



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE VALENCIA

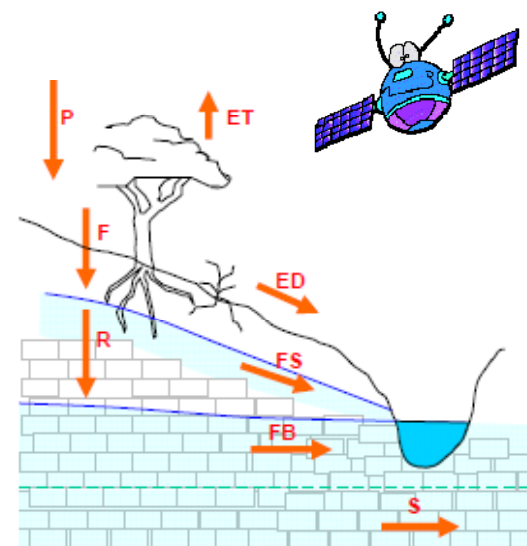
# Utilidad de la precipitación obtenida por satélite en la modelación hidrológica aplicada a la cuenca del río Júcar

L. Ramos y F. Francés

Universidad Politécnica de Valencia  
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente  
Grupo de Investigación de Hidráulica e Hidrología  
<http://lluvia.dihma.upv.es>

# Objetivo

- Eficacia de los modelos distribuidos depende de la disponibilidad de los datos de entrada. Y, siendo la precipitación una variable clave en el balance hidrológico, es fundamental una mejor comprensión de su distribución espacio temporal.
- Lluvia estimada por satélite permite disponer en tiempo real de datos que se ajustan a la necesidad de estos modelos distribuidos, proporcionando información en regiones que son inaccesibles para otros sistemas de observación tales como pluviómetros y radar.
- El desafío principal es cómo beneficiarse de las fortalezas de los diferentes tipos de sensores de satélites y minimizar los impactos de sus limitaciones.



**Evaluar la utilidad de la precipitación obtenida por satélite a escala global en un modelo hidrológico distribuido en la cuenca del río Júcar en España.**

- Modelo Lluvia-Escorrentía, **distribuido de tipo conceptual con parámetros físicamente basados**, desarrollado por el IIAMA-UPV ([www.iiama.upv.es](http://www.iiama.upv.es)).

**Conceptualización Vertical:** Son seis tanques de almacenamiento conectados entre sí. El flujo entre los tanques es función del agua almacenada en cada tanque.

## Conceptualización Horizontal:

- Todas las celdas drenan hacia la celda aguas abajo hasta que alcancen una celda con un cauce definido en que se realiza la traslación del flujo utilizando las características geomorfológicas combinadas con la onda cinemática.

- Propagación de la Escorrentía:

### □ Primera fase:

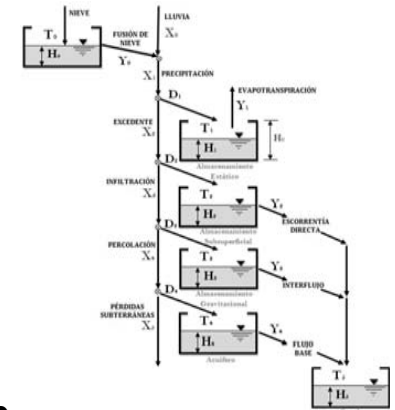
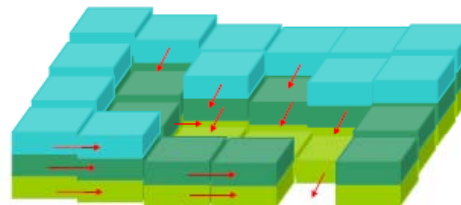
#### ➤ Ladera

- Superficial por surcos y/o mantillo. En TETIS con T2
- Interflujo por macroporos. En TETIS con T3

#### ➤ Acuífero

- Flujo base. En TETIS con T4

### □ Cauce. En TETIS con:



### □ Escorrentía superficial (α

#### ➤ Escorrentía directa:

- Respuesta rápida
- Flujo lámina libre

#### ➤ Interflujo:

- Respuesta intermedia
- Flujo saturado

### □ Flujo base (acuífero):

- Respuesta lenta
- Flujo saturado

## 6 almacenamientos ó tanques:



➤ En Ladera:

✓ Manto de nieve

✓ Estático: abstracc iniciales + agua capilar de suelo en zona de raíces

✓ Subsuperficie del suelo

✓ Gravitacional del suelo superior

➤ Acuífero

➤ Cauce

=>

6 variables de estado ( $H_i$ )

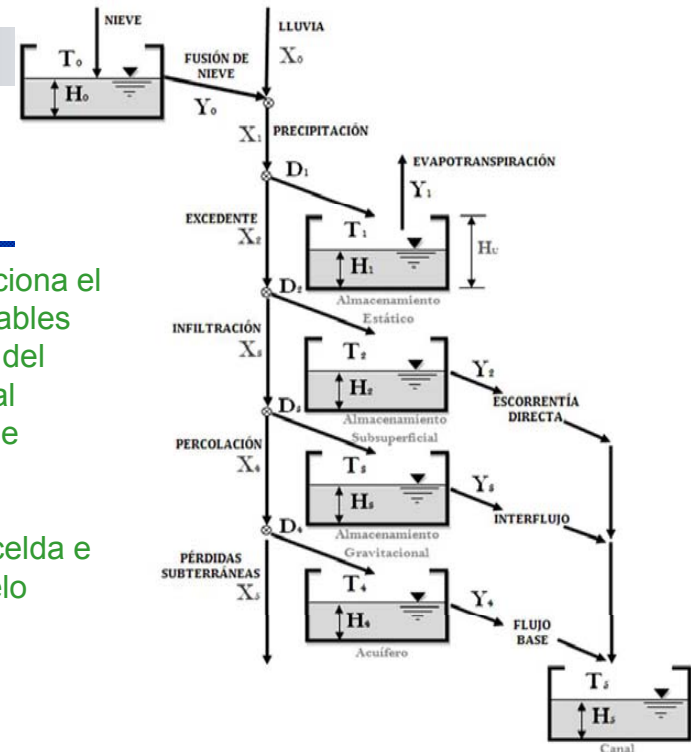
5 flujos de salida de tanque ( $Y_i$ )

5 nudos de control:

1 flujo input ( $X_0$ )

5 flujos salida ( $X_i$ )

La función que relaciona el flujo con estas variables de estado depende del esquema conceptual adoptado, del tipo de tanque y de las características morfológicas de la celda e hidrológicas del suelo



## Parámetro Efectivo:

El problema de los Modelos Distribuidos es la Calibración: es el elevado número de parámetros en cada celda a partir del hidrograma en la salida de la cuenca.

**Solución:** Estructura Separada del Parámetro Efectivo (Francés et al., 2007)

**FACTOR CORRECTOR GLOBAL:** corrige

- Efectos de escala espacial y/o temporal
- Errores del modelo
- Errores de los inputs

Factores Correctores
FC-1 de Almacenamiento estático
FC-2 de Evapotranspiración
FC-3 de Infiltración
FC-4 de Escorrentía directa
FC-5 de Percolación
FC-6 de Flujo Subsuperficial
FC-7 de Pérdidas Subterráneas
FC-8 de Flujo Base
FC-9 de Velocidad en los cauces

$FC * H_u(i)$

**VALOR ESTIMADO EN CADA CELDA:**

En función de información ambiental disponible

**Parámetros Hidrológicos del Terreno:**

$H_u$ : capacidad de almacenamiento estático
$\lambda_v$ : índice de cobertura de vegetación
$K_s$ : conduct. hidráulica saturada del suelo (infiltración + interflujo)
$K_{ss}$ : conduct. hidráulica horizontal saturada del suelo (interflujo)
$K_p$ : conduc. hidráulica saturada del estrato rocoso (percolación+pérdidas subterráneas+flujo base)
$K_{ps}$ : conduc. hidr. sat. estrato rocoso por percolación profunda (pérdidas subterráneas)
$K_{sa}$ : conduct. hidráulica horizontal saturada del estrato rocoso (flujo base)
$u$ : velocidad de flujo en laderas
$v$ : velocidad de flujo en cauces

- Tetis, emplea un potente algoritmo de optimización (Shuffled Complex Evolution - University of Arizona), eficiente para calibración de modelos lluvia-escurrimiento

- Funciones objetivo:

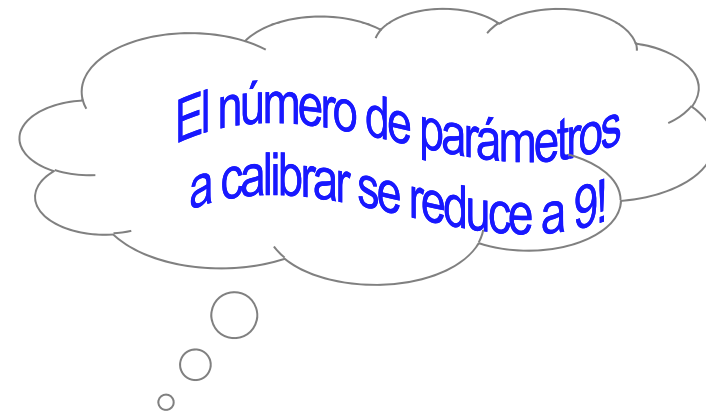
➤ Error cuadrático medio  $MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - S_i)^2$

➤ Índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe  $E = 1 - \frac{\sum (Q_i - S_i)^2}{\sum (Q_i - Q_m)^2}$

➤ Error de balance  $BE = 100 \frac{\sum (S_i - Q_i)}{\sum Q_i}$

- Factores Correctores a Calibrar:

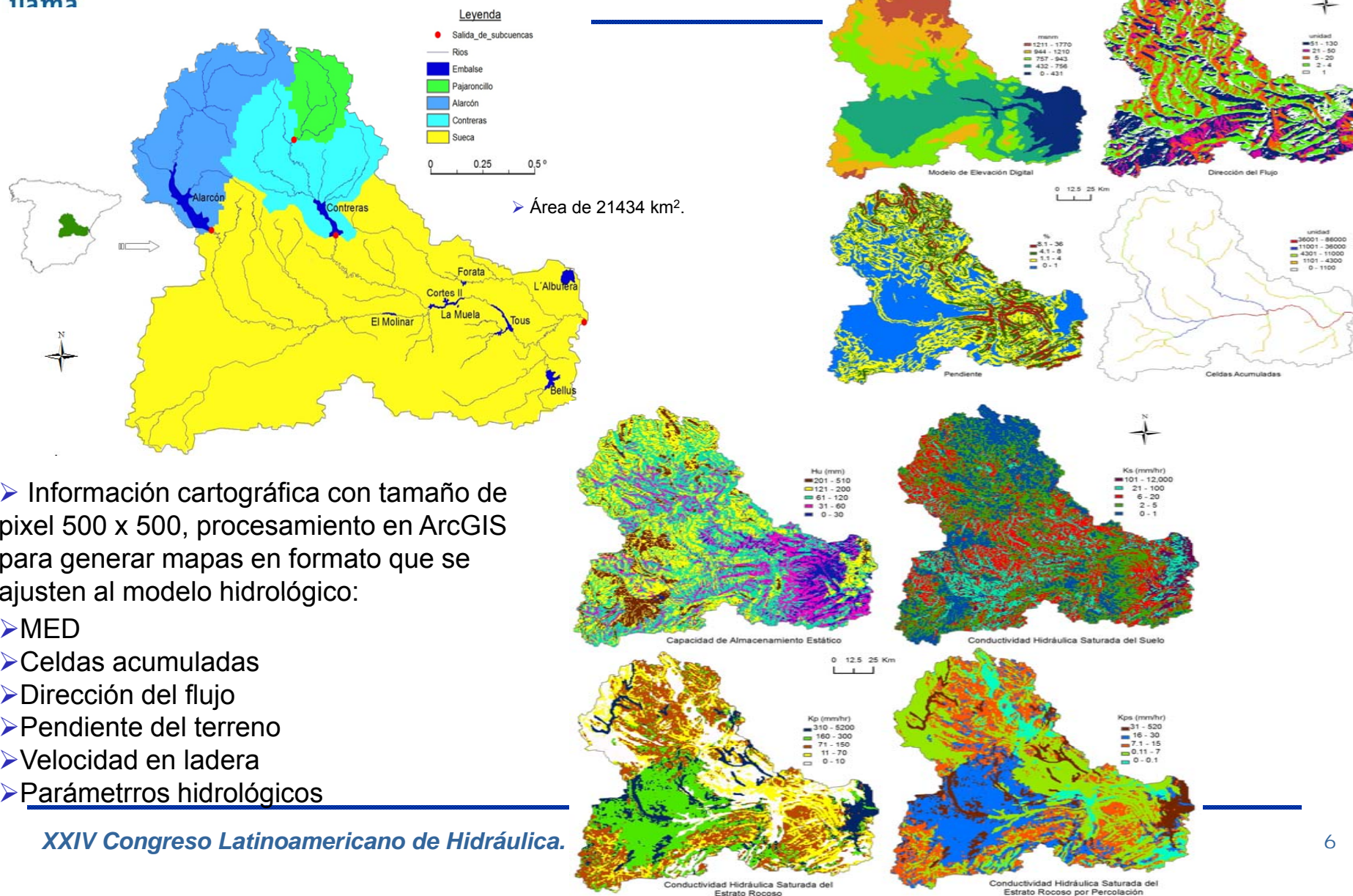
- Almacenamiento estático máximo:  $FC_1$  Hu
- Factor de vegetación para la ET:  $FC_2$   $\lambda_v$
- Infiltración (tasa cte.):  $FC_3$  Ks
- Escurrimiento directo (embalse lineal):  $FC_4$   $V_{ladera}$
- Percolación (tasa cte.):  $FC_5$  Kp
- Interflujo (embalse lineal):  $FC_6$  Ks
- Pérdidas subterráneas (tasa cte.):  $FC_7$  0,1 Kp
- Flujo base (embalse lineal):  $FC_8$  Kp
- Velocidad en cauces:  $FC_9$   $V_{cauces}$



