



**TRABAJO FIN DE MASTER: TIPO B**  
**“ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN**  
**MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO CON**  
**INFORMACIÓN ESTÁNDAR EN ESPAÑA”**

*Intensificación: Sistemas de Recursos Hídricos*

*Autora: Lina Margarita Ramírez Solano*  
*Directores: Félix Francés García*  
*Gianbattista Bussi*

## MOTIVACIÓN Y OBJETIVO

**Problema:** Disponibilidad de datos de entrada fiables en estudios hidrológicos.  
**Registros deficientes:** Periodos de tiempo cortos y/o con falta de datos.



**Información Estándar**

-Cuenca del río Ésera.

-Cuenca del río Siurana.

-Cuenca del río Júcar.

-Info. Precipitación estándar distribuida en el espacio .

-Info. Estándar sobre las características del suelo

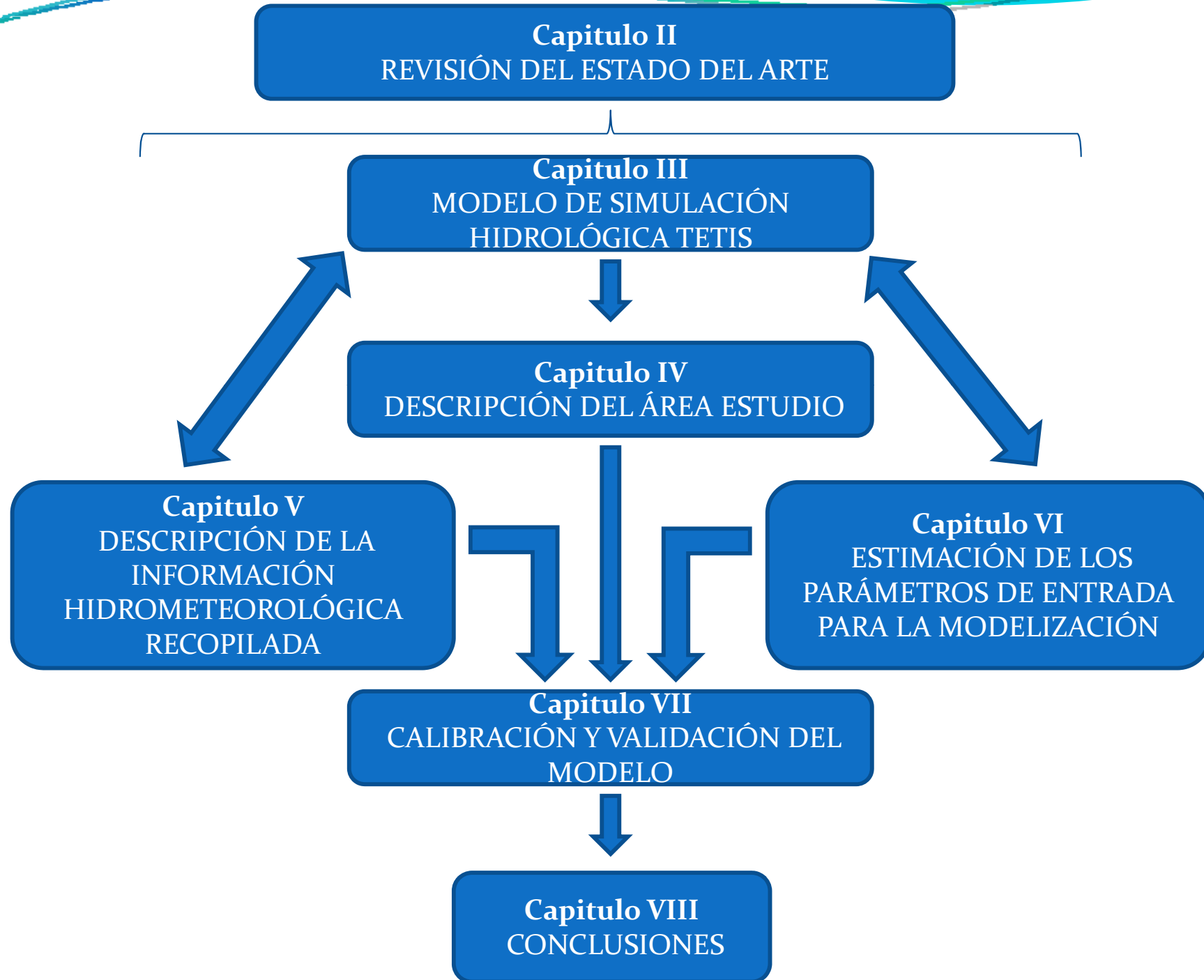
### OBJETIVO GENERAL:

APLICACIÓN DE UN MODELO HIDROLÓGICO, CONCEPTUAL, DISTRIBUIDO EN EL ESPACIO Y EN EL TIEMPO, LLAMADO TETIS DESARROLLADO EN EL DIHMA DE LA UPV, PARA PREDECIR Y ANALIZAR LA RESPUESTA HIDROLÓGICA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS ESPAÑOLAS CON ESCASEZ DE DATOS Y APROVECHANDO INFORMACIÓN ESTÁNDAR.

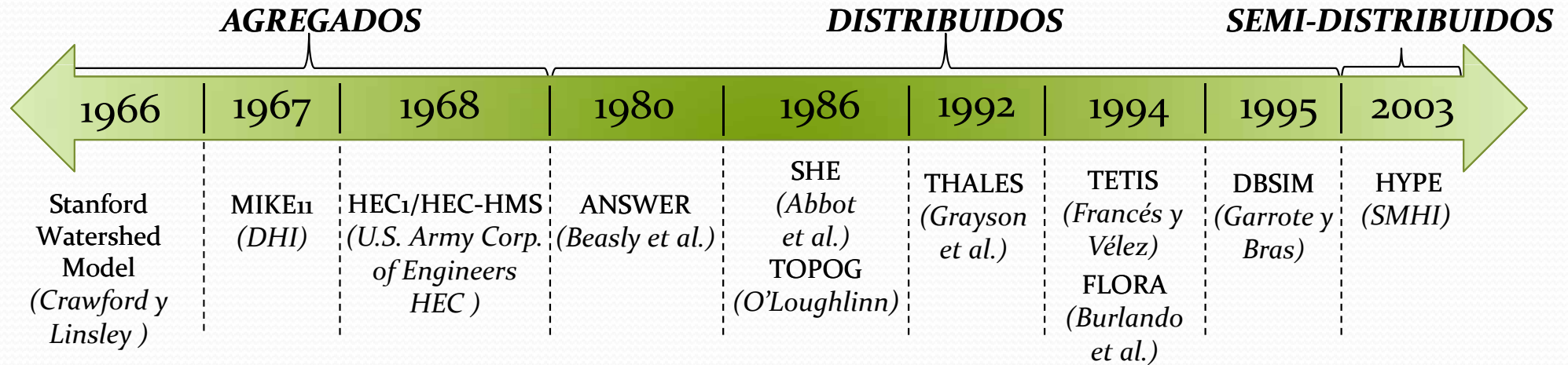


- Revisión del estado del arte relacionado con modelos distribuidos e información estándar .
- Recopilación de los datos existentes y estimación de los parámetros mediante SIG.
- Caracterización climática e hidrológica de las cuencas en estudio.
- Presentación de los resultados de la calibración y validación del modelos en cada una de las cuencas en estudio,

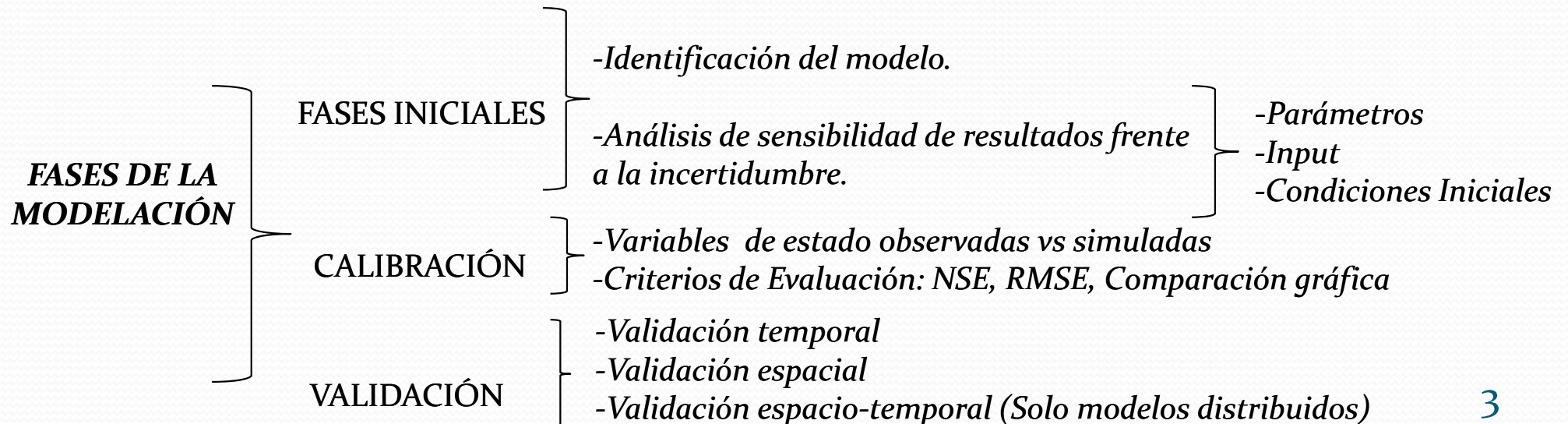
# ESTRUCTURA DE LA PRESENTACIÓN



## Modelos Hidrológicos

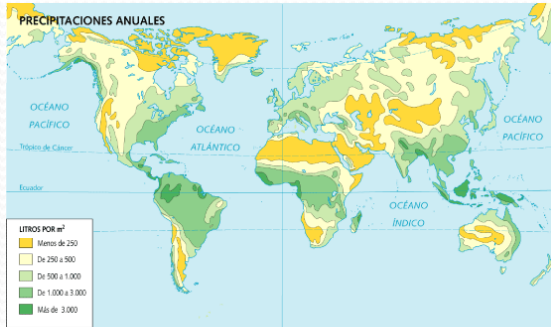


Y: Variables de Estado  
X: Input  
M: Ecuaciones  
Θ: Parámetros



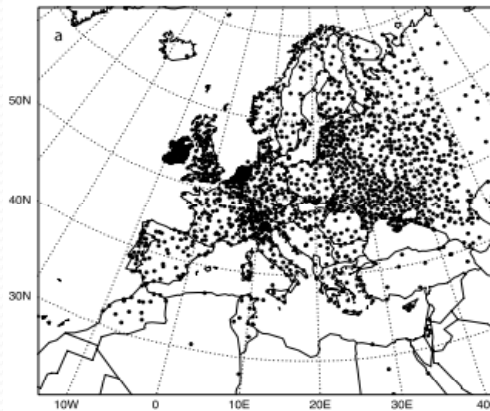
# Información Estándar: Base de datos Precipitación y Temperaturas.

## DATOS PUNTUALES



**GCOS**  
(Global Climate  
Observing System)

10000  
observatorios  
Mediciones c/6 horas



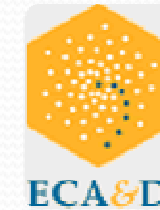
European Climate  
Assessment & Dataset

## DATOS INTERPOLADOS

Global Precipitation  
Climatology Project: 1<sup>0</sup>



NLDAS  
(North American Land Data  
Assimilation System) : 1/8<sup>0</sup>



Gridded observational datasets  
E-OBS: 25 km



**AEMET**  
(Agencia Estatal de Meteorología)

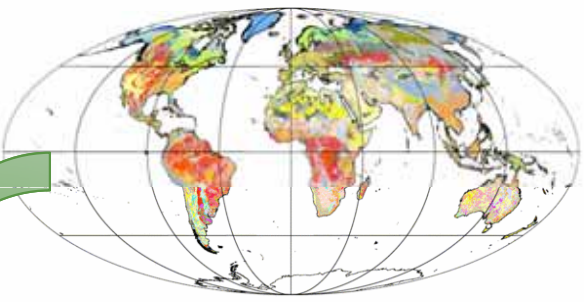
Estaciones {  
Red Pluvio: 9000  
Red Termo: 4000  
Red Termopluvio: 3500




Spain02: 0.20<sup>0</sup>  
(1950-2011)

## Información Estándar: Suelo.


Digital Soil Map of the World



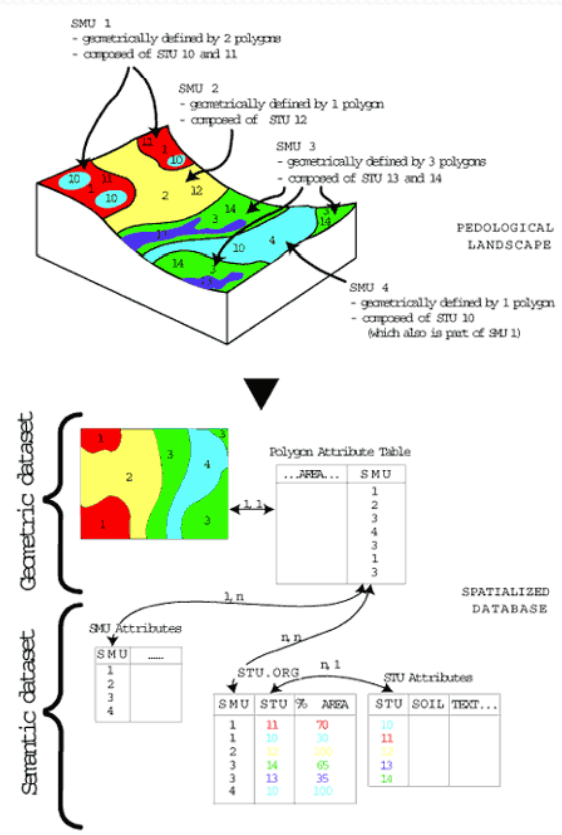
FAO-Unesco Soil Map of the World  
1:5.000.000



ESDB- The European Soil Database  
1:1.000.000  
grid :1kmx1km

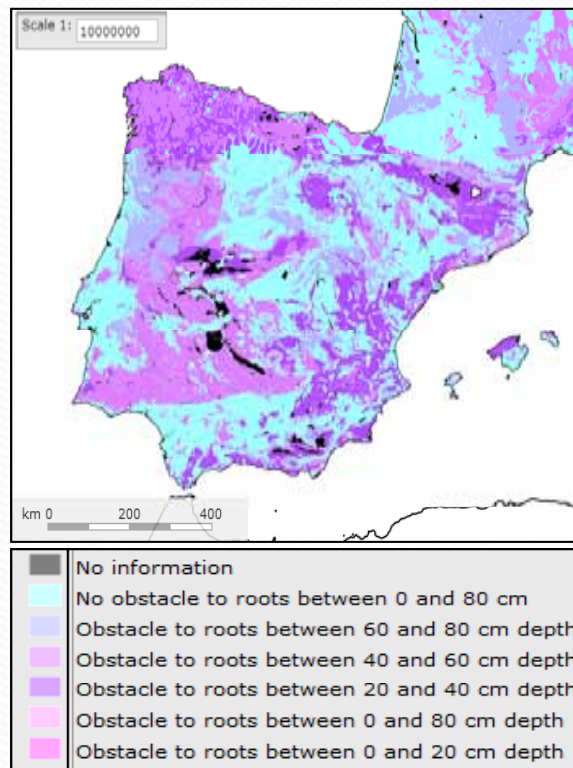


106 tipos diferentes de unidades de suelos o asociaciones

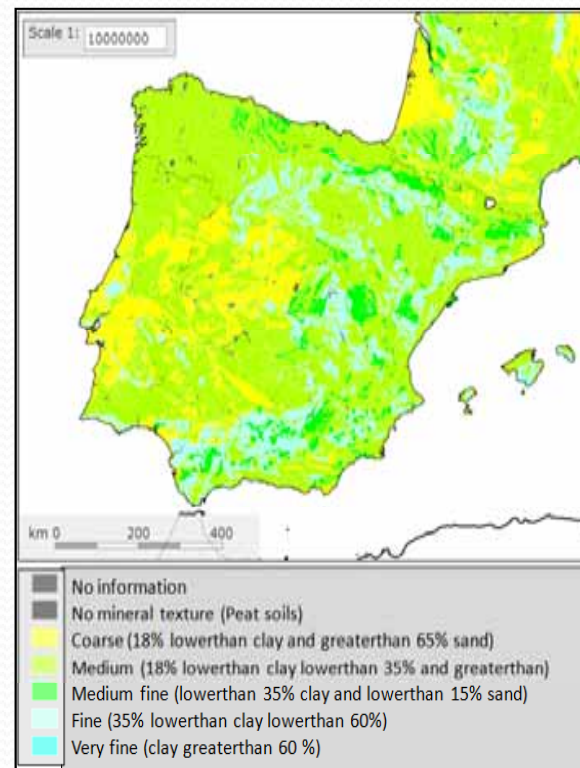


- 73 atributos
- 14 categorías
- Limitación en el uso agrícola.
- Clasificación de suelo (WRB).
- Textura.
- Material Parental.
- Clasificación de suelo según FAO.
- Uso de Suelo.
- Obstáculos-Impermeable-Régimen de Humedad del Suelo.
- Sistema de Gestión de Agua.
- Altitud-Pendiente.
- Propiedades Primarias.
- Propiedades Químicas.
- Propiedades Mecánicas.
- Propiedades Hidrológicas.
- Aplicaciones.

