



**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**



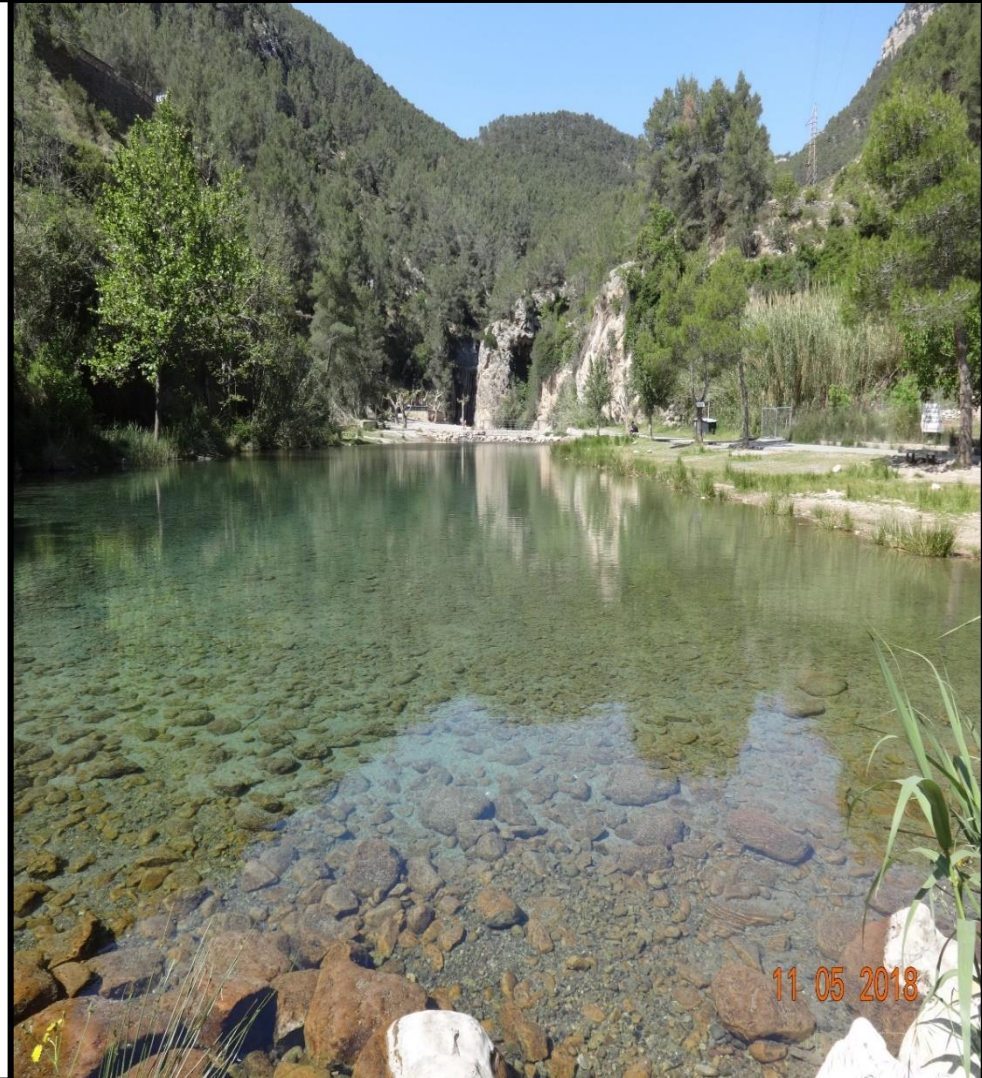
Autor: David J. Alarcón Ataucusi

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+MU

7. 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 0.4m³/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

