R. y Blöschl, G. (2001). Spatial Patterns in Catchment Hydrology. En *Spatial modelling of catchment dynamics* (págs. 51-81). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. In Agric.*, 96-99.
- IIAMA. (2011). *Informe de Modelación Hidrológica de las cuencas vertientes a la Comarca de la Marina Alta (Alicante)*. Valencia: UPV.
- J.J., M. (2008). *Desarrollo de un modelo conceptual de producción, transporte y depósito de sedimentos*. Universidad Politécnica de Valencia: Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
- Kothyari, U. C. y Singh, V. P. (1999). A multiple-input single-output model for flow forecasting. *Journal of Hydrology*, 220: 12-26.
- Moriasi D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., Bingner R. L., Harmel R. D., Veith T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulation. Transaction of ASABE. *American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001-2351*, Vol. 50(3): 885-900.
- Palacios V., O. (1986). El uso de modelos en irrigación y áreas a fines. *Terra*, 4: 41-49.
- Samani, Z. (2000). Estimation Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 265-267.
- Saxton, K. y Rawls, W. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Sci. Soc. Am.*, 1579-1578.
- Vélez, J. I. (2001). *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas*. Universidad Politécnica de Valencia: Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
- 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.