



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente



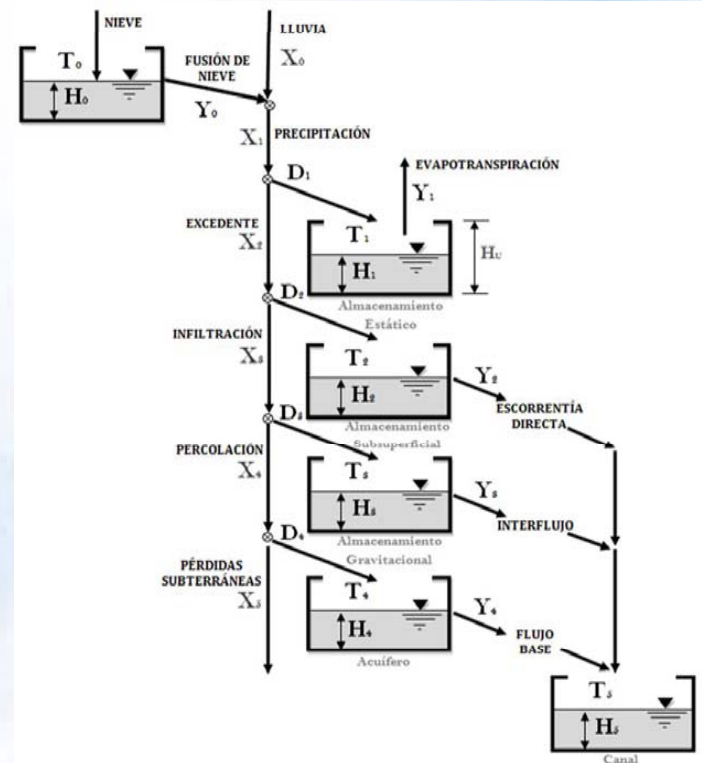
UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA

## SEMINARIO INTERNACIONAL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS HIDRICOS

# CALIBRACIÓN DE UN MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUÍDO APLICADO A LA CUENCA DEL RÍO JUCAR

Lia Ramos Fernández;  
Félix Francés García

Agosto 2010





## MODELO HIDROLOGICO DISTRIBUIDO TETIS

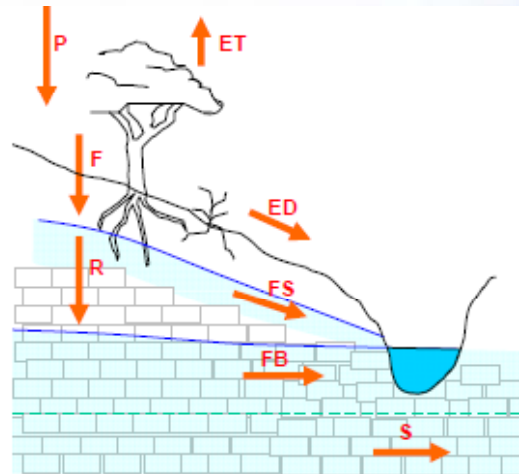
- Modelo Lluvia-Escorrentía, **distribuido de tipo conceptual con parámetros físicamente basados**, desarrollado por el IIAMA-UPV ([www.iiama.upv.es](http://www.iiama.upv.es)).
- **Conceptualización Vertical**: Son seis tanques de almacenamiento conectados entre sí. El flujo entre los tanques es función del agua almacenada en cada tanque.

Basada en balance de humedad:

- Clave en recursos
- Condición inicial en crecidas
- Responde a la realidad

Simular todos los procesos de ladera:

- Robusto
- Generalizable





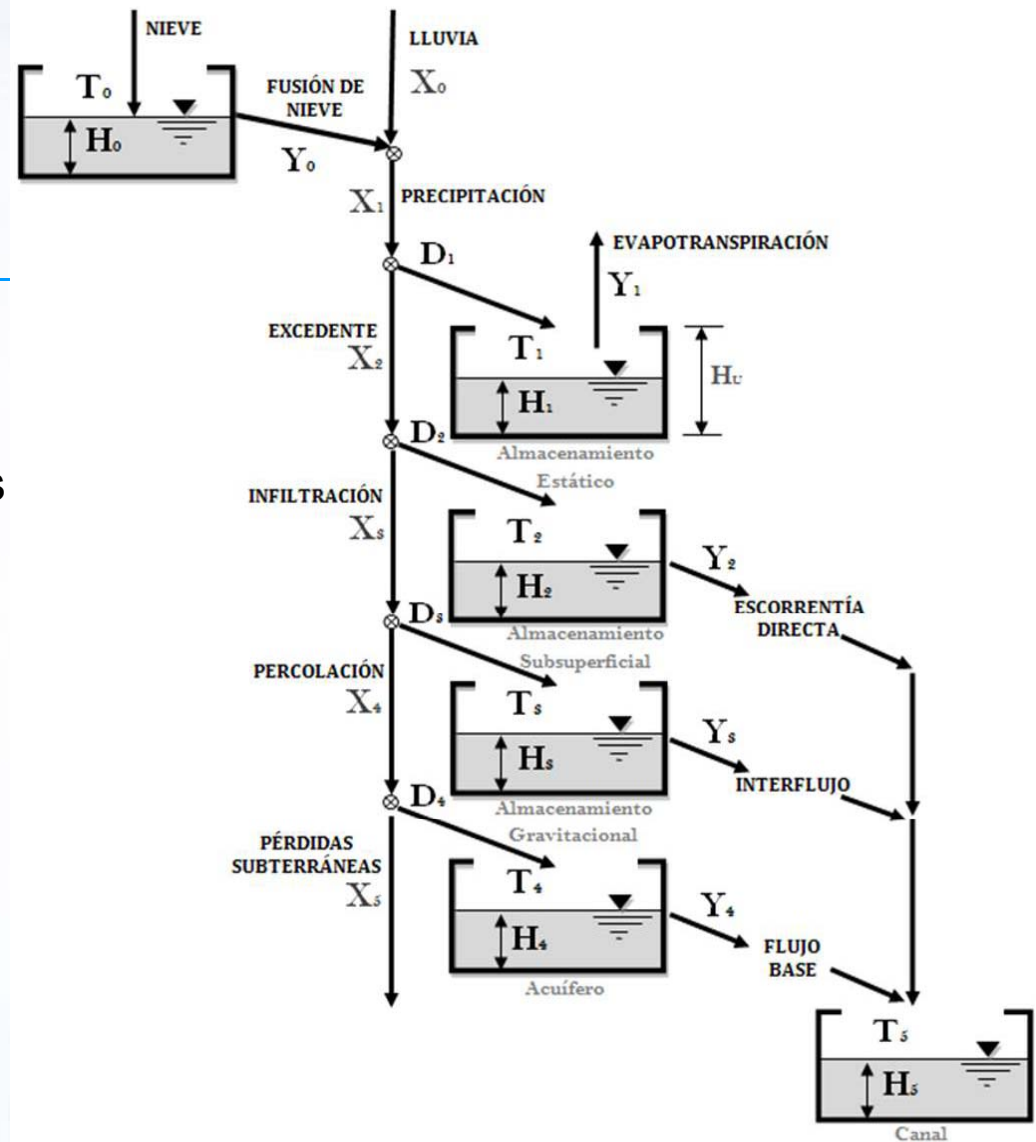
## 6 almacenamientos ó tanques:

- En Ladera:
  - ✓ Manto de nieve
  - ✓ Estático: abstracc iniciales + agua capilar d 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





## 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 "MOCG".

- Propagación de la Escorrentía:

- Escorrentía superficial:
  - Escorrentía directa:
    - Respuesta rápida
    - Flujo lámina libre
  - Interflujo:
    - Respuesta intermedia
    - Flujo saturado
- Flujo base (acuífero):
  - Respuesta lenta
  - Flujo saturado

- Primera fase:

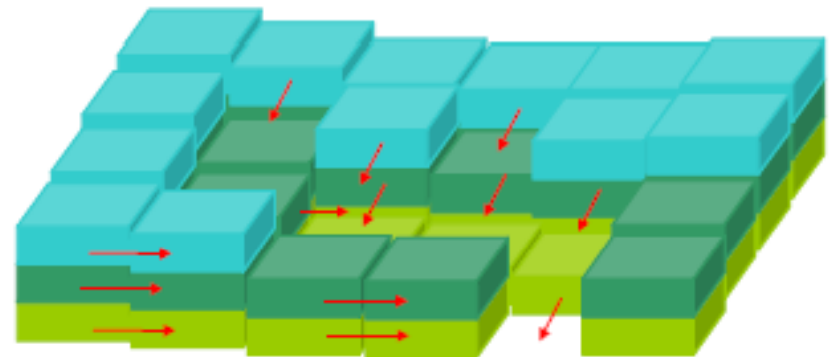
- Ladera

- 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:





## ➤ Problemas en modelos distribuidos:

- ✓ Calibración de un 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)

❑ Los parámetros del modelo son **efectivos** y se componen de:

➤ Valor estimado en cada celda (mapa)

- Primera fase
- Toda la información ambiental disponible

➤ Función de corrección: factor de corrección **global**

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

❑ Calibración del FC en segunda fase si existen episodios registrados





## CALIBRACION AUTOMATICA de FC



- Tetis, emplea un potente algoritmo de optimización (Shuffled Complex Evolution - University of Arizona), eficiente para calibrar de modelos lluvia-escurrentía, (Eckhardt y Arnold, 2001; Madsen, 2000; Thyer et al., 1999; Boyle et al., 2000; Yapo et al., 1998; Gan y Biftu, 1996; Duan et al., 1994 y Sorooshian et al., 1993).

- 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<sub>1</sub> Hu
- Factor de vegetación para la ET: FC<sub>2</sub> λ<sub>v</sub>
- Infiltración (tasa cte.): FC<sub>3</sub> Ks
- Escurrentía directa (embalse lineal): FC<sub>4</sub> V<sub>ladera</sub>
- Percolación (tasa cte.): FC<sub>5</sub> Kp
- Interflujo (embalse lineal): FC<sub>6</sub> Ks
- Pérdidas subterráneas (tasa cte.): FC<sub>7</sub> 0,1 Kp
- Flujo base (embalse lineal): FC<sub>8</sub> Kp
- Velocidad en cauces: FC<sub>9</sub> V<sub>cauces</sub>

El número de parámetros a calibrar se reduce a 9!





## LUGAR DE ESTUDIO.



Gráfico N° . Precipitación Mensual - Invierno: Febrero 2003

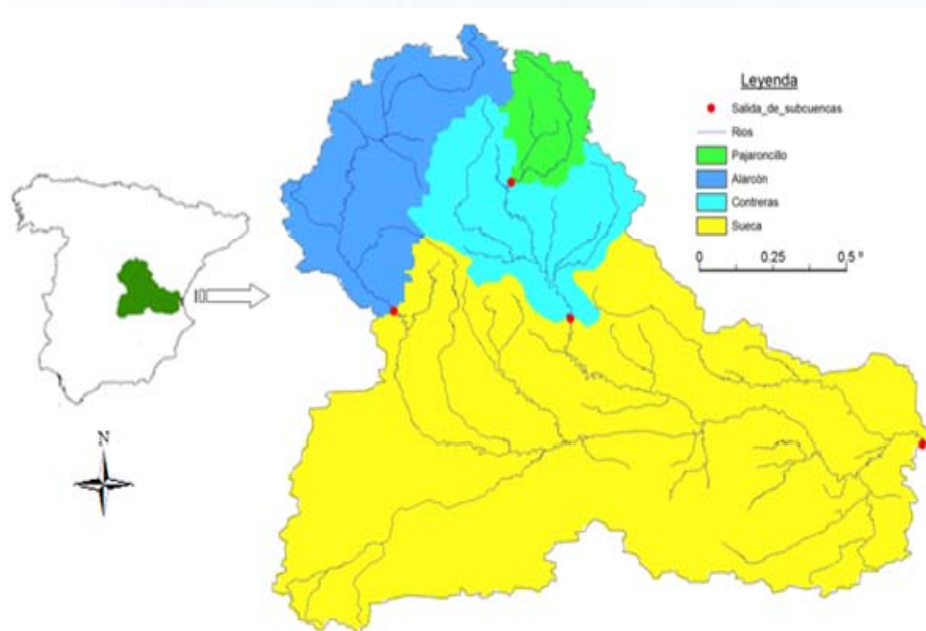
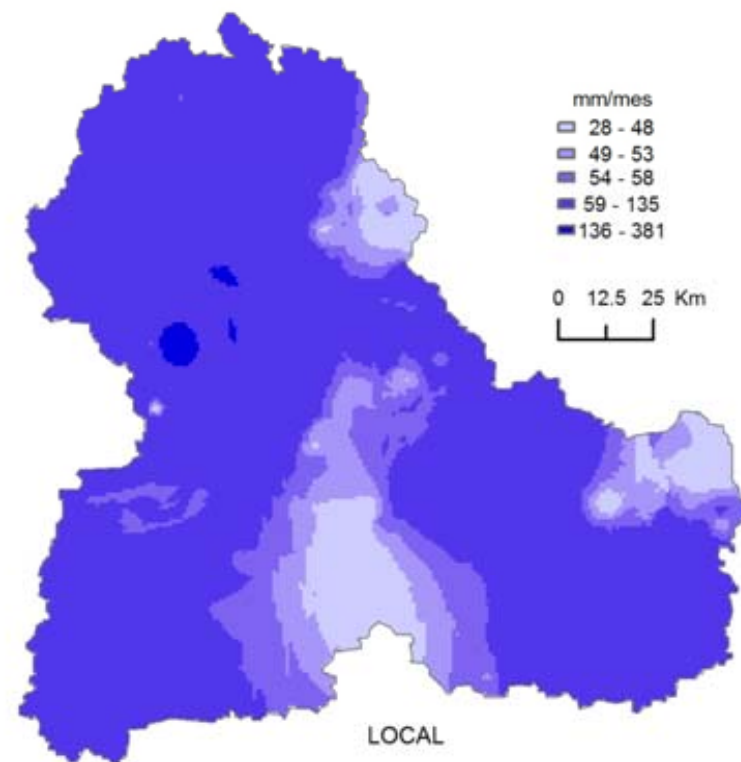


Figura 1.- Cuenca del Río Júcar

➤ Area de 21434 km<sup>2</sup>.

➤ Se caracteriza por lluvias de muy alta intensidad y corta duración de origen convectivo debido al fenómeno llamado “gota fría”.