La metodología de estimación de los parámetros involucra una serie de incertidumbres debidas principalmente a la cantidad, calidad y grado de definición espacial de la información básica empleada. Ante, esto, **la ventaja del modelo TETIS es que se puede corregir en gran medida todos estos errores, calibrando los 9 factores correctores del modelo.**



# Lugar de Estudio



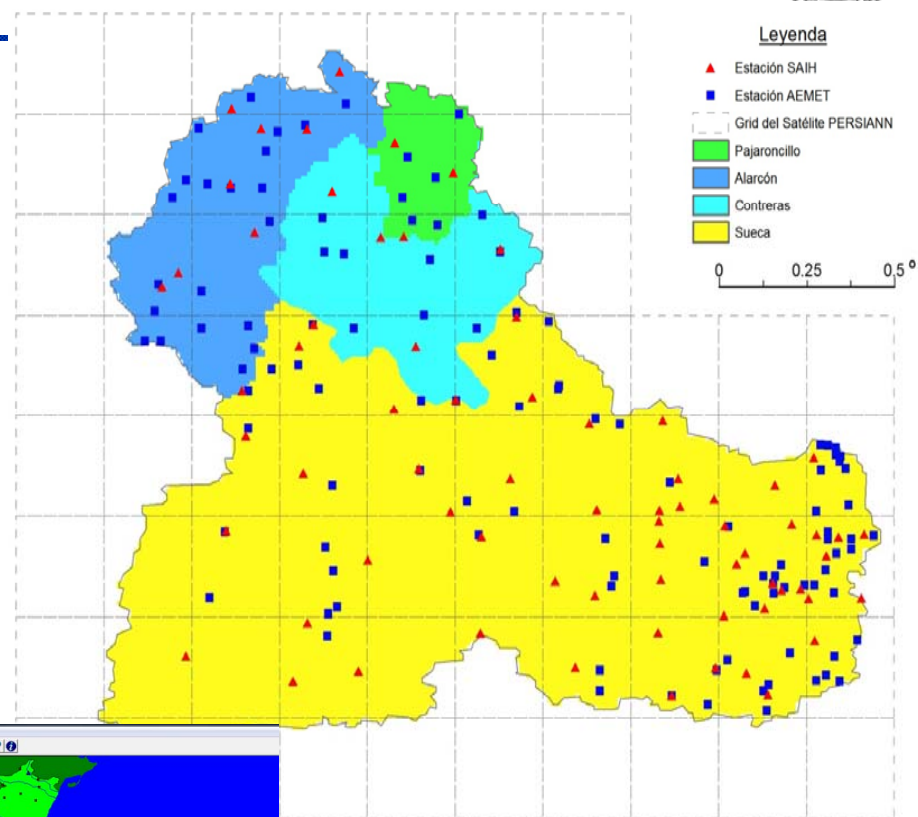
➤ Información cartográfica con tamaño de pixel 500 x 500, procesamiento en ArcGIS para generar mapas en formato que se ajusten al modelo hidrológico:

- MED
- Celdas acumuladas
- Dirección del flujo
- Pendiente del terreno
- Velocidad en ladera
- Parámetros hidrológicos

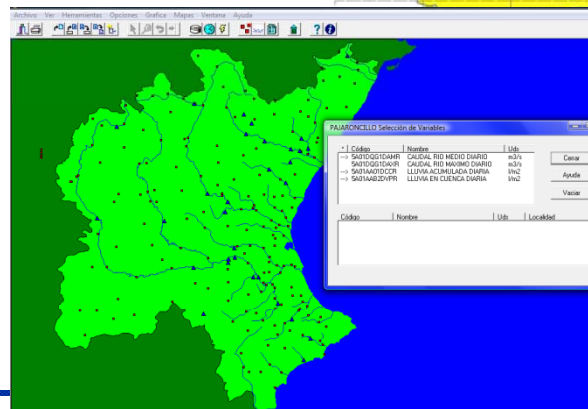
La información recolectada proviene de estaciones del SAIH y AEMET e incluye series temporales de lluvia, caudales aforados, información de embalses (volúmenes, caudales de entrada, caudales de salida) y temperatura (Tabla 1). Se requirió un arduo trabajo de análisis y posterior verificación de todos los registros, además de un preprocesamiento y codificación para ajustarse al tipo de formato compatible con el modelo TETIS.

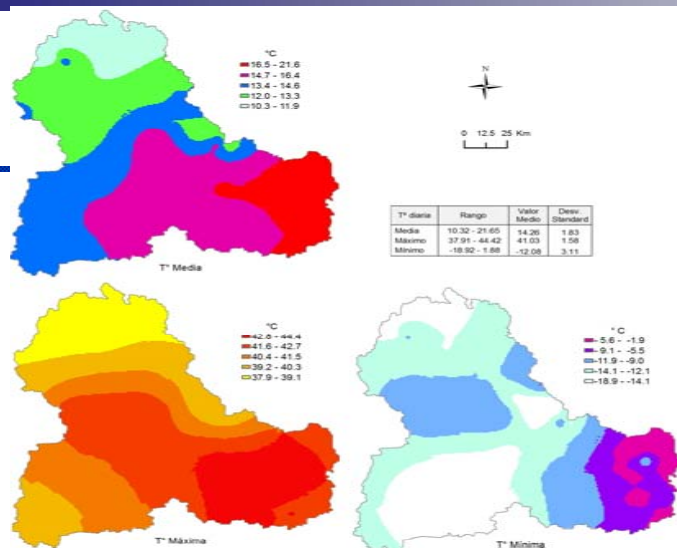
**Tabla 1.- Información Puntual Local**

Variable	Fuente	Formato Origen			
		Archivo	Resolución Temporal	Sistema de Coordenadas	Hora
Precipitación	AEMET	CSV	Diario	WGS 1984	GMT 07-07 del día siguiente
Precipitación	SAIH	ASCII	Cinco Minutal	UTM_Zona_30N	Local
Aforos: Pajaroncillo y Sueca	SAIH	ASC	Cinco Minutal	UTM_Zona_30N	Local
Embalses: Contreras y Alarcón	SAIH	ASC	Cinco Minutal	UTM_Zona_30N	Local
Temperatura Máxima y Mínima	AEMET	CSV	Diario	WGS 1984	GMT 07-07 del día siguiente



➤ SAIH Win: Sistema Automático de Información Hidrológica





La evapotranspiración potencial (ETP) se obtuvo con la ecuación de Hargreaves (FAO, 2006) y solo se requirió datos de temperatura y radiación extraterrestre tabulada ( $R_0$ ):

$$ETP = 0.0023(t_{med} + 17.78)R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \quad [1]$$

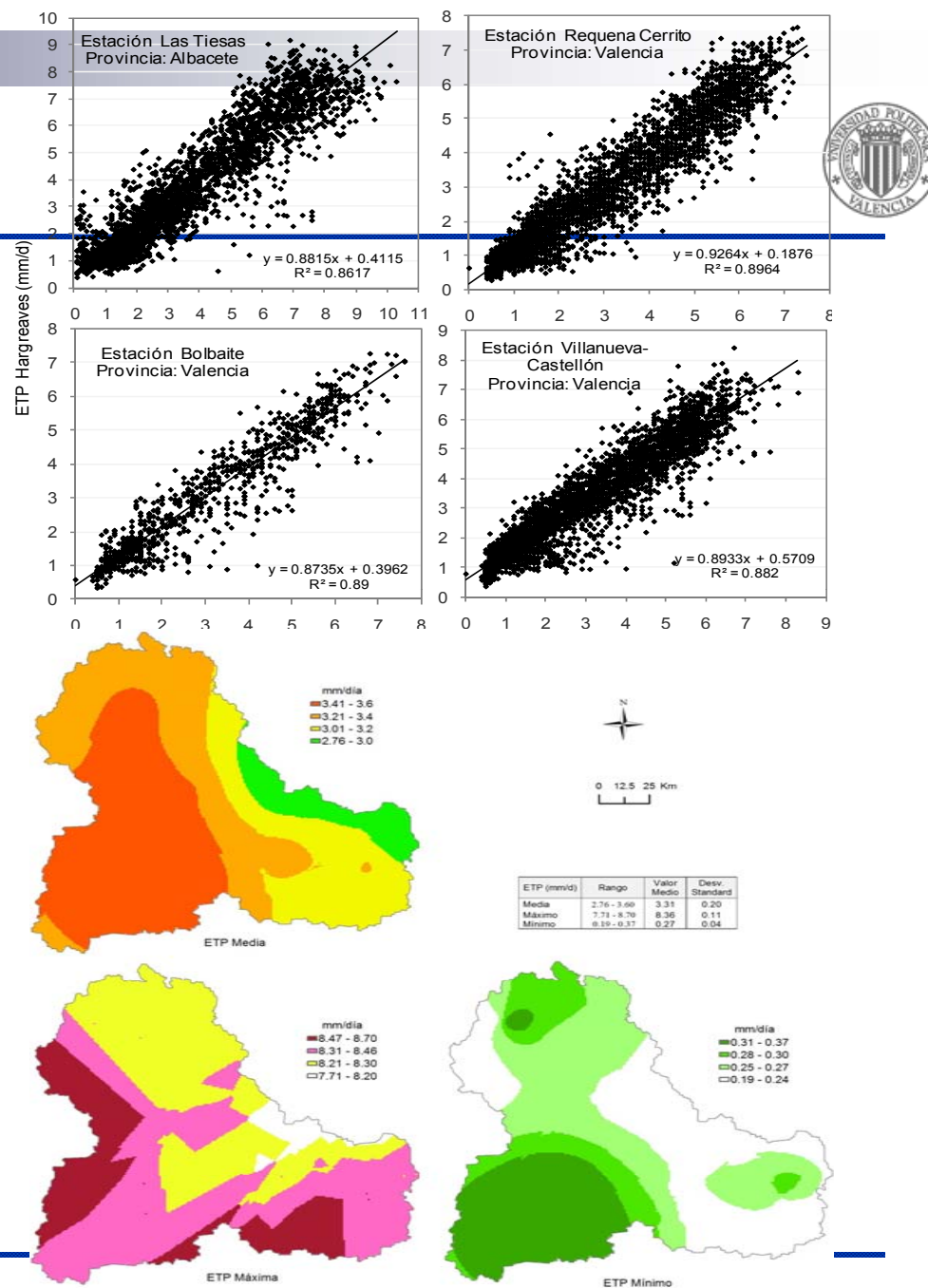
Previamente, se calibró la ecuación de Hargreaves con valores de Penman-Monteith disponibles:

“Las Tiesas” (disponible en <http://www.itap.es/ITAP-Meteorologia/3infohistorica/InfoHisto3.as>) y “Requena Cerrito”, “Bolbaite” y “Villanueva-Castellón” (disponibles en <http://estaciones.ivia.es>).

