

**TRABAJO DE FIN DE MÁSTER:**  
**ESTUDIO DEL ASEGURAMIENTO DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO MIJARES**  
**EN EL TRAMO DE MONTANEJOS (CASTELLÓN), POR COMBINACIÓN DE LAS**  
**DESCARGAS DE SUS MANANTIALES TERMALES Y SUELTAS DEL EMBALSE DE**  
**CIRAT**



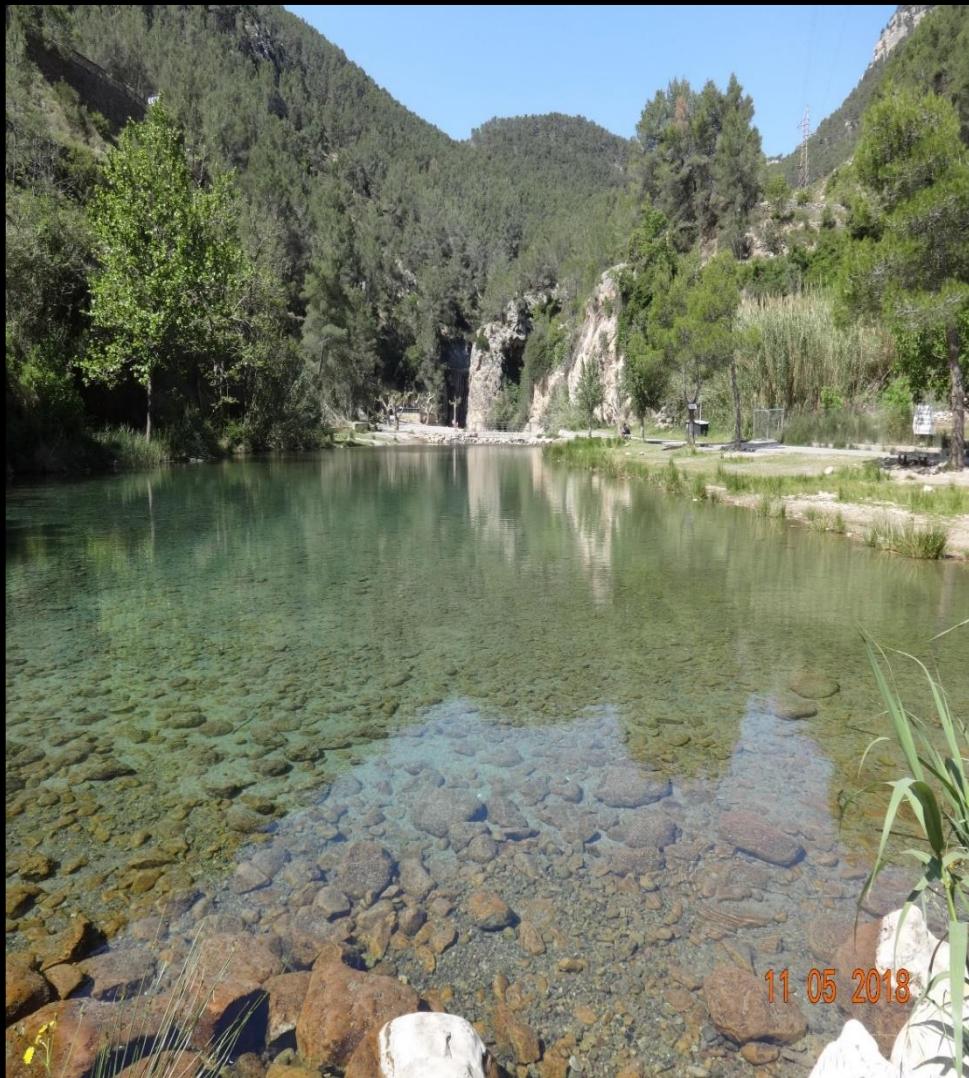
**Autor: David J. Alarcón Ataucusi**

**Director: Dr. Félix Francés García**

**Valencia, julio 2018**

# Índice

- Introducción
- Objetivos
- Área de estudio
- Información hidrometeorológica
- Metodología
- Modelación hidrológica TETIS+MU
- Modelación térmica SSTEMP
- Conclusiones



## Índice

## 1. Introducción

## 2. Objetivos

## 3. Área de estudio

4. Información  
hidrometeorológica

## 5. Metodología

6. Modelación  
hidrológica  
TETIS+MU7. Modelación  
térmica SSTEMP

## 8. Conclusiones

La localidad de Montanejos, se caracteriza por tener fuentes importantes de manantiales termales en el tramo comprendido entre el embalse Cirat y el Puente Hierro.

Declarada según **Real Orden del 13 de octubre del año 1863**, como zona protegida por sus propiedades minero medicinales.

Sin embargo, en el **Plan Hidrológico del Júcar (PHJ)**, se establece un caudal ecológico según Real Decreto 1/2016 de 0.4m<sup>3</sup>/s para el tramo de estudio.

El caudal ecológico controlado desde el embalse Cirat genera impactos negativos en la temperatura de sus fuentes de baño del municipio de Montanejos.



## Índice

1. Introducción

## 2. Objetivos

3. Área de estudio

4. Información  
hidrometeorológica

5. Metodología

6. Modelación  
hidrológica  
TETIS+MU

7. Modelación  
térmica SSTEMP

8. Conclusiones

### Objetivo general

- Determinar la **descarga del Manantial termal Montanejos**, mediante una modelación continua para luego evaluar el aseguramiento del caudal ecológico del río Mijares en el tramo Montanejos y minimizar el impacto térmico en las zonas de baño de este municipio.

### Objetivos específicos

- **Implementación del modelo TETIS** teniendo los **fenómenos kársticos**
- **Calibrar el parámetro del modelo unicelular (MU)** para determinar la descarga del manantial termal.
- **Implementar el modelo térmico** que sea capaz de reproducir la variación a nivel **espacial y temporal** de la dinámica de la temperatura del río Mijares en el tramo Montanejos para **diferentes escenarios**.

## Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Área de estudio

4. Información  
hidrometeorológica

5. Metodología

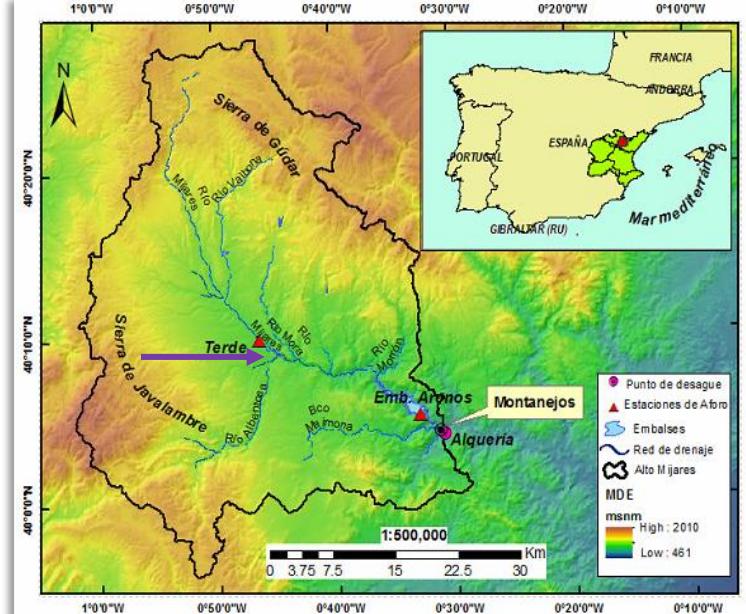
6. Modelación  
hidrológica  
TETIS+MU

7. Modelación  
térmica SSTEMP

8. Conclusiones

## Cuenca del Alto Mijares

- Clima mediterráneo
- Superficie de la cuenca: 1,682 km<sup>2</sup>
- Precipitación: 437mm/año
- ETO: 867 mm/año
- Altitud: 461 a 2,010 msnm
- Fenómenos kársticos->Manantiales de Babor, Escaleruela y Mar de Royo



## Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Área de estudio

4. Información  
hidrometeorológica

5. Metodología

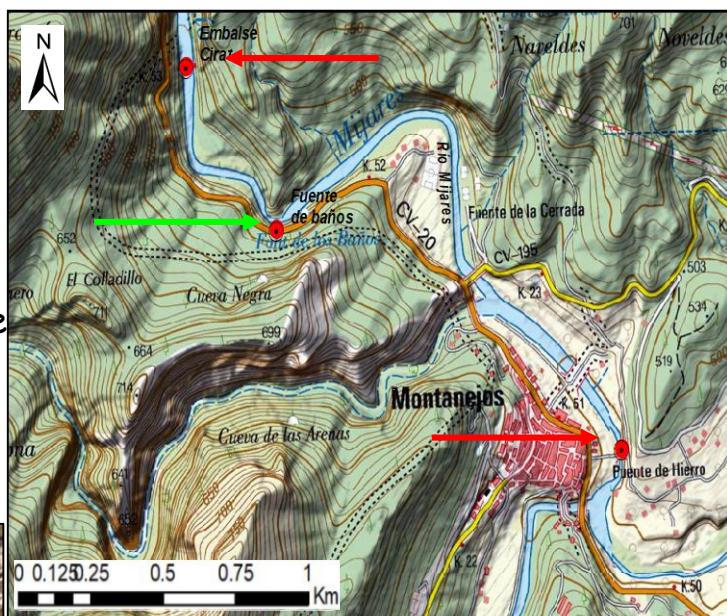
6. Modelación  
hidrológica  
TETIS+MU

7. Modelación  
térmica SSTEMP

8. Conclusiones

## Tramo Montanejos

- Longitud: 2.50 km
- Tramo comprendido entre embalse de Cirat y el puente de Hierro.
- Descarga del manantial termal en este tramo
- Potencial turístico de la zona



## Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Área de estudio

4. Información  
hidrometeorológica

5. Metodología

6. Modelación  
hidrológica  
TETIS+MU

7. Modelación  
térmica SSTEMP

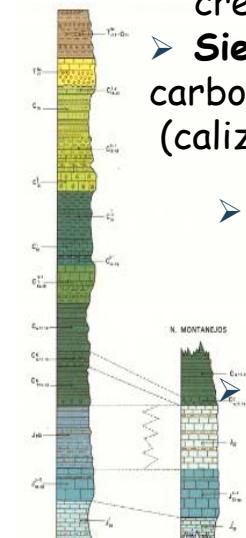
8. Conclusiones

Pina-Barracas ➤ **Sierra de Gúdar:** Conformado por materiales carbonatados de origen cretácico inferior (calizas, margas y arcillas)

➤ **Sierra de Javalambre:** Principalmente por material carbonatado de origen jurásico (calizas, margas, arcillas y yesos).