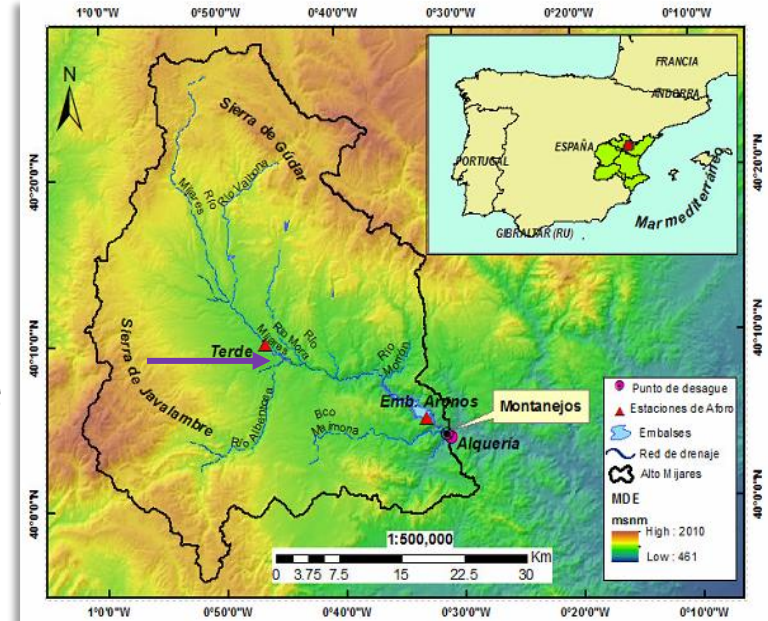
6. Modelación hidrológica TETIS+MU

7. Modelación térmica SSTEMP

8. Conclusiones

Cuenca del Alto Mijares

- Clima mediterráneo
- Superficie de la cuenca: 1,682 km²
- 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