**Tabla 2.-** Calibración de Hargreaves con Penman-Monteith

Estación	Provincia	Error Medio	R <sup>2</sup>	Constante Calibrada
Las Tiesas	Albacete	0.782	0.8617	0.0023679
Requena Cerrito	Valencia	0.407	0.8964	0.0020617
Bolbaite		0.383	0.8900	0.0020366
Villanueva-Castellón		0.465	0.8820	0.0020617

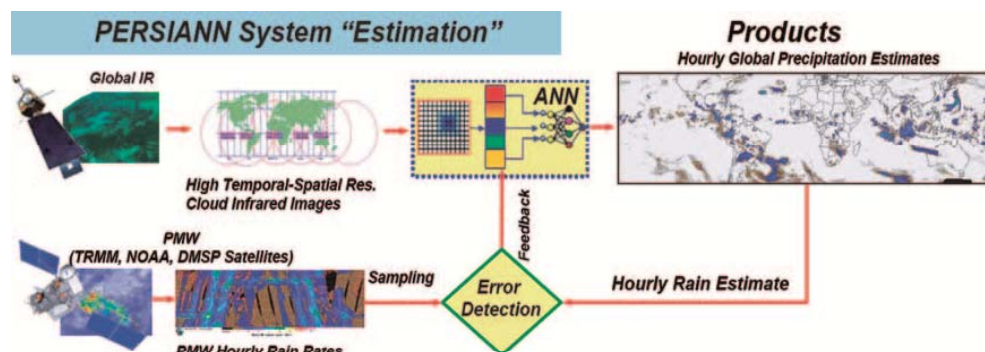
Con la constante calibrada, se obtuvo los valores de ETP diarios para todas las estaciones de la cuenca del Júcar.



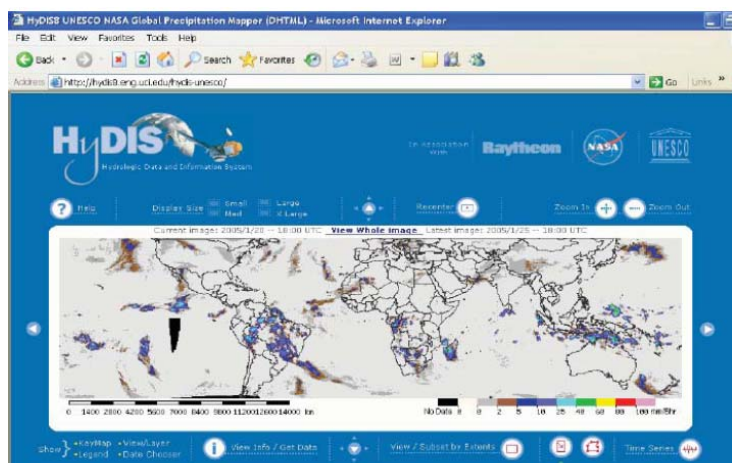


**PERSIANN:** algoritmo que utiliza redes neuronales para combinar alta calidad, con baja densidad de muestreo

PERSIANN, extrae y clasifica la textura de la imagen infrarroja de onda larga de los satélites para una serie de patrones de textura de nubes, luego asocia estos patrones a la intensidad de precipitación en la superficie de la nube.

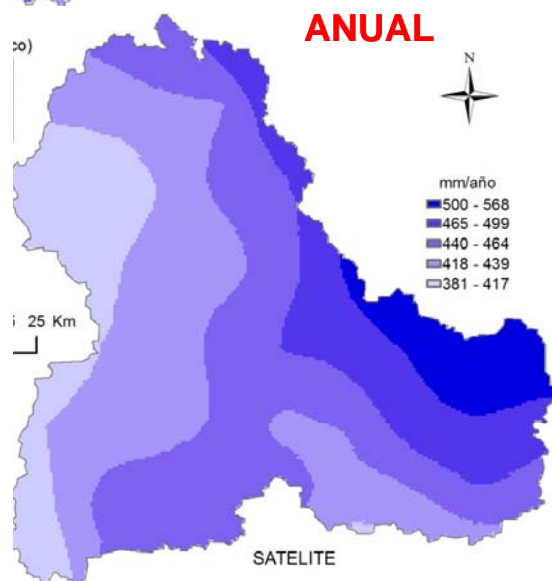
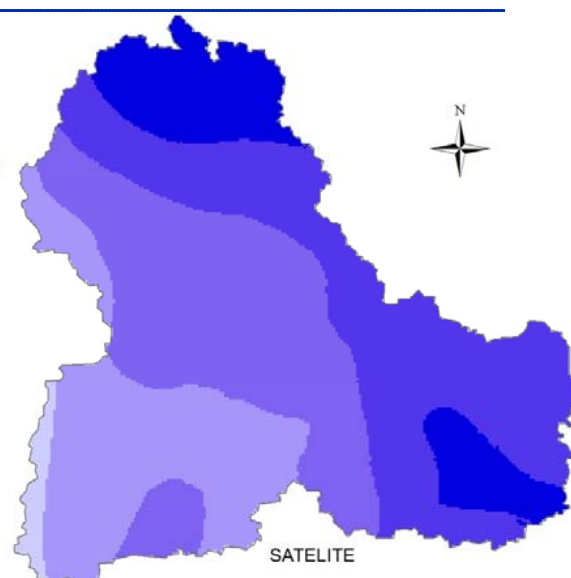
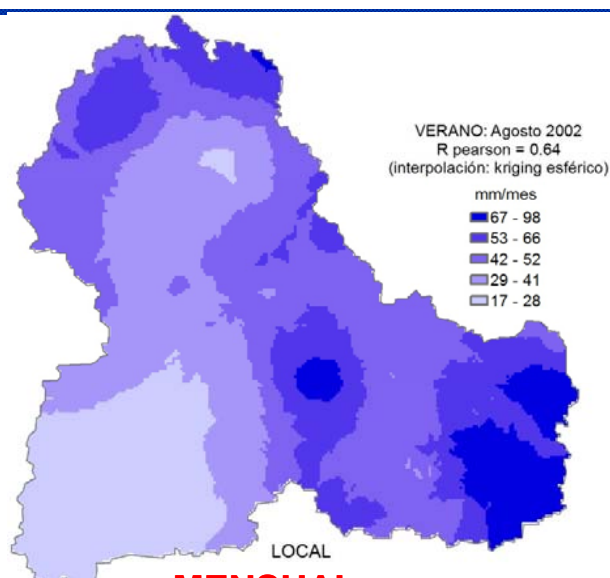
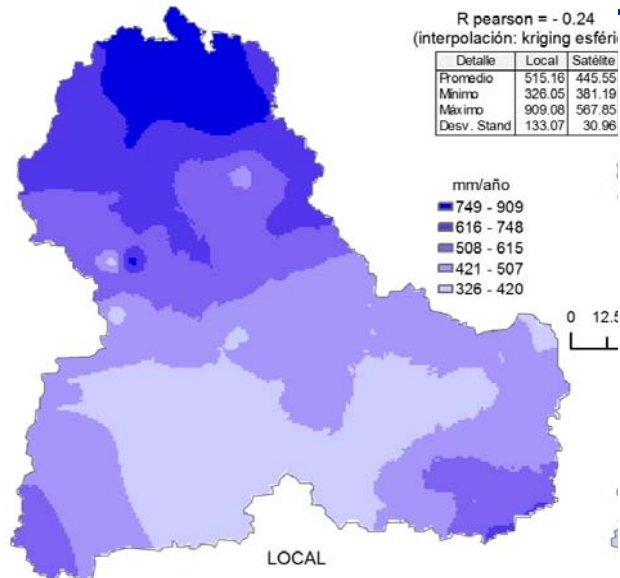


**Resolución temporal diaria y c/6hr.**  
**Resolución espacial de 0.25°**



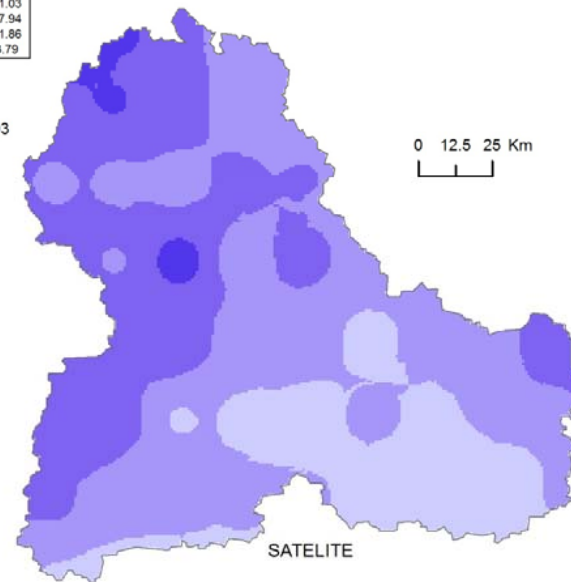
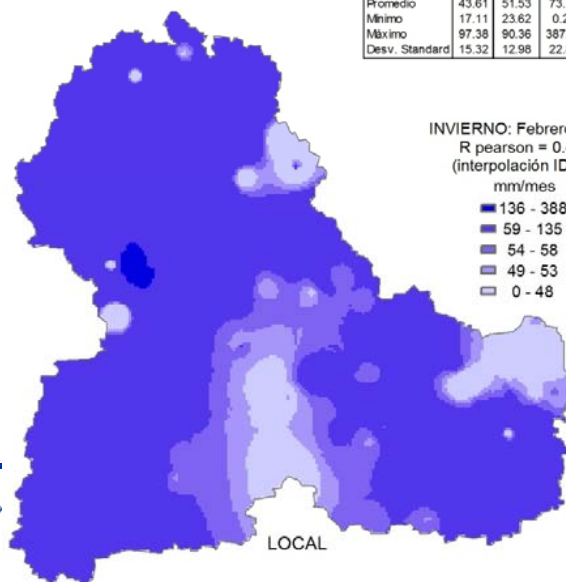
Variable	Formato de origen
3532 archivos (un archivo por día), desde: Start Date: 20000301 Ending Date: 20091031 (yearmmdd)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Archivos en formato ASCII</li> <li>Hora GMT</li> <li>Unidad en mm/d</li> <li>Encabezado del archivo:</li> <li>Xllcorner: -2.625000</li> <li>Yllcorner: 36.87500</li> <li>nodata value: -9999.0</li> </ul>

# Caracterización de la Lluvia



## MENSUAL

Detalle	Agosto		Febrero	
	Local	Satélite	Local	Satélite
Promedio	43.61	51.53	73.11	51.03
Mínimo	17.11	23.62	0.27	37.94
Máximo	97.38	90.36	387.17	61.86
Desv. Standard	15.32	12.98	22.86	3.79