Detalle	Observado
Estaciones	155
Celdas del grid	
Promedio	71.15
Mínimo	28.08
Máximo	381.32
Desv. Stand	20.35

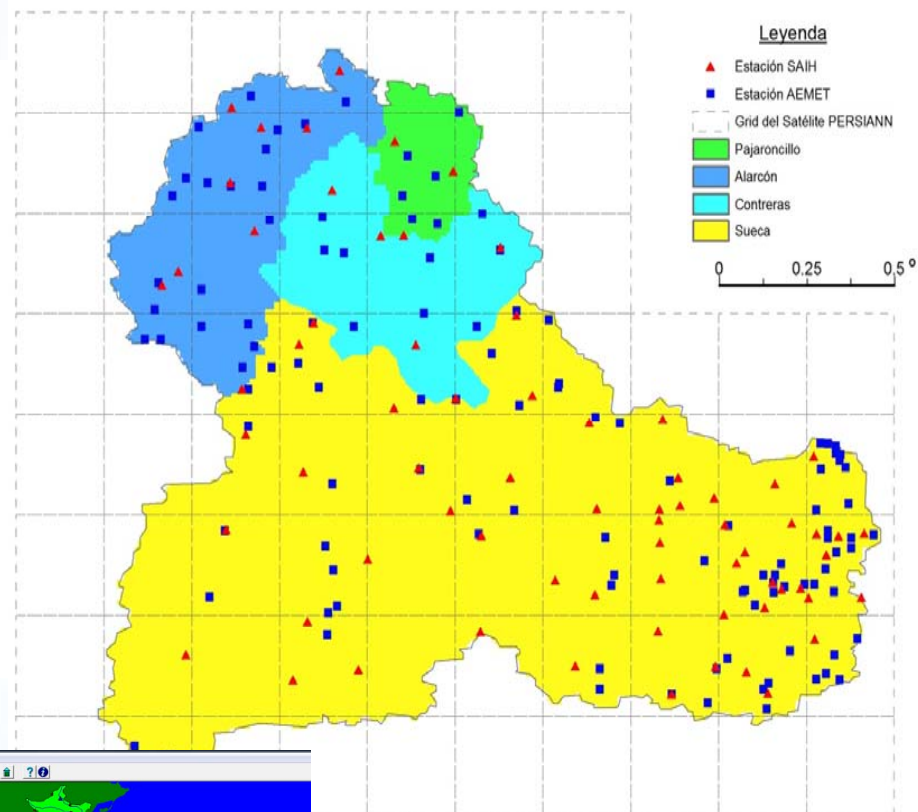


## INFORMACION EMPLEADA

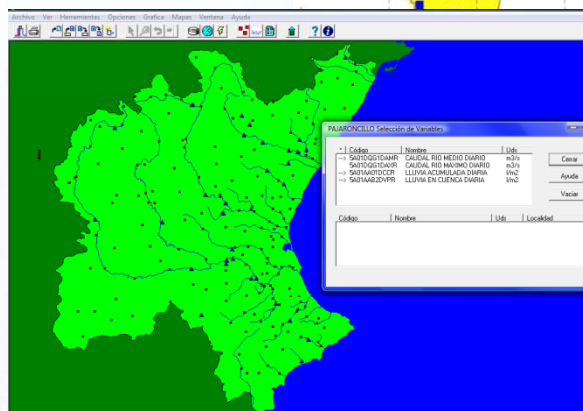
La información recolectada proviene de estaciones del SAIH y AEMET e incluye series temporales de lluvia, caudales aforados, información de embalses (volúmenes, caudales de entrada, caudales de salida) y temperatura (Tabla 1). Se requirió un arduo trabajo de análisis y posterior verificación de todos 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: Pajarondillo 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

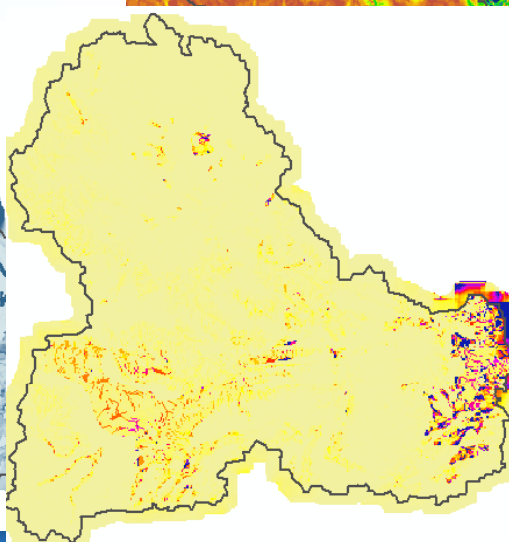
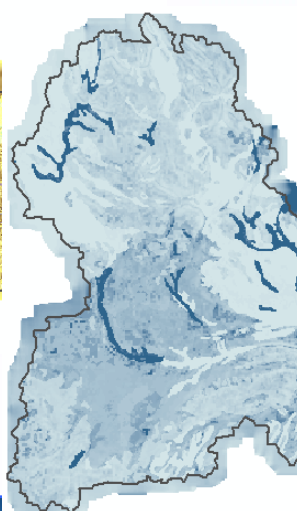
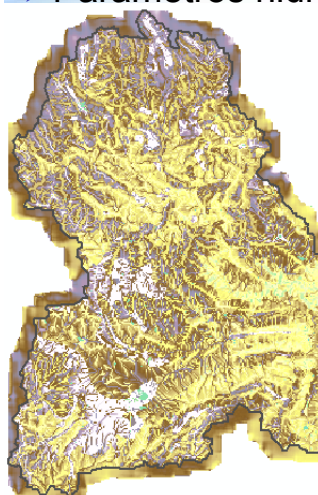
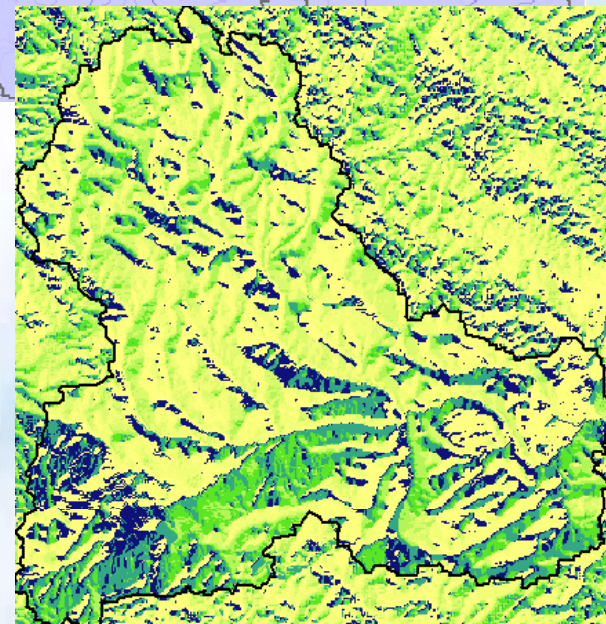
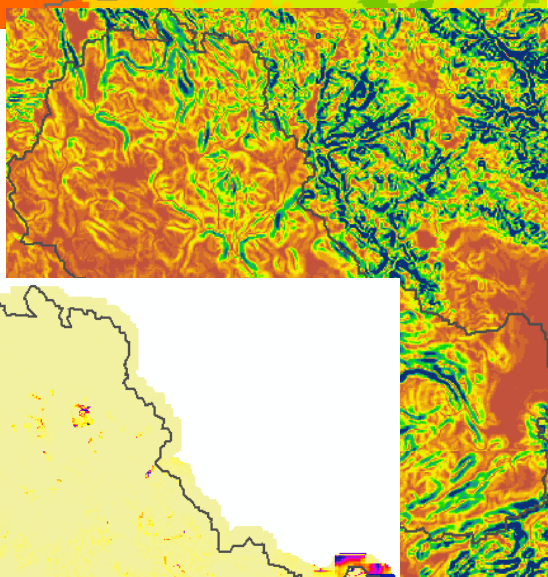
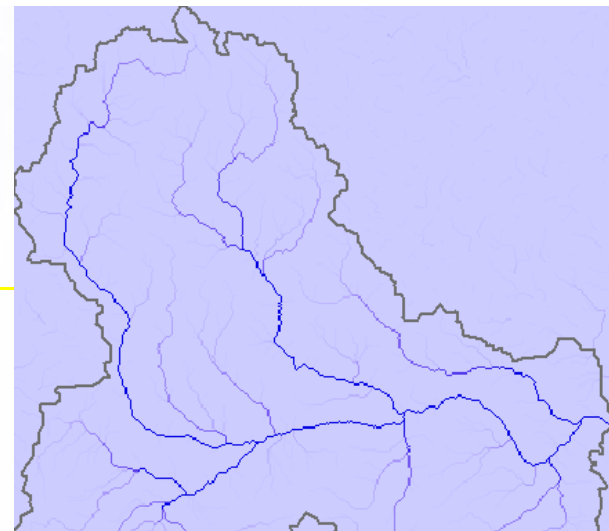
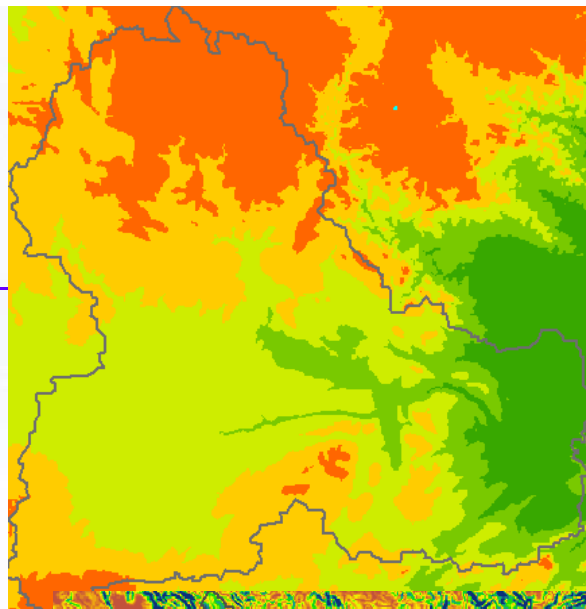