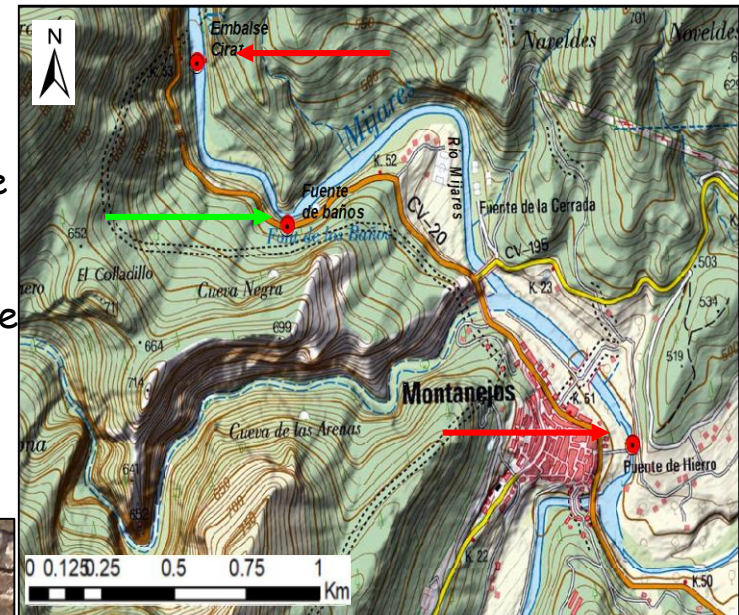
6. Modelación
hidrológica
TETIS+MU

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

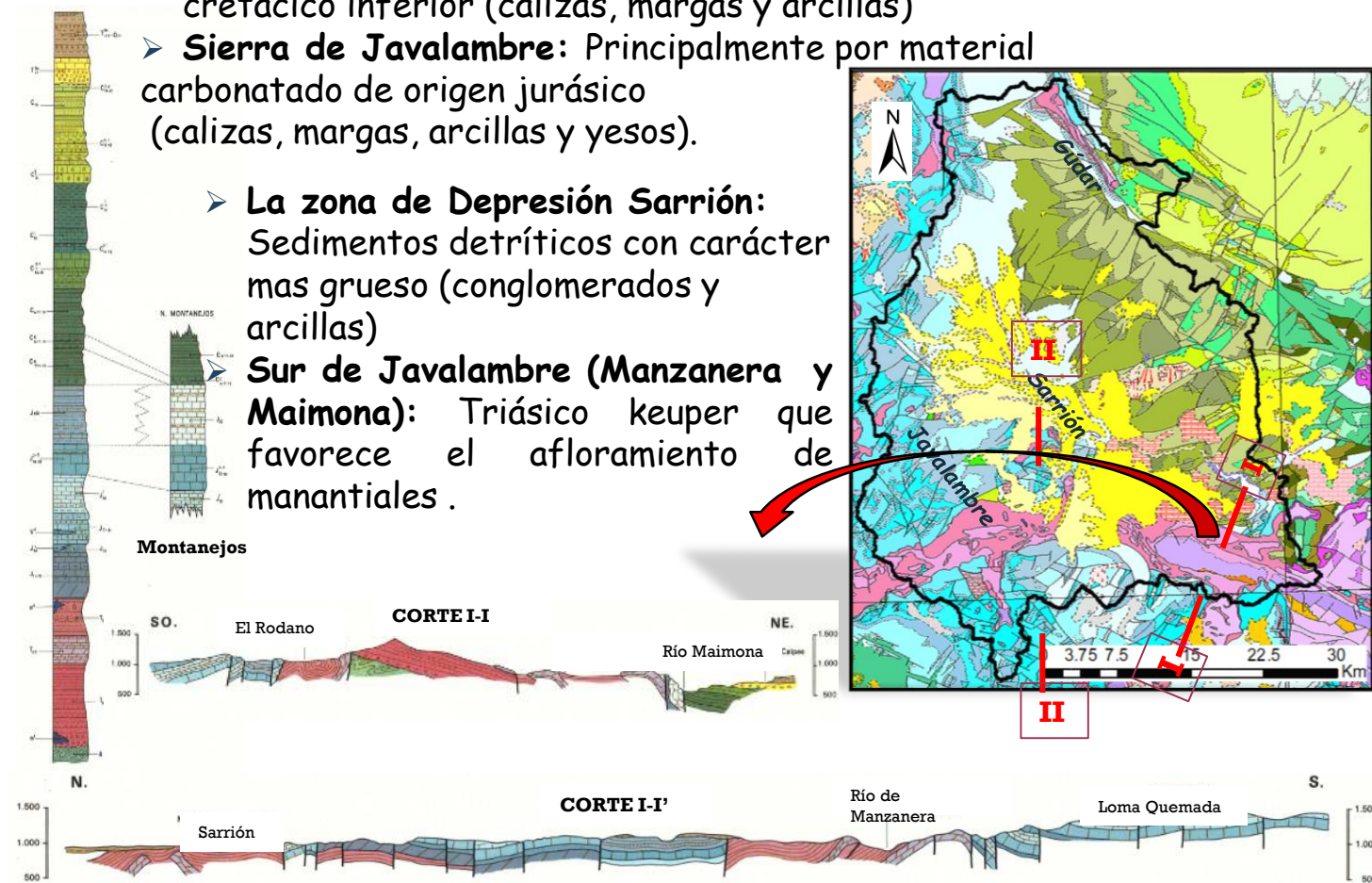
8. Conclusiones

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.



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°x0.2° (~20km)
- ❖ 9 estaciones interpoladas
- ❖ Escala temporal: diaria (1991-2008)

➤ Evapotranspiración de referencia (ET_o)

- ❖ Ecuación de Hargreaves

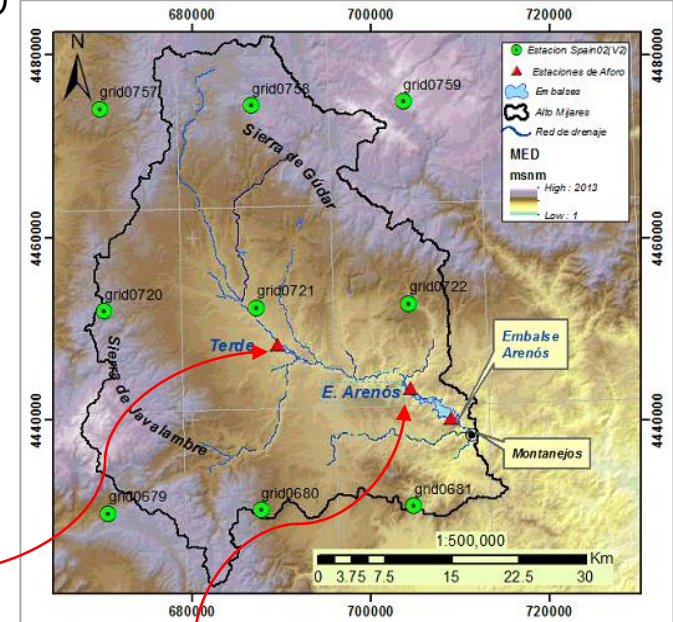
$$ET_o = 0.0023 (T_{med} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a$$

➤ 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)