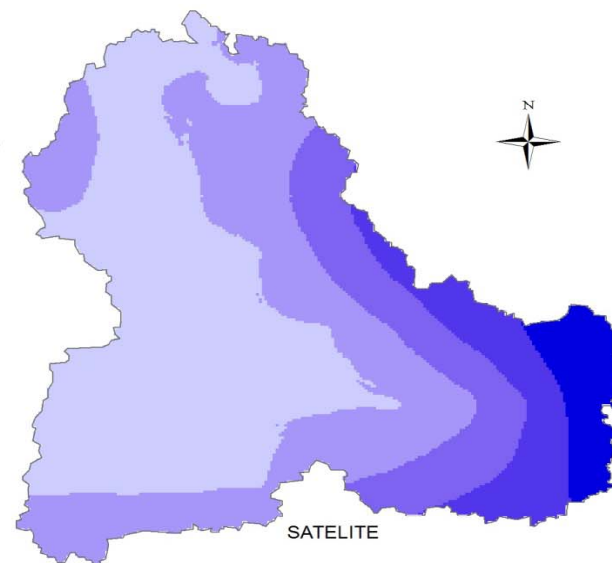
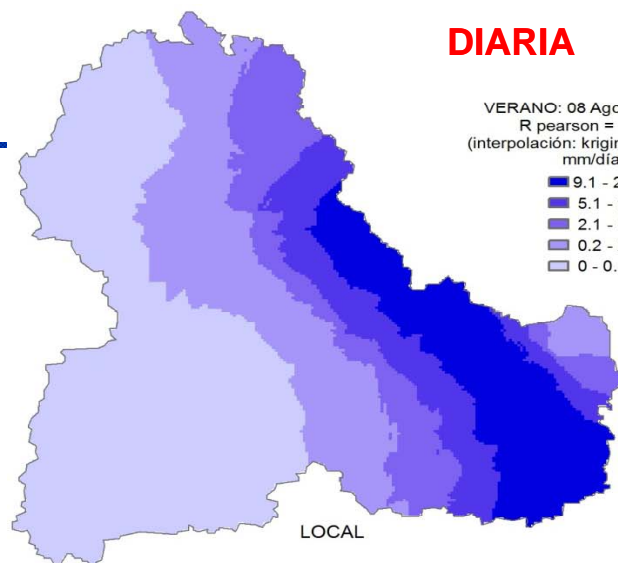


no de Hid

## DIARIA

VERANO: 08 Agosto 2002  
R pearson = 0.70  
(interpolación: kriging esférico)  
mm/día

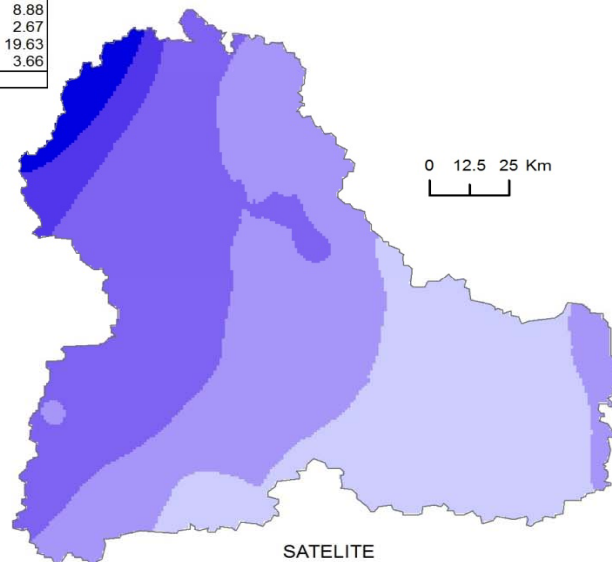
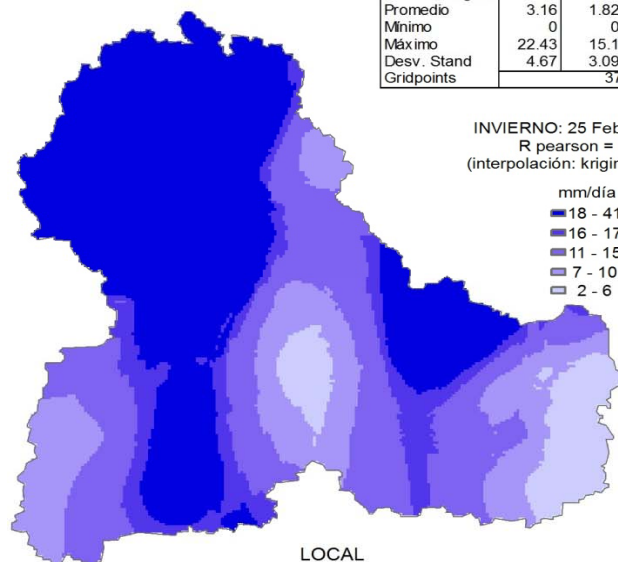
■ 9.1 - 23  
■ 5.1 - 9  
■ 2.1 - 5  
■ 0.2 - 2  
■ 0 - 0.1



Detalle	08 Agosto 2002		25 Febrero 2003	
	Local	Satélite	Local	Satélite
Estaciones	151		155	
Celdas del grid		110		110
Promedio	3.16	1.82	16.97	8.88
Mínimo	0	0	2.87	2.67
Máximo	22.43	15.1	40.15	19.63
Desv. Stand	4.67	3.09	8.42	3.66
Gridpoints	37204			

INVIERNO: 25 Febrero 2003  
R pearson = 0.60  
(interpolación: kriging esférico)  
mm/día

■ 18 - 41  
■ 16 - 17  
■ 11 - 15  
■ 7 - 10  
■ 2 - 6

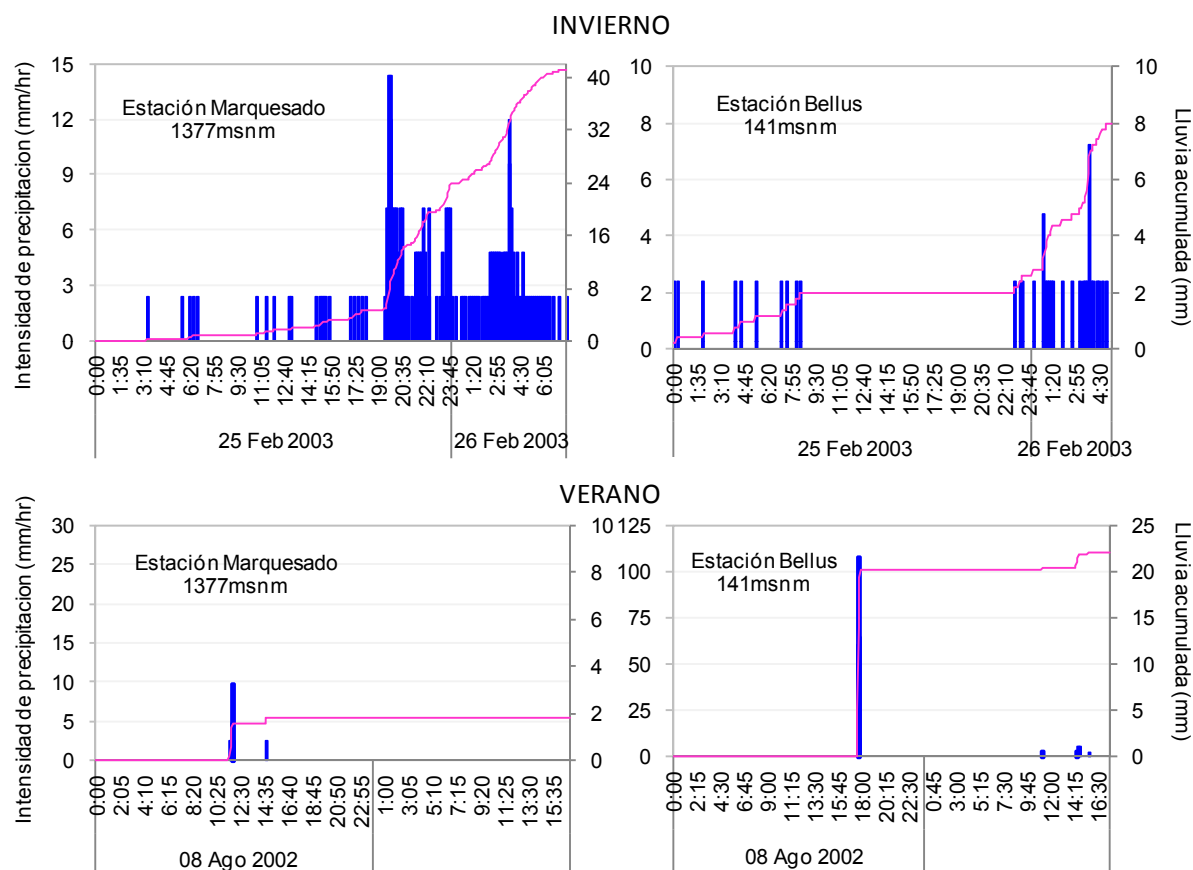


0 12.5 25 Km

## Hietograma Típico de una Zona de Montaña y Zona Próxima a la Costa

Zonas del interior de la cuenca, en general montañosas, en invierno, las lluvias son voluminosas, apreciándose un ruido de fondo de donde emergen los picos de intensidad.

Zonas cercanas al litoral, en verano, se caracterizan por una mayor torrencialidad, con numerosos picos aislados de valor muy alto,



➤ Lluvias de muy alta intensidad y corta duración de origen convectivo debido al fenómeno llamado “gota fría”: masas calientes de vapor de agua se elevan desde el mar mediterráneo y chocan con corrientes de aire frío polar provenientes del Norte, ( $> T^{\circ}$  agua del mar)

➤ La exacta precipitación no se conoce, sino que su valor se mide con un error, por ello, el tipo de precipitación es más importante que la elección del modelo hidrológico en términos de producir simulaciones hidrológicas más robustas.





iiama

# Modelación con TETIS



Tetisv80\_rel

Configuración Inicial Visualización Inicial Simulación Ver Resultados Sim. Optimización Automática (SCE-UA) Varios Simulación Sedimentos Ventanas Salida

Graphic1

**TETIS v. 8.0**  
*Transformación lluvia - escurrentia*

**Programadores:** Jaime Ignacio Vélez U.  
Juan José Montoya M.  
Jorge Julián Vélez U.  
Juan Carrillo Múnera E.  
Gianbattista Bussi

**Dirigido por:** Félix Francés

**U.P.V.**  
**I.I.A.M.A.**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
HIDÁULICA Y MEDIO AMBIENTE**

**Configuración del Fichero Inicial**

DIRECTORIO DE TRABAJO Ej: C:\Cuencas\Ejemplo\  
[E:\Tetis8\]

**NOMBRE DE LOS FICHEROS TIPO TEXTO**

Parámetros Geomorfológicos	Paramegeo.txt
Factores correctores de Calibración	Calib.txt
Distribución temporal del factor ET	factorETmes.txt
Curva de embalse (Altura-Volumen)	CurvasHV.txt
Puntos de Control del episodio	control.txt
Distribución temporal del Regadío	regs.txt
Puntos de recorte (embalses)	recorta.txt

**FICHEROS DE OPTIMIZACION AUTOMATICA SCE-UA**

Rango y valores iniciales	var-SCEUA.txt
Resultados de la optimización	Res-SCEUAgén.txt

**FORMATO UNICO DE CELDA POR FILA**

Topología y Propiedades del suelo	topolco.sds
Estado Inicial en los tanques	hantec_010300.sds
Estado Final en los tanques	hantec_311009.sds

**NOMBRE DE LOS FICHEROS CON MAPAS RASTER**

Modelo de Elevación Digital	dem.asc
Mapa de pendientes	slope.asc
Mapa de direcciones de flujo	dirflujo.asc
Mapa de Celdas Acumuladas	acum.asc
Mapa de Almacenamiento	hu.asc
Mapa de Conductividad hidráulica saturada del suelo (ks)	ks.asc
Mapa de Conductividad hidráulica saturada del substrato (kp)	kp.asc
(Kss)	kss.asc
(Ksa)	ksa.asc
(Kps)	kps.asc
Velocidad de ladera	velocidad.asc
Mapa de Regiones Homogeneas	Reghomog.asc
Mapa de índices para ET mensual	cobveg.asc
Mapa de índices de Regadío	cobregs.asc
Mapa de Orden para el Regadío	OrdenRiego.asc
Mapa de Estado Inicial de la Nieve	Nieve.asc
Mapa de Estado Final de la Nieve	Nieve2.asc
Mapa de Zonas de FC's	mapaFCs.asc
Precipitación acumulada	Pptacum.asc