➤ Información cartográfica con tamaño de pixel 500 x 500, procesamiento en ArcGIS para generar mapas en formato que se ajusten al modelo hidrológico:

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





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

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

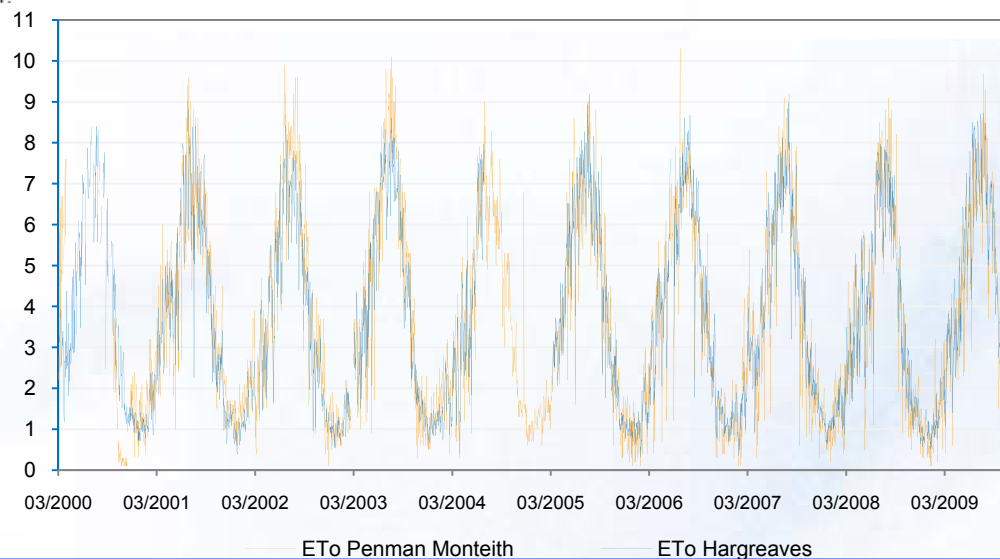
Previamente, se calibró la ecuación de Hargreaves con valores de Penman-Monteith disponibles:

"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/>).

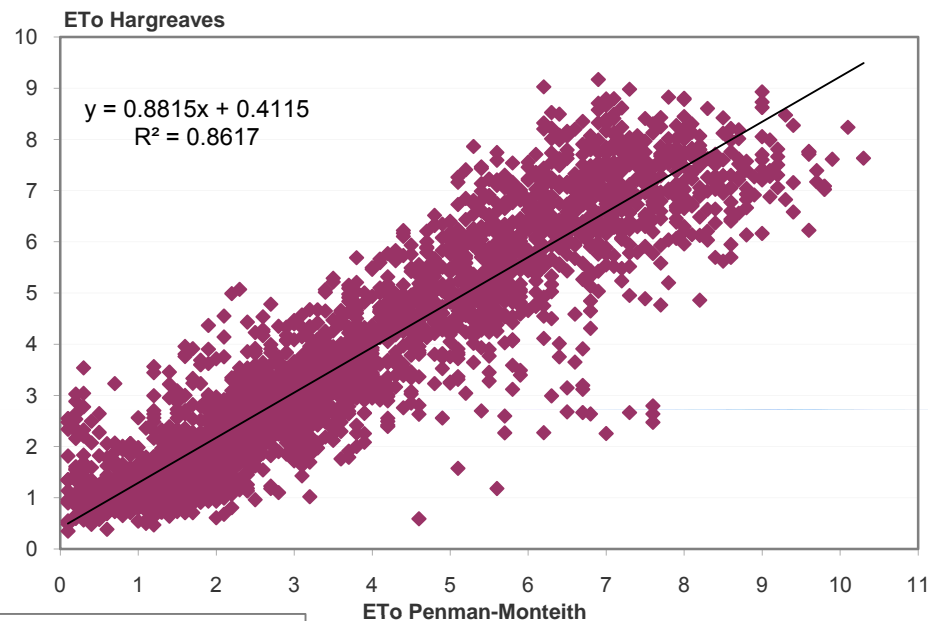
**Tabla 2.-** Calibración de Hargreaves con Penman-Monteith