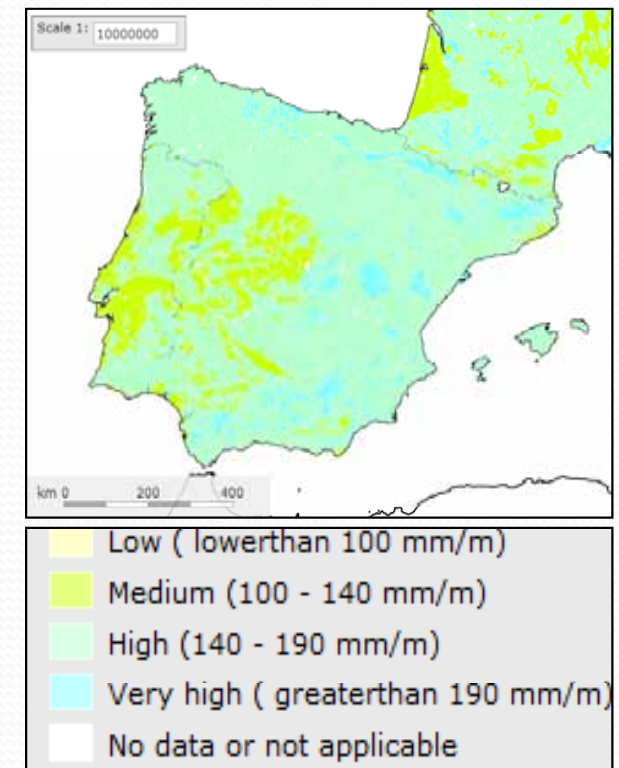
## Mapa de Atributos derivados de la ESDB para España



**Categoría:** Obstáculo.  
**Atributo:** Obstáculo raíces- ROO.



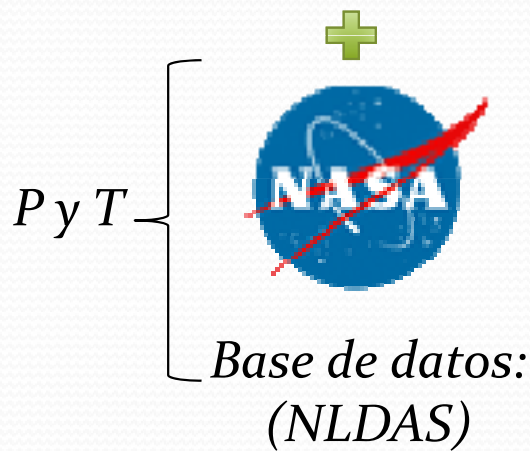
**Categoría:** Textura.  
**Atributo:** Textura Superficial Dominante-  
TEXT-SRF-DOM.



**Categoría:** Propiedades Hidrológicas.  
**Atributo:** Capacidad de agua disponible en la capa superior del suelo-  
AWC\_TOP.

## Modelos hidrológicos con información estándar.

**HSPF**  
(Hydrologic Simulation Program  
Fortran)



7 Cuencas ubicadas cerca  
a Bahía de Chesapeake  
160.000 km<sup>2</sup>  
%error  $V < 5\%$   
 $NSE > 0.6$

**HYPE**  
(HYdrological Predictions  
for the Environment)

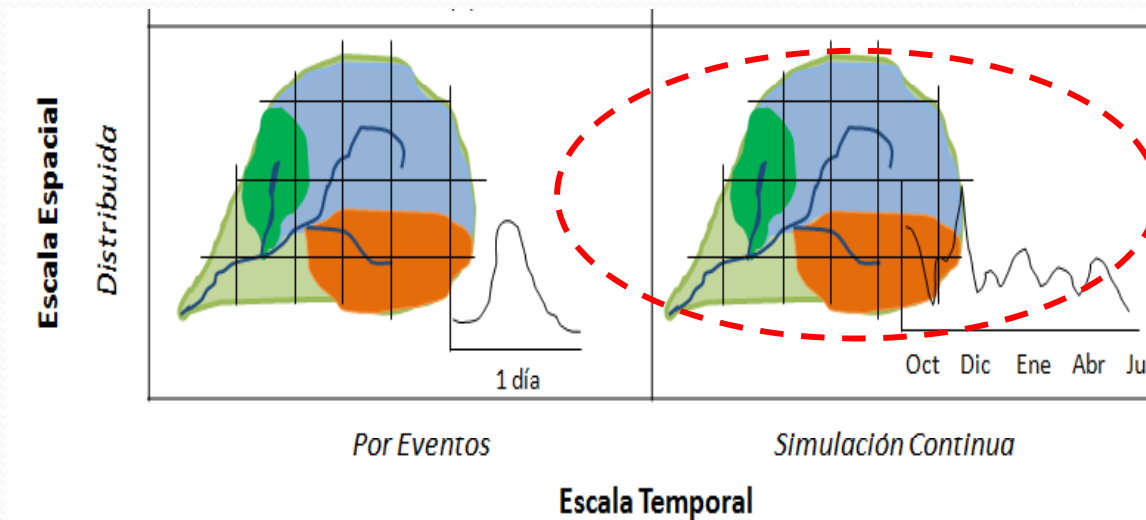


Cuenca del Plata, América  
del Sur: 3.2 millones de km<sup>2</sup>  
%error  $V < 25\%$   
 $NSE = 0.11$

Europa:  
7 millones de Km<sup>2</sup>  
%error  $V < 10\%$   
 $NSE = 0.49$

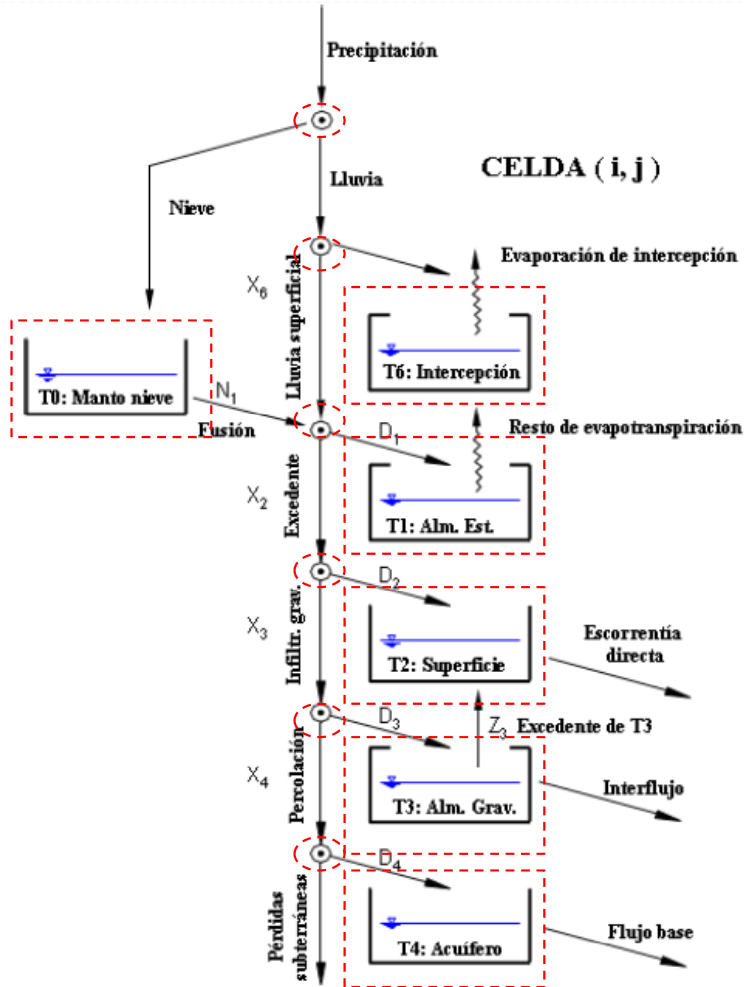


# TETIS



Modelo hidrológico distribuido de tipo conceptual llamado **TETIS** (Francés et al., 2002; Velez et al., 2002), desarrollado en el DIHMA de la UPV, con simulación continua, abordando los tres tipos de tamaño de cuencas (pequeña, mediana y extensa), sirviendo como herramienta para representar la producción de escorrentía.

# MODELO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA TETIS



Esquema conceptual de tanques a nivel de celda del modelo TETIS.

• 6 nodos de control sin almacenamientos..

• En ladera:

T0: Manto de nieve  
T6: Intercepción  
T1: Alm. Estático = Agua retenida suelo por fuerzas capilares + Alm. charcos  
T2: Superficie de la ladera  
T3: Alm. Gravitacional

• Acuífero:

T4: Acuífero

• Cauce:

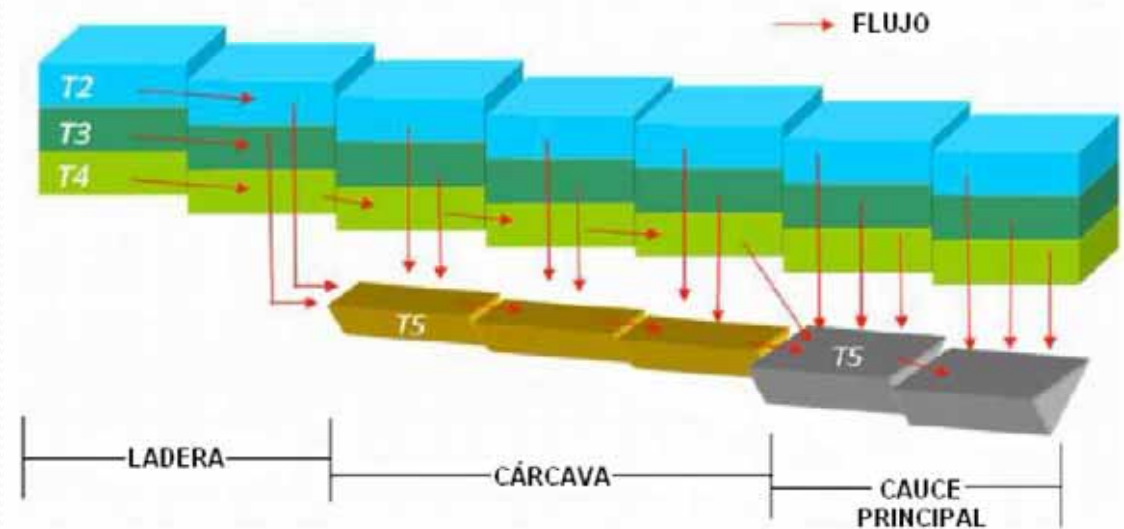
T5: Cauce

• 7 tanques

14 Variables de estado:

7 Almac. (Hi)

7 Flujos de salida de tanque (Yi)



## MODELO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICO TETIS

Factor corrector ( $R_i$ )	Parámetro ( $\theta_{i,j}^*$ )	Símbolo
$FC_1$	Capacidad de almacenamiento hídrico	$H_u$
$FC_2$	Índice de cobertura de vegetación	$\lambda$
$FC_3$	Capacidad de infiltración	$K_s$
$FC_4$	Velocidad del flujo superficial	$u$
$FC_5$	Capacidad de percolación	$K_p$
$FC_6$	Velocidad del interflujo	$K_{ss}$
$FC_7$	Capacidad de percolación profunda	$K_{ps}$
$FC_8$	Velocidad del flujo base	$K_{sa}$
$FC_0$	Velocidad del flujo en canal	$v$

- Estructura separada del parámetro

$$\theta_{ij}^* = \theta_{i,j} \cdot R_i = K_s \cdot FC_3$$

- Algoritmo de optimización SCE-UA:

-Búsqueda del conjunto optimo de parámetros que minimicen una función objetivo.

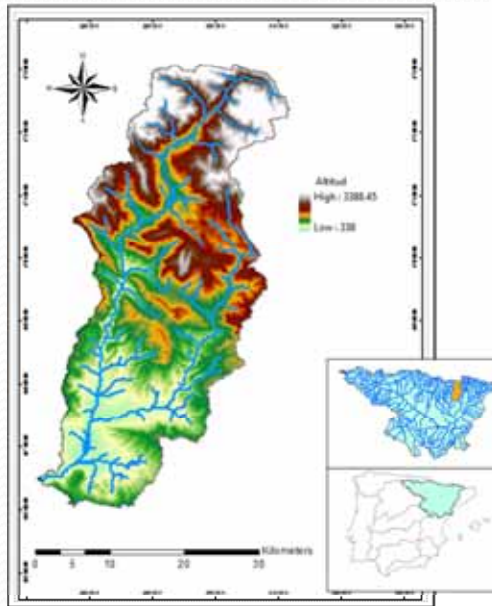
-F.O utilizadas por TETIS:

Índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE).

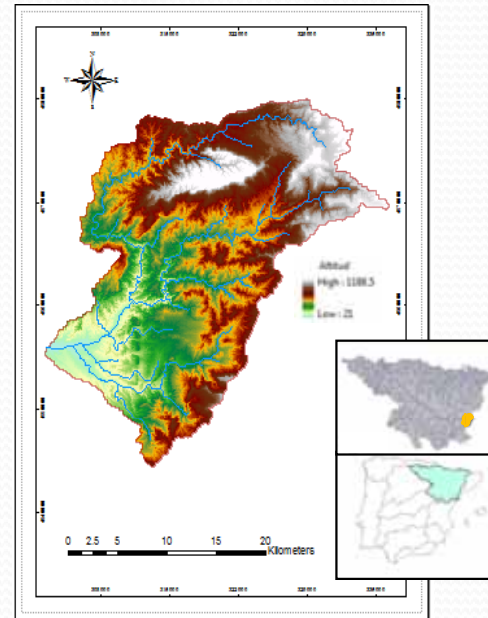
Error cuadrático medio (RMSE ).

## AREA DE ESTUDIO

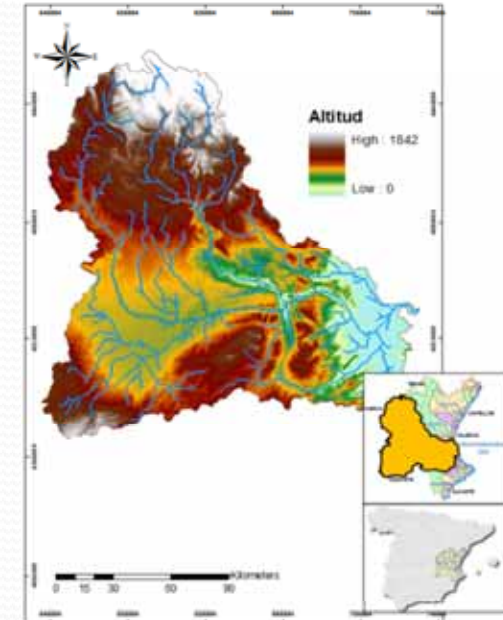
### Cuenca del Río Ésera



### Cuenca del Río Siurana

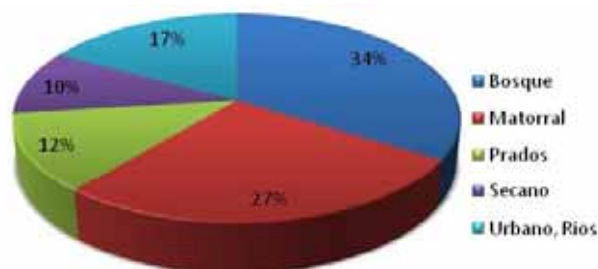


### Cuenca del Río Júcar

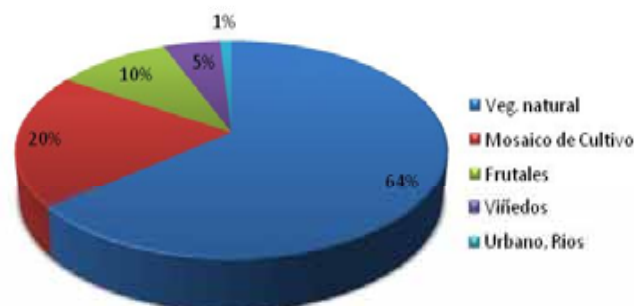


Área	1532 Km <sup>2</sup>	615 Km <sup>2</sup>	21430 Km <sup>2</sup>
Clima	Zona alta: Nieve Invierno seco Verano tormentoso	Clima mediterráneo/ tendencia continental Calor en verano, T bajas Invierno, Inversión térmica	Clima continental Clima intermedio: Continental/litoral Clima litoral mediterráneo