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Área de estudio

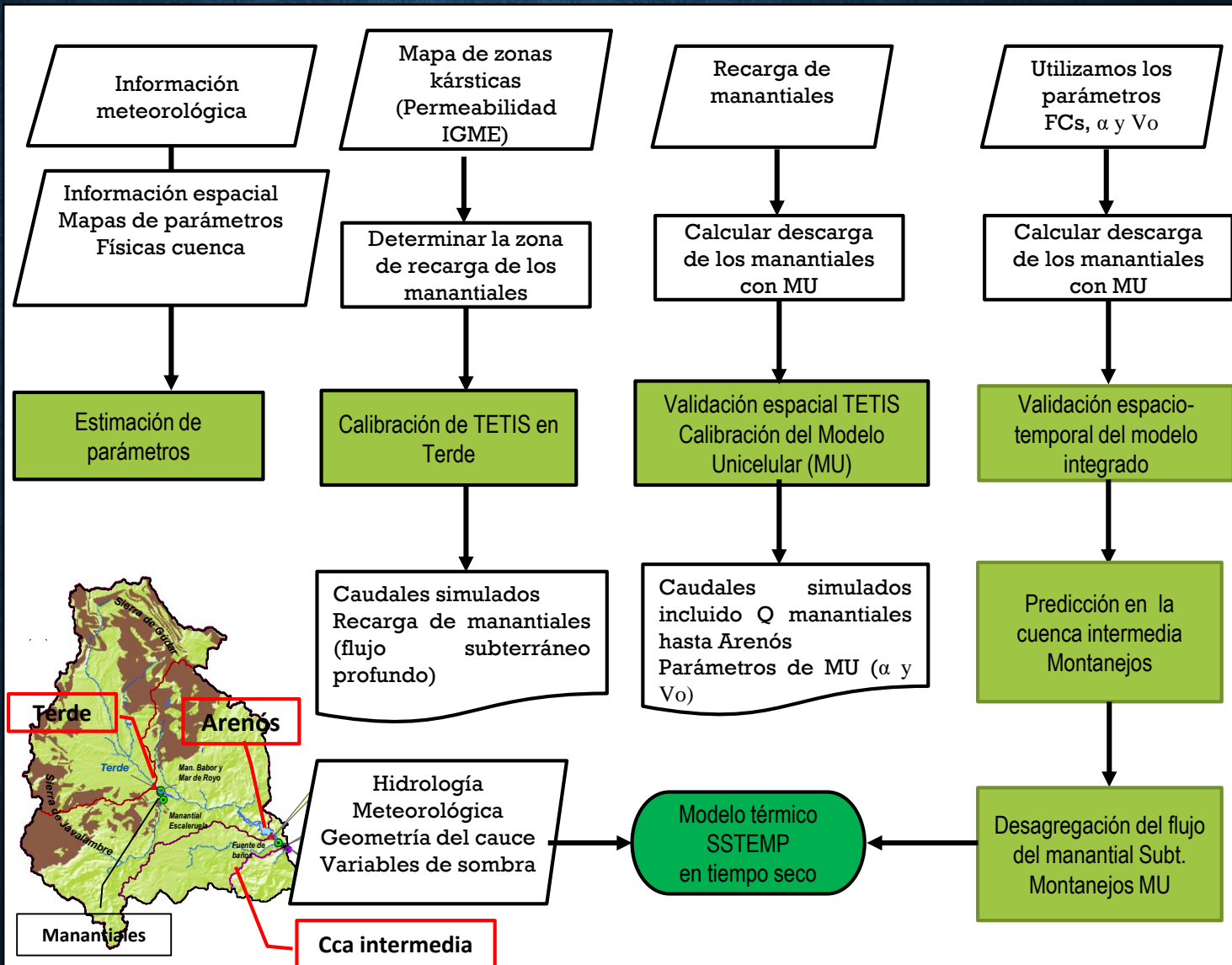
4. Información
hidrometeorológica

5. Metodología

6. Modelación
hidrológica
TETIS+MU

7. Modelación
térmica SSTEMP
EMP

8. Conclusiones



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 (T0)
- ❖ Intercepción (T6)
- ❖ Estático (T1)
- ❖ Superficie de ladera (T2)
- ❖ Gravitacional en suelo sup. (T3)