**NOMBRE DE LOS FICHEROS DE EPISODIO**

Evento de simulación (INPUT)	01030000.e00
Resultados del modelo (OUTPUT)	01030000.s00

Cancelar OK

**Parámetros Geomorfológicos**

Número de Regiones Geomorfológicas diferentes **1**

Interpolación de la lluvia

Número Máximo de Estaciones a Interpolar **3**

☒ Interpola estaciones cercanas en cada intervalo temporal de simulación

Fichero INPUT con Información Hidrológica: P, Q, ETP, Embalses (Qentrada, Qsalida)



\* MODELO DE SIMULACIÓN - T E T I S V.8.0 -

\* Desarrollado en:

\* UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

\* Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

\* Unidad de Ingeniería Hidráulica e Hidrología

\*

\* DATOS DEL MODELO TETIS EN FORMATO CEDEX

\*

\* Número de datos Intervalo Temporal Diario (en minutos)

G 3532 1440

\*G 852 1440

F 01-03-2000 00:00

\*

\*

\*

\*PRECIPITACION DIARIA SAIH AGREGADO DE CINCO MINUTAL:

\*HORA GMT/UTC 0:00 a 24:00 hr

\*

\*PROVINCIA ALBACETE:

P "VILLATOYA	"	642870.000	4356038.000	406.000	0.00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
P "LOS FRAILES	"	608192.000	4333000.000	628.000	0.00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
P "ALMANSA EMB.	"	659885.000	4304485.000	774.000	0.00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
P "LOS ANGUIJES	"	590160.000	4299604.000	710.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P "CHINCHILLA	"	606321.000	4302645.000	765.000	0.00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
P "VILLAMALEA	"	620399.000	4358270.000	744.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P "LA RODA	"	573265.000	4340794.000	709.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P "ALBACETE	"	593532.000	4315774.000	675.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P "CERRO AGUILA	"	628409.000	4346601.000	700.000	0.00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
P "HIGUERUELA	"	636266.000	4313542.000	1002.000	0.00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
P "TIRIEZ	"	563668.000	4306268.000	823.000	0.00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

E "REQUENA	"	663723.000	4372218.000	693.000	0.00	2.571	2.410	2.876	2.958	2.260	2.461	2.572	2.702	3.176
E "REQUENA-REBOLLAR	"	669190.000	4371442.000	716.000	0.00	2.436	2.380	2.791	2.845	2.320	2.440	2.622	2.622	3.097
E "POLINYA (PISCIFACTORIA)	"	727028.000	4341412.000	12.000	0.00	3.017	2.516	2.734	3.111	2.607	2.257	2.141	2.369	3.017
E "SUECA	"	732758.000	4342506.000	7.000	0.00	2.034	3.225	2.502	2.643	2.916	2.245	1.970	1.919	2.289
E "PAIPORTA CAIXA RURAL	"	722465.000	4366585.000	20.000	0.00	3.265	2.285	2.694	2.979	2.320	2.661	2.383	2.844	2.937

\*

\*

\*

\*AFOROS SAIH, AGREGADO DE CINCO MINUTAL:

\*HORA GMT/UTC 0:00 a 24:00 hr

\*

Q "MONTAVERNER	"	717300.000	4308200.000	162.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Q "MANUEL	"	716800.000	4324700.000	0.000	0.00	0.278	0.279	0.275	0.267	0.275	0.280	0.282	0.296	0.277
Q "PAJARONCILLO	"	610900.000	4422200.000	940.000	0.00	1.552	1.543	1.542	1.545	1.536	1.517	1.488	1.467	1.380
Q "CUENCA	"	573400.000	4436450.000	916.000	0.00	6.204	6.131	6.138	6.145	6.114	6.129	6.147	6.117	6.104
Q "COFRENTES	"	664300.000	4347800.000	0.000	0.00	4.558	4.473	4.743	4.103	2.729	2.062	3.822	3.194	3.398
Q "ALCALA JUCAR	"	636000.000	4339800.000	274.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Q "LA TOBA Volumen	"	591800.000	4451900.000	0.000	0.00	4.186	4.140	4.069	4.036	4.100	4.165	4.205	4.230	4.218
Q "LA TOBA Q recibido	"	591800.000	4451900.000	0.000	0.00	0.647	0.629	0.689	0.881	0.876	0.813	0.783	0.679	0.749
Q "LA TOBA Q salida	"	591800.000	4451900.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Q "CONTRERAS Volumen	"	628700.000	4377850.000	0.000	0.00	110.938	111.013	111.162	111.162	111.348	111.557	111.557	111.803	111.788
Q "CONTRERAS Q salida	"	628700.000	4377850.000	0.000	0.00	0.373	0.370	0.371	0.371	0.367	0.366	0.360	0.356	0.358

**Función Objetivo**

Total de intervalos temporales:

Calcular la F. O. a partir de:

Funciones Objetivo

☒ Nash

☐ RMSE      Parámetro de forma

☐ HMLE

☐ RMSE mensual      Longitud

☐ Coef. de eficiencia

☐ Error Gaussiano Autocorr.

☐ Volumen Acumulado

☐ Ponderado por el área acumulada

**Calibración Automática SCE-UA**

<input checked="" type="checkbox"/> [FC-1] Almacenamiento estático máximo <input type="text" value="0.80000"/> <input type="text" value="1.00000"/> <input type="text" value="0.91330"/>	<input type="checkbox"/> H1 - Almacenamiento estático máximo (%) <input type="text" value="0.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/> <input type="text" value="50.00000"/>
<input checked="" type="checkbox"/> [FC-2] Evapotranspiración <input type="text" value="0.60000"/> <input type="text" value="1.00000"/> <input type="text" value="0.63700"/>	<input type="checkbox"/> H2 - Agua en superficie (mm) <input type="text" value="0.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/>
<input checked="" type="checkbox"/> [FC-3] Infiltración <input type="text" value="0.70000"/> <input type="text" value="1.00000"/> <input type="text" value="0.76640"/>	<input type="checkbox"/> H3 - Almacenamiento gravitacional (mm) <input type="text" value="0.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/>
<input checked="" type="checkbox"/> [FC-4] Escorrentía directa <input type="text" value="0.00100"/> <input type="text" value="0.00700"/> <input type="text" value="0.00360"/>	<input type="checkbox"/> H4 - Nivel del acuífero (mm) <input type="text" value="0.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/>
<input checked="" type="checkbox"/> [FC-5] Percolación <input type="text" value="0.10000"/> <input type="text" value="0.90000"/> <input type="text" value="0.12640"/>	<input type="checkbox"/> H5 - Cauce a seccion llena (%) <input type="text" value="0.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/>
<input checked="" type="checkbox"/> [FC-6] Flujo Subsuperficial <input type="text" value="430.00000"/> <input type="text" value="550.00000"/> <input type="text" value="439.14999"/>	<input type="checkbox"/> Factor de interpolación de lluvia (beta) <input type="text" value="0.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/> <input type="text" value="1.00000"/>
<input type="checkbox"/> [FC-7] Pérdidas subterráneas <input type="text" value="0.00300"/> <input type="text" value="5.00000"/> <input type="text" value="0.00000"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> [FC-8] Flujo Base <input type="text" value="2.00000"/> <input type="text" value="10.00000"/> <input type="text" value="2.33000"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> [FC-9] Velocidad del flujo en cauces <input type="text" value="0.80000"/> <input type="text" value="1.00000"/> <input type="text" value="0.81810"/>	

||||| TIEMPO !!!!!

Recomendación Calibración:

- Calibrar el flujo base
- Cuadrar los volúmenes : volumen observado y simulado (%Error en Volumen). Sensible a condiciones iniciales (H1, H4, H5)
- Dejar para el final los Qpicos (Índice de Nash)
- Calibración automática

Res-SCEUAgen.txt - Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R8	R9
Fecha:20/03/2010 hora 23:21:09.9					0.9422	0.63607	0.92433	0.00441	0.24769	501.7738	2.38925	0.83376
Cuenca Ubicación:					0.9422	0.63607	0.92433	0.00441	0.24769	501.77393	2.38925	0.83376
E:\Tetis8\Res-SCEUAgen.txt					0.94345	0.6374	0.92634	0.00422	0.22466	508.08716	2.53331	0.83808
8 3 3					0.94294	0.63455	0.92949	0.00421	0.19991	506.67343	2.34709	0.83804
R1	0.80000		1.00000		0.93971	0.64267	0.92924	0.00449	0.21774	506.07556	2.20028	0.82439
R2	0.60000		1.00000		0.94484	0.63657	0.93297	0.0041	0.20265	512.2962	2.67831	0.83935
R3	0.70000		1.00000		0.94484	0.63657	0.93297	0.0041	0.20265	512.2962	2.67831	0.83935
R4	0.00100		0.00700		0.94599	0.63674	0.88156	0.00492	0.20488	459.15579	2.32943	0.8491
R5	0.10000		0.90000		0.9422	0.63607	0.92433	0.00441	0.24769	501.77383	2.38925	0.83376
R6	430.00000		550.00000		0.94599	0.63674	0.88156	0.00492	0.20488	459.15579	2.32943	0.8491
R8	2.00000		10.00000		0.94345	0.6374	0.92634	0.00422	0.22466	508.08716	2.53331	0.83808
R9	0.80000		1.00000		0.94484	0.63657	0.93297	0.0041	0.20265	512.2962	2.67831	0.83935
Func-Obj					0.94484	0.63657	0.93297	0.0041	0.20265	512.2962	2.67831	0.83935
HMLE					0.94484	0.63657	0.93297	0.0041	0.20265	512.2962	2.67831	0.83935
RMSE					0.94599	0.63674	0.88156	0.00492	0.20488	459.15579	2.32943	0.8491
Nash					0.94484	0.63657	0.93297	0.0041	0.20265	512.2962	2.67831	0.83935
RMSE-mes		30			0.94599	0.63674	0.88156	0.00492	0.20488	459.15579	2.32943	0.8491
Coef-efic					0.94484	0.63657	0.93297	0.0041	0.20265	512.2962	2.67831	0.83935
%Vol					0.94599	0.63674	0.88156	0.00492	0.20488	459.15579	2.32943	0.8491
Qmax					0.94242	0.6317	0.93265	0.00419	0.17516	505.2597	2.16087	0.83801
Tpico					0.94484	0.63657	0.93297	0.0041	0.20265	512.2962	2.67831	0.83935
Vol					0.93339	0.64664	0.98392	0.0041	0.11962	521.58246	2.73189	0.83158
ErrGA					0.93706	0.65816	0.92271	0.00385	0.16497	517.66766	2.58524	0.85045
HMLE lambda= 2.000000					0.94345	0.6374	0.92634	0.00422	0.22466	508.08716	2.53331	0.83808
NO Se ha efectuado ponderacion					0.94484	0.63657	0.93297	0.0041	0.20265	512.2962	2.67831	0.83935
La funcion seleccionada es: Nash					0.94484	0.63657	0.93297	0.0041	0.20265	512.2962	2.67831	0.83935
Ha sido evaluada desde:					0.91330	0.63700	0.76640	0.00360	0.12640	439.14999	2.33000	0.81810
					0.95917	0.93308	0.80351	0.00623	0.17193	536.59406	7.60783	0.94691
					0.86004	0.61989	0.97246	0.00159	0.13225	440.20297	6.47057	0.98529
					0.81513	0.96472	0.72755	0.00483	0.78183	444.52933	9.95660	0.95565
					0.80393	0.66795	0.99842	0.00552	0.27438	509.11511	6.31215	0.89601
					0.96785	0.61017	0.99681	0.00451	0.71365	483.37802	7.67604	0.95891
					0.88774	0.68350	0.91933	0.00499	0.67766	455.37653	4.46601	0.85260
					0.95046	0.81992	0.89102	0.00479	0.49583	486.48340	2.98012	0.90698
					0.83883	0.98716	0.87677	0.00111	0.35147	496.39636	7.41027	0.80338
					0.95313	0.70435	0.95133	0.00337	0.50991	435.15180	6.19570	0.96104



Tetisv80\_rel - [Gráfico de series de tiempo]