➤ **La zona de Depresión Sarrión:** Sedimentos detríticos con carácter mas grueso (conglomerados y arcillas)

**Sur de Javalambre (Manzanera y Maimona):** Triásico keuper que favorece el afloramiento de manantiales .



Montanejos

SO.

El Rodano

CORTE I-I

Río Maimona

NE.

N.

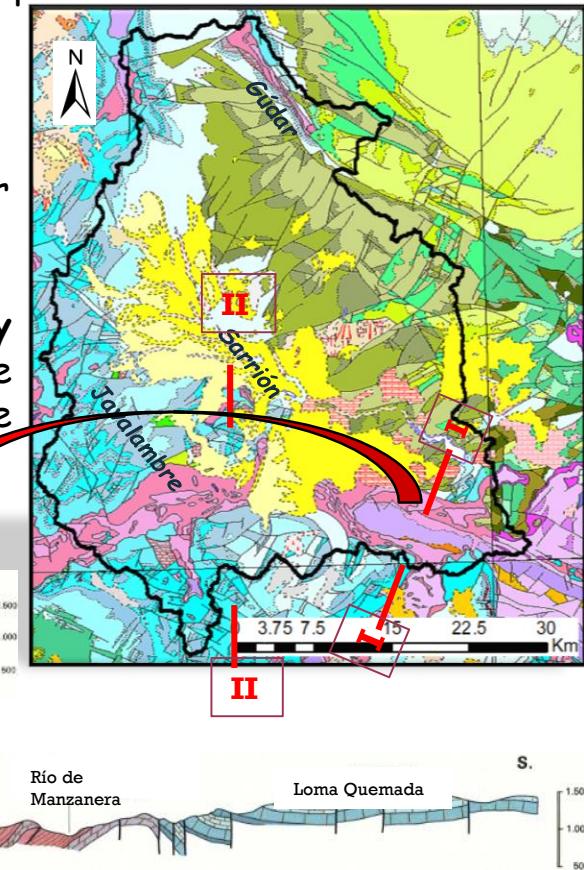
Sarrión

CORTE I-I'

Río de  
Manzanera

Loma Quemada

S.



## Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Área de estudio

**4. Información hidrometeorológica**

5. Metodología

6. Modelación hidrológica  
TETIS+MU

7. Modelación térmica SSTEMP

8. Conclusiones

### ➤ Precipitación y temperatura Spain02(V2)

- ❖ Rejilla de  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$  (~20km)
- ❖ 9 estaciones interpoladas
- ❖ Escala temporal: diaria (1991-2008)

### ➤ Evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>)

- ❖ Ecuación de Hargreaves

$$ET_0 = 0.0023 (T_{med} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a$$

### ➤ Estaciones de aforo: CEDEX

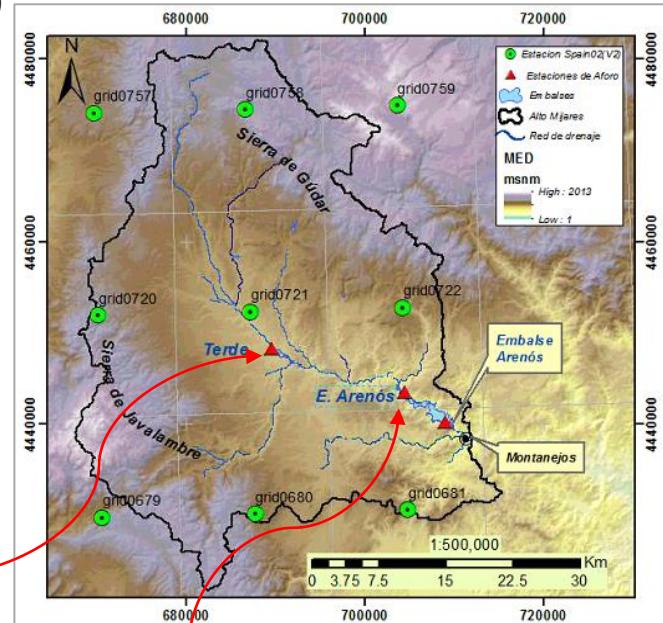
- ❖ Terde → Calibración (2000-2004)
- ❖ A la entrada del E. Arenós → Validación (1994-2008)

### ➤ Datos meteorológicos para tramo Montanejos : AEMET Y SIAR

- ❖ Meteorológicos (Ta, HR, Rs, V, HS, Te)
- ❖ Parámetros de sombra temperatura (in situ)