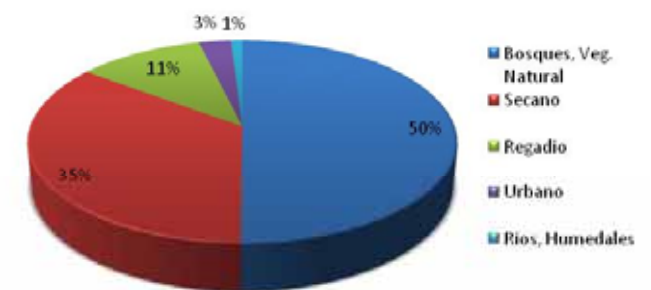
Usos de Suelo Ésera-CLC2000



Usos de Suelo Siurana- CLC2000

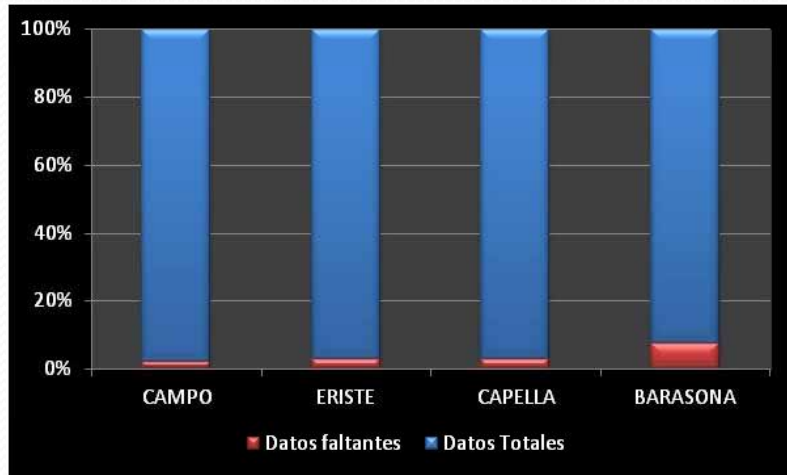


Usos de Suelo Júcar-CLC2000



# INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA: Series P y T puntual

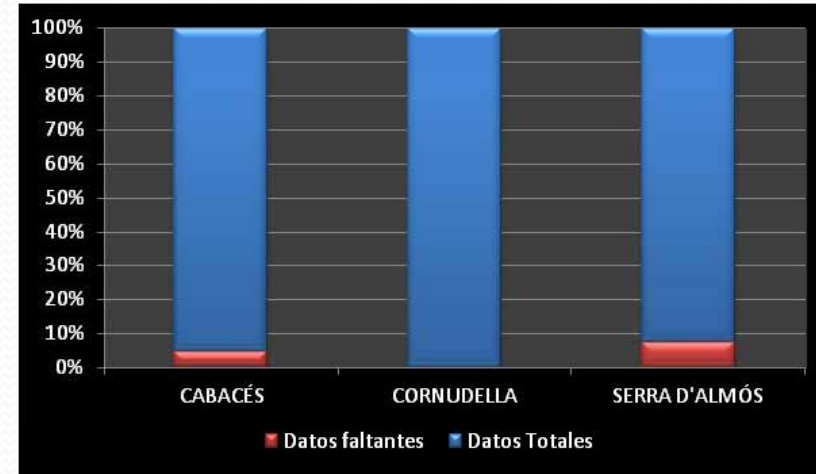
Cuenca del Río Ésera



$P=590-902$   
mm/año

Periodo 1997-2007 (Fuente: SAIH CHE)

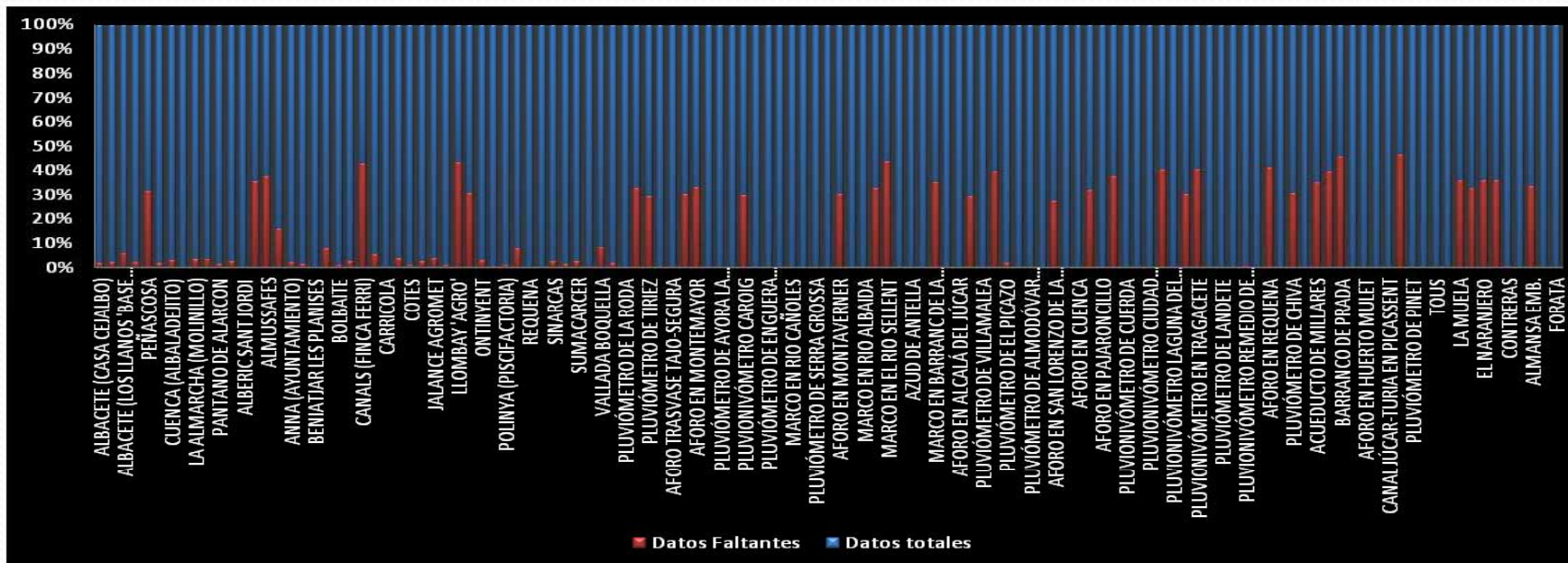
Cuenca del Río Siurana



$P=209-315$   
mm/año

Periodo 2003-2007 (Fuente: ACA)

Cuenca del Río Júcar



Estaciones  
AEMET: 44  
SAIH CHJ: 79

$P=117-822$   
mm/año

Periodo 1999-2008 (Fuente: SAIH CHJ y AEMET)

# INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA: Series P y T interpolada

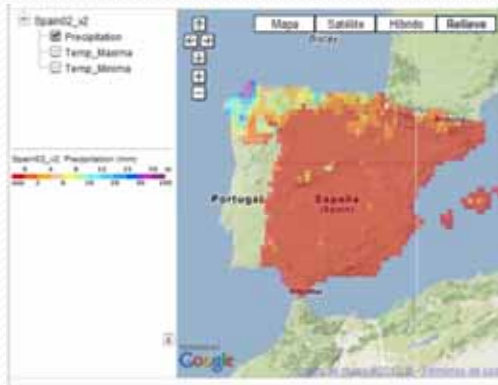
Base de datos interpoladas: definidas en rejillas regulares de alta resolución espacial y temporal, permitiendo análisis espacialmente homogéneos.



Control de calidad de la serie :

- ✓ Eliminación de errores puntuales (outliers)
- ✓ Porcentaje de datos registrados(1950-2003).
- ✓ Análisis de la homogeneidad mediante tests de hipótesis

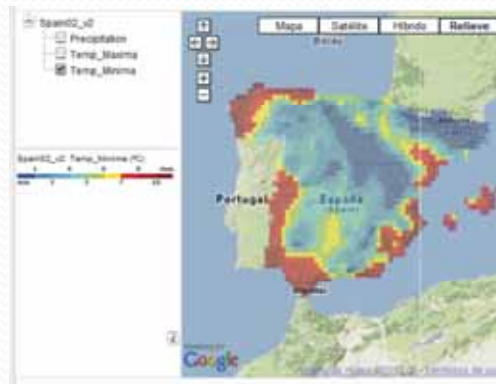
- Angular Distance Weighting (ADW).
- Kriging Ordinario (OK)
- Thin Plate Splines (TPS)
- Indicator Kriging (IK)



Precipitación



Temp. máxima



Temp. mínima

**Spain02.** Grid de alta resolución (aprox. 20 km).

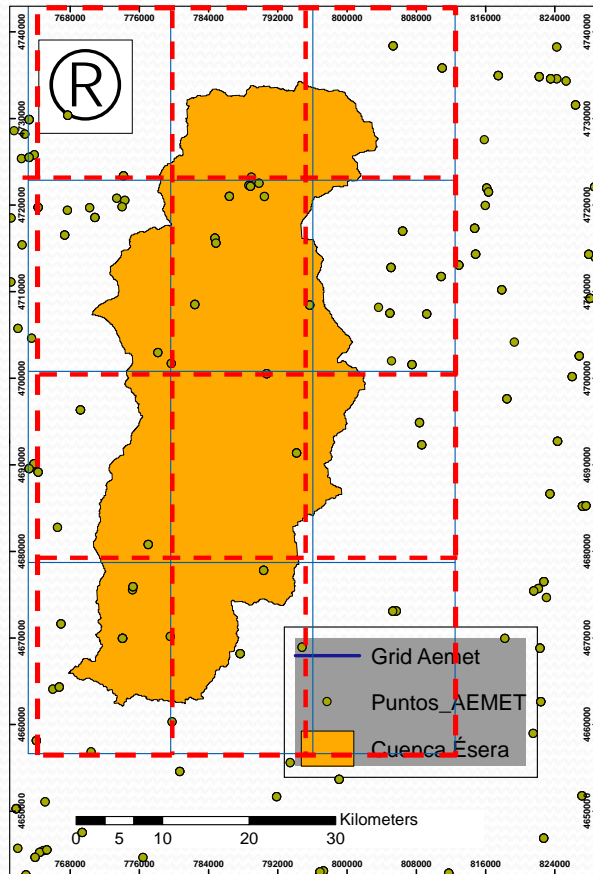
Spain02\_V1 : periodo 1950 a 2003 (P)

Spain02\_V3 : periodo 1950 a 2011 (P) (T)

P interpolada a partir de una red de 500 estaciones (90% de datos puntuales).

# INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA: Series P y T interpolada

### Cuenca del Río Ésera



Periodo 1997 a 2007 (P,T)

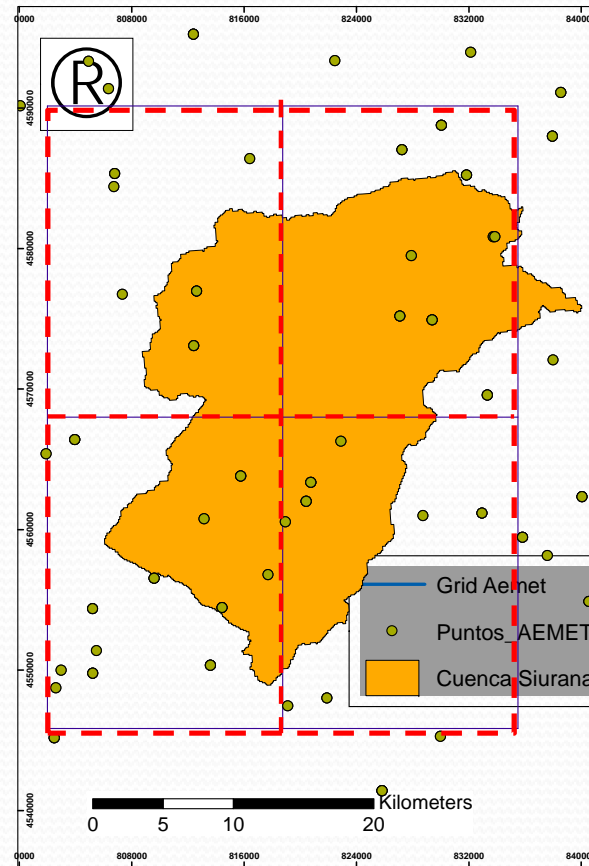
Zona Alta:

$P_{med} = 990 \text{ mm/año}$ ;  $T_{med} = 9.7^{\circ}\text{C}$

Zona Baja:

$P_{med} = 570 \text{ mm/año}$ ;  $T_{med} = 15.3^{\circ}\text{C}$

### Cuenca del Río Siurana



Periodo 2003 a 2007 (P,T)

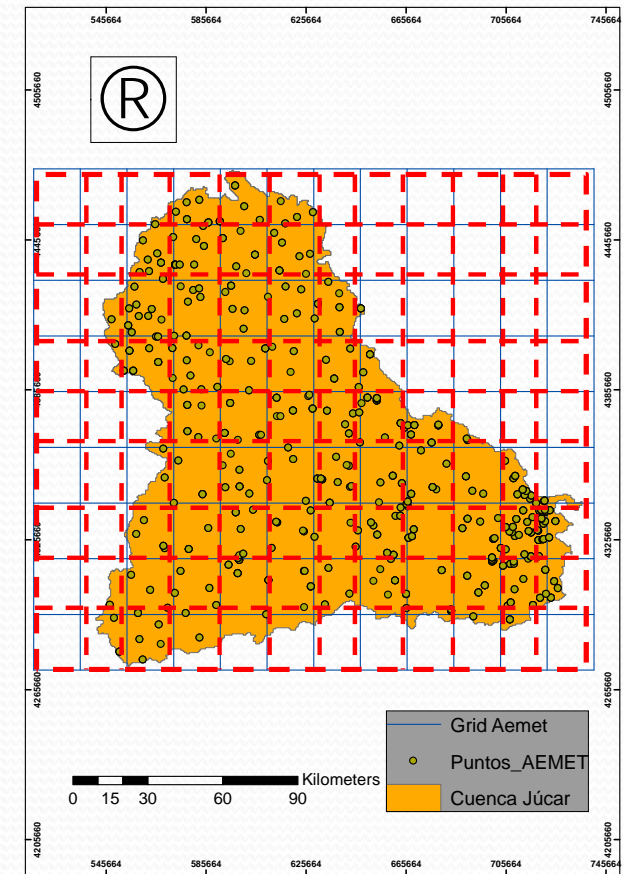
Zona Alta:

$P_{med} = 370 \text{ mm/año}$ ;  $T_{med} = 11.5^{\circ}\text{C}$

Zona Baja:

$P_{med} = 465 \text{ mm/año}$ ;  $T_{med} = 15^{\circ}\text{C}$

### Cuenca del Río Júcar



Periodo 1999 a 2008 (P,T)

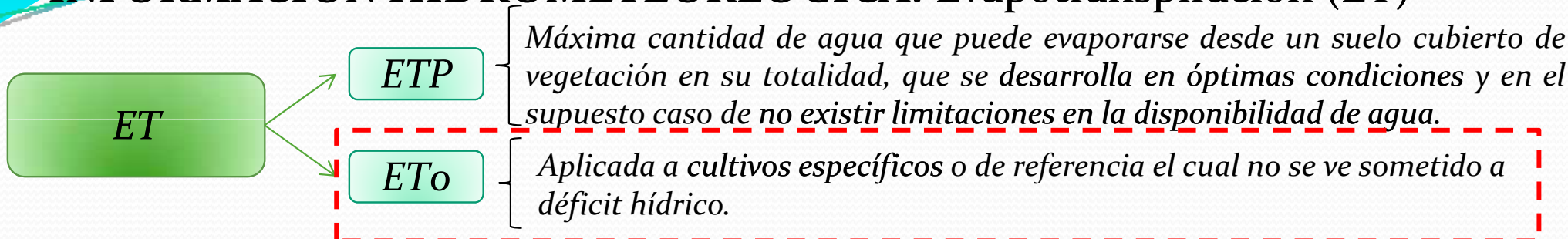
Zona Alta:

$P_{med} = 580 \text{ mm/año}$ ;  $T_{med} = 11.6^{\circ}\text{C}$

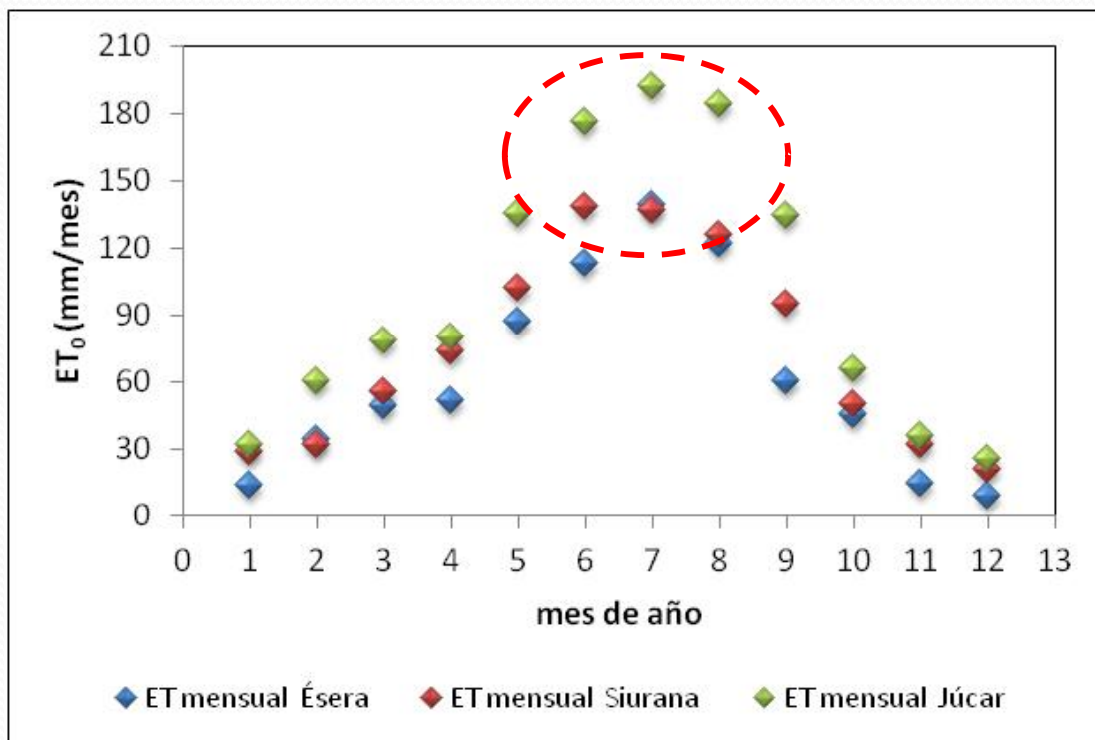
Zona Baja:

$P_{med} = 440 \text{ mm/año}$ ;  $T_{med} = 18^{\circ}\text{C}$

# INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA: Evapotranspiración (ET)



$$ET_0 = 0.0135 * KT * (T_{med} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} * R_a \quad \text{Ec. de Hargreaves}$$

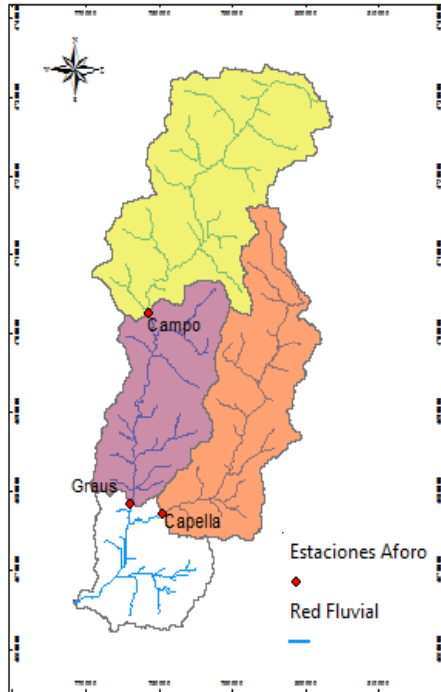


- C. Río Ésera**  
Zona Alta: **Carácter excedentario**  
 $ET_0 = 700 \text{ mm/año}$   
Zona Baja: **Carácter deficitario**  
 $ET_0 = 900 \text{ mm/año}$
- C. Río Siurana**  
Zona Alta: **Carácter deficitario**  
 $ET_0 = 840 \text{ mm/año}$   
Zona Baja:  $ET_0 = 900 \text{ mm/año}$
- C. Río Júcar**  
Zona Alta: **Carácter deficitario**  
 $ET_0 = 1200 \text{ mm/año}$   
Zona Baja:  $ET_0 = 1040 \text{ mm/año}$



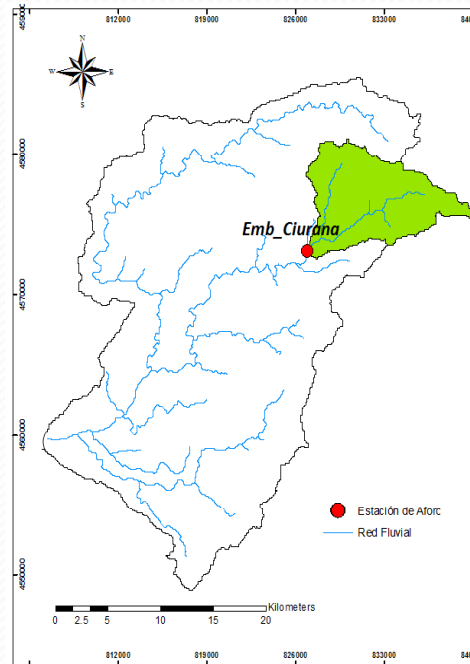
# INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA: Serie de caudales en EA.

Cuenca del Río Ésera  
SAIH-CHE: 1997-2007 (10 años)



Régimen fluvial: Bimodal

Cuenca del Río Siurana  
SAIH-ACA: 2003-2007 (4 años)

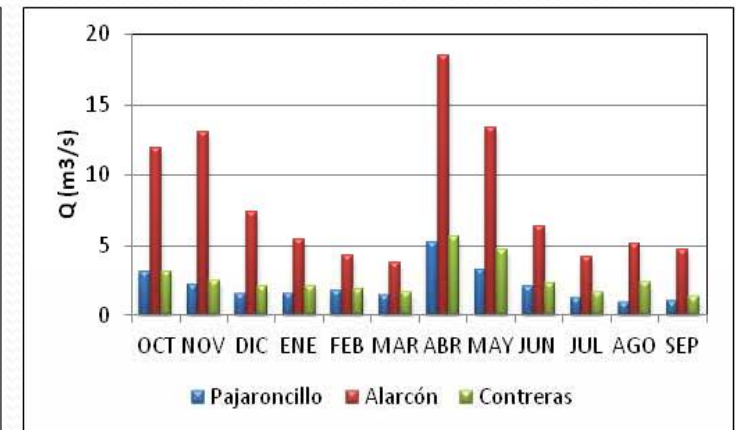
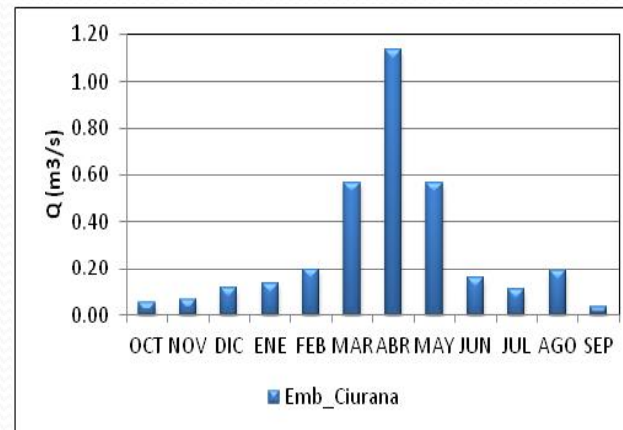
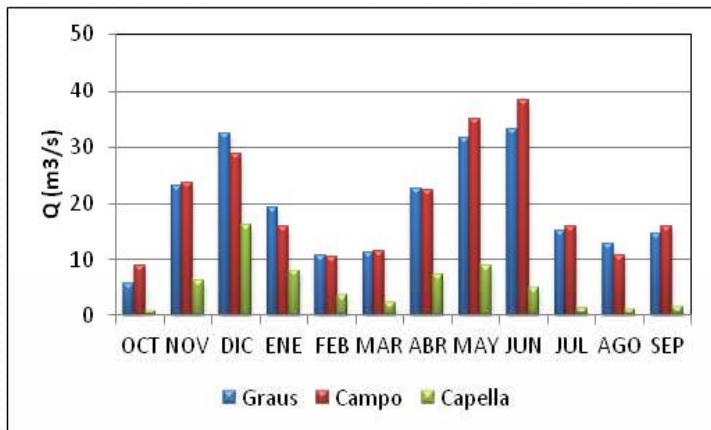


Régimen fluvial: pluvial

Cuenca del Río Júcar  
SAIH-CHJ: 1999-2008 (9 años)



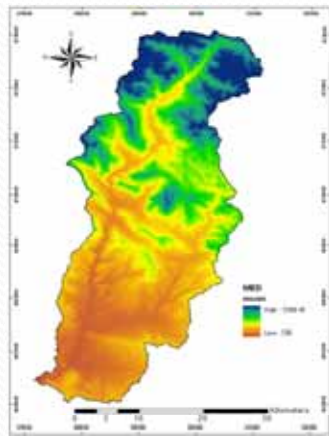
Régimen fluvial: Bimodal



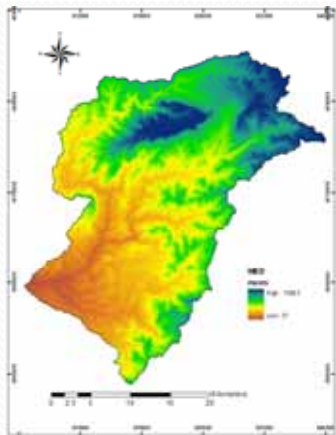
# Parámetros derivados del Modelo de Elevación Digital (MED)

Mapas	Formato Original y Escala	Parámetros estimados
Modelo de Elevación Digital	Digital, píxel de 25 x 25 m	Mapa de direcciones de flujo, Mapa de celdas acumuladas, Mapa de pendiente y Mapa de velocidad de flujo en la ladera.

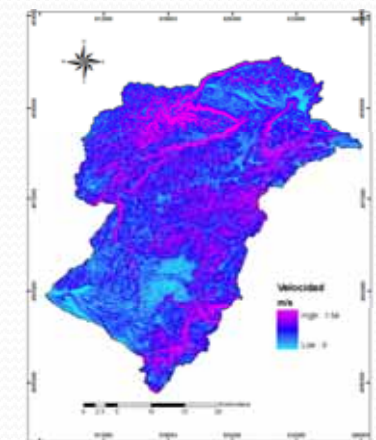
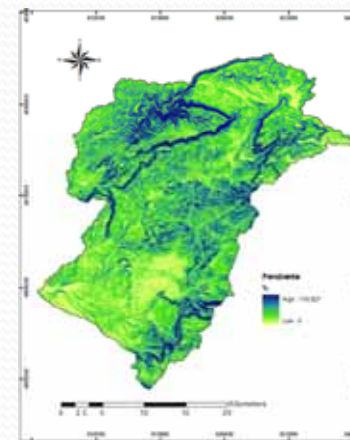
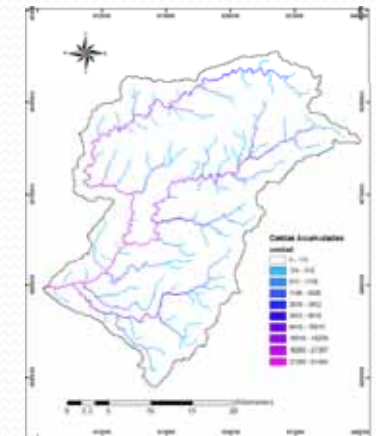
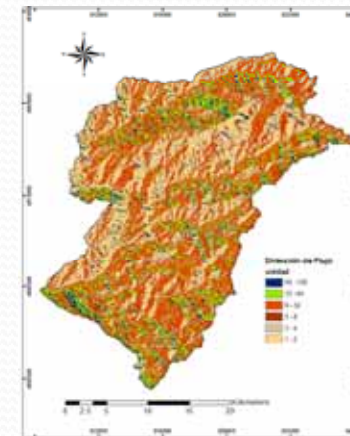
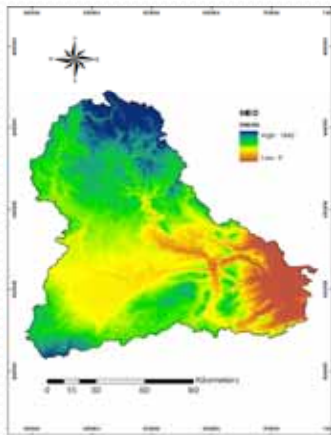
Tamaño Celda: 100 x 100 m



100 x 100 m



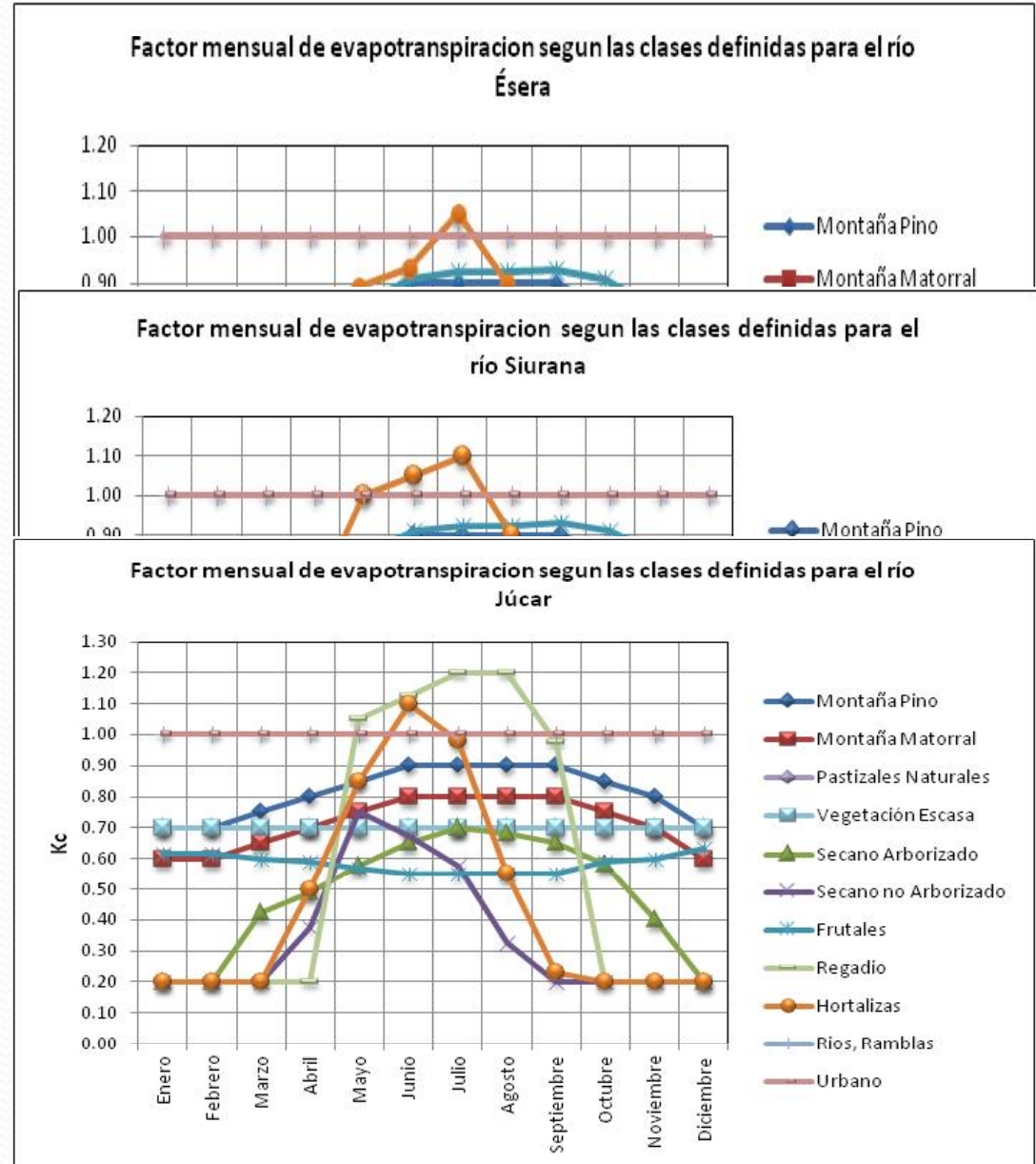
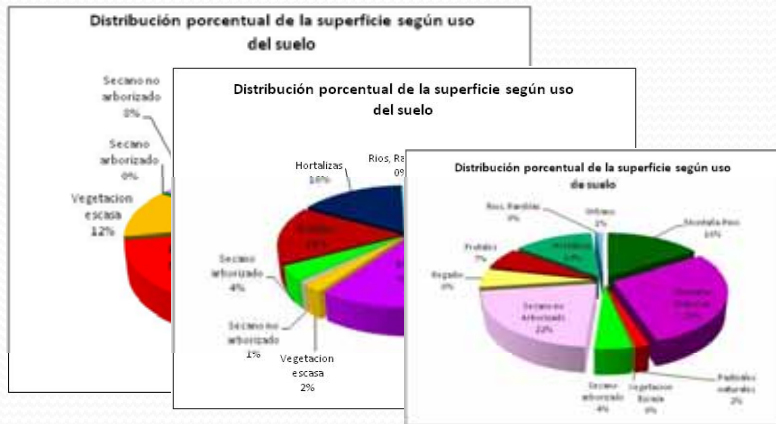
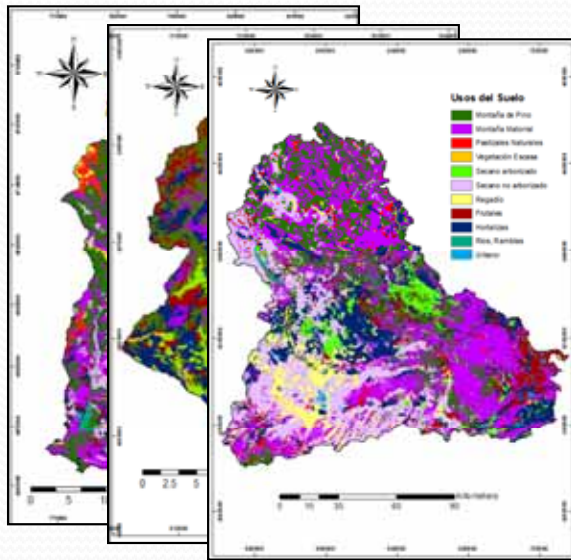
500 x 500 m



# Parámetros derivados del mapa de coberturas vegetales: Factor de Vegetación (Kc)

CORINE land cover 2006

Digital, 1:100.000



# Parámetros derivados del mapa de coberturas vegetales: Intercepción y Almacenamiento superficial

Intercepción.