Configuración Inicial Visualización Inicial Simulación Ver Resultados Sim. Optimización Automática (SCE-UA) Varios Simulación Sedimentos Ventanas Salida

Caudal en punto de aforo

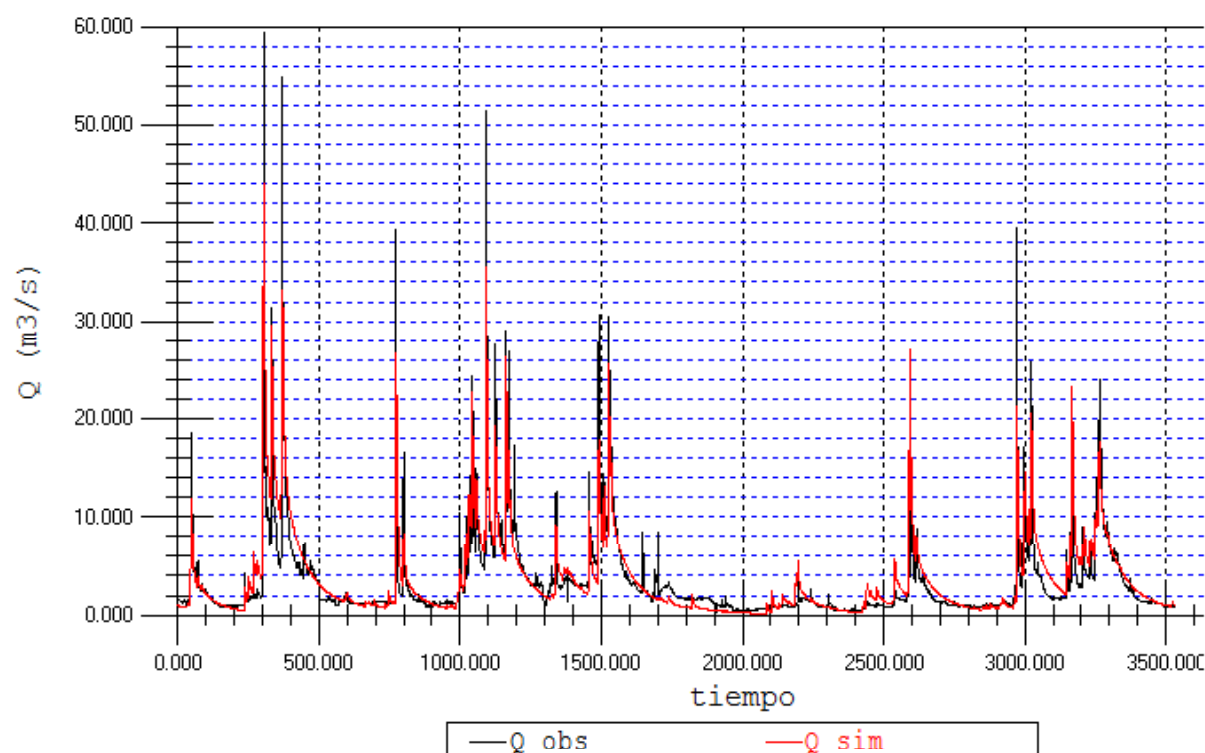
PAJARONCILLO

FACTORES CORRECTORES

FC-1 Almacenamiento Estático	0.9448
FC-2 Evapotranspiración	0.6366
FC-3 Infiltración	0.9330
FC-4 Escorrentía directa	0.0041
FC-5 Percolación	0.2026
FC-6 Flujo Subsuperficial	512.30
FC-7 Pérdidas subterráneas	0.0000
FC-8 Flujo Base	2.68
FC-9 Velocidad en cauces	0.8393
beta- Coef. Interp. PPT (mm/m)	0.0000
Estaciones para interpolar	3
Regiones homogéneas	1

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL EVENTO

- Caudal Máximo Obs. (m <sup>3</sup> /s)	59.3270
- Caudal Máximo Sim. (m <sup>3</sup> /s)	43.9930
- RMSE	1.9150
- Tiempo al pico Observado	7320.00
- Tiempo al pico Simulado	7296.00
- Error Tp (%)	0.3280
- Volumen Observado (Hm <sup>3</sup> )	1037.8950
- Volumen Simulado (Hm <sup>3</sup> )	1137.4871
- Error en Volumen (%)	-9.5960
- Índice Nash y Sut. (NSE)	0.8102
- Área acumulada (km <sup>2</sup> )	860.7500
Numero de datos	3532
Intervalo temporal (min)	1440.0000



# Calibración y Validación con Lluvia Local Puntual

## 1. Calibración en Pajaroncillo: Julio 2002 – Julio 2003

Tabla 3.- Factores Correctores Calibrados en Pajaroncillo

Factores Correctores		
FC-1	Almacenamiento estático	0.942
FC-2	Evapotranspiración	0.636
FC-3	Infiltración	0.924
FC-4	Escurrentía directa	0.004
FC-5	Percolación	0.248
FC-6	Interflujo	501.774
FC-7	Perdidas Subterráneas	0.000
FC-8	Flujo Base	2.389
FC-9	Velocidad en los cauces	0.834
Factor de interpolación de lluvia		0.000

Principales Características	Calibración
	Jul 02 - Jul 03
Caudal máximo observado (m <sup>3</sup> /s)	51.525
Caudal máximo simulado (m <sup>3</sup> /s)	35.793
Nro de datos	396
Caudal medio observado	5.964
Volumen Observado (Hm <sup>3</sup> )	204.067
Volumen Simulado (Hm <sup>3</sup> )	199.171
Error en Volumen(%)	-2.40
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	0.874
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m <sup>3</sup> /s)	2.070

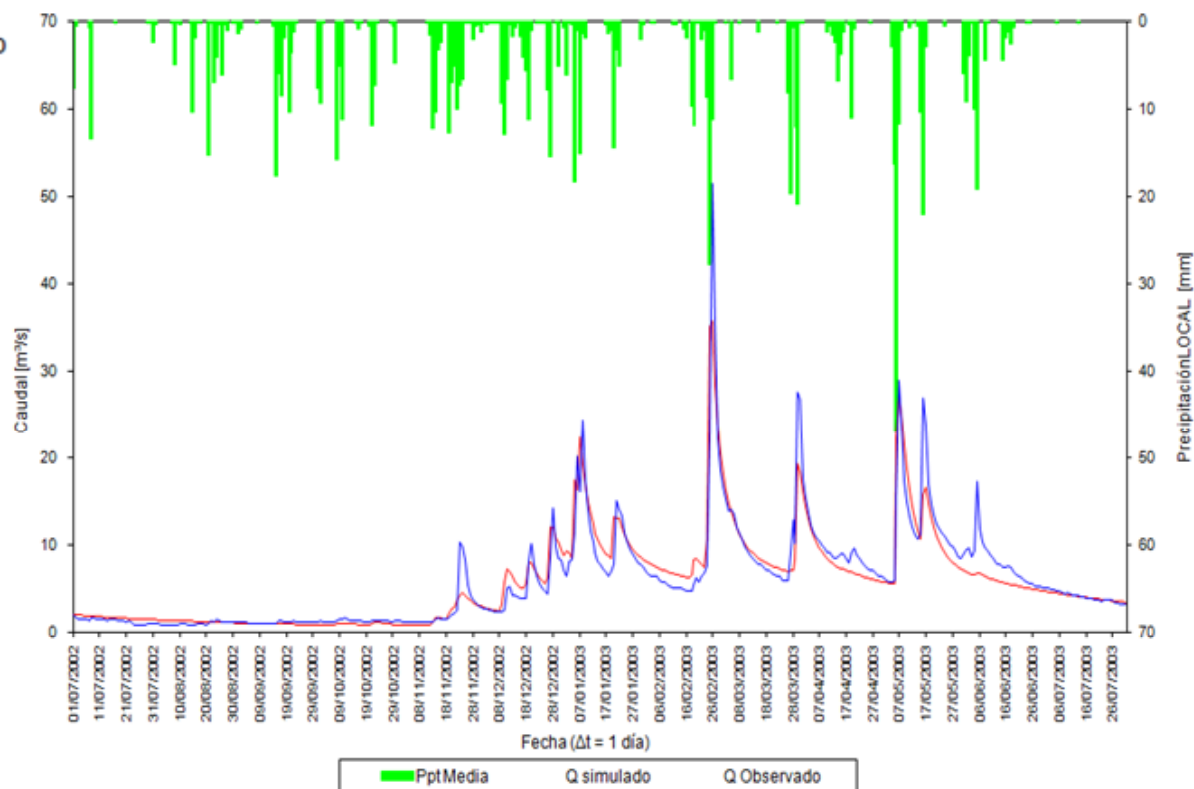
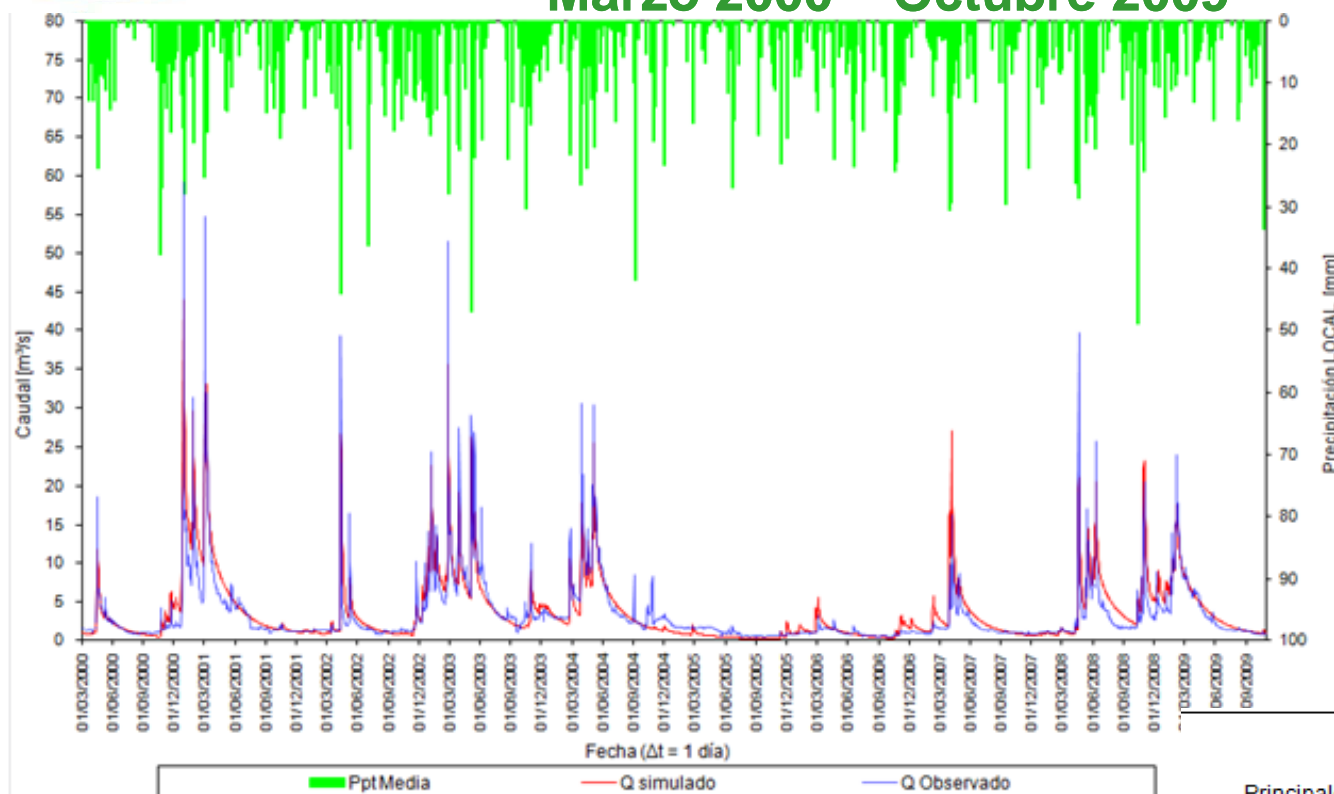