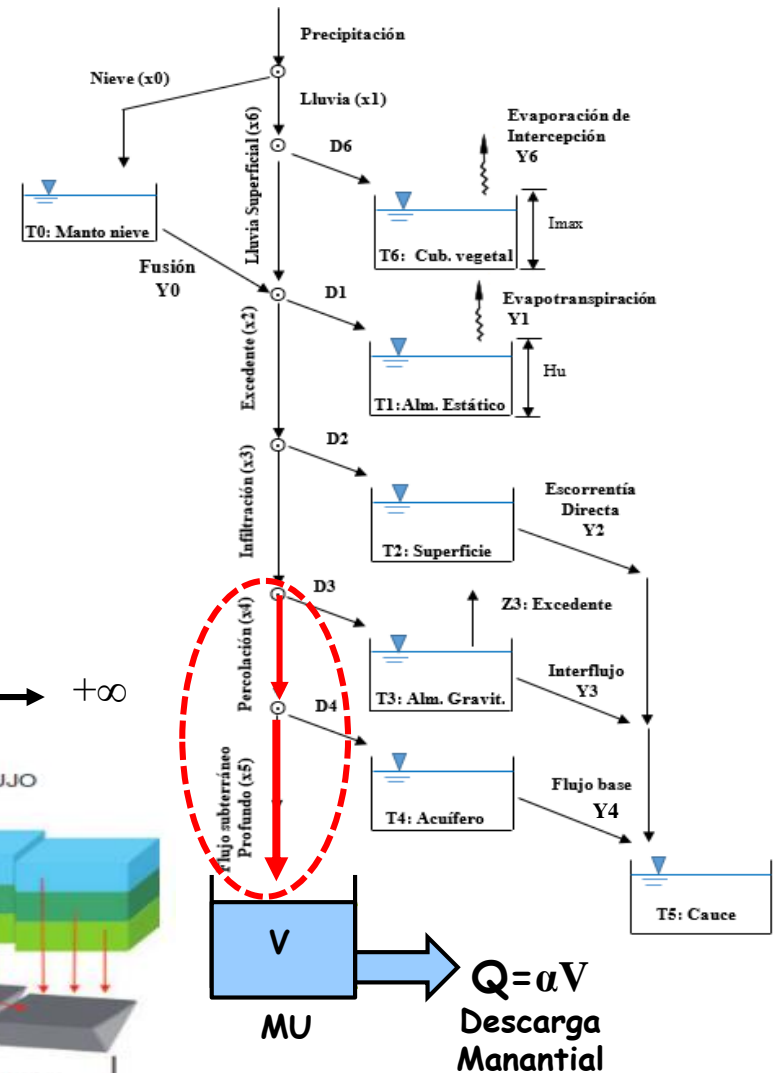
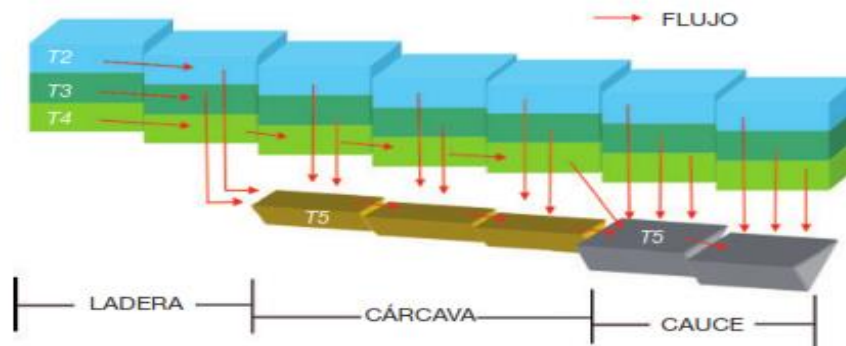
❖ Acuífero (T4)

❖ Cauce (T5)

❖ 7 flujos de salida

❖ Simulación de Flujos kársticos

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



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 que 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

FC2. Evapotranspiración

FC3. Infiltración gravitacional

FC4. Escorrentía directa.

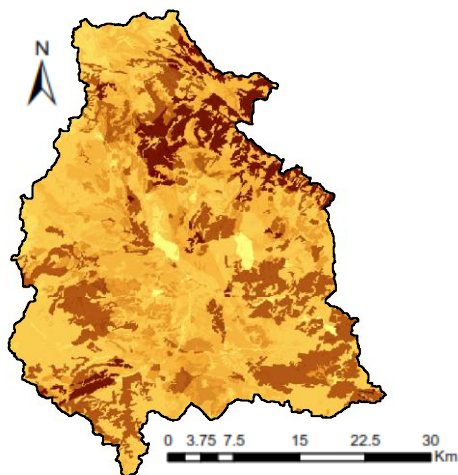
FC5. Percolación.

FC6. Interflujo.