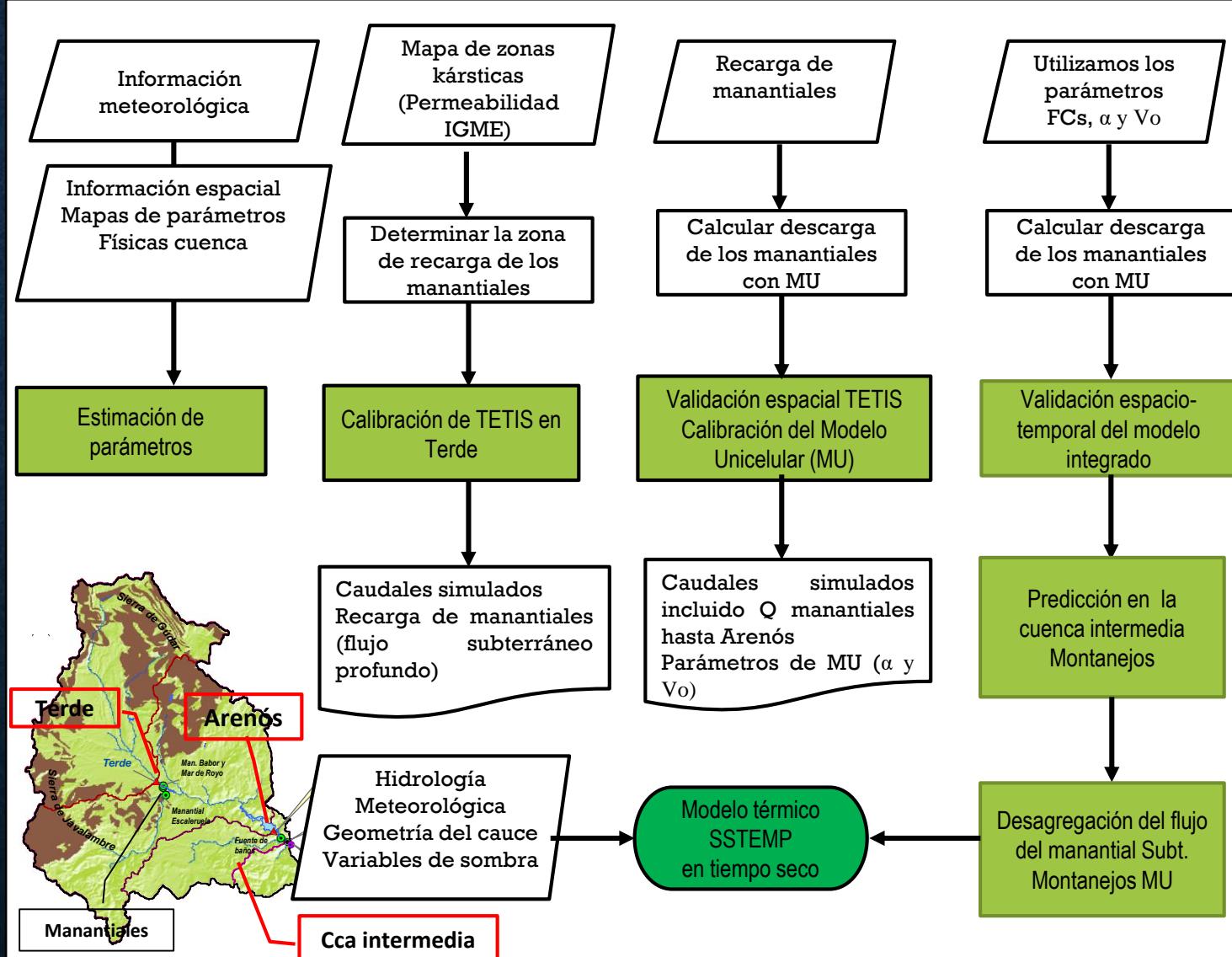


Sistema de  
Información Agroclimática  
para el Regadío



## Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP EMP
8. Conclusiones



# Modelo Hidrológico TETIS

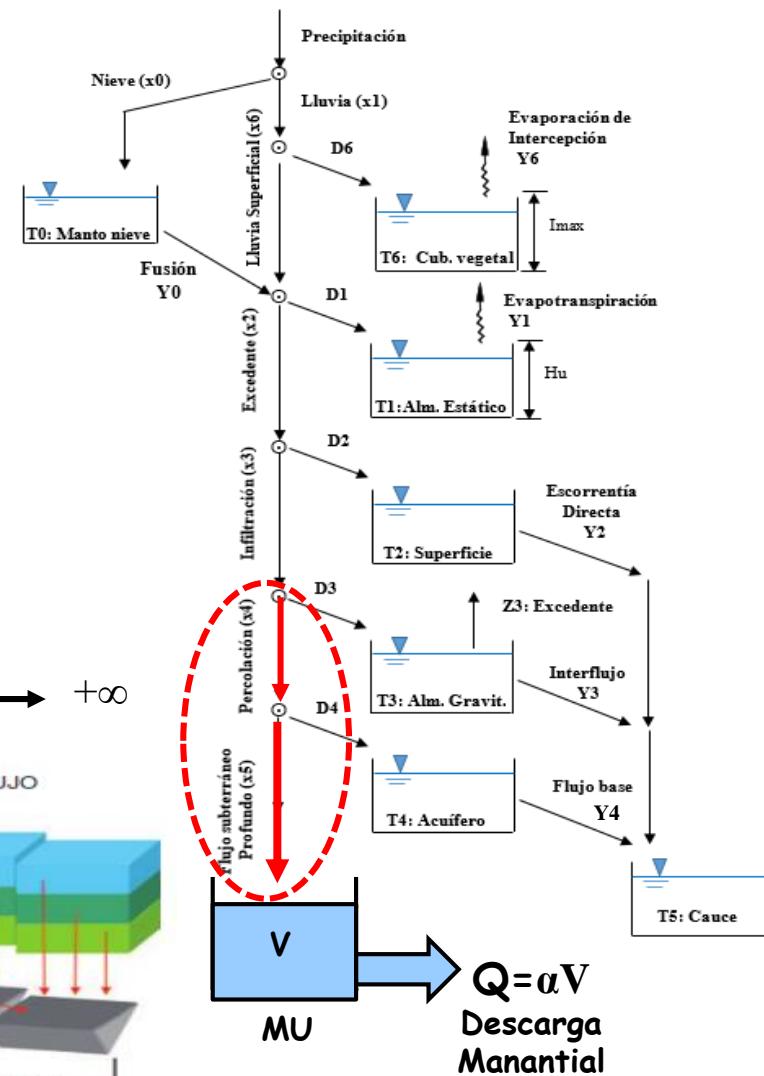
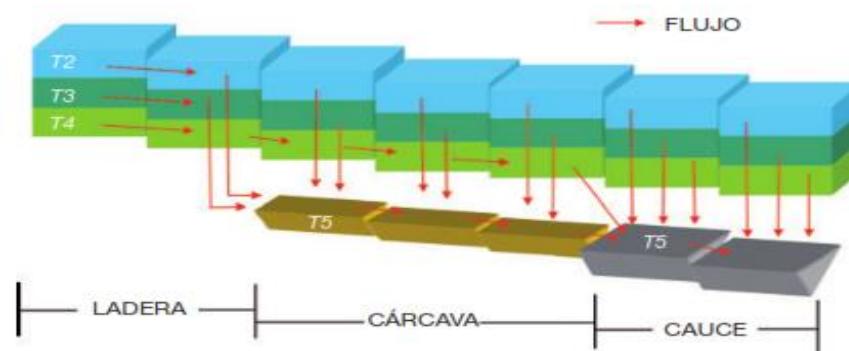
## Índice

1. Introducción
  2. Objetivos
  3. Área de estudio
  4. Información hidrometeorológica
  5. Metodología
  6. Modelación hidrológica TETIS+MU
  7. Modelación térmica SSTEMP
  8. Conclusiones

TETIS es un modelo conceptual distribuido, discretiza la cuenca en malla de celdas, **con una estructura de tanque** interconectados horizontal y verticalmente.

- ❖ 7 tanques de almacenamiento
    - ❖ En ladera
      - ❖ Nieve (To)
      - ❖ Intercepción (T6)
      - ❖ Estático (T1)
      - ❖ Superficie de ladera (T2)
      - ❖ Gravitacional en suelo sup. (T3)
    - ❖ Acuífero (T4)
    - ❖ Cauce (T5)
  - ❖ 7 flujos de salida
  - ❖ Simulación de Flujos kársticos

$$X_i = \min[X_{i-1}, \Delta t \cdot k_p^*] \quad \text{Kp} \rightarrow +\infty$$

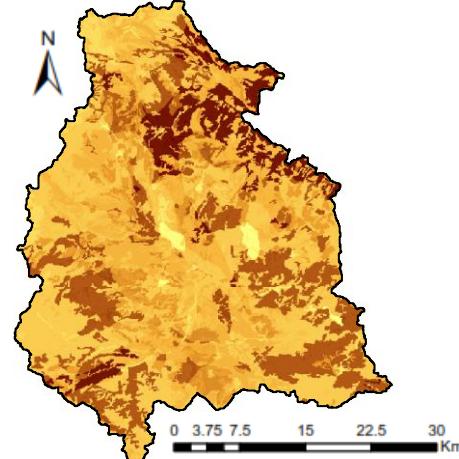


## Índice

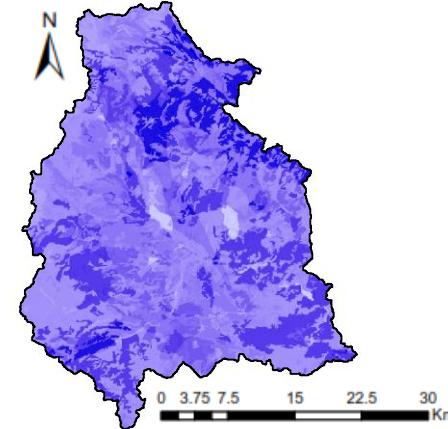
- 1. Introducción
- 2. Objetivos
- 3. Área de estudio
- 4. Información hidrometeorológica
- 5. Metodología
- 6. Modelación hidrológica  
TETIS+MU
- 7. Modelación térmica SSTEMP
- 8. Conclusiones

- **Parámetros efectivos** del modelo son los representan mejor la realidad de cada proceso en la cuenca.
  - ❖ El Valor inicial parámetros
  - ❖ Factores correctores -->Corrige errores
  - ❖ Por efecto de escala espacio -temporal y Conceptualización , etc.
- Los errores son generales para toda la cuenca =>Factores correctores globales
 

FC1. Almacenamiento estático	FC5. Percolación.
FC2. Evapotranspiración	FC6. Interflujo.
FC3. Infiltración gravitacional	FC7. Flujo subterráneo no conectado.
FC4. Escorrentía directa.	FC8. Flujo base
FC9. Velocidad de onda en la red fluvial	



x FC =



## Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Área de estudio

4. Información hidrometeorológica

5. Metodología

6. Modelación hidrológica  
TETIS+MU

7. Modelación térmica SSTEMP

8. Conclusiones

## Parámetros del modelo TETIS

Parámetros  
geomorfológicos  
(MED, IGN)

Usos de suelo  
CLC 2000 (IGN)

Parámetros hidráulicos  
del Suelo  
(ESDB y mapa de  
permeabilidad IGME)

M. Pendiente  
M. Dirección de drenaje  
M. Celdas drenantes acum.  
M. Velocidad superficial en  
ladera

Factores de vegetación ( $\lambda_v$ )  
Intercepción máxima en  
cubierta vegetal

Alm. Estático (Hu)  
Cap. Infiltración (Ks)  
Cap. Percolación (Kp)  
Capacidad de percolación  
modificado (Kp\_Karst)

- ❖ Todos estos mapas tienen una escala espacial de 100x100m
- ❖ Alguno de ellos fueron determinados en su TFM (Jaime, 2015)