Almac. Superficial

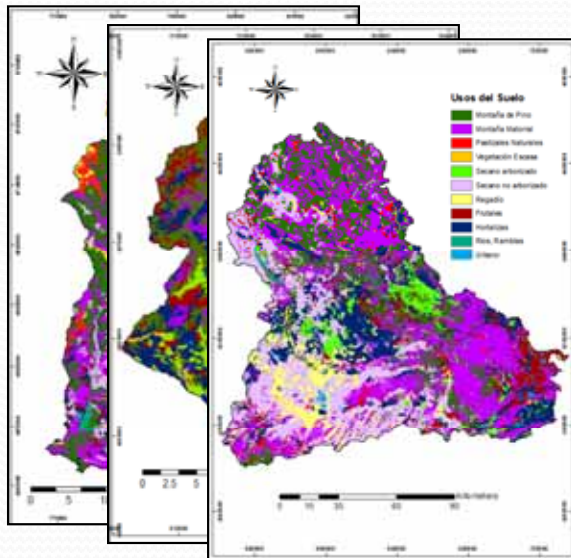
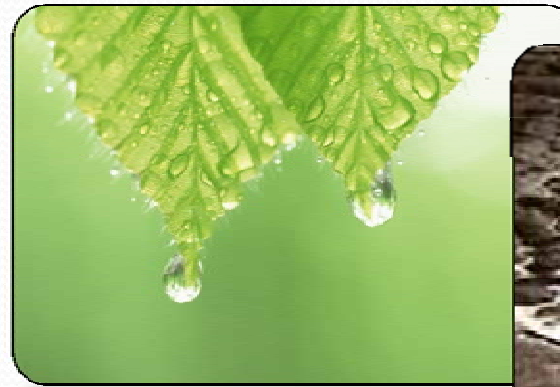


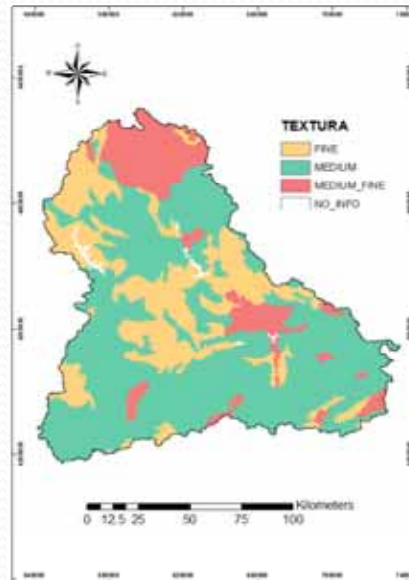
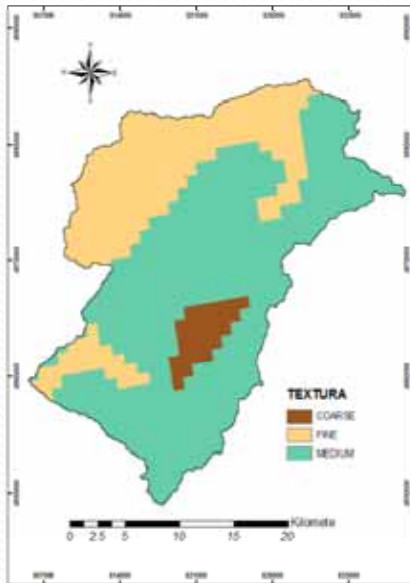
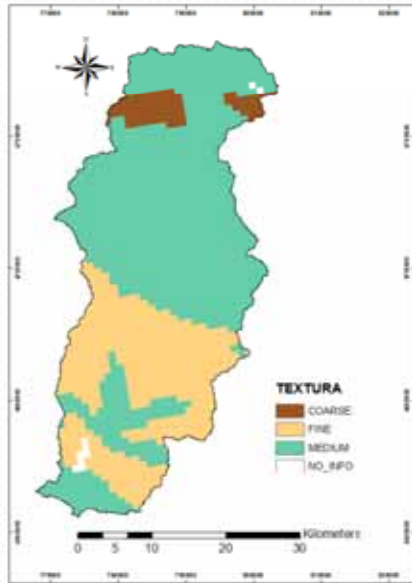
Tabla 6.18 Intercepción y almacenamiento superficial para diferentes coberturas.

Clasificación usos del suelo	Clasificación CLC 2006	Prof. Raíces (m)	Almac. Superf (mm)	Intercep. (mm)
MONTAÑA DE PINOS	Bosques de frondosas	1.00	4.00	9.00
	Bosques de coníferas	1.25	4.00	9.00
	Bosques mixtos	1.00	4.00	9.00
MONTAÑA MATORRAL	Paramos y landas	0.70	6.00	3.00
	Vegetación esclerófila	0.70	6.00	4.00
	Bosques de transición, arbustos	0.70	5.00	5.00
PASTIZALES NATURALES	Pastizales	0.60	6.00	3.00
	Praderas naturales	0.60	6.00	3.00
VEGETACION ESCASA	Playas, dunas, arenas	0.00	0.00	0.00
	Roca desnuda	0.02	0.00	0.00
	Áreas con escasa vegetación	0.02	3.00	0.00
	Zonas quemadas	0.00	0.00	0.00
SECANO ARBORIZADO	Viveros	0.80	6.00	1.00
	Olivos	1.45	6.00	1.00
SECANO NO ARBORIZADO	Tierras de cultivo de no regadío	0.00	0.00	0.00
	Cultivos anuales asociados con permanentes	0.00	0.00	0.00
REGADIO	Tierras regadas permanentemente	0.00	0.00	0.00
	Campos de arroz	0.00	0.00	0.00



# Parámetros Hidráulicos: Conductividad hidráulica del suelo (Ks)

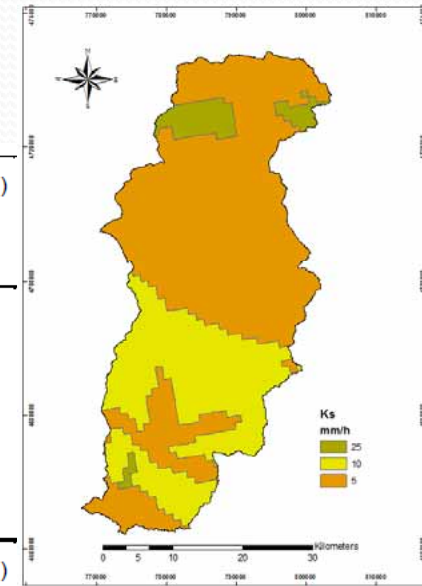
ESDB



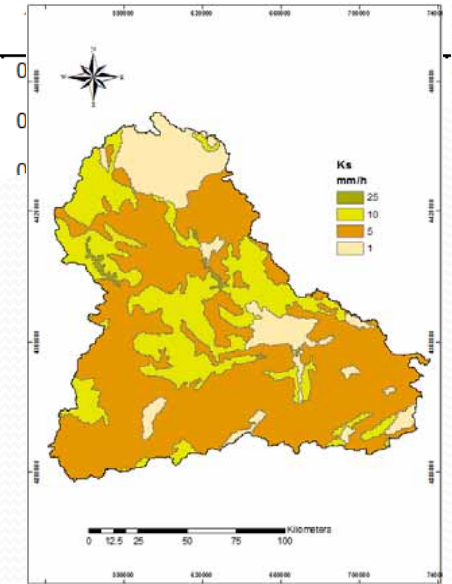
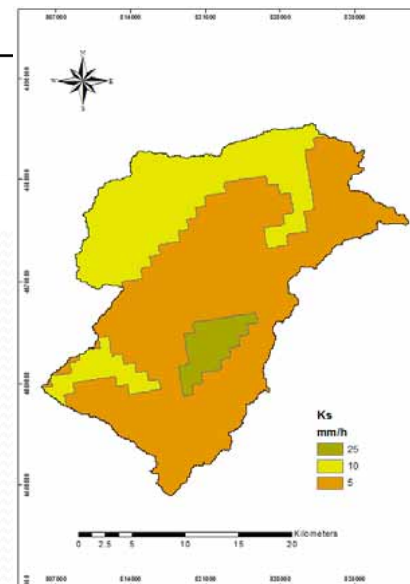
Funciones de pedo-transferencia continuas (Modelo de Mualem-van Genuchten)



TOPSOILS	Texture class	h (cm)
Coarse	Coarse	h
	Medium	pF
	Medium-fine	K
	Fine	K
Very fine	Very fine	K
	Texture class	h (cm)
SUBSOILS	Texture class	h (cm)

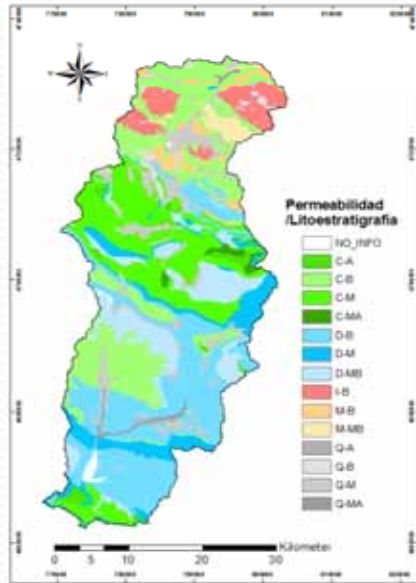


	250	500	1000
	2.4	2.7	3
	2.8E-3	3.2E-4	3.5E-5
	4.8E-3	1.3E-3	3.5E-4
	1.1E-2	2.7E-3	5.9E-4
	2.3E-3	5.9E-4	1.5E-4
	1.1E-3	2.1E-4	3.9E-5
	250	500	1000

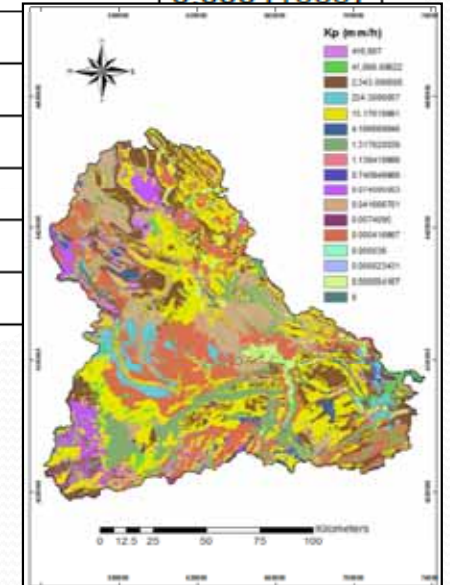
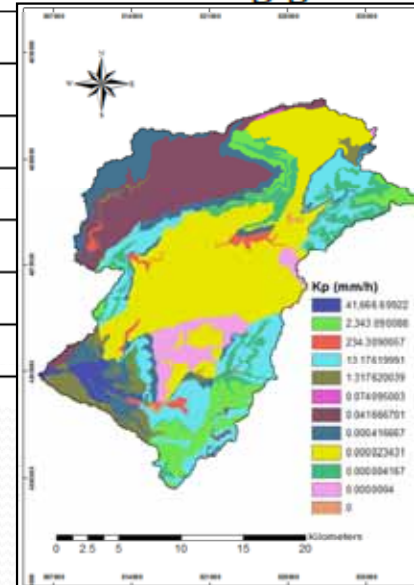
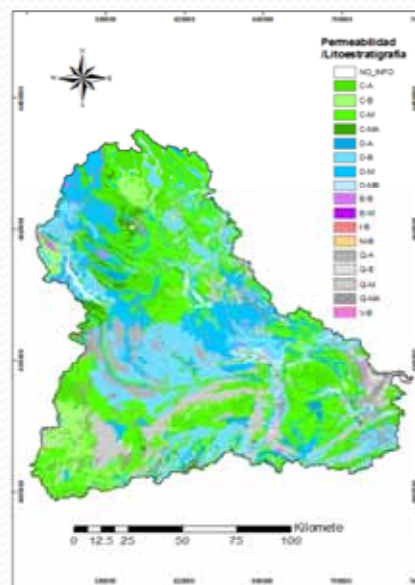
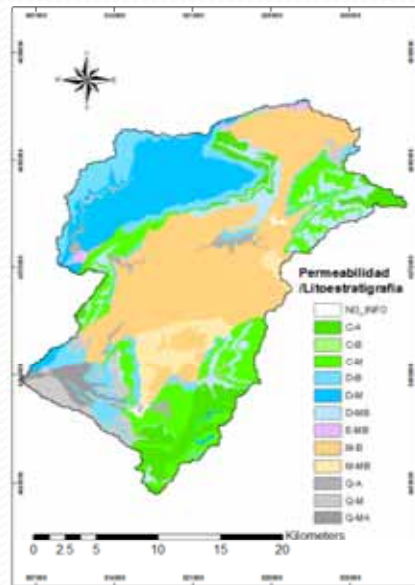
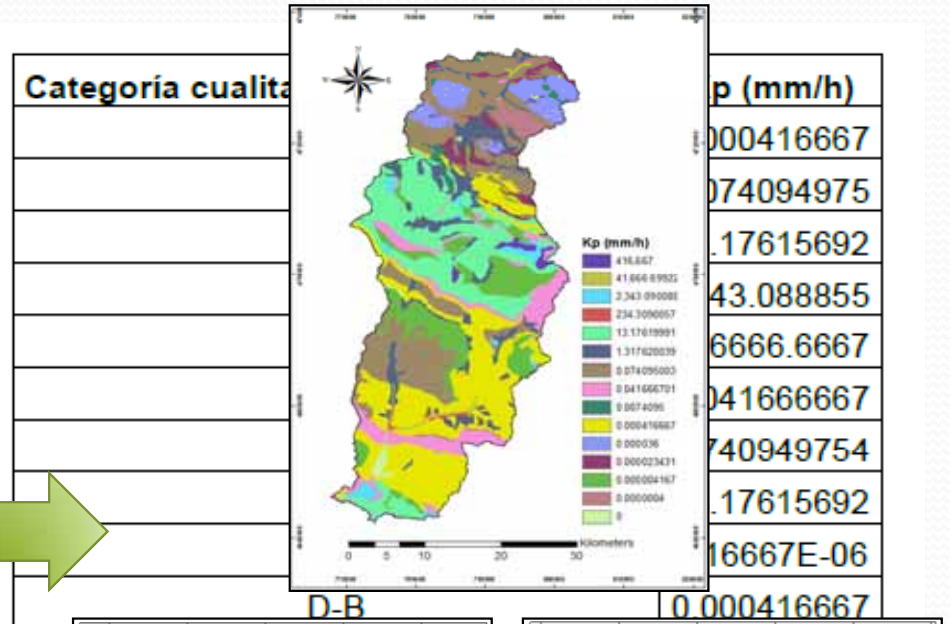