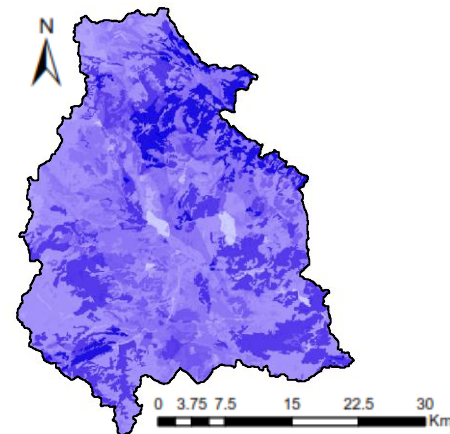
FC7. Flujo subterráneo no conectado.

FC8. Flujo base

FC9. Velocidad de onda en la red fluvial

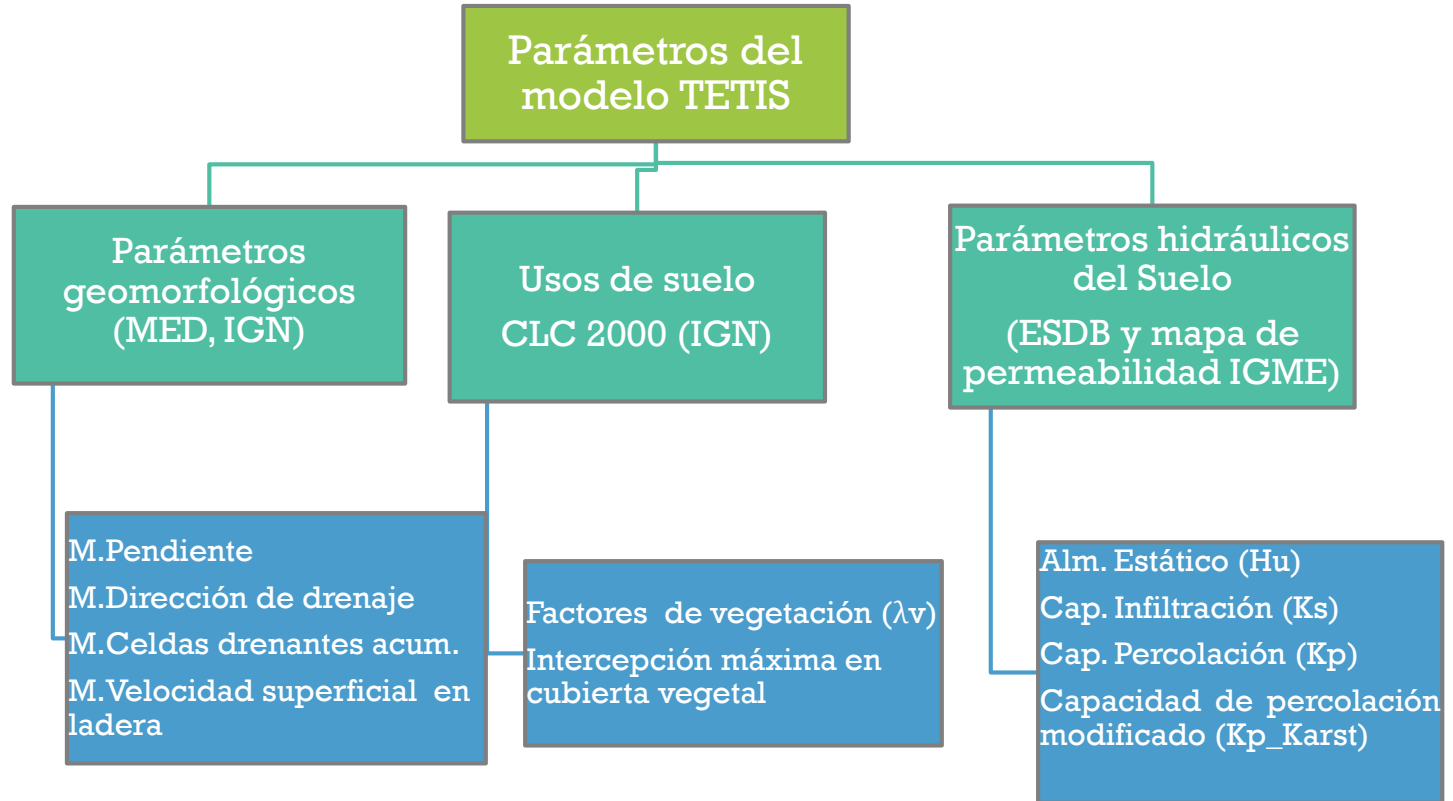


x FC =



Índice

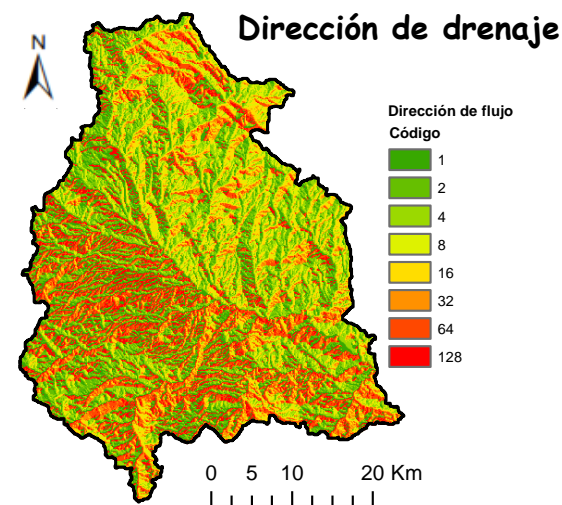
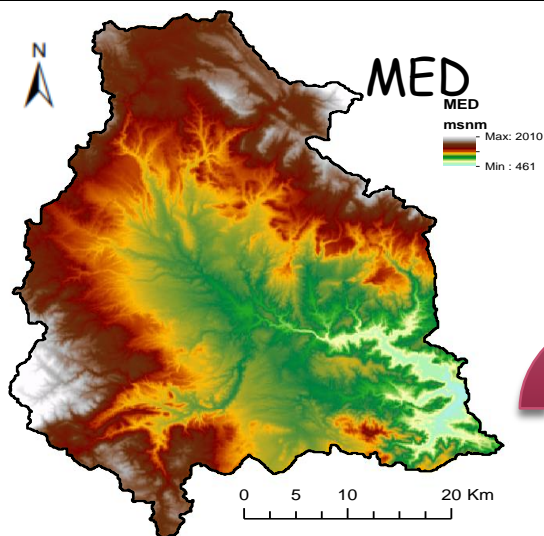