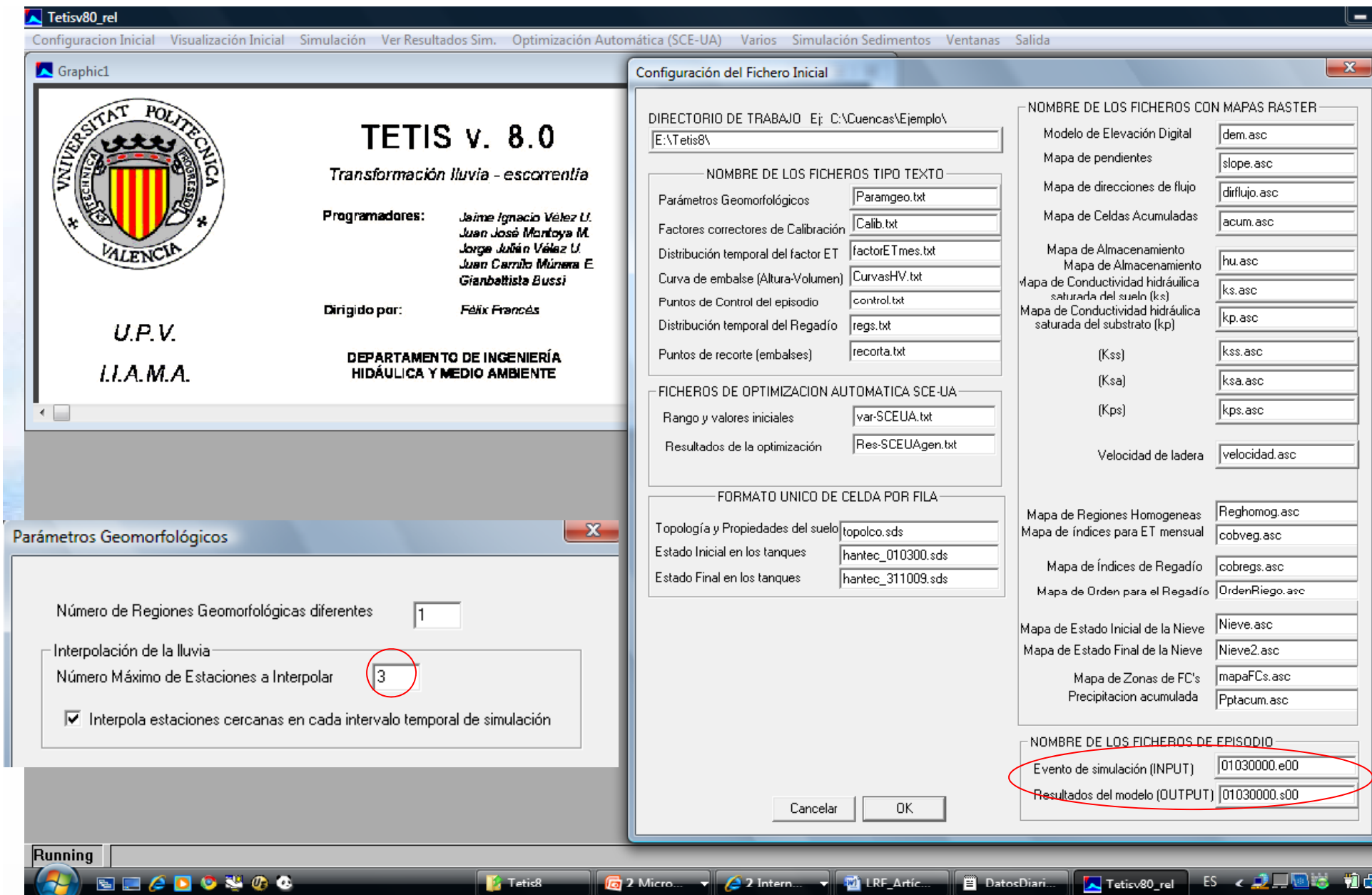
Estación	Provincia	Error Medio	R <sup>2</sup>	Constante Calibrada
Las Tiesas	Albacete	0.782	0.8617	0.0023679
Requena Cerrito	Valencia	0.407	0.8964	0.0020617
Bolbaite		0.383	0.8900	0.0020366
Villanueva-Castellón		0.465	0.8820	0.0020617

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



**Comparación ETo Diarias Hargreaves-Penman-Monteith, 2000-2009**





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





\* 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
Q "CONTRERAS Q recibido	"	628700.000	4377850.000	0.000	0.00	0.901	7.651	10.443	2.637	6.771	7.862	8.824	6.590	3.768

\*



## Condiciones antecedentes de humedad:

Calentamiento  
Recirculación  
Calibración

### Estado inicial en los almacenamientos

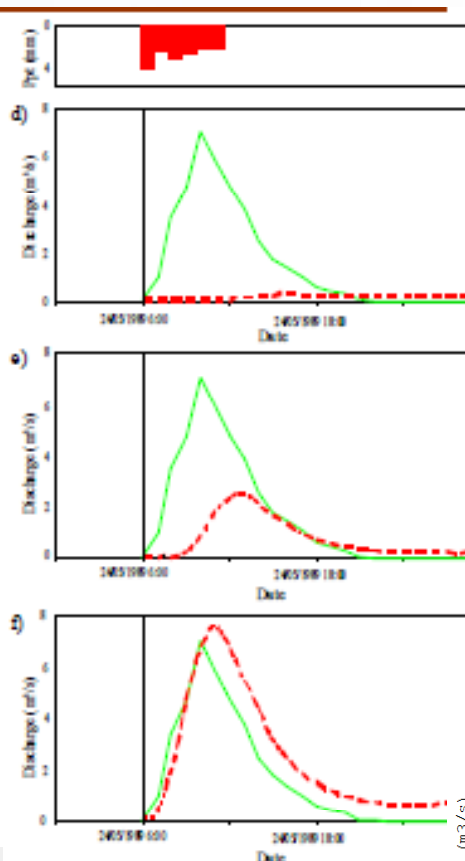
DATOS PARA LA REGION N°: 1 de 1

H1 - Almacenamiento estático máximo (0-100 %)	80.00000
H2 - Agua en superficie (mm)	0.00000
H3 - Almacenamiento gravitacional (mm)	1.50000
H4 - Estado inicial del Acuífero (mm)	13.00000
H5 - Cauce a sección llena (0-1000 %)	0.10000
H6 - Intercepción por la vegetación (0-100%)	0.00000

Cancelar      Atrás      Seguir

### 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



### Cambio del Intervalo del episodio

Longitud del registro actual (en intervalos) 3532

NUEVO EPISODIO: Desde

Desde 01 / 03 / 00 00 : 00

Hasta 02 / 11 / 09 00 : 00

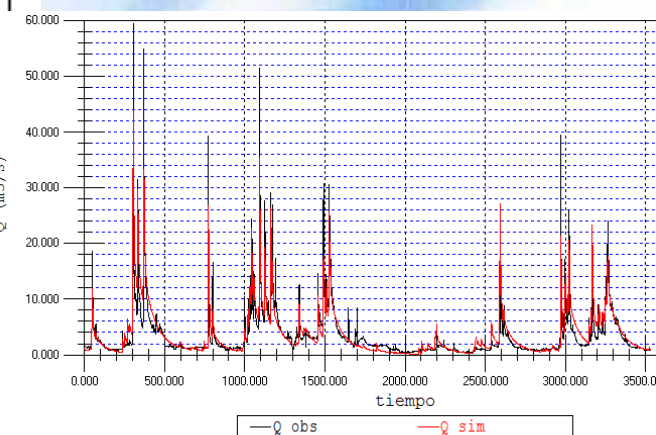
(día) (mes) (año) (hora) (min)