# Parámetros Hidráulicos: Conductividad hidráulica del acuífero (Kp)

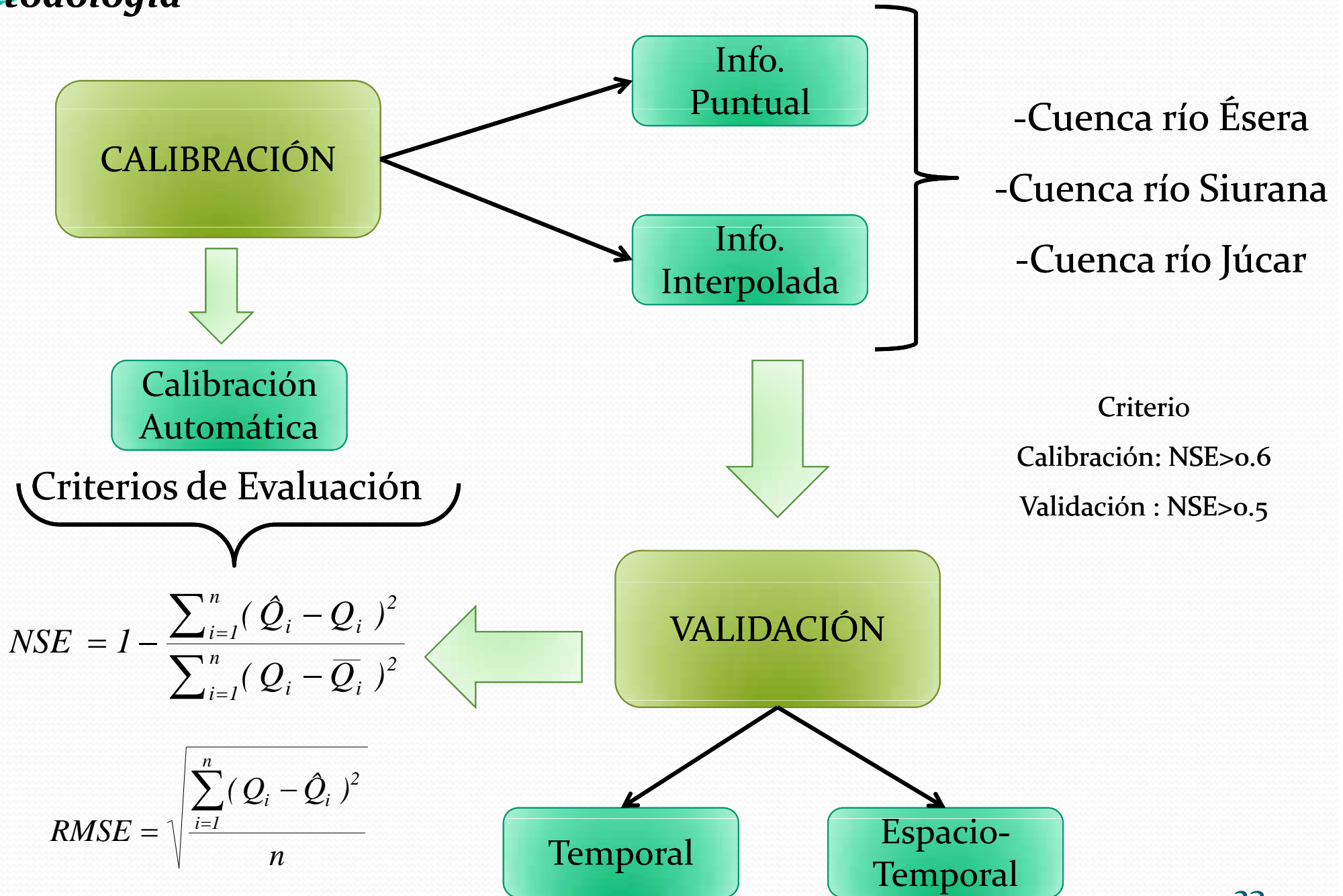
IGME



Mapa de



# Metodología

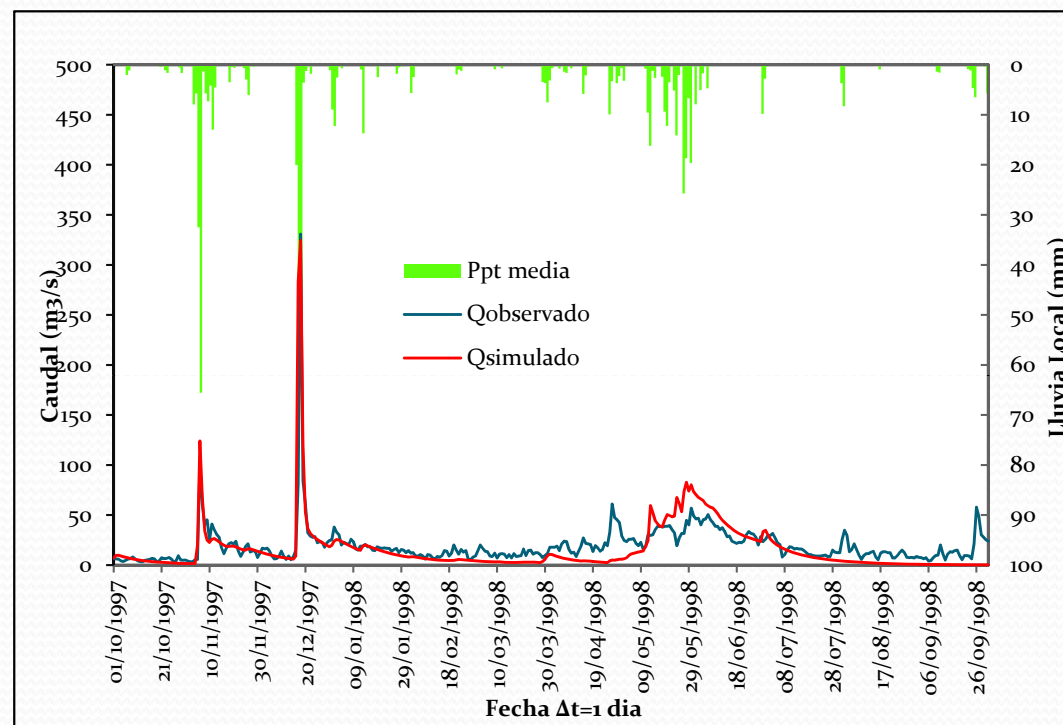




# Cuenca río Ésera. Calibración en Graus\_013. Oct de 1997 a Sep de 1998

Factores Correctores	Calibración automática
FC <sub>1</sub> Almacenamiento estático	2.47126
FC <sub>2</sub> Evaporación	0.80015
FC <sub>3</sub> Infiltración	0.27543
FC <sub>4</sub> Escorrentía directa	1.00000
FC <sub>5</sub> Percolación	0.00020
FC <sub>6</sub> Interflujo	45.83107
FC <sub>7</sub> Pérdidas	0.10500
FC <sub>8</sub> Flujo base	15.50930
FC <sub>9</sub> Velocidad del flujo	0.25856

## CALIBRACIÓN. INFO. PUNTUAL



Variables Fusión de Nieve	
Coef de fusión de nieve (mm/°C día)	0.75306
Coef de fusión de nieve por lluvia (mm/°C día)	2.88967
Temp base fusión de nieve (°C)	-1.46443

## Serie de Precipitación SAIH CHE

Criterio de evaluación	R. Ésera Evento 1997/98
Indice de eficiencia NSE	0.4056
RMSE (m³/s)	16.252

## Cuenca río Ésera. Calibración en Graus\_013. Oct de 1997 a Sep de 1998

Agua interceptada por la vegetación:	
Entrada por Lluvia [Hm <sup>3</sup> ]:	588.541
Flujo de salida E directa [Hm <sup>3</sup> ]:	97.846
Agua capilar en el suelo:	
Entrada por "throughfall" [Hm <sup>3</sup> ]:	489.723
Flujo de salida Es+T [Hm <sup>3</sup> ]:	276.173
Agua en superficie:	
Excedente de Ppt [Hm <sup>3</sup> ]:	498.723
Escorrentía directa [Hm <sup>3</sup> ]:	86.683
Almacenamiento gravitacional:	
Cantidad de Infiltración [Hm <sup>3</sup> ]:	412.022
Flujo Subsuperficial [Hm <sup>3</sup> ]:	420.325
Nivel del acuífero:	
Entrada por Percolación [Hm <sup>3</sup> ]:	4.724
Flujo Base [Hm <sup>3</sup> ]:	2.250
Perdidas subterráneas [Hm <sup>3</sup> ]:	4.724
Caudal de salida de la cuenca [Hm <sup>3</sup> ]:	509.336

### CALIBRACIÓN. INFO. PUNTUAL

#### BALANCE HÍDRICO:

Aportación al Caudal total:

-Escorrentía directa (17%)

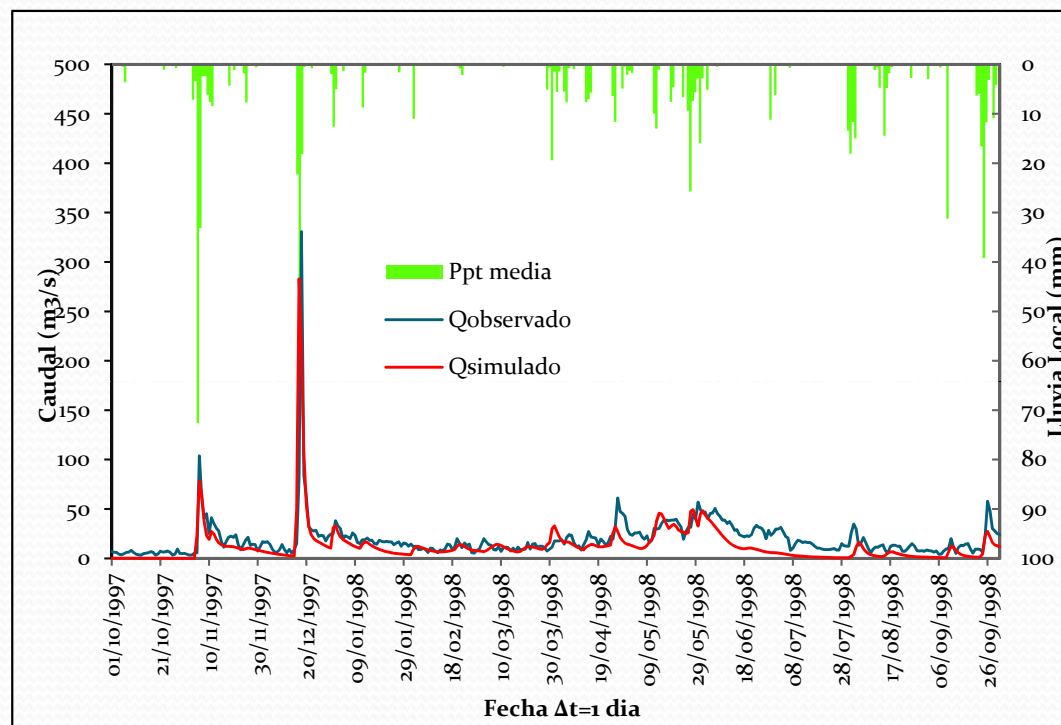
-Flujo Subsuperficial (82.5%)

-Flujo base (0.5%)

# Cuenca río Ésera. Calibración en Graus\_013. Oct de 1997 a Sep de 1998

Factores Correctores	Calibración automática
FC <sub>1</sub> Almacenamiento estático	1.72820
FC <sub>2</sub> Evaporación	0.80015
FC <sub>3</sub> Infiltración	0.18580
FC <sub>4</sub> Escorrentía directa	1.00000
FC <sub>5</sub> Percolación	0.00020
FC <sub>6</sub> Interflujo	34.50860
FC <sub>7</sub> Pérdidas	0.10500
FC <sub>8</sub> Flujo base	15.50930
FC <sub>9</sub> Velocidad del flujo	0.04070

## CALIBRACIÓN. INFO. INTERPOLADA



## Variables Fusión de Nieve

Coef de fusión de nieve (mm/°C día)	2.66950
Coef de fusión de nieve por lluvia (mm/°C día)	4.05810
Temp base fusión de nieve (°C)	1.61720

## Serie de Precipitación GRID AEMET

Criterio de evaluación	R. Ésera
	Evento 1997/98
Índice de eficiencia NSE	0.6074
RMSE (m³/s)	13.209

## Cuenca río Ésera. Calibración en Graus\_013. Oct de 1997 a Sep de 1998

Agua interceptada por la vegetación:	
Entrada por Lluvia [Hm <sup>3</sup> ]:	693.734
Flujo de salida E directa [Hm <sup>3</sup> ]:	114.575
Agua capilar en el suelo:	
Entrada por "throughfall" [Hm <sup>3</sup> ]:	577.021
Flujo de salida Es+T [Hm <sup>3</sup> ]:	248.510
Agua en superficie:	
Excedente de Ppt [Hm <sup>3</sup> ]:	484.971
Escorrentía directa [Hm <sup>3</sup> ]:	78.558
Almacenamiento gravitacional:	
Cantidad de Infiltración [Hm <sup>3</sup> ]:	406.390
Flujo Subsuperficial [Hm <sup>3</sup> ]:	379.946
Nivel del acuífero:	
Entrada por Percolación [Hm <sup>3</sup> ]:	5.077
Flujo Base [Hm <sup>3</sup> ]:	2.250
Perdidas subterráneas [Hm <sup>3</sup> ]:	5.077
Caudal de salida de la cuenca [Hm <sup>3</sup> ]:	436.167

CALIBRACIÓN. INFO. INTERPOLADA

BALANCE HÍDRICO:

Aportación al Caudal total:

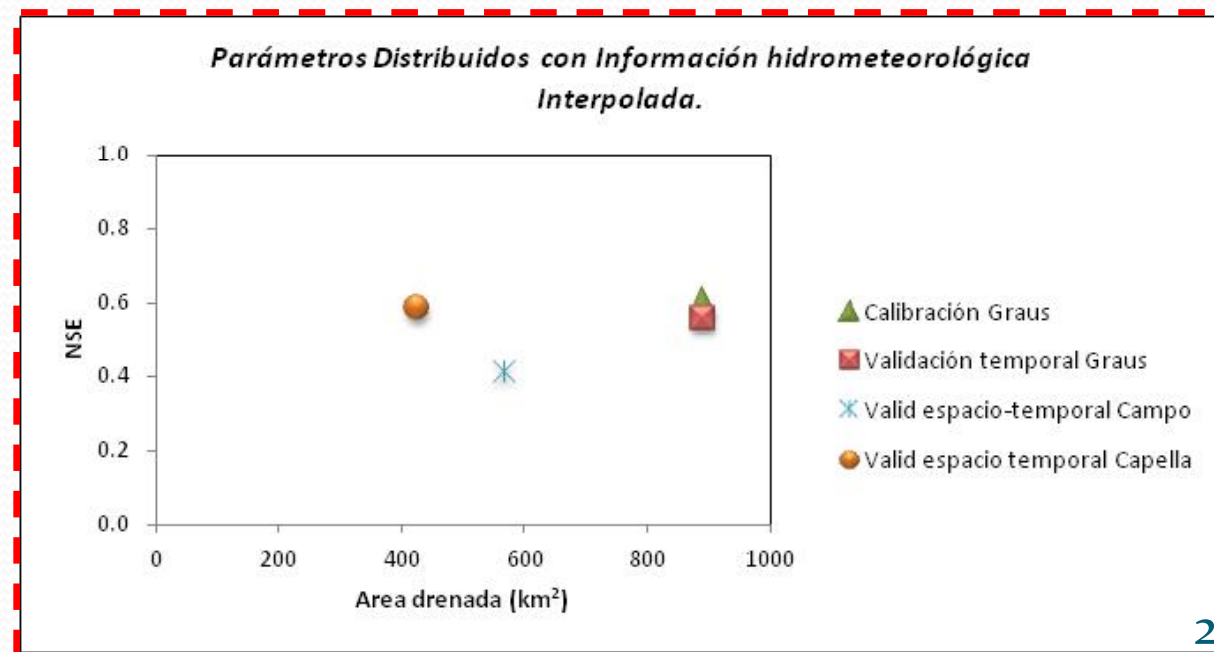
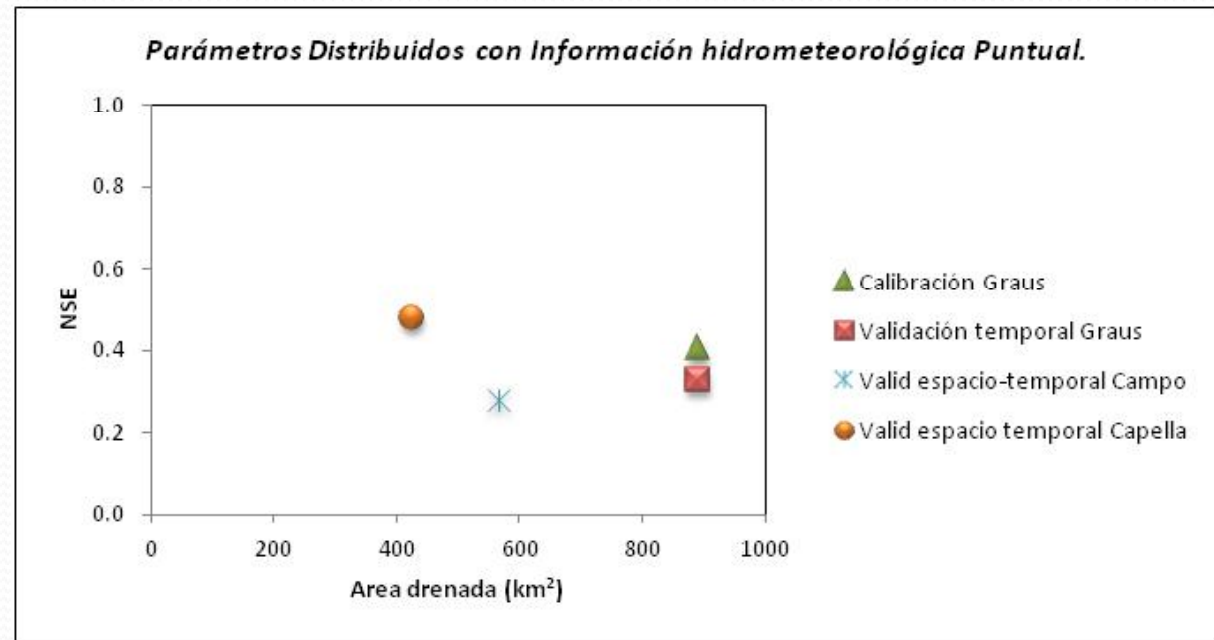
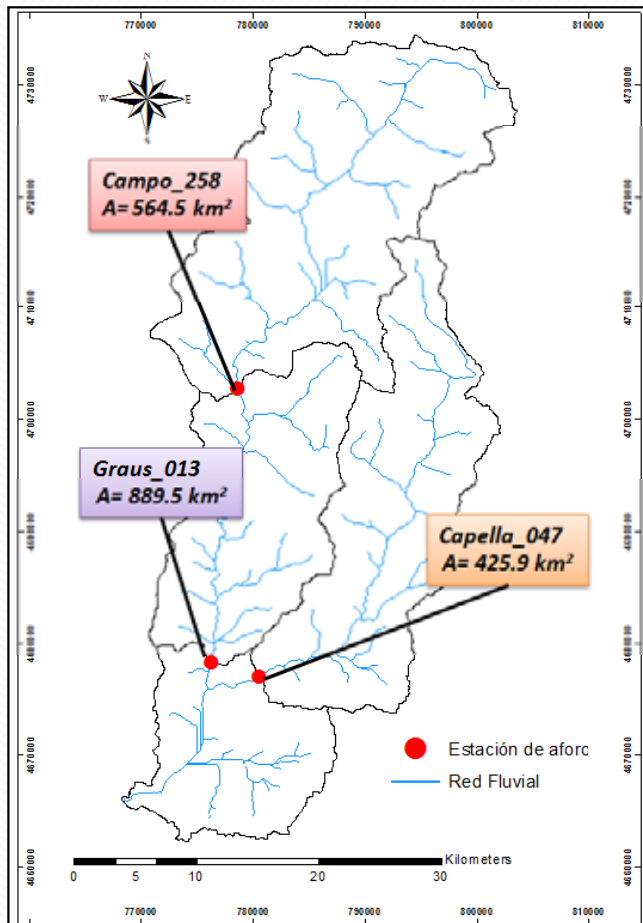
-Escorrentía directa (17%)