1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones



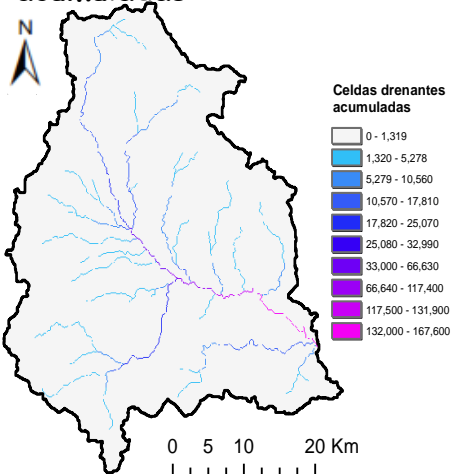
- ❖ Todos estos mapas tienen una escala espacial de 100x100m
- ❖ Alguno de ellos fueron determinados en su TFM (Jaime ,2015)

Índice

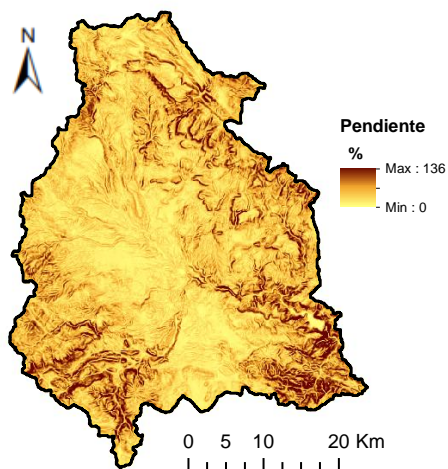
1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones



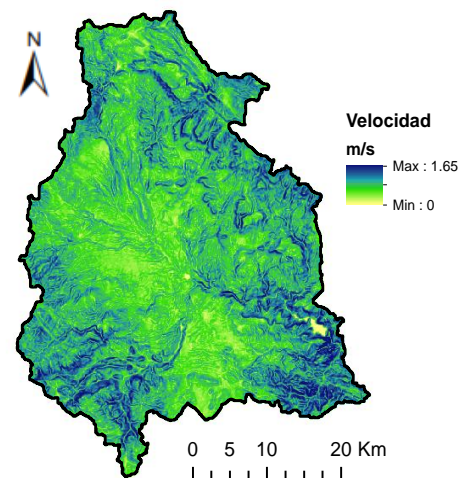
Celdas drenantes acumuladas



Mapa de pendiente



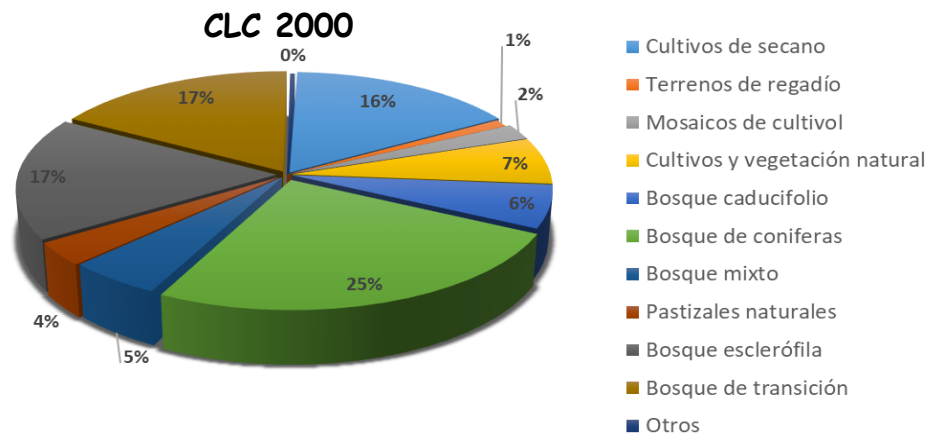
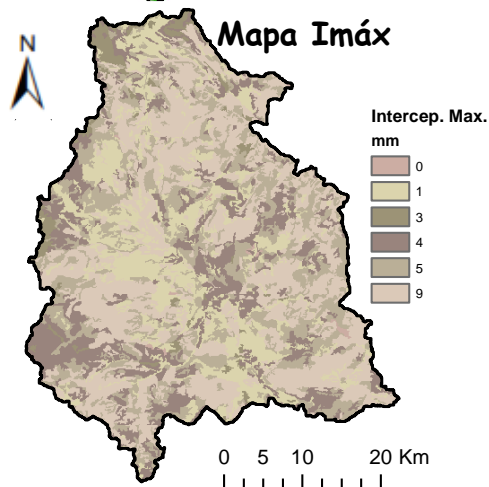
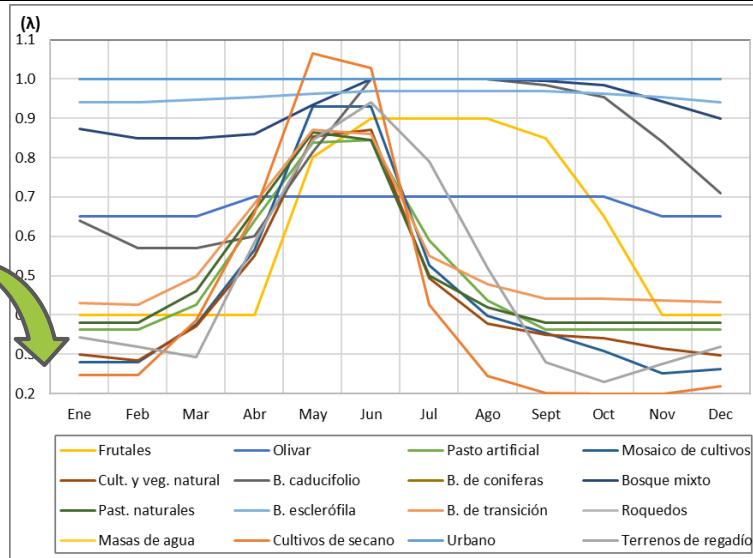
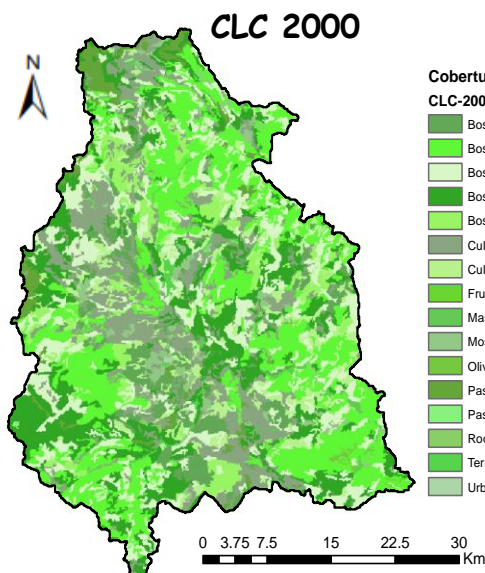
Velocidad superficial en la ladera



Mapas derivados de Usos de Suelo