Cancel      OK

### Factores Correctores para la Calibración y Parámetros

#### FACTORES CORRECTORES DEL MODELO

[FC-1] Almacenamiento estático	0.94480
[FC-2] Evaporación	0.63660
[FC-3] Infiltración	0.93300
[FC-4] Escorrentía Superficial	0.00410
[FC-5] Percolación	0.20260
[FC-6] Flujo Subsuperficial	512.29620
[FC-7] Pérdidas Subterráneas	0.00000
[FC-8] Flujo base	2.67830
[FC-9] Velocidad del flujo	0.83930







**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 sección 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"/>	

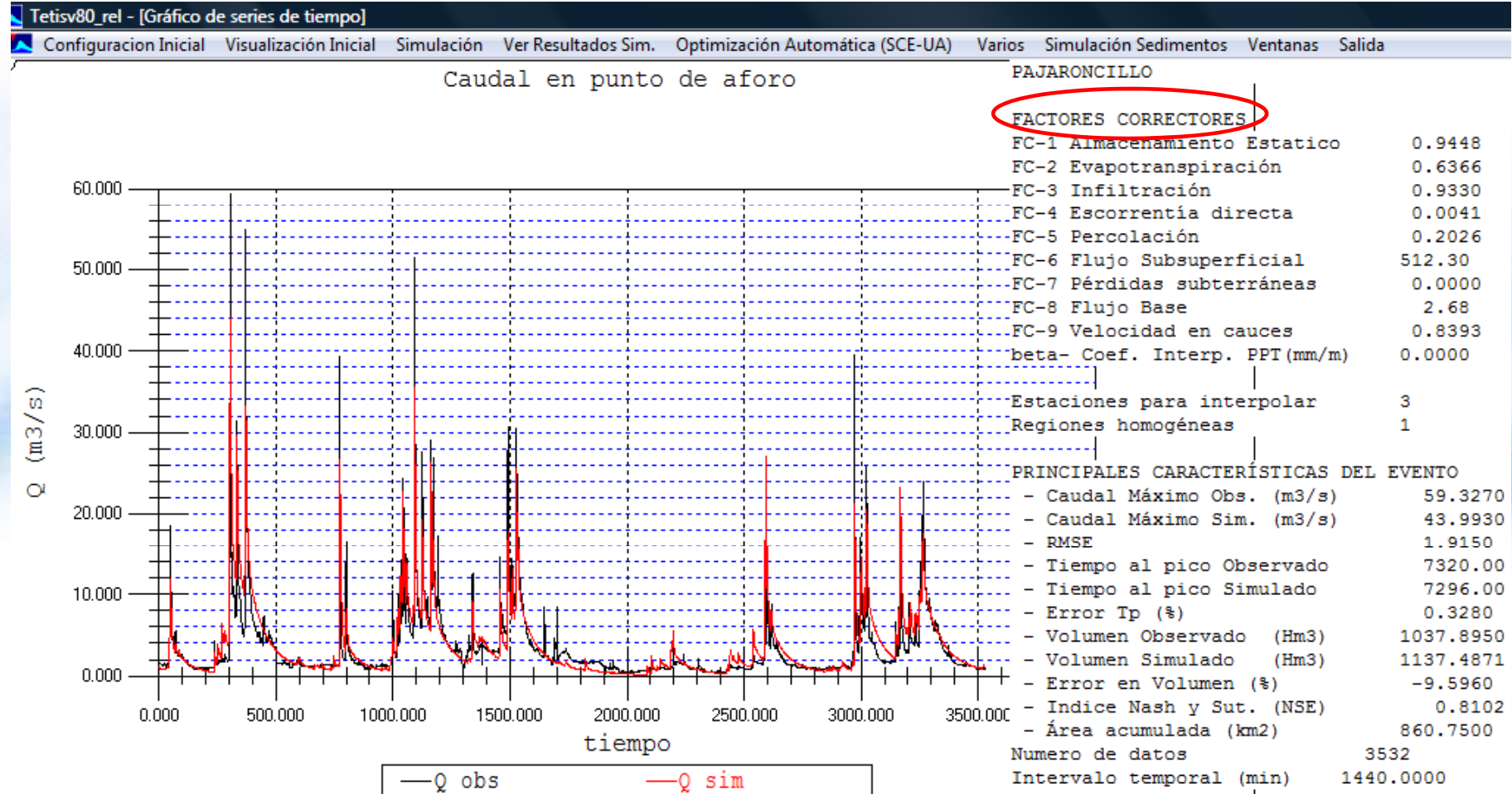
!!!! TIEMPO !!!!!

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				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 Ubicacion:				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				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		
	0.85312	0.78435	0.85122	0.00227	0.50891	435.45480		6.18578	0.86104		



**Problema equifinalidad:** conjuntos diferentes de parámetros pueden ser óptimos => juicio del experto y retoque:

- Calibración manual posterior y/o
- Establecimiento de rangos iniciales de búsqueda

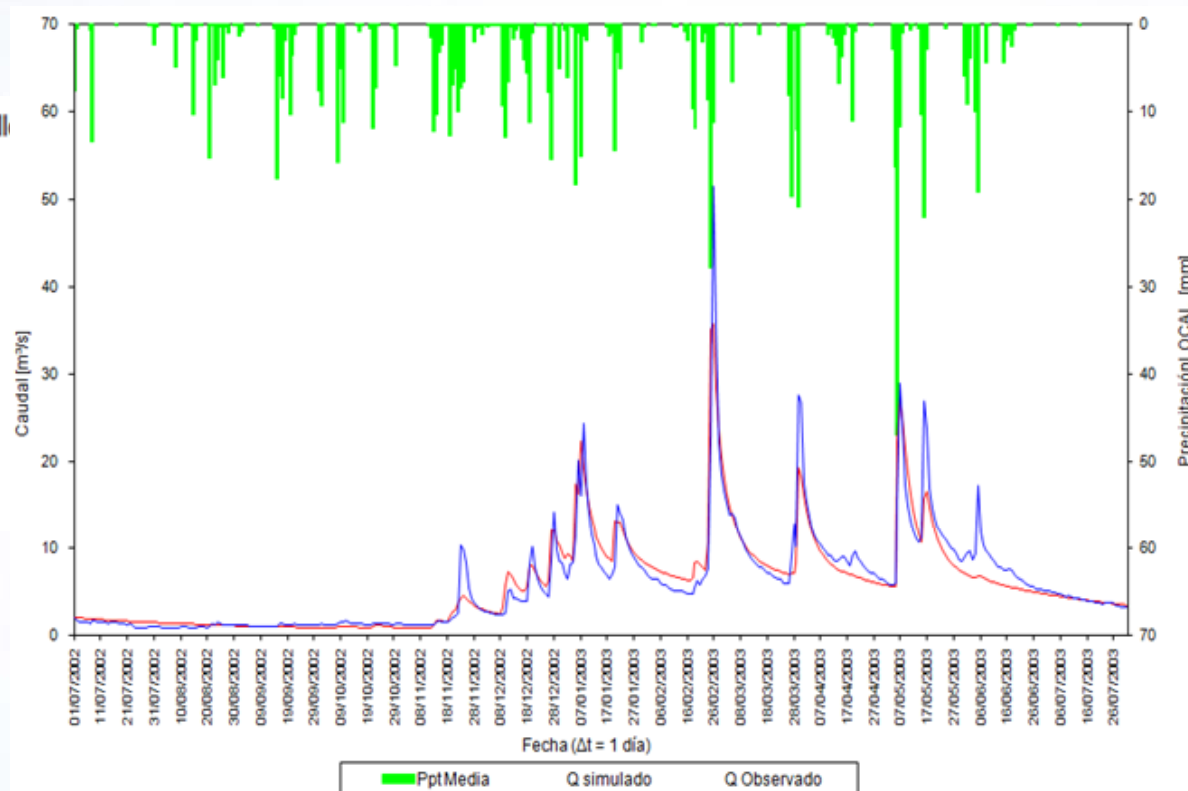


# 1. Calibración en Pajaroncillo: Julio 2002 – Julio 2003

**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	Escurrimiento 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