-Flujo Subsuperficial (82.5%)

-Flujo base (0.5%)

# Cuenca río Ésera. Validación temporal y espacio-temporal.

Oct de 1997 a Sep de 2007



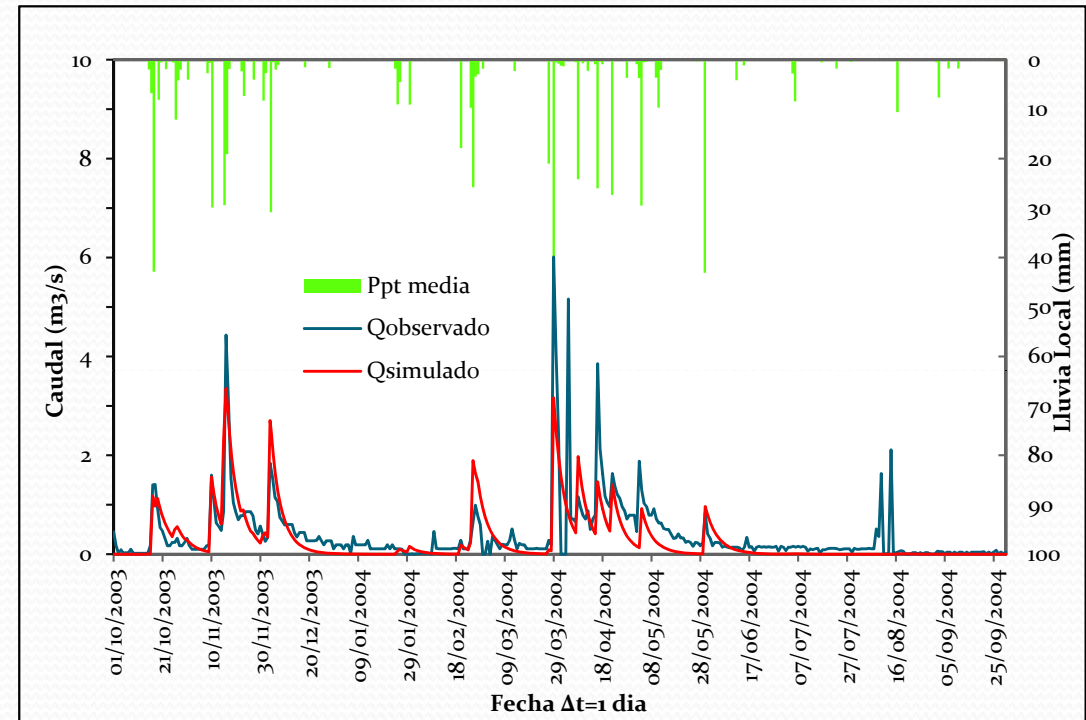
# Cuenca río Siurana. Calibración en Emb. Siurana \_9868

Oct de 2003 a Sep de 2004

Factores Correctores	Calibración automática
FC <sub>1</sub> Almacenamiento estático	0.29409
FC <sub>2</sub> Evaporación	1.74460
FC <sub>3</sub> Infiltración	12.85109
FC <sub>4</sub> Escorrentía directa	11.18369
FC <sub>5</sub> Percolación	6.31780
FC <sub>6</sub> Interflujo	164.66239
FC <sub>7</sub> Pérdidas	15.58010
FC <sub>8</sub> Flujo base	32.31740
FC <sub>9</sub> Velocidad del flujo	19.03180

Serie de Precipitación  
SAIH ACA

## CALIBRACIÓN. INFO. PUNTUAL



Criterio de evaluación	R. Siurana Evento 2003/04
Índice de eficiencia NSE	0.5326
RMSE (m <sup>3</sup> /s)	0.457

**Cuenca río Siurana. Calibración en Emb. Siurana \_9868. Oct de 2003 a Sep de 2004**

Agua interceptada por la vegetación:	
Entrada por Lluvia [Hm <sup>3</sup> ]:	37.438
Flujo de salida E directa [Hm <sup>3</sup> ]:	12.288
Agua capilar en el suelo:	
Entrada por "throughfall" [Hm <sup>3</sup> ]:	25.150
Flujo de salida Es+T [Hm <sup>3</sup> ]:	9.225
Agua en superficie:	
Excedente de Ppt [Hm <sup>3</sup> ]:	15.901
Escorrentía directa [Hm <sup>3</sup> ]:	1.503
Almacenamiento gravitacional:	
Cantidad de Infiltración [Hm <sup>3</sup> ]:	15.901
Flujo Subsuperficial [Hm <sup>3</sup> ]:	9.246
Nivel del acuífero:	
Entrada por Percolación [Hm <sup>3</sup> ]:	6.650
Flujo Base [Hm <sup>3</sup> ]:	0.00
Perdidas subterráneas [Hm <sup>3</sup> ]:	6.645
Caudal de salida de la cuenca [Hm <sup>3</sup> ]:	10.749

**CALIBRACIÓN. INFO. PUNTUAL**

**BALANCE HÍDRICO:**

Aportación al Caudal total:

-Escorrentía directa (14%)

-Flujo Subsuperficial (86%)

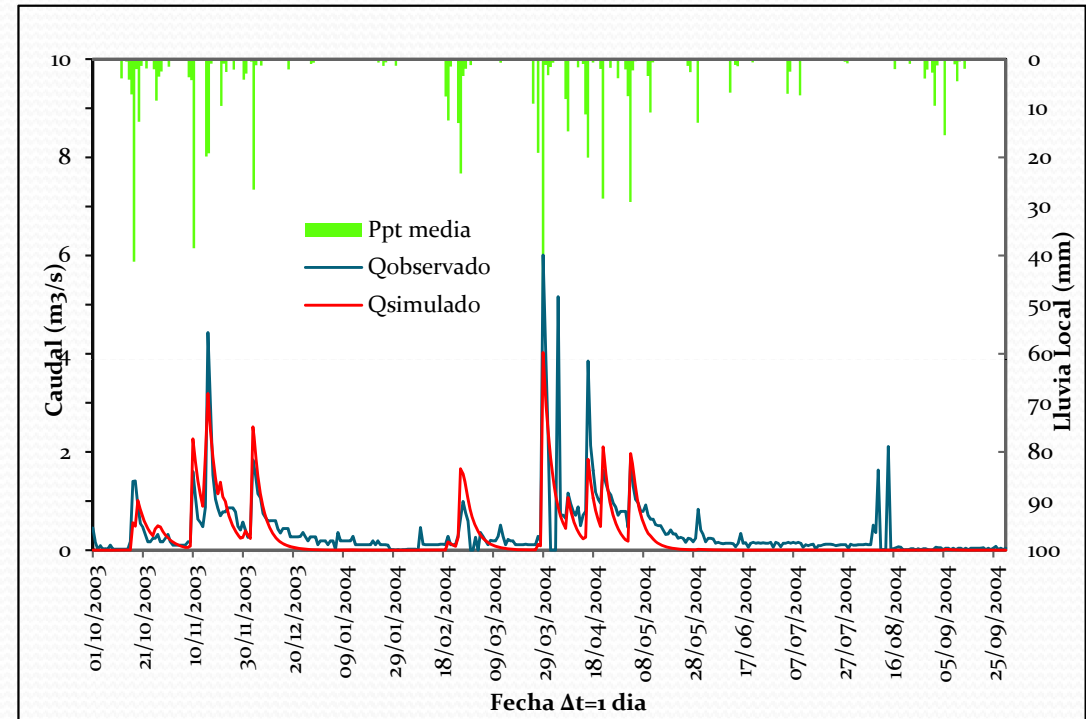
-Flujo base (0.0%)

# Cuenca río Siurana. Calibración en Emb. Siurana \_9868

Oct de 2003 a Sep de 2004

CALIBRACIÓN. INFO. INTERPOLADA

Factores Correctores	Calibración automática
FC <sub>1</sub> Almacenamiento estático	0.54280
FC <sub>2</sub> Evaporación	1.08820
FC <sub>3</sub> Infiltración	11.97230
FC <sub>4</sub> Escorrentía directa	10.57500
FC <sub>5</sub> Percolación	5.61220
FC <sub>6</sub> Interflujo	194.81010
FC <sub>7</sub> Pérdidas	15.05790
FC <sub>8</sub> Flujo base	41.65570
FC <sub>9</sub> Velocidad del flujo	21.94580



Serie de Precipitación  
**GRID AEMET**

Criterio de evaluación	R. Siurana Evento 2003/04
Índice de eficiencia NSE	0.6224
RMSE (m <sup>3</sup> /s)	0.424



**Cuenca río Siurana. Calibración en Emb. Siurana \_9868. Oct de 2003 a Sep de 2004**

Agua interceptada por la vegetación:	
Entrada por Lluvia [Hm <sup>3</sup> ]:	38.906
Flujo de salida E directa [Hm <sup>3</sup> ]:	13.579
Agua capilar en el suelo:	
Entrada por "throughfall" [Hm <sup>3</sup> ]:	25.326
Flujo de salida Es+T [Hm <sup>3</sup> ]:	9.650
Agua en superficie:	
Excedente de Ppt [Hm <sup>3</sup> ]:	15.507
Escorrentía directa [Hm <sup>3</sup> ]:	2.503
Almacenamiento gravitacional:	
Cantidad de Infiltración [Hm <sup>3</sup> ]:	15.901
Flujo Subsuperficial [Hm <sup>3</sup> ]:	8.820
Nivel del acuífero:	
Entrada por Percolación [Hm <sup>3</sup> ]:	6.682
Flujo Base [Hm <sup>3</sup> ]:	0.00
Perdidas subterráneas [Hm <sup>3</sup> ]:	6.677
Caudal de salida de la cuenca [Hm <sup>3</sup> ]:	11.323

**CALIBRACIÓN. INFO. INTERPOLADA**

**BALANCE HÍDRICO:**

Aportación al Caudal total:

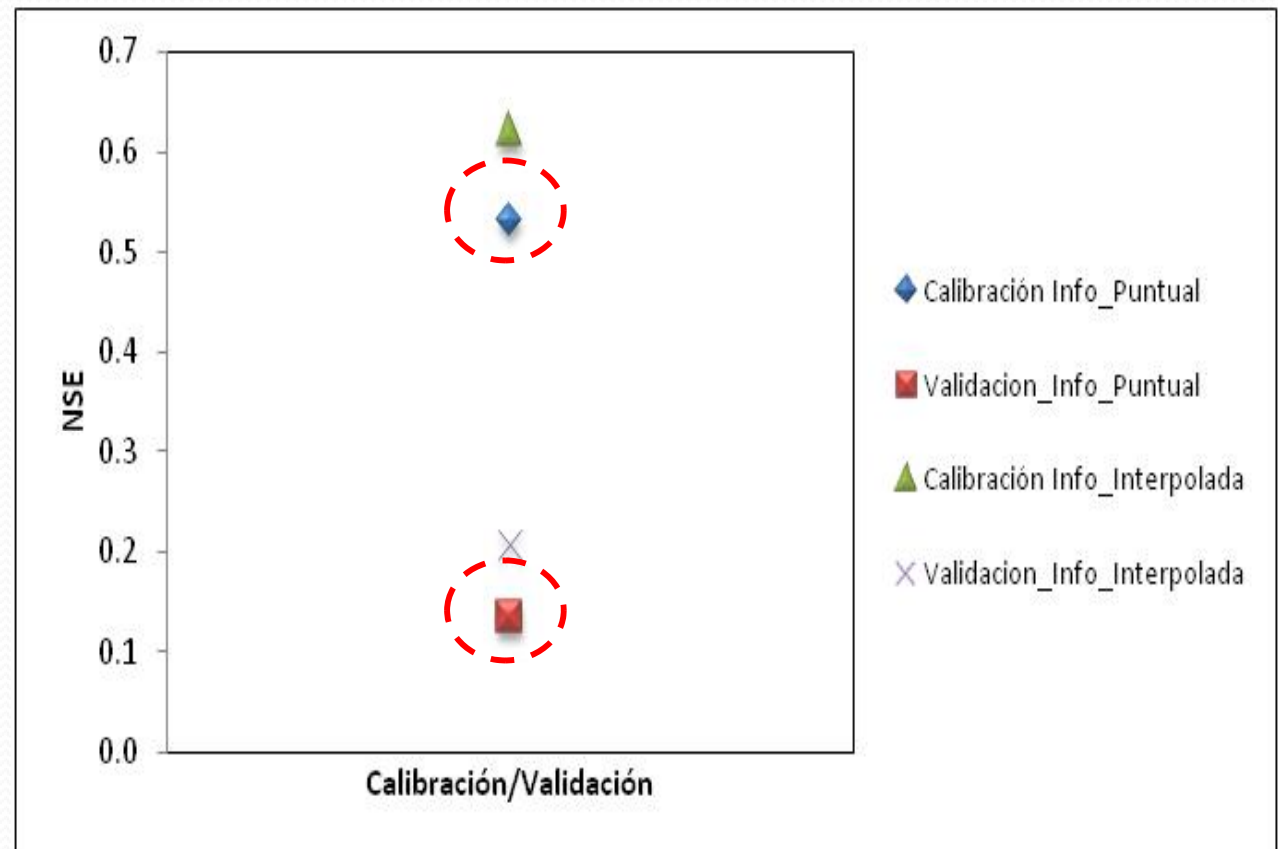
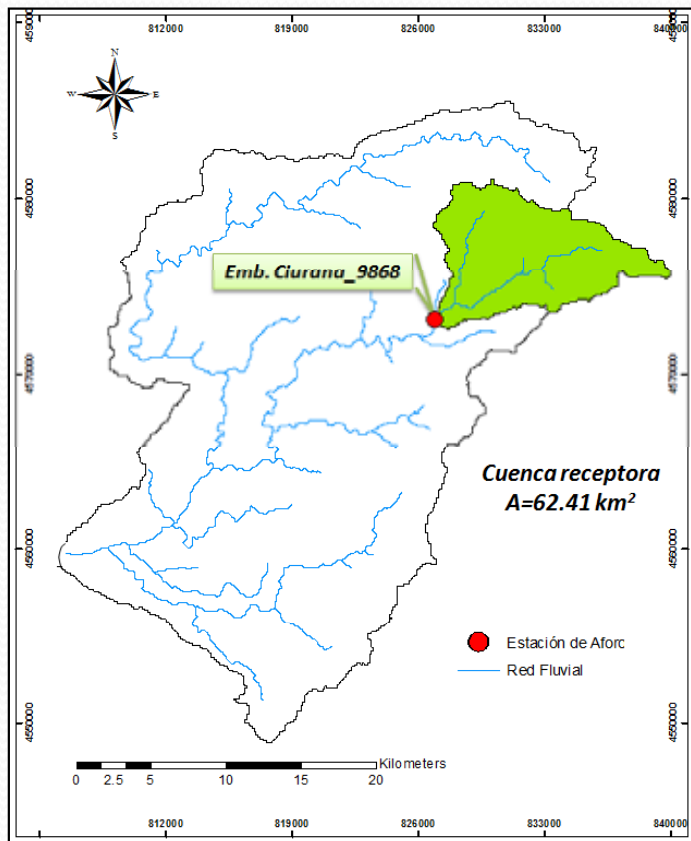
-Escorrentía directa (22%)

-Flujo Subsuperficial (78%)

-Flujo base (0.0%)