# Mapas derivados de MED

## Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Área de estudio

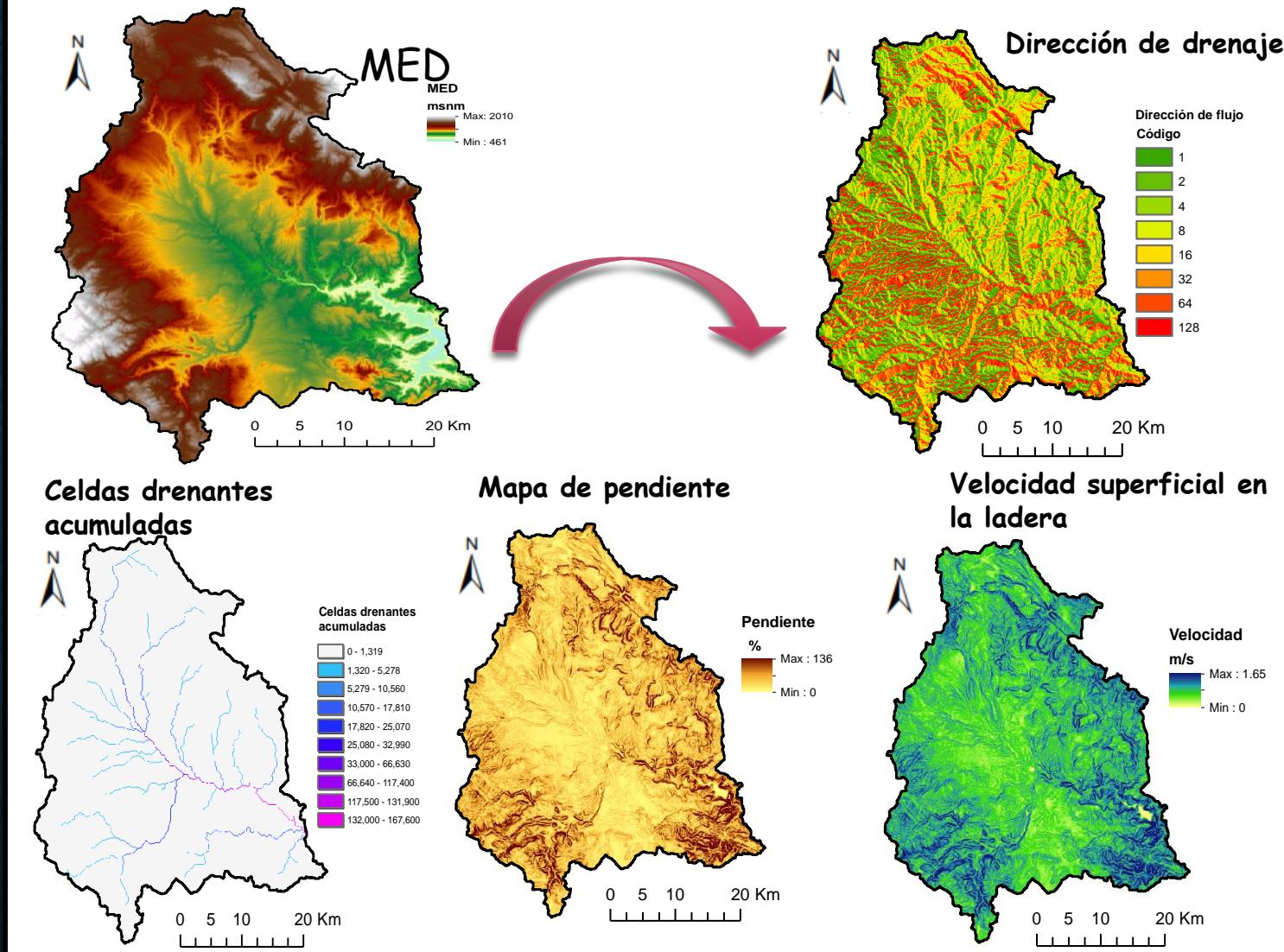
4. Información hidrometeorológica

5. Metodología

6. Modelación hidrológica  
TETIS+MU

7. Modelación térmica SSTEMP

8. Conclusiones



# Mapas derivados de Usos de Suelo

## Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Área de estudio

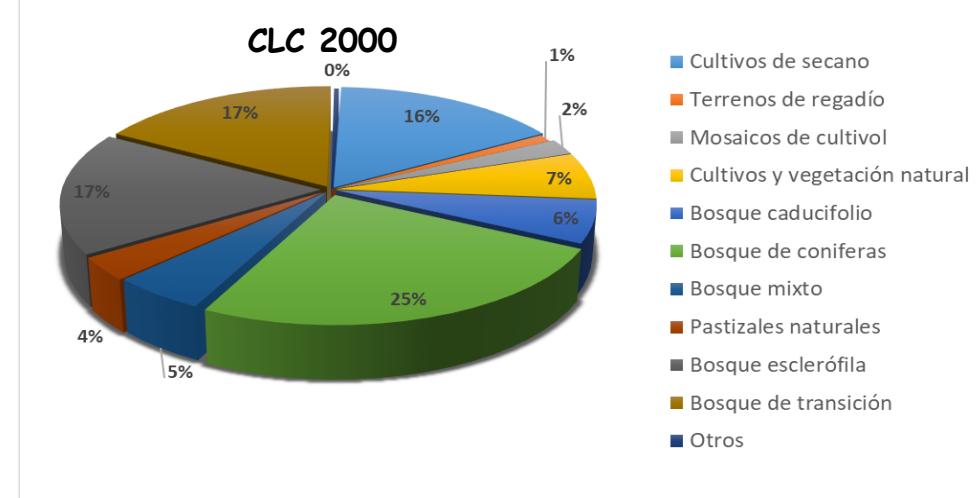
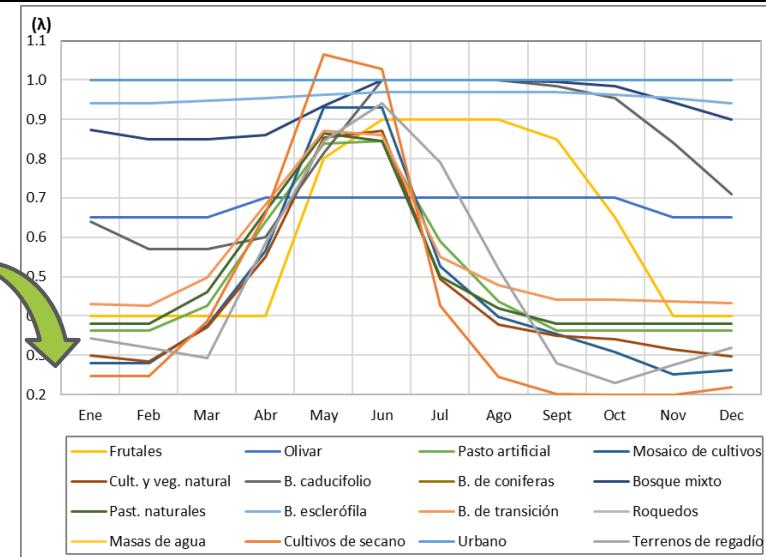
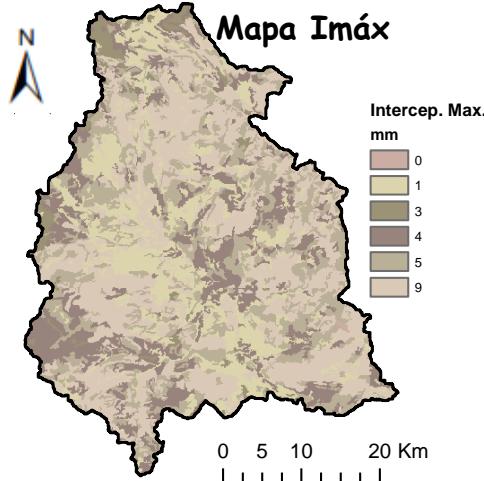
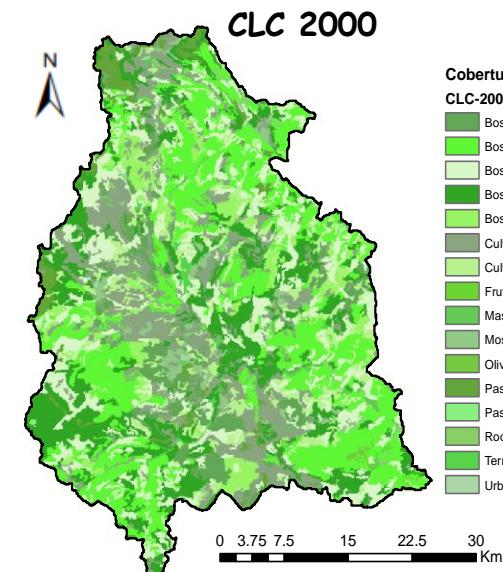
4. Información hidrometeorológica

5. Metodología

6. Modelación hidrológica  
TETIS+MU

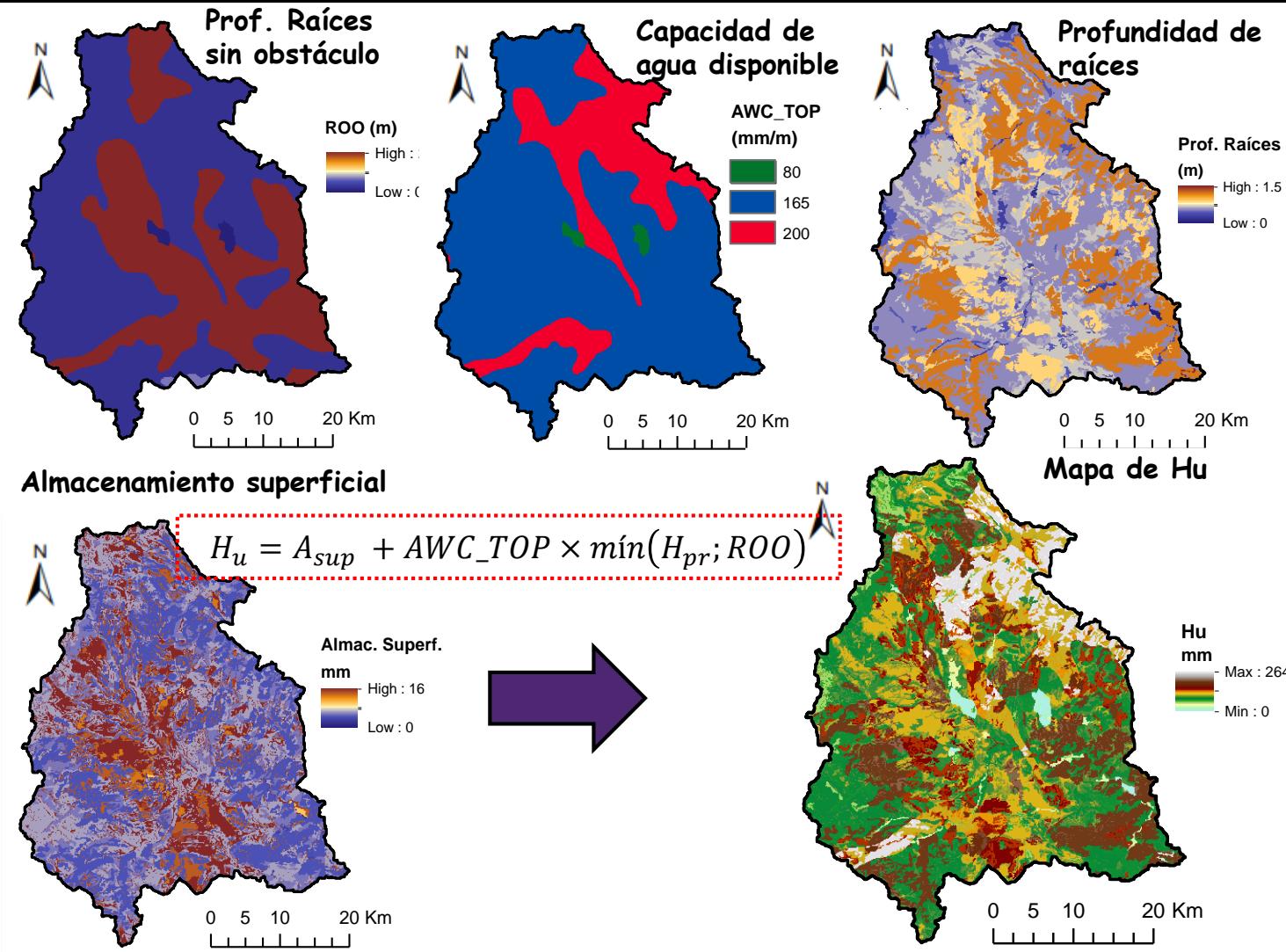
7. Modelación térmica SSTEMP

8. Conclusiones



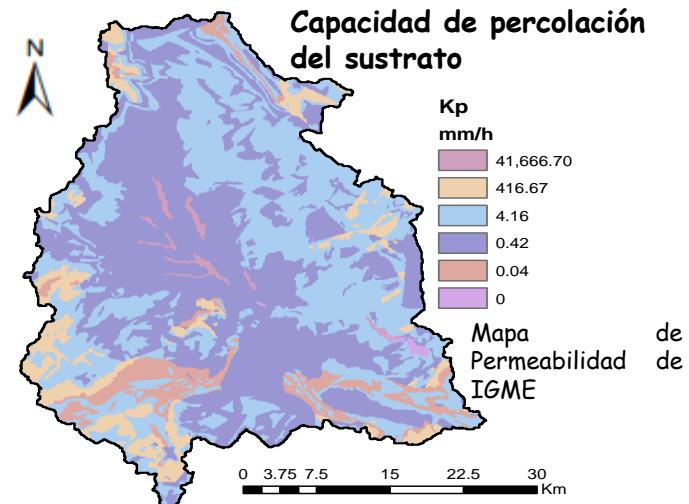
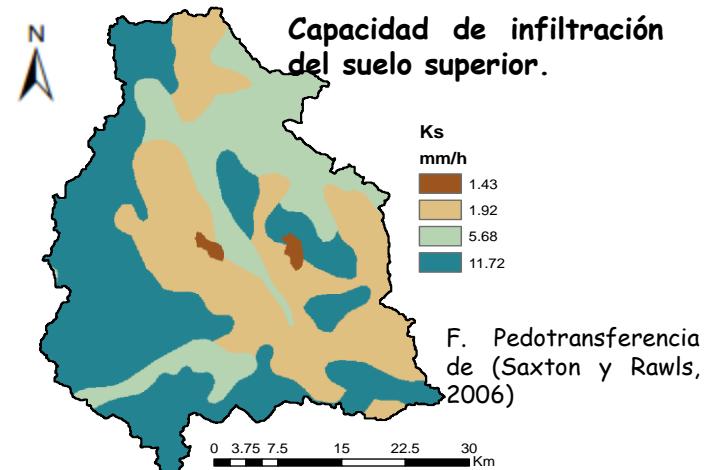
## Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica  
TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones

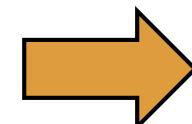
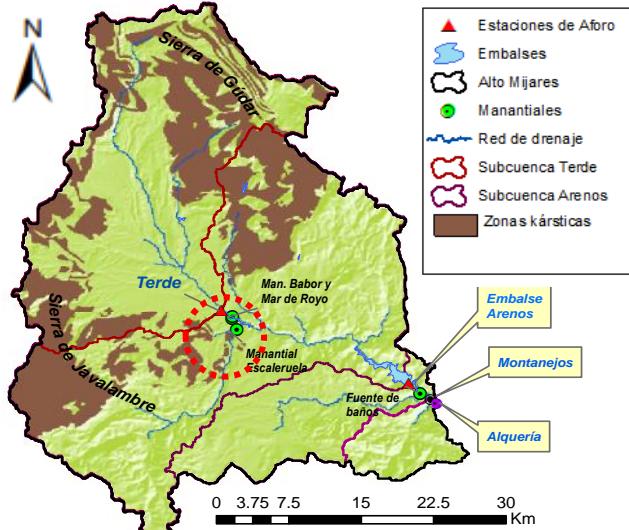


## Índice

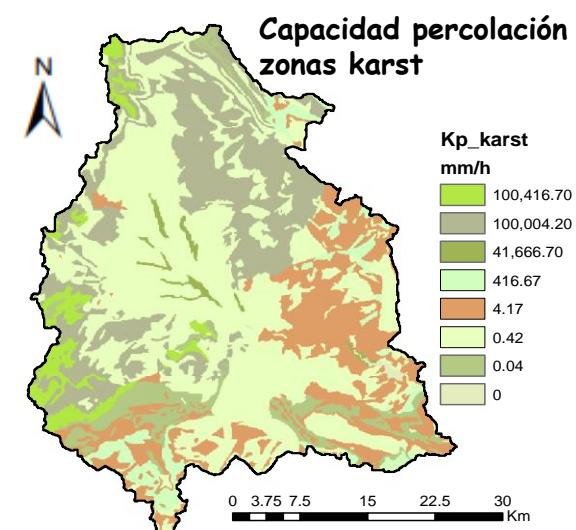
1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones



## Mapa de zonas kársticas

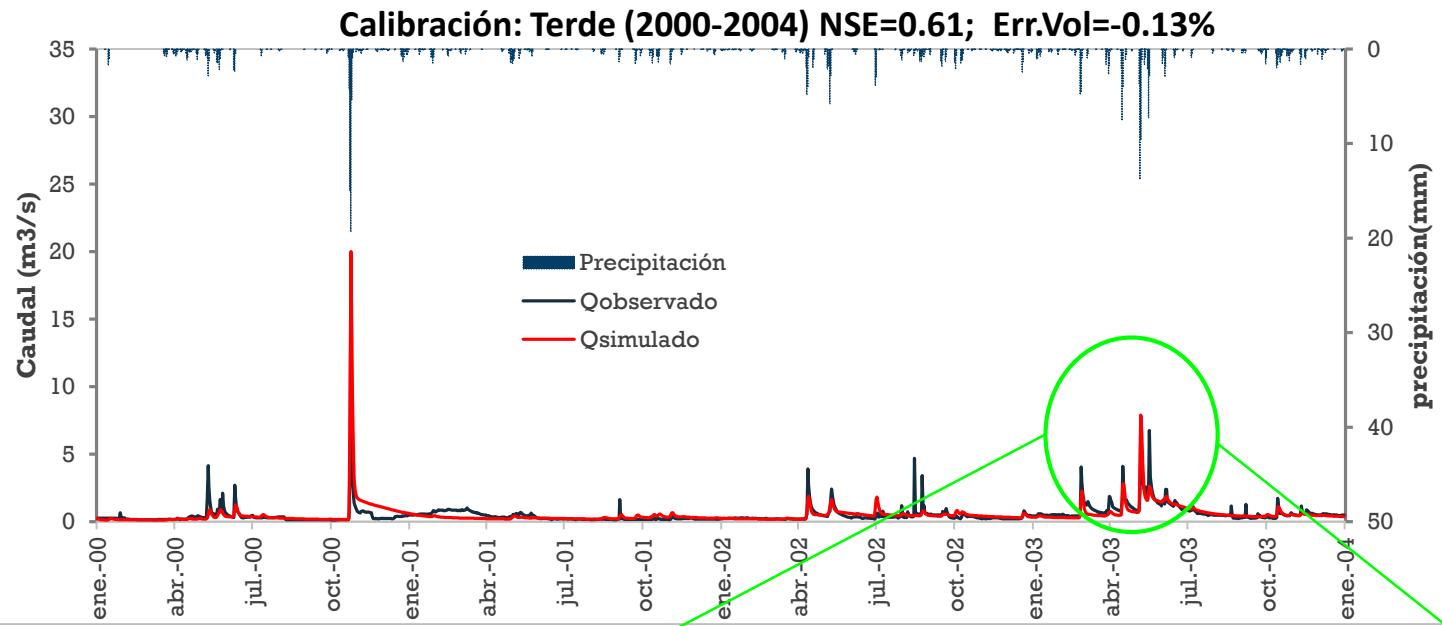


Reclasificando  
zonas  
carbonatadas:  
C-Alto  
C-Medio  
C-Bajo

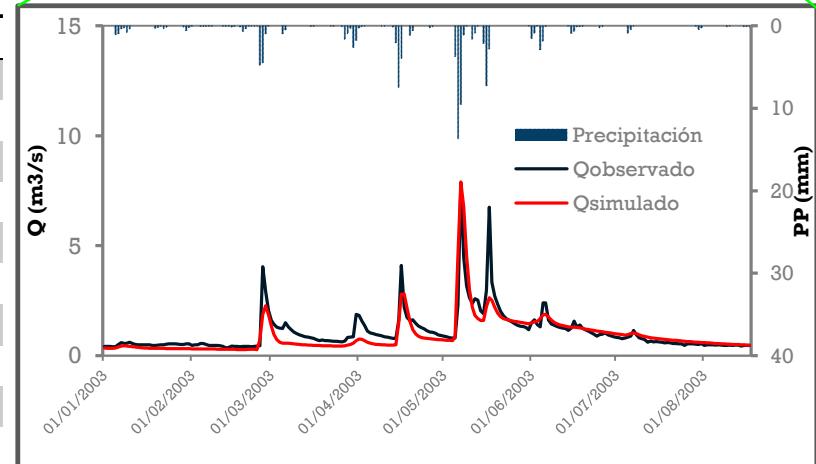


## Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones

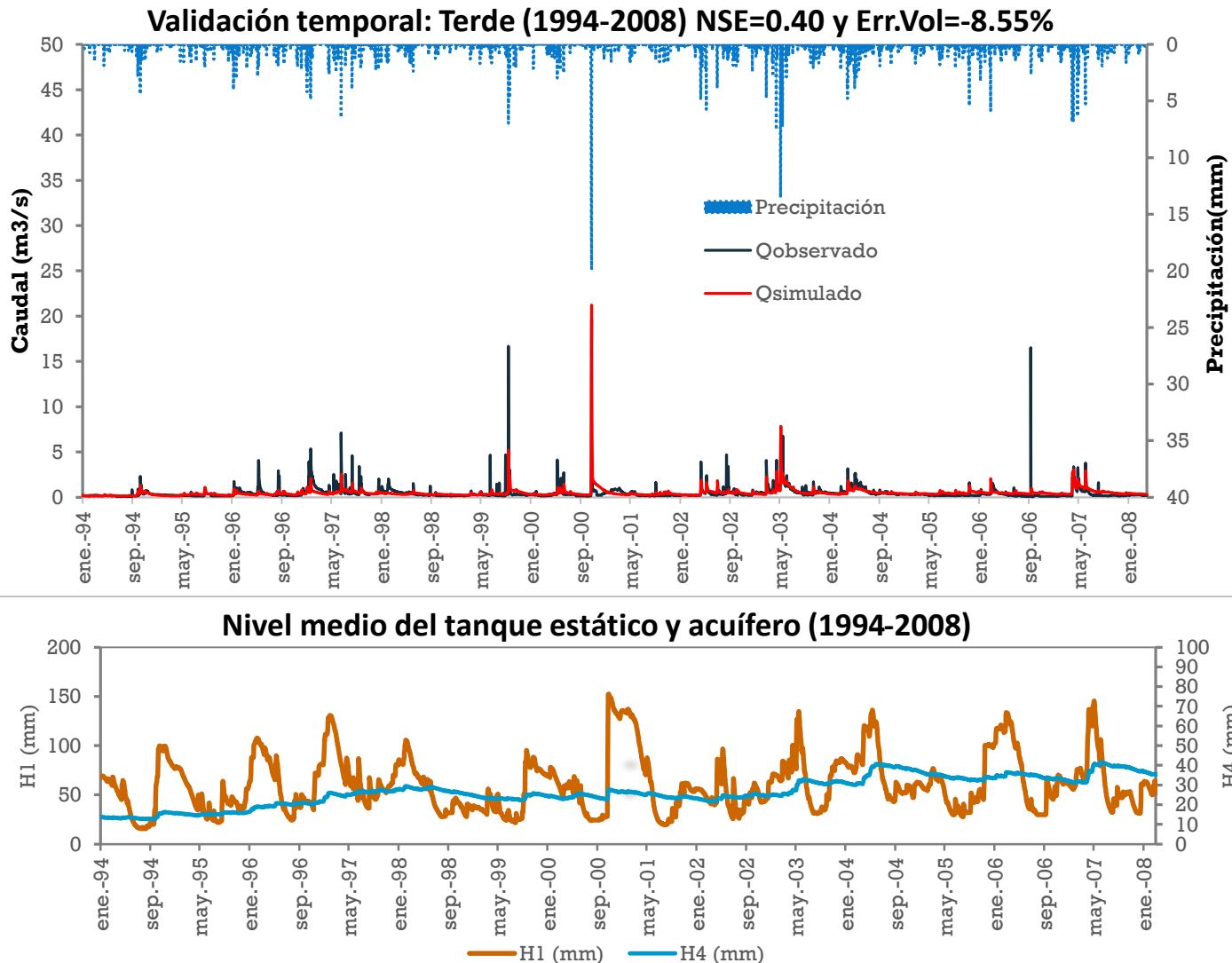


Factor corrector del modelo	FCs	Valor
Almacenamiento estático	FC <sub>1</sub>	3.975
Evapotranspiración	FC <sub>2</sub>	0.828
Infiltación	FC <sub>3</sub>	0.840
Escorrentía directa	FC <sub>4</sub>	1.287
Percolación	FC <sub>5</sub>	0.471
Interflujo	FC <sub>6</sub>	170.609
Flujo subterráneo profundo	FC <sub>7</sub>	0.087
Flujo base	FC <sub>8</sub>	260.033
Velocidad del flujo base	FC <sub>9</sub>	0.133
Factor de interpolación de la lluvia	$\beta$	0.002