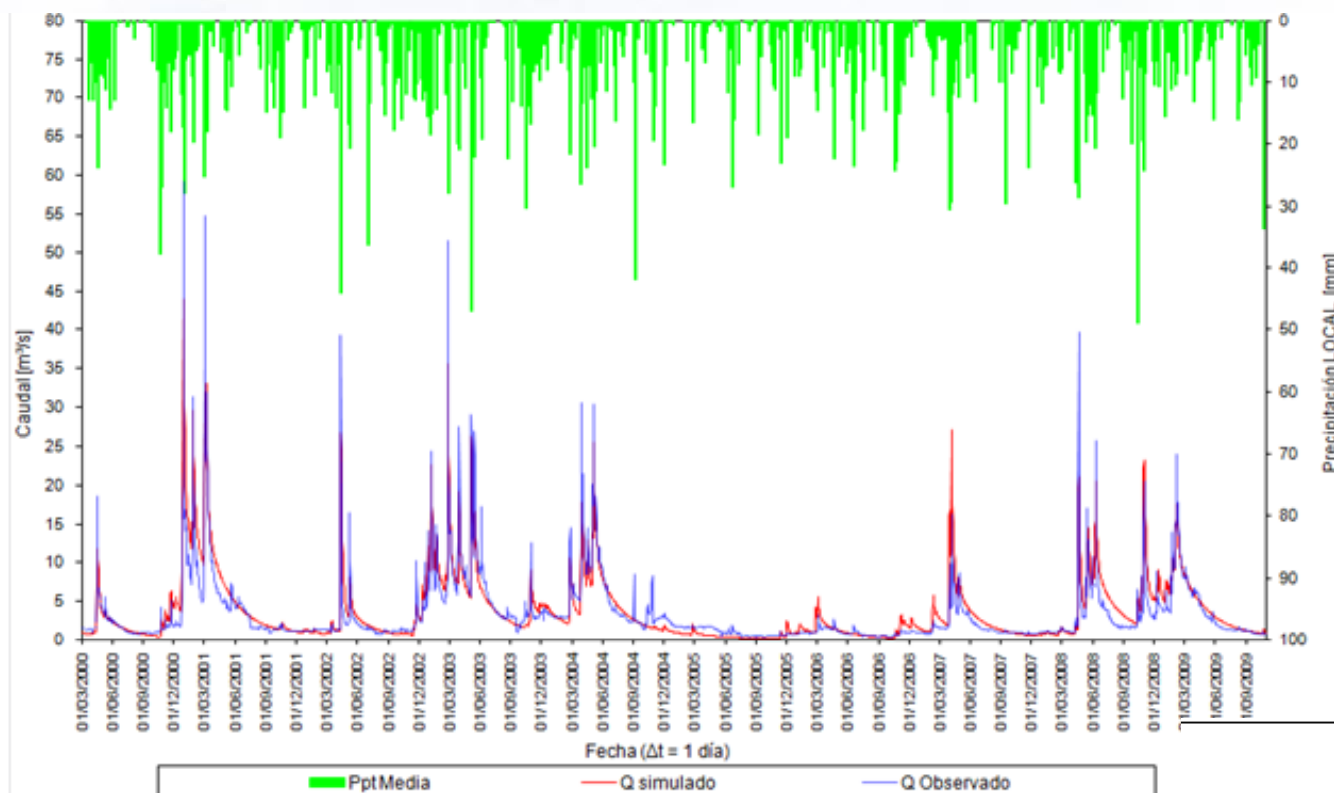
Principales Características	Calibración
	Jul 02 - Jul 03
Caudal máximo observado (m3/s)	51.525
Caudal máximo simulado (m3/s)	35.793
Nro de datos	396
Caudal medio observado	5.964
Volumen Observado (Hm3)	204.067
Volumen Simulado (Hm3)	199.171
Error en Volumen(%)	-2.40
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	0.874
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m3/s)	2.070



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



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



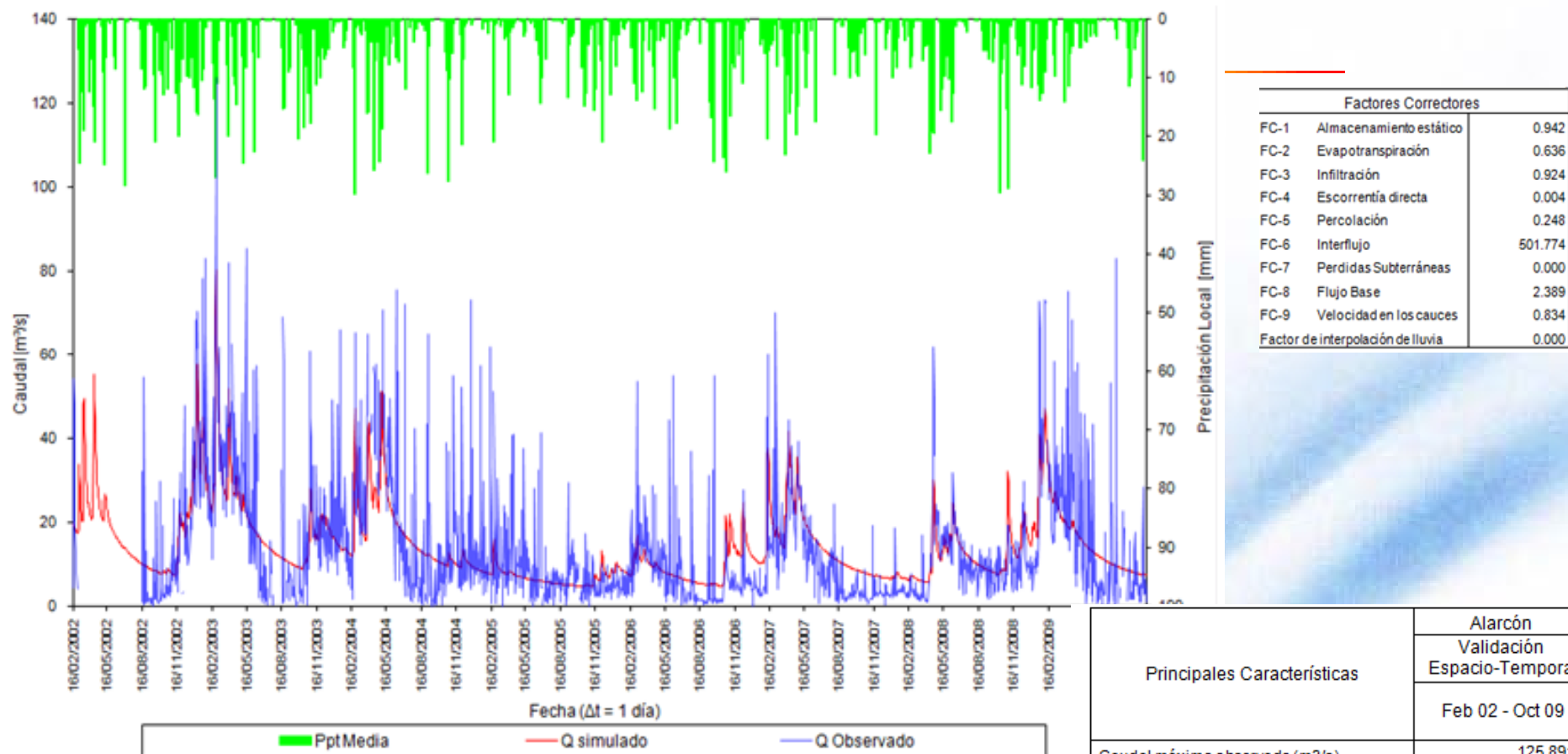
Factores Correctores		
FC-1	Almacenamiento estático	0.942
FC-2	Evapotranspiración	0.636
FC-3	Infiltración	0.924
FC-4	Escorrentía directa	0.004
FC-5	Percolación	0.248
FC-6	Interflujo	501.774
FC-7	Perdidas Subterráneas	0.000
FC-8	Flujo Base	2.389
FC-9	Velocidad en los cauces	0.834
Factor de interpolación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