Figura 3.- Calibración en Pajaroncillo: Julio 2002 – Julio 2003

## 2. Validación Temporal en Pajaroncillo: Marzo 2000 – Octubre 2009

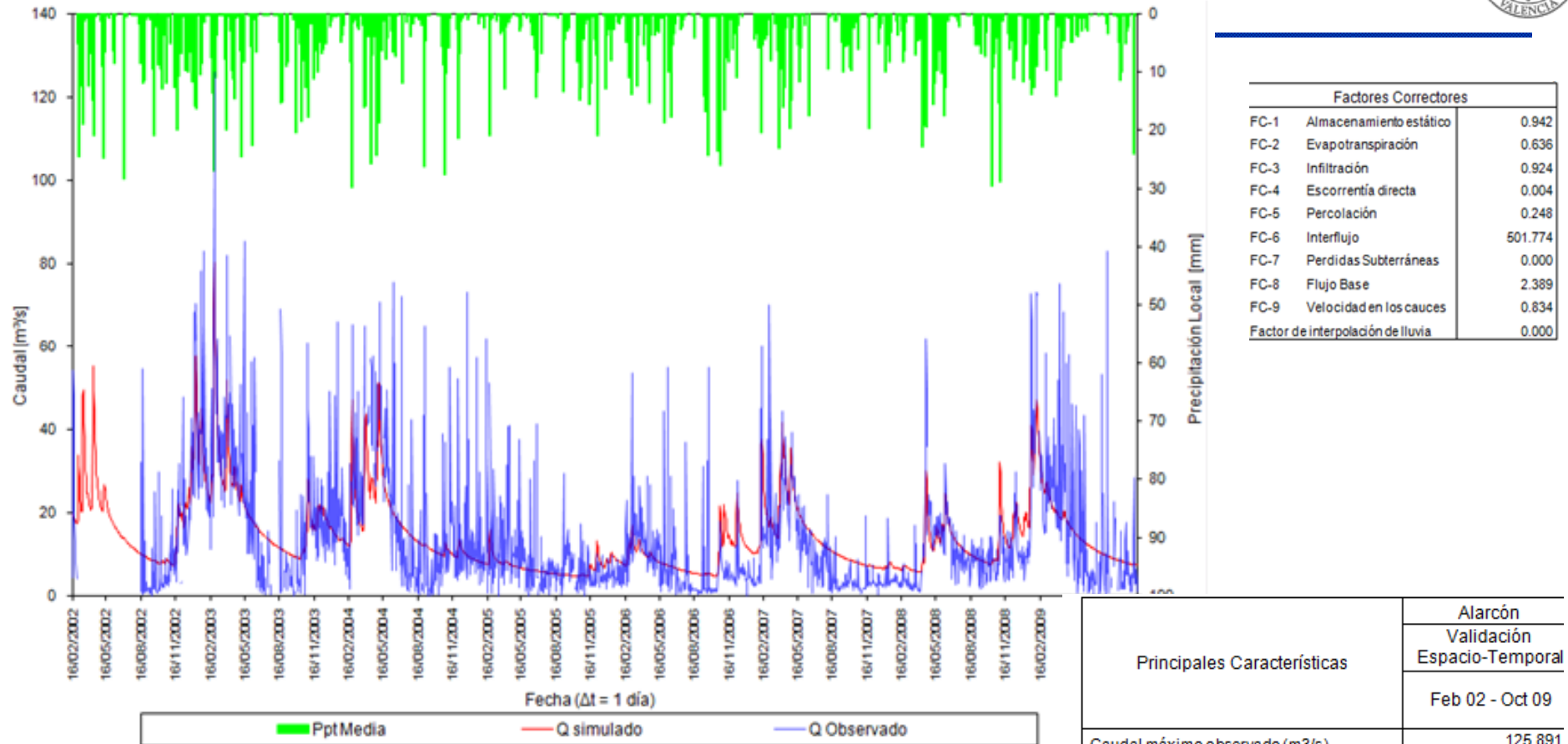


Factores Correctores		
FC-1	Almacenamiento estático	0.942
FC-2	Evapotranspiración	0.636
FC-3	Infiltración	0.924
FC-4	Escorrentía directa	0.004
FC-5	Percolación	0.248
FC-6	Interflujo	501.774
FC-7	Perdidas Subterráneas	0.000
FC-8	Flujo Base	2.389
FC-9	Velocidad en los cauces	0.834
Factor de interpolación de lluvia		0.000

### Principales Características

	Pajaroncillo	
	Calibración	Validación Temporal
	Jul 02 - Jul 03	Mar 00 - Oct 09
Caudal máximo observado (m³/s)	51.525	59.327
Caudal máximo simulado (m³/s)	35.793	43.993
Nro de datos	396	3511
Caudal medio observado	5.964	3.391
Volumen Observado (Hm³)	204.067	1028.772
Volumen Simulado (Hm³)	199.171	1129.975
Error en Volumen(%)	-2.40	9.84
Indice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>0.874</b>	<b>0.810</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m³/s)	2.070	1.916

### 3. Validación Espacio Temporal en Alarcón: Febrero 2002 – Octubre 2009

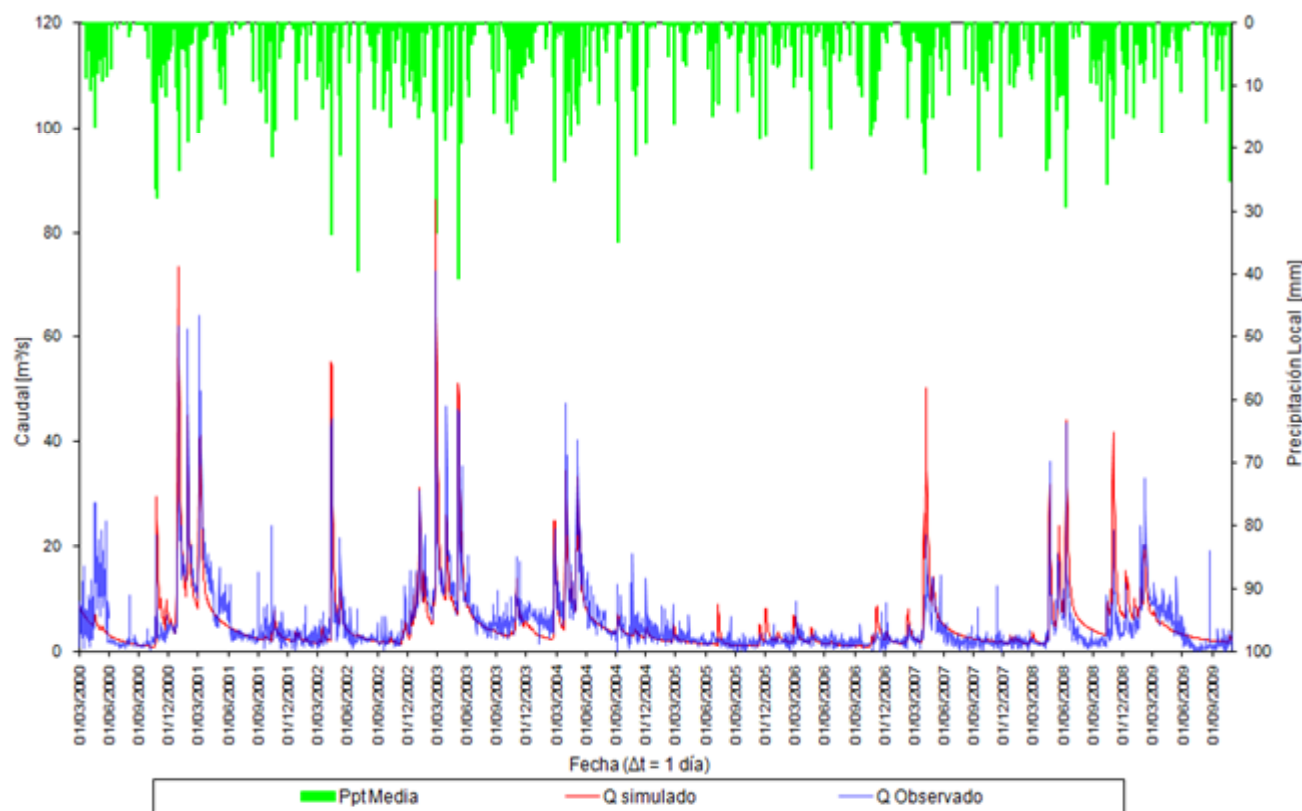


**Figura 5.- Validación Espacio Temporal en Alarcón: Febrero 2002 – Octubre 2009**

Principales Características	Alarcón
	Validación
	Espacio-Temporal
	Feb 02 - Oct 09
Caudal máximo observado (m³/s)	125.891
Caudal máximo simulado (m³/s)	80.363
Nro de datos	2472
Caudal medio observado	13.801
Volumen Observado (Hm³)	2947.645
Volumen Simulado (Hm³)	2960.145
Error en Volumen(%)	0.42
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	0.509
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m³/s)	9.872



## 4. Validación Espacio Temporal en Contreras: Marzo 2000 – Octubre 2009



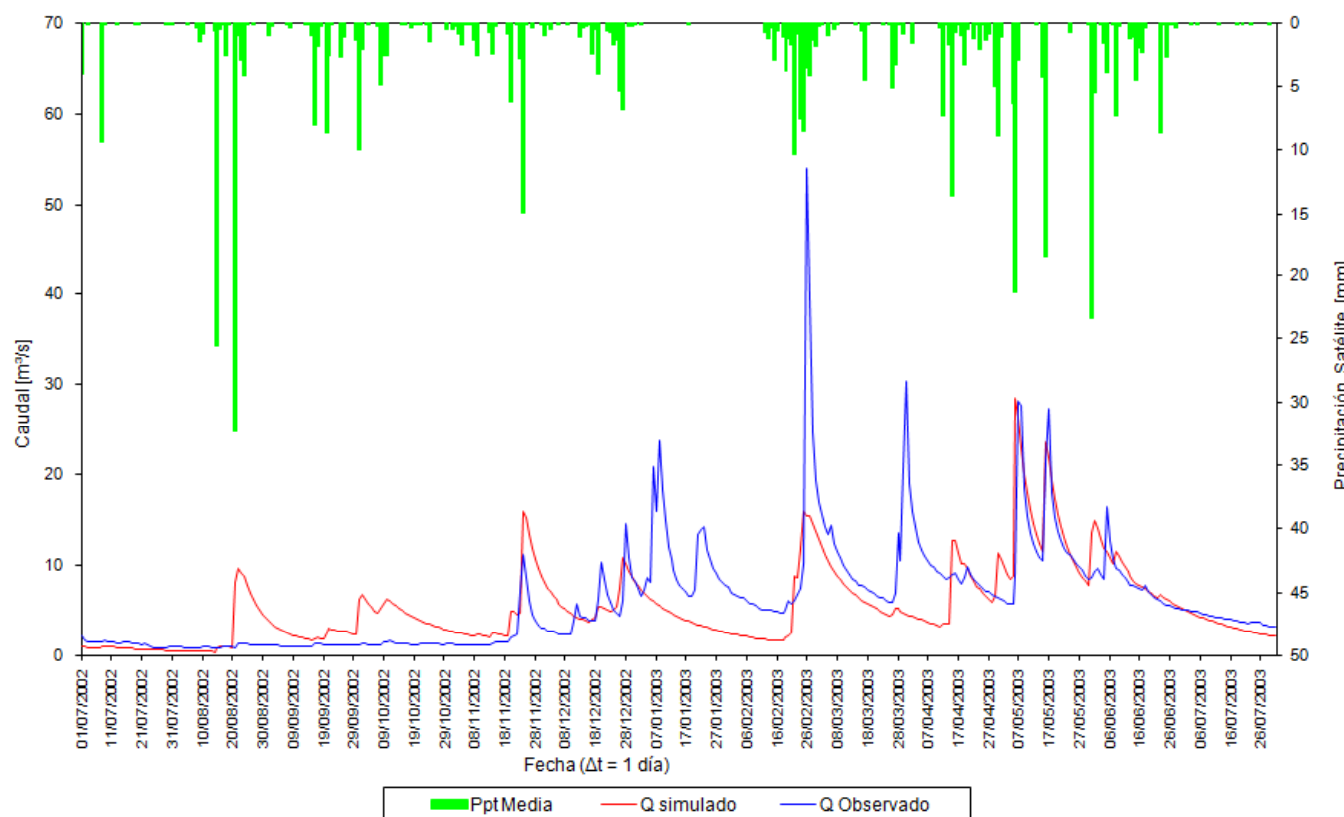
Factores Correctores		
FC-1	Almacenamiento estático	0.942
FC-2	Evapotranspiración	0.636
FC-3	Infiltración	0.924
FC-4	Escorrentía directa	0.004
FC-5	Percolación	0.248
FC-6	Interflujo	501.774
FC-7	Perdidas Subterráneas	0.000
FC-8	Flujo Base	2.389
FC-9	Velocidad en los cauces	0.834
Factor de interpolación de lluvia		0.000