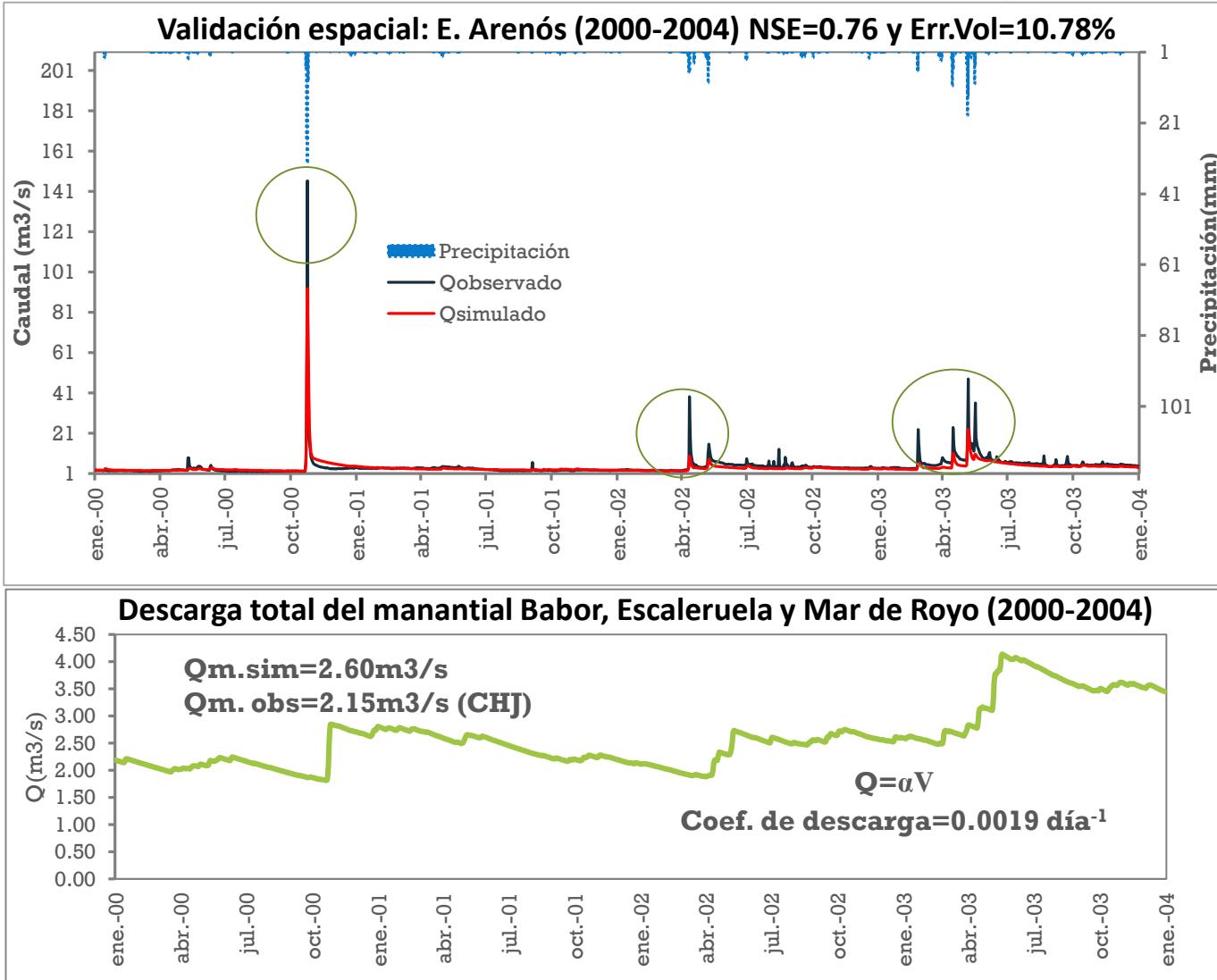
## Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones



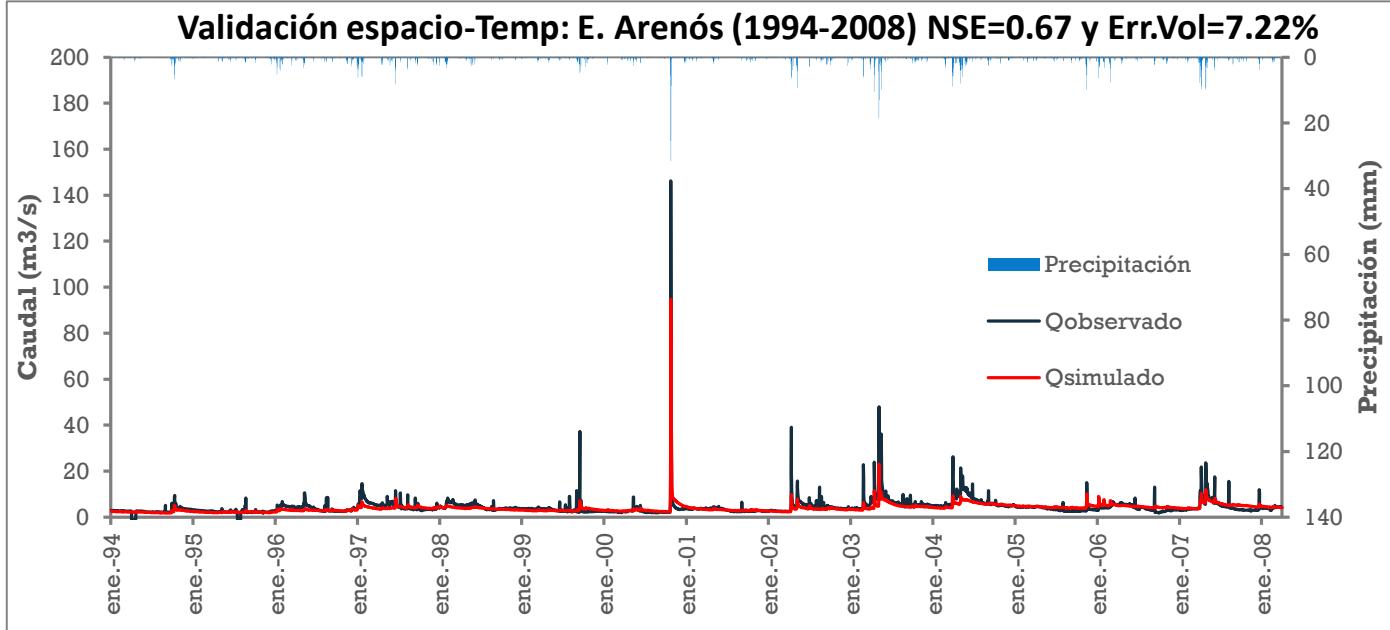
## Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica  
TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones



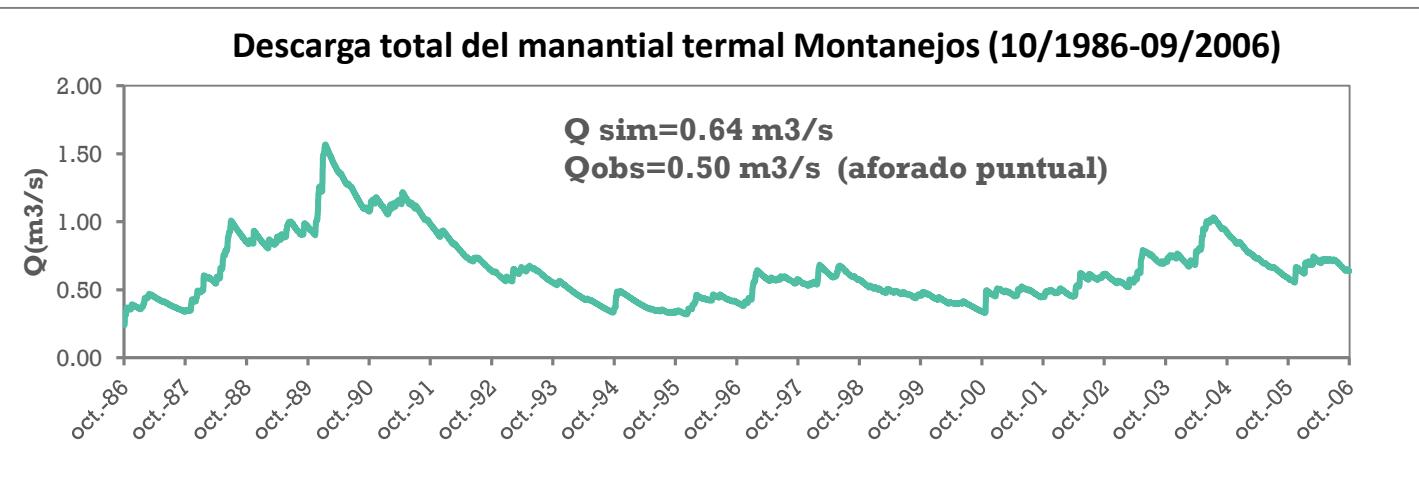
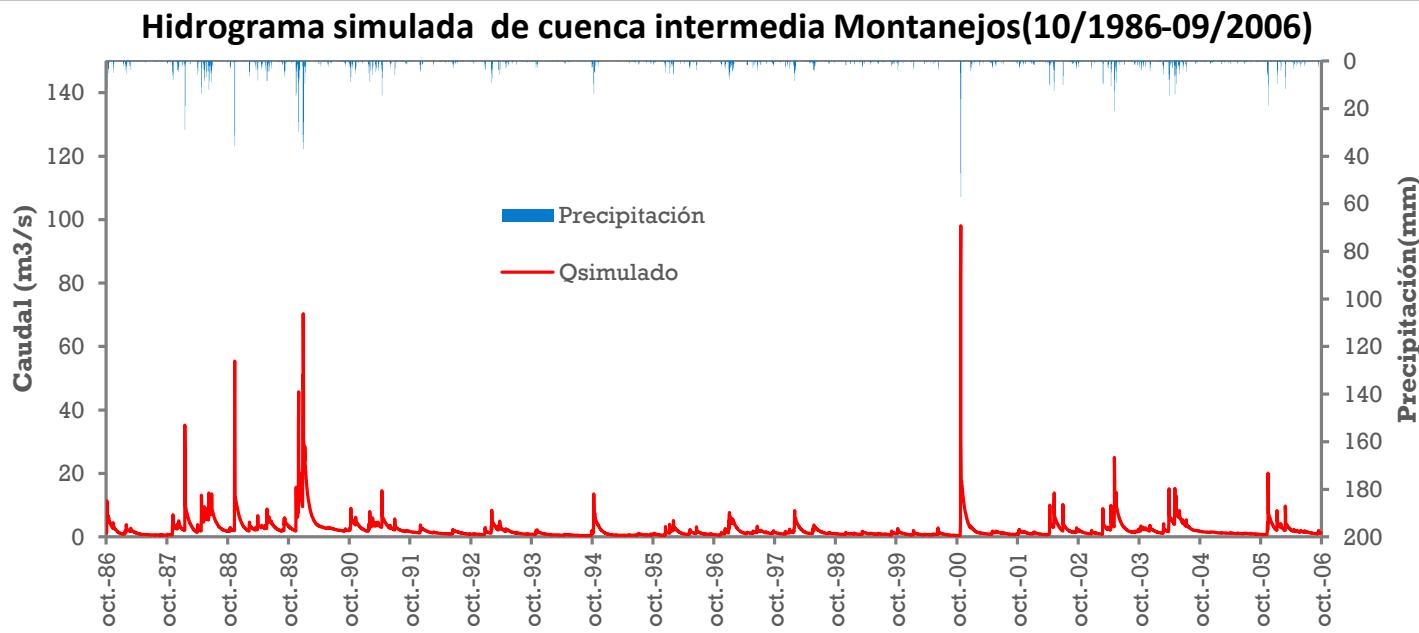
## Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica  
TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones



## Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica  
TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones



## Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica TETIS+MU
- 7. Modelación térmica SSTEMP**
8. Conclusiones

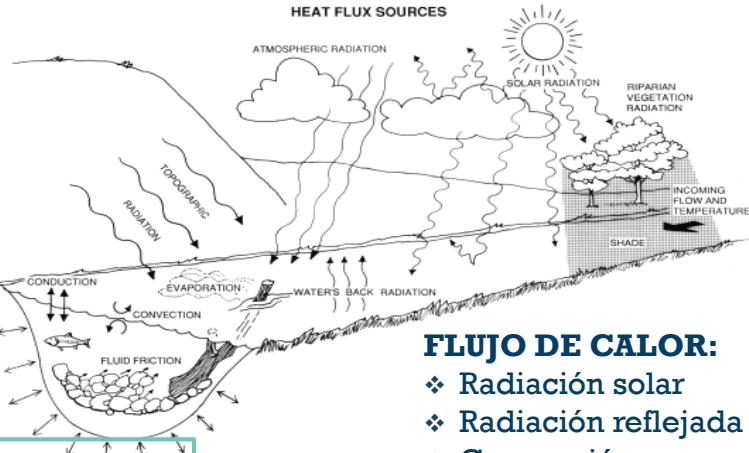
## Modelo térmico SSTEMP

### Calibración

**Escenario N° 01**  
E. Cirat:  $Q=0$  m<sup>3</sup>/s  
Descarga media mensual manantial

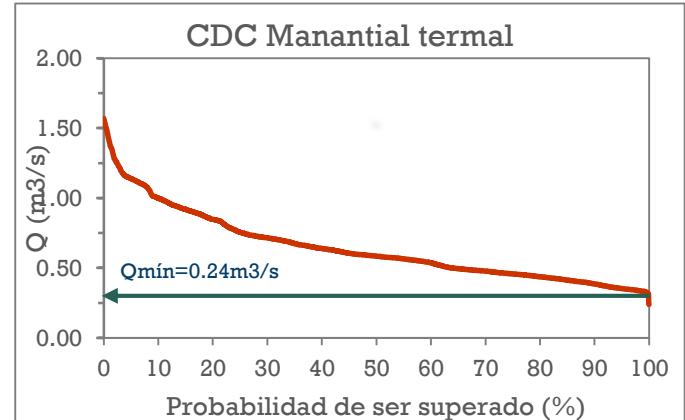
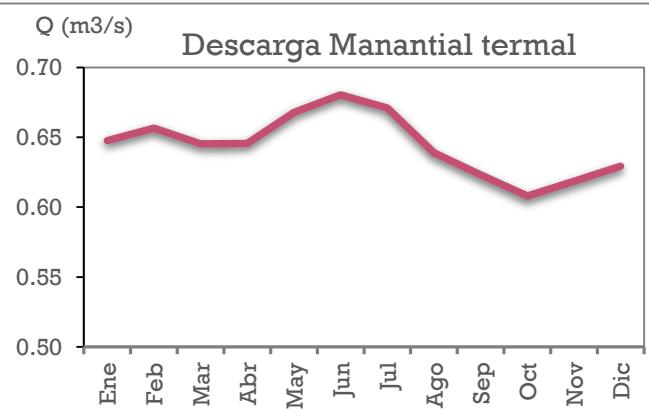
**Escenario N° 02**  
E. Cirat:  $Q=0.4$  m<sup>3</sup>/s  
Descarga media mensual Manantial

**Escenario N° 03**  
Manantial  $Q_m=0.24$  m<sup>3</sup>/s  
E. Cirat:  $Q=0.16$  m<sup>3</sup>/s



### FLUJO DE CALOR:

- ❖ Radiación solar
- ❖ Radiación reflejada
- ❖ Convección
- ❖ Conducción
- ❖ Evaporación
- ❖ Sombra Veg. y topográfica
- ❖ Fricción de fondo



## Índice

### 1. Introducción

### 2. Objetivos

### 3. Área de estudio

### 4. Información hidrometeorológica

### 5. Metodología

### 6. Modelación hidrológica TETIS+MU

### 7. Modelación térmica SSTEMP

### 8. Conclusiones

## Variables meteorológicas mensuales

Mes	Temp. de aire (°C)	HR (%)	Velocidad de viento (m/s)	Temp. de terreno (°C)	Gradiente térmico (J/m2/s/ °C)	Horas de Sol (%)	Rs(J/m2/s) FAO
Ene	6.64	71.24	1.09	13.97	1.65	45.7	156.25
Feb	7.51	66.94	1.10	13.97	1.65	45.4	212.50
Mar	9.96	63.53	1.20	13.97	1.65	45.0	283.33
Abr	11.58	62.53	1.17	13.97	1.65	42.0	361.46
May	15.69	62.06	1.09	13.97	1.65	45.0	413.54
Jun	20.24	60.18	1.00	13.97	1.65	50.0	436.46
Jul	22.67	58.35	0.99	13.97	1.65	60.0	425.00
Ago	22.64	61.29	1.02	13.97	1.65	55.0	382.29
Sep	18.61	65.65	0.98	13.97	1.65	47.0	312.50
Oct	14.71	69.94	1.01	13.97	1.65	46.5	234.38
Nov	9.77	70.82	1.02	13.97	1.65	45.0	169.79
Dic	7.22	72.71	1.09	13.97	1.65	48.0	141.67

## Variables geométricas del tramo de estudio

Tramo	Latitud (º)	Longitud (Km)	Elevación aguas arriba (msnm)	Elevación aguas abajo (msnm)	Termino A (s/m2)	Termino B	Número de Manning
1	40.076	0.229	464.000	461.970	18.141	0.071	0.035
2	40.075	0.219	461.270	458.280	7.278	0.060	0.035
3	40.074	0.145	457.680	457.280	11.447	0.157	0.035
4	40.075	0.243	456.930	456.320	21.717	0.072	0.030
5	40.075	0.470	456.320	452.640	21.717	0.072	0.030
6	40.075	0.395	452.284	450.555	17.636	0.073	0.035
7	40.070	0.786	450.400	443.740	15.186	0.165	0.035



$$W = A Q^B$$

## Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Área de estudio

4. Información  
hidrometeorológica

5. Metodología

6. Modelación  
hidrológica  
TETIS+MU7. Modelación  
térmica SSTEMP

8. Conclusiones

## Variables hidrológicas mensuales

Mes	Manantial	Montanejos	Embalse Cirat		
	$Q_{man}$ Esc.1 (m <sup>3</sup> /s)	Temperatura de salida (°C)	$Q_e$ Esc.2 (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{comp}$ Esc.3 (m <sup>3</sup> /s)	Temperatura de entrada (°C)
Ene	0.65	24.4	0.4	0.16	6.64
Feb	0.66	24.4	0.4	0.16	7.51
Mar	0.65	24.4	0.4	0.16	9.96
Abr	0.65	24.4	0.4	0.16	11.58
May	0.67	24.4	0.4	0.16	15.69
Jun	0.68	24.4	0.4	0.16	20.24
Jul	0.67	24.4	0.4	0.16	22.67
Ago	0.64	24.4	0.4	0.16	22.64
Sep	0.62	24.4	0.4	0.16	18.61
Oct	0.61	24.4	0.4	0.16	14.71
Nov	0.62	24.4	0.4	0.16	9.77
Dic	0.63	24.4	0.4	0.16	7.22