# Cuenca río Siurana. Validación temporal.

Oct de 2003 a Sep de 2007

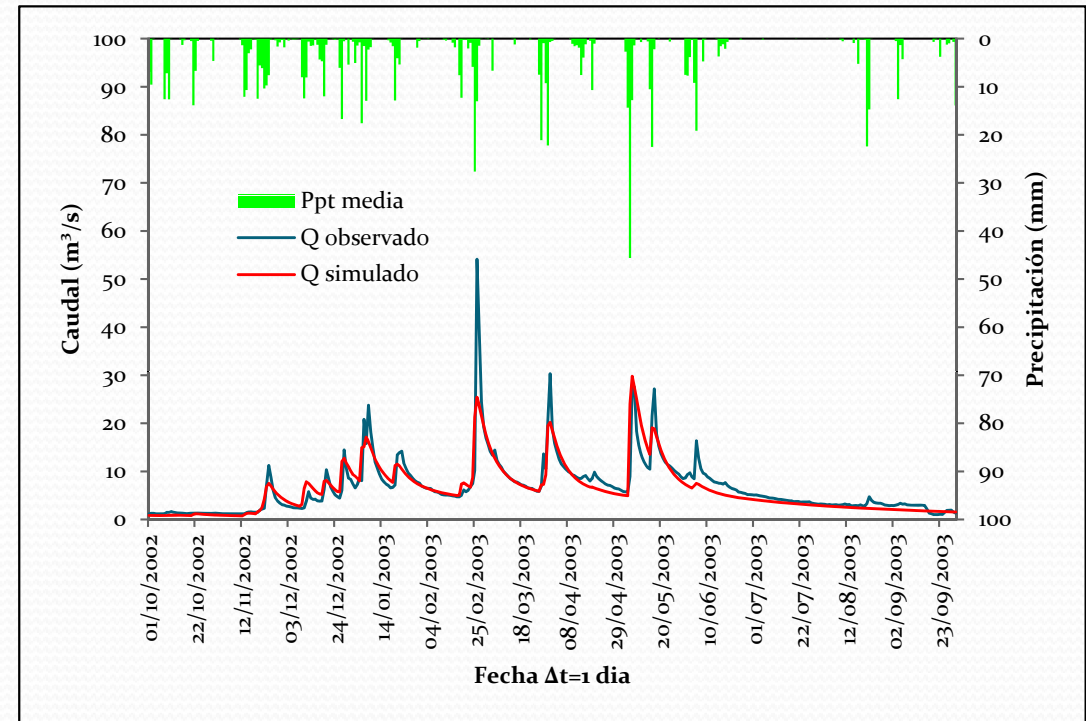


# Cuenca río Júcar. Calibración en Pajaroncillo\_8090

Oct de 2002 a Sep de 2003

Factores Correctores	Valores
FC <sub>1</sub> Almacenamiento estático	1.5797
FC <sub>2</sub> Evaporación	0.6343
FC <sub>3</sub> Infiltración	0.3228
FC <sub>4</sub> Escorrentía directa	0.003
FC <sub>5</sub> Percolación	0.1913
FC <sub>6</sub> Interflujo	58.7452
FC <sub>7</sub> Pérdidas	0.0074
FC <sub>8</sub> Flujo base	17.9703
FC <sub>9</sub> Velocidad del flujo	0.9812

## CALIBRACIÓN. INFO. PUNTUAL



Serie de Precipitación  
SAIH CHJ+AEMET

Criterio de evaluación	R. Júcar Evento 2002/03
Índice de eficiencia NSE	0.786
RMSE (m <sup>3</sup> /s)	2.681

**Cuenca río Júcar. Calibración en Pajaroncillo\_8090. Oct de 2002 a Sep de 2003**

Agua interceptada por la vegetación:	
Entrada por Lluvia [Hm <sup>3</sup> ]:	652.601
Flujo de salida E directa [Hm <sup>3</sup> ]:	150.956
Agua capilar en el suelo:	
Entrada por "throughfall" [Hm <sup>3</sup> ]:	498.718
Flujo de salida Es+T [Hm <sup>3</sup> ]:	251.636
Agua en superficie:	
Excedente de Ppt [Hm <sup>3</sup> ]:	260.887
Escorrentía directa [Hm <sup>3</sup> ]:	65.844
Almacenamiento gravitacional:	
Cantidad de Infiltración [Hm <sup>3</sup> ]:	185.718
Flujo Subsuperficial [Hm <sup>3</sup> ]:	56.110
Nivel del acuífero:	
Entrada por Percolación [Hm <sup>3</sup> ]:	122.873
Flujo Base [Hm <sup>3</sup> ]:	75.167
Perdidas subterráneas [Hm <sup>3</sup> ]:	53.354
Caudal de salida de la cuenca [Hm <sup>3</sup> ]:	197.099

**CALIBRACIÓN. INFO. PUNTUAL**

**BALANCE HÍDRICO:**

**Aportación al Caudal total:**

-Escorrentía directa (33%)

-Flujo Subsuperficial (28%)

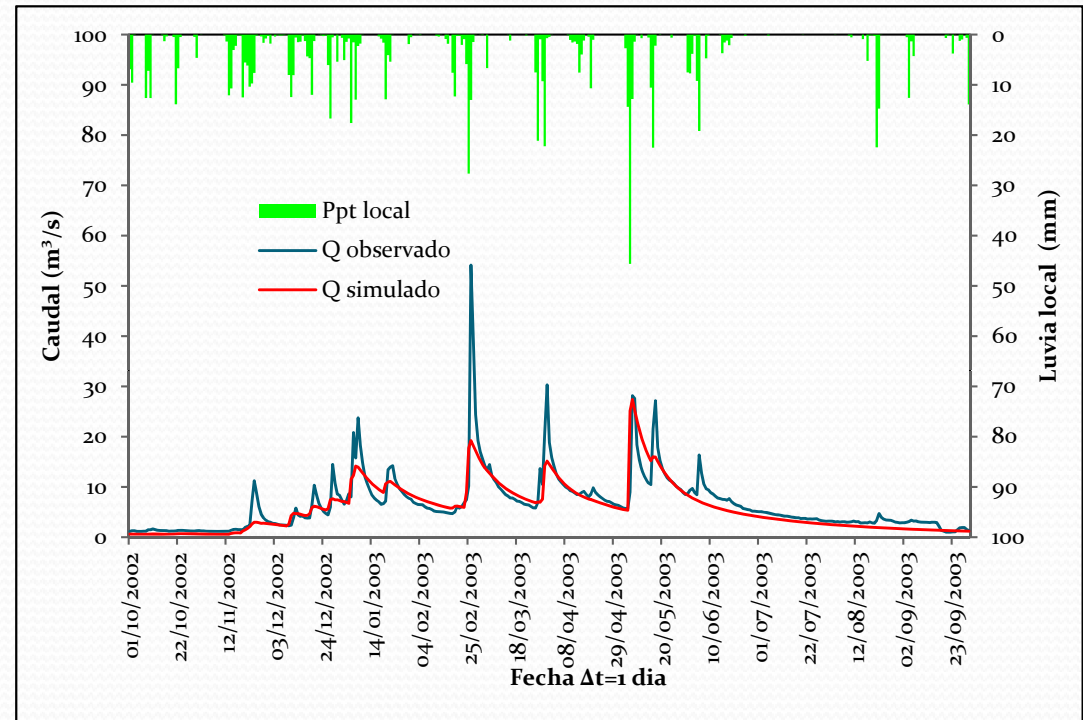
-Flujo base (38%)

# Cuenca río Júcar. Calibración en Pajaroncillo\_8090

Oct de 2002 a Sep de 2003

Factores Correctores	Valores
FC <sub>1</sub> Almacenamiento estático	1.37510
FC <sub>2</sub> Evaporación	0.68710
FC <sub>3</sub> Infiltración	0.43000
FC <sub>4</sub> Escorrentía directa	0.00210
FC <sub>5</sub> Percolación	0.26730
FC <sub>6</sub> Interflujo	85.03140
FC <sub>7</sub> Pérdidas	0.00710
FC <sub>8</sub> Flujo base	25.00160
FC <sub>9</sub> Velocidad del flujo	0.98290

## CALIBRACIÓN. INFO. INTERPOLADA



Serie de Precipitación  
**GRID AEMET**

Criterio de evaluación	R. Júcar Evento 2002/03
Índice de eficiencia NSE	0.695
RMSE ( $m^3/s$ )	3.201

**Cuenca río Júcar. Calibración en Pajaroncillo\_8090. Oct de 2002 a Sep de 2003**

Agua interceptada por la vegetación:	
Entrada por Lluvia [Hm <sup>3</sup> ]:	615.217
Flujo de salida E directa [Hm <sup>3</sup> ]:	141.877
Agua capilar en el suelo:	
Entrada por "throughfall" [Hm <sup>3</sup> ]:	469.954
Flujo de salida Es+T [Hm <sup>3</sup> ]:	223.533
Agua en superficie:	
Excedente de Ppt [Hm <sup>3</sup> ]:	252.741
Escorrentía directa [Hm <sup>3</sup> ]:	46.166
Almacenamiento gravitacional:	
Cantidad de Infiltración [Hm <sup>3</sup> ]:	206.568
Flujo Subsuperficial [Hm <sup>3</sup> ]:	60.173
Nivel del acuífero:	
Entrada por Percolación [Hm <sup>3</sup> ]:	140.888
Flujo Base [Hm <sup>3</sup> ]:	78.841
Perdidas subterráneas [Hm <sup>3</sup> ]:	59.531
Caudal de salida de la cuenca [Hm <sup>3</sup> ]:	185.158

**CALIBRACIÓN. INFO. INTERPOLADA**

**BALANCE HÍDRICO:**

Aportación al Caudal total:

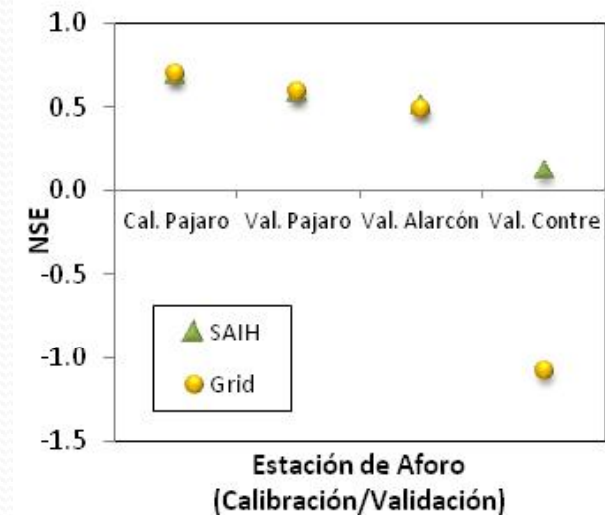
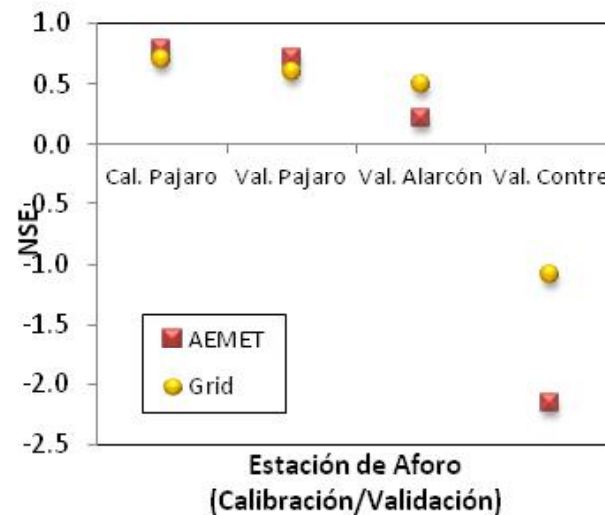
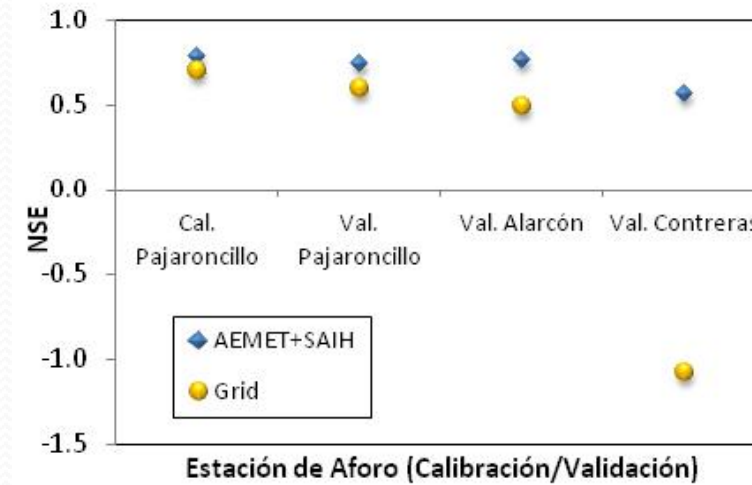
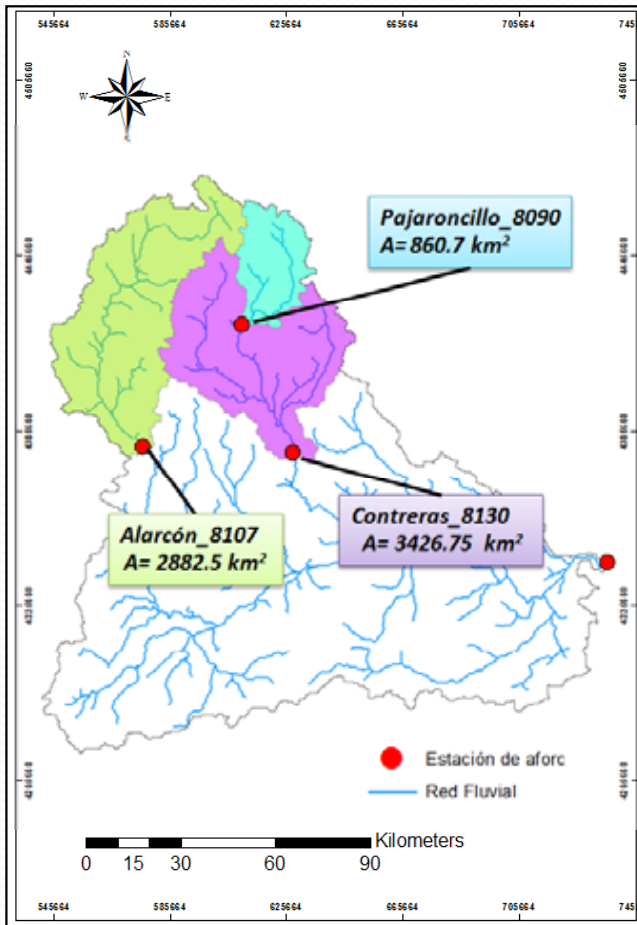
-Escorrentía directa (25%)

-Flujo Subsuperficial (32%)

-Flujo base (43%)

# Cuenca río Júcar. Validación temporal y espacio-temporal.

Oct de 2003 a Sep de 2008



## **Conclusiones**

- El modelo presenta en la mayoría de los casos tendencia a subestimar los caudales picos.
- Los resultados óptimos se esperan de los modelos donde se tenga mayor densidad de información lo cual ayuda a distribuir mejor la entrada de precipitación.
- La mayor aportación a la escorrentía total, está dada por el flujo subsuperficial, seguido por la escorrentía directa y luego por el flujo base, esto para el caso de las cuencas Ésera y Siurana. Para la cuenca del río Júcar, la mayor aportación a la escorrentía total está dada en primer lugar por el flujo base, seguido el flujo subsuperficial y finalmente aporte de la escorrentía directa.
- En términos generales los resultados indican que los conjuntos de datos interpolados y mapas globales pueden ser utilizados para predicciones hidrológicas en las regiones donde existen datos dispersos.
- Finalmente es importante tener en cuenta la presencia de datos faltantes en las series de caudales diarios y de lluvia puntual, siendo un factor influyente en los resultados obtenidos por el modelo TETIS.



## **Aportes del trabajo**

- *Aplicación del modelo TETIS a 3 cuencas españolas con distintos climas y distintas resoluciones espaciales;*
- *Utilización de la precipitación y temperatura interpolada Spain02, nunca probadas hasta ahora en aplicaciones hidrológicas;*
- *Desarrollo de una metodología estándar y reproducible para la estimación de parámetros distribuidos a partir de información de suelos y vegetación disponibles en toda Europa;*
- *Demonstración de la posibilidad de la implementación de un modelo hidrológico distribuido a escala nacional partiendo de información homogénea sobre todo el territorio español.*
- *Mejora de una metodología sencilla y basada en bibliografía para la estimación del factor de vegetación para el cálculo de la evapotranspiración;*
- *Implementación de modelos hidrológicos para estudios futuros sobre cambio climático, cambio de uso del suelo, etc;*

## ***Líneas Futuras de Investigación***

- Dentro del proyecto SCARCE se prevé el estudio de procesos específicos como: dinámica de transporte de sedimentos , interacción río- acuífero, etc; y el análisis del efecto del cambio climático sobre estos procesos, para la planificación del recurso a largo plazo.
- Estudios sobre calidad de las fuentes de información: estudios para distinguir entre las fuentes específicas de los errores en las bases de datos requeridas en los modelos y las posibilidades de mejoras.
- Estudio correspondiente a mapas globales de suelo: estimación de mapas globales con mayor variabilidad espacial.

An aerial photograph of a vast, rolling landscape of green hills and valleys. A river winds through a valley in the lower-left quadrant. The hills are covered in dense green vegetation, and the sky is filled with soft, white clouds. The overall scene is peaceful and scenic.

*Gracias por la atención*