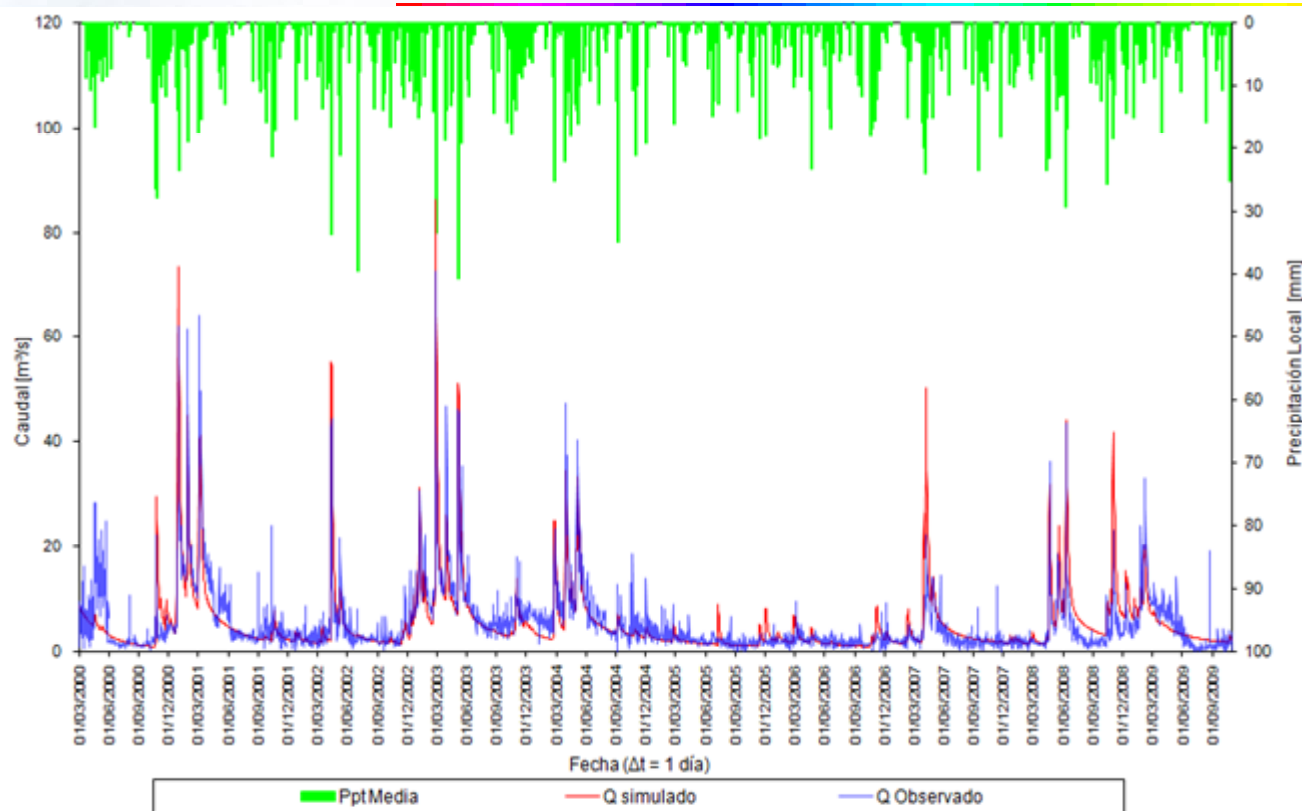


**Figura 5.- Validación EspacioTemporal en Alarcón: Febrero 2002 – Octubre 2009**

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
Indice de Nash-Sutcliffe (NSE)	0.620
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m³/s)	3.927



## CONCLUSIONES

- Fundamental para la calibración de modelos distribuidos la separación de los parámetros efectivos en dos componentes: Estimación previa de parámetros: mapas  
Factores de corrección globales a calibrar
- El modelo distribuido permitió comprobar el modelo en escenario distintos al de calibración:
  - Validación en el tiempo
  - Validación en el espacio o espacio-tiempo
- El modelo permitió resolver el problema del estado inicial de humedad (calentamiento, recirculación, calibración).
- El mejor rendimiento del modelo 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.



---

La exacta precipitación no se conoce, sino que su valor se mide con un error (grado de incertidumbre asociada). Por ello, **el tipo de precipitación es más importante que la elección del modelo hidrológico** en términos de producir simulaciones hidrológicas más robustas. Por otro lado, 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 factores correctores del modelo.**

**La eficacia de los modelos distribuidos depende de la disponibilidad de los datos de entrada (inputs) => tecnología de sensores de satélite => precipitación obtenida por satélite disponible en tiempo real**



## BIBLIOGRAFIA

- DIHMA (2001). Un Modelo de Predicción de Crecidas para el SAIH de la Confederación Hidrográfica del Tago. Informe Final para UTE SAIH TAJO.
- DIHMA (2002). Investigación conjunta sobre generación de mapas de caudales máximos en la cuenca del Júcar. Informe Final para el CEDEX.
- FAO (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma. ISBN 92-5-304219-2.
- Frances, F.; Velez, J.; Velez, J.J. (2007). Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology* 332 (1–2), 226–240.
- Francés, F., J. J. Vélez, J. I. Vélez, y M. Puricelli. (2002). Distributed modelling of large basins for a real time flood forecasting system in Spain. En *Proceedings Second Federal Interagency Hydrologic Modelling Conference*. Las Vegas, USA.
- Gochis, D. J.; Shuttleworth, W. J., and Yang, Z. L. (2002). Sensitivity of the modeled North American Monsoon regional climate to convective parameterization. *Monthly Weather Review*. 130 1282-1298.
- Khakbaz, B.; Imam, B.; Hsu, K., and Soroosh, S. (2009). From lumped to distributed via semi-distributed via semi-distributed: Calibration strategies for semi-distributed hydrologic models. *Journal of Hydrology*.





## 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/)