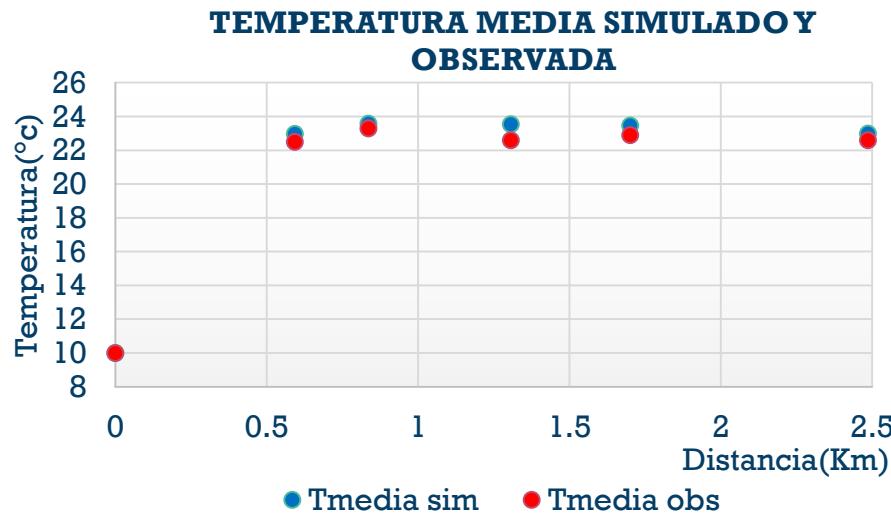


## Variables de sombra de vegetación y topográfica

Tramo	Azimut(°)	LADO OESTE					LADO ESTE					Densidad de la vegetación (%)
		Altitud topográfica (°)	Altura de vegetación (m)	Corona de vegetación (m)	Distancia de vegetación (m)	Densidad de la vegetación (%)	Altitud topográfica (°)	Altura de vegetación (m)	Corona de vegetación (m)	Distancia de vegetación (m)	Densidad de la vegetación (%)	
1	6.136	13.801	9.5	3.6	0.8	90	11.934	8.3	4.1	0.8	92	
2	-71.571	13.913	6.4	2.5	0.9	85	8.746	7.3	3.0	1.2	80	
3	17.655	12.394	5.6	1.5	3.5	70	31.598	6.8	2.0	3.0	65	
4	-65.072	8.449	3.6	2.6	2.5	50	29.447	3.1	3.5	2.0	55	
5	-65.072	7.032	6.2	4.5	2.0	90	8.253	5.5	4.5	1.0	95	
6	4.047	5.396	12.0	6.2	0.5	95	9.012	12.5	7.0	0.9	95	
7	-47.434	4.745	8.1	5.4	1.5	85	10.448	7.5	5.6	1.9	95	

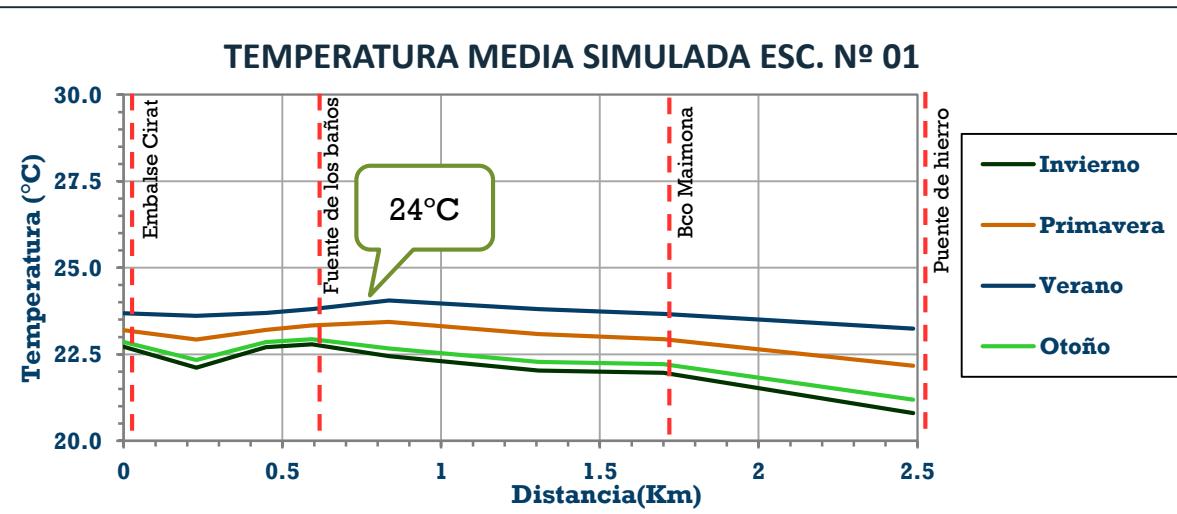
## Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones



Calibración del modelo satisfactorio a lo largo de tramo de estudio.

Escenario N° 01  
E. Cirat:  $Q=0$  m<sup>3</sup>/s  
Descarga media mensual de Manantial



Escenario Actual del tramo de estudio.

# Resultados del modelo térmico

## Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Área de estudio

4. Información hidrometeorológica

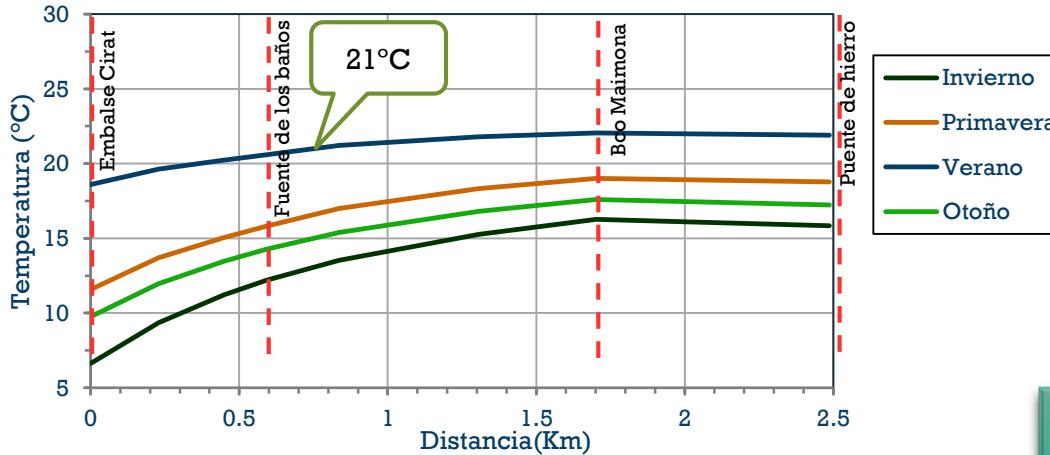
5. Metodología

6. Modelación hidrológica  
TETIS+MU

7. Modelación térmica SSTEMP

8. Conclusiones

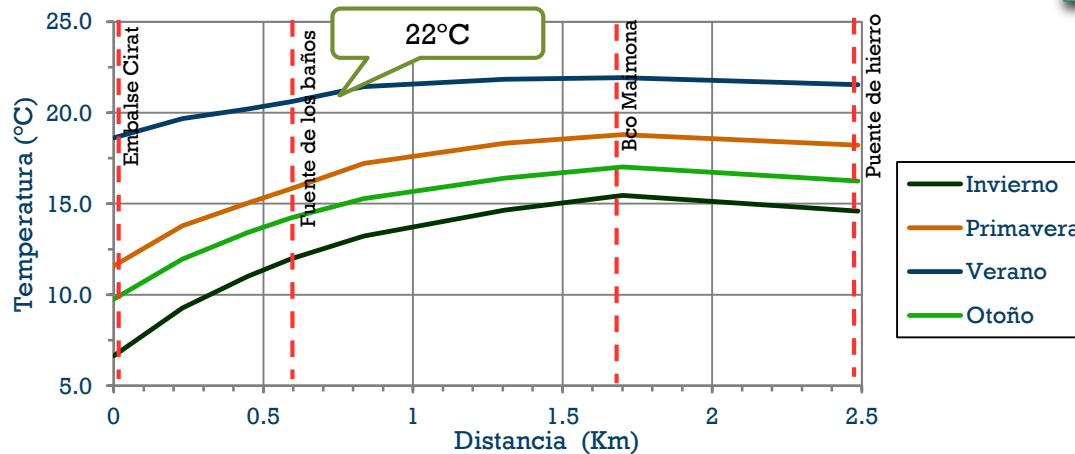
### TEMPERATURA MEDIA SIMULADA -ESCUENARIO N° 02



Escenario N° 02  
E. Cirat:  $Q=0.4 \text{ m}^3/\text{s}$   
Descarga media mensual Manantial

Descenso de 3°C en verano con respecto al escenario N° 01.

### TEMPERATURA MEDIA SIMULADA-ESCUENARIO N° 03



Escenario N° 03  
Manantial  $Q_m=0.24 \text{ m}^3/\text{s}$   
E. Cirat:  $Q=0.16 \text{ m}^3/\text{s}$

Similar al escenario N° 02, con la diferencia de que es menor el impacto en la estación verano.

## Índice

- 1. Introducción
- 2. Objetivos
- 3. Área de estudio
- 4. Información hidrometeorológica
- 5. Metodología
- 6. Modelación hidrológica TETIS+MU
- 7. Modelación térmica SSTEMP
- 8. Conclusiones

- ❖ **Tras la inclusión de los fenómenos kársticos** hace que el modelo represente satisfactoriamente los diferentes procesos hidrológicos.
- ❖ **La implementación del modelo TETIS** ha sido imprescindible para predecir la descarga del manantial termal Montanejos, mediante la extrapolación de parámetros y factores correctores.
- ❖ **El caudal medio del manantial termal de Montanejos es 0.64 m<sup>3</sup>/s**, cumpliendo con el caudal ecológico establecido por PHJ para el tramo de estudio.
- ❖ **La implementación del modelo térmico SSTEMP**, nos permitió realizar la modelación para diferentes escenarios a lo largo del tramo de estudio.
- ❖ Siendo el segundo escenario, el mas desfavorable, donde el descenso de temperaturas en las estaciones de verano y invierno es 3 y 6°C, respectivamente, con respecto al escenario base.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER:  
ESTUDIO DEL ASEGURAMIENTO DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO MIJARES  
EN EL TRAMO DE MONTANEJOS (CASTELLÓN), POR COMBINACIÓN DE LAS  
DESCARGAS DE SUS MANANTIALES TERMALES Y SUELTAS DEL EMBALSE DE  
CIRAT



Autor: David J. Alarcón Ataucusi

Director: Dr. Félix Francés García

Valencia, julio 2018