**Figura 6.-** Validación Espacio Temporal en Contreras: Marzo 2000 – Octubre 2009

Principales Características	Contreras
	Validación Espacio-Temporal
	Mar 00 - Oct 09
Caudal máximo observado (m³/s)	72.523
Caudal máximo simulado (m³/s)	86.111
Nro de datos	3505
Caudal medio observado	5.442
Volumen Observado (Hm³)	1648.023
Volumen Simulado (Hm³)	1658.434
Error en Volumen(%)	0.63
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>0.620</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m³/s)	3.927

# Calibración y Validación con Lluvia Global de Satélite

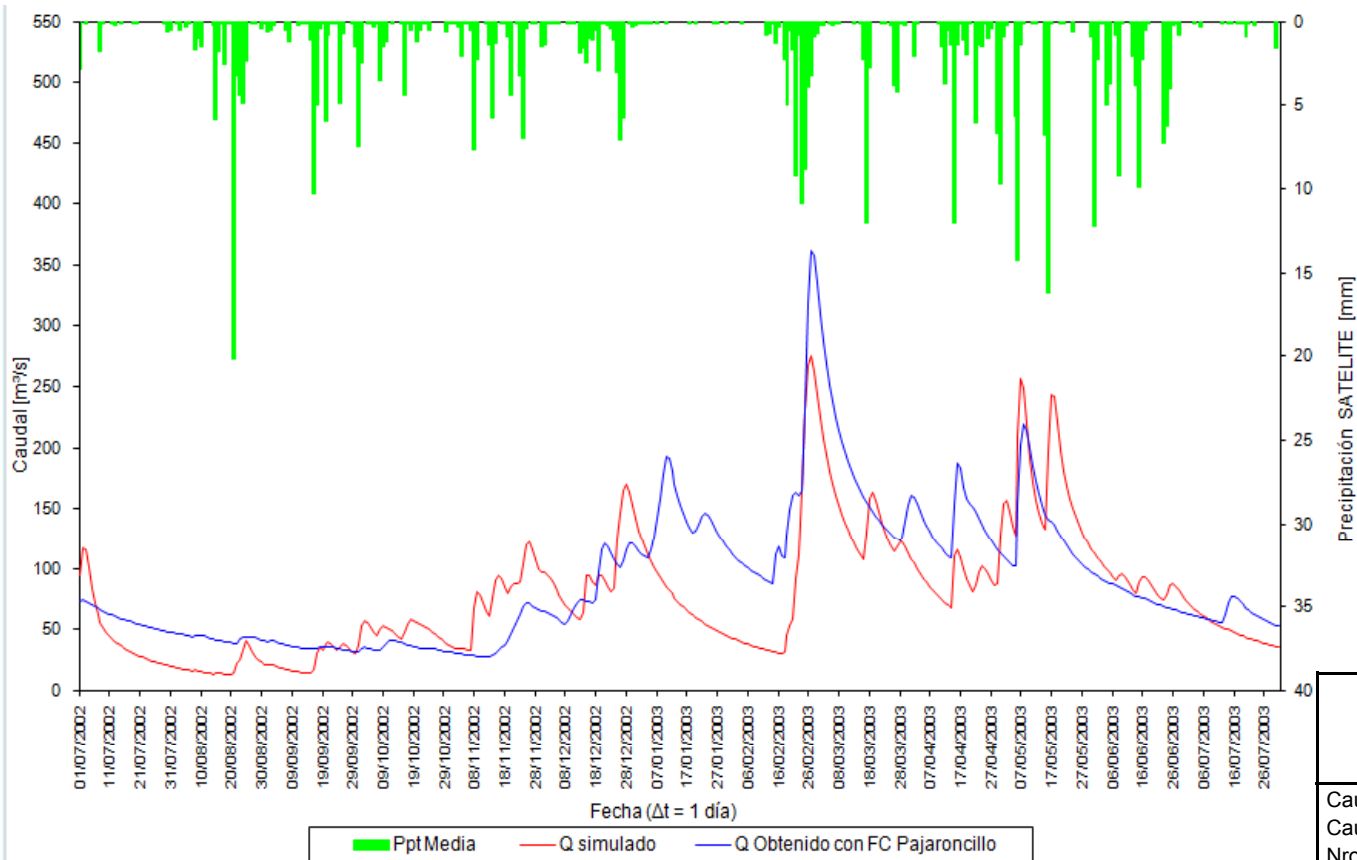
## 1. Calibración en Pajaroncillo: Julio 2002 – Julio 2003



Factores Correctores:		Calibración: Jul02 - Jul03
FC-1	Almacenamiento estático	0.84311
FC-2	Evapotranspiración	0.19337
FC-3	Infiltración	0.62216
FC-4	Escorrentía directa	0.00381
FC-5	Percolación	0.25663
FC-6	Flujo Subsuperficial	462.21899
FC-7	Perdidas Subterráneas	0
FC-8	Flujo Base	7.74713
FC-9	Velocidad en los cauces	0.88396
Factor de interpolación de lluvia		0

Principales Características:	Calibración
	Jul 02 - Jul 03
Caudal máximo observado (m³/s)	54.075
Caudal máximo simulado (m³/s)	28.394
Nro de datos	396.000
Caudal medio observado	5.964
Volumen Observado (Hm³)	204.038
Volumen Simulado (Hm³)	186.357
Error en Volumen(%)	-8.666
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>0.384</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m³/s)	4.647

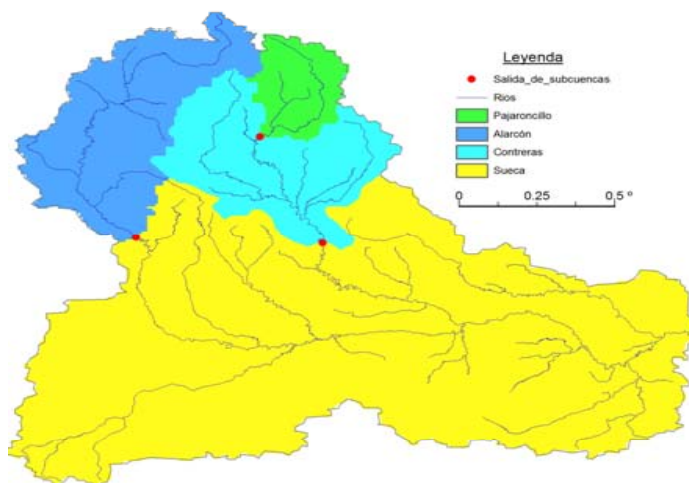
## 2. Calibración en Sueca: Julio 2002 – Julio 2003



Factores Correctores:		Calibración: Jul02 - Jul03
FC-1	Almacenamiento estático	0.8079
FC-2	Evapotranspiración	0.3656
FC-3	Infiltración	0.7347
FC-4	Escorrentía directa	0.0633
FC-5	Percolación	0.7529
FC-6	Flujo Subsuperficial	500.07541
FC-7	Perdidas Subterráneas	0
FC-8	Flujo Base	5.825
FC-9	Velocidad en los cauces	0.6029
Factor de interpolación de lluvia		0

Principales Características:	Calibración
	Jul 02 - Jul 03
Caudal máximo observado (m3/s)	361.095
Caudal máximo simulado (m3/s)	275.226
Nro de datos	396.000
Caudal medio observado	90.568
Volumen Observado (Hm3)	3098.745
Volumen Simulado (Hm3)	2664.485
Error en Volumen(%)	-14.014
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>0.499</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m3/s)	40.599

Principales Características:	Pajaroncillo		Sueca	
	Calibración	Validación Temporal	Calibración	Validación Temporal
	Jul 02 - Jul 03	Mar 00 - Oct 09	Jul 02 - Jul 03	Mar 00 - Oct 09
Caudal máximo observado (m <sup>3</sup> /s)	54.075	64.720	361.095	639.345
Caudal máximo simulado (m <sup>3</sup> /s)	28.394	41.950	275.226	616.055
Nro de datos	396.000	3511.000	396.000	3532.000
Caudal medio observado	5.964	3.391	90.568	84.675
Volumen Observado (Hm <sup>3</sup> )	204.038	1028.725	3098.745	25839.868
Volumen Simulado (Hm <sup>3</sup> )	186.357	1233.286	2664.485	16367.897
Error en Volumen(%)	-8.666	19.885	-14.014	-36.656
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>0.384</b>	<b>-0.714</b>	<b>0.499</b>	<b>-0.150</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m <sup>3</sup> /s)	4.647	5.779	40.599	71.236



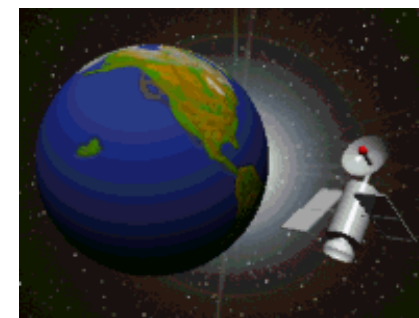
## Conclusiones

- Modelación hidrológica con lluvia local puntual: El mejor rendimiento se obtuvo con la calibración en Pajaroncillo (julio 2002 a julio 2003), siendo los resultados, 0.874, -2.4% y 2.070m<sup>2</sup>/s del índice de Nash-Sutcliffe, error en el volumen y error cuadrático medio respectivamente. Análizando el índice de Nash-Sutcliffe en las Validaciones, los mejores resultados obtenidos fueron 0.81 con validación temporal en Pajaroncillo y 0.62 con validación espacio-temporal a la entrada del embalse Contreras.
- Modelación hidrológica con lluvia global estimada de satélite, no tuvo resultados satisfactorios. Obteniéndose en calibración, índices de Nash de 0.384 (Pajaroncillo) y 0.499 (Sueca). En validación se obtuvieron índices de Nash negativos. Estos resultados quizá pueda deberse a que la relación asumida por PERSIANN entre la T° en el tope de nube y la intensidad de lluvia, no son las adecuadas para esta región mediterránea que se caracteriza por lluvias de muy alta intensidad y corta duración de origen convectivo.
- Aunque las observaciones por satélite son capaces de proporcionar la distribución espacio y temporal de las lluvias, las mediciones tienden a mostrar un sesgo sistemático debido a que son estimaciones indirectas que dependen de las propiedades de la nube (imagen infrarroja) ó del líquido contenido en las nubes.



## ... Conclusiones

- La tendencia actual es el uso de datos de satélite **combinados** con los mejores datos disponibles, independientemente de la fuente. Además, **con el avance de la ciencia llegarán nuevos sensores de satélite y tecnologías que mejorarán la detección y su utilidad en la modelación hidrológica.**
- En el estudio, se preveé combinar la información de pluviómetros con estimaciones de satélite aplicando una técnica bayesiana que da mejores resultados en términos de sesgo



## Agradecimientos

El presente trabajo hace parte de:

El Proyecto Consolider-Ingenio "SCARCE" para el Ministerio español de Ciencia e Innovación



El proyecto del Plan Nacional de I+D, referencia: 2010-CSD2009-00065

**Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente**  
**Universidad Politécnica de Valencia**  
[www.iiama.upv.es/](http://www.iiama.upv.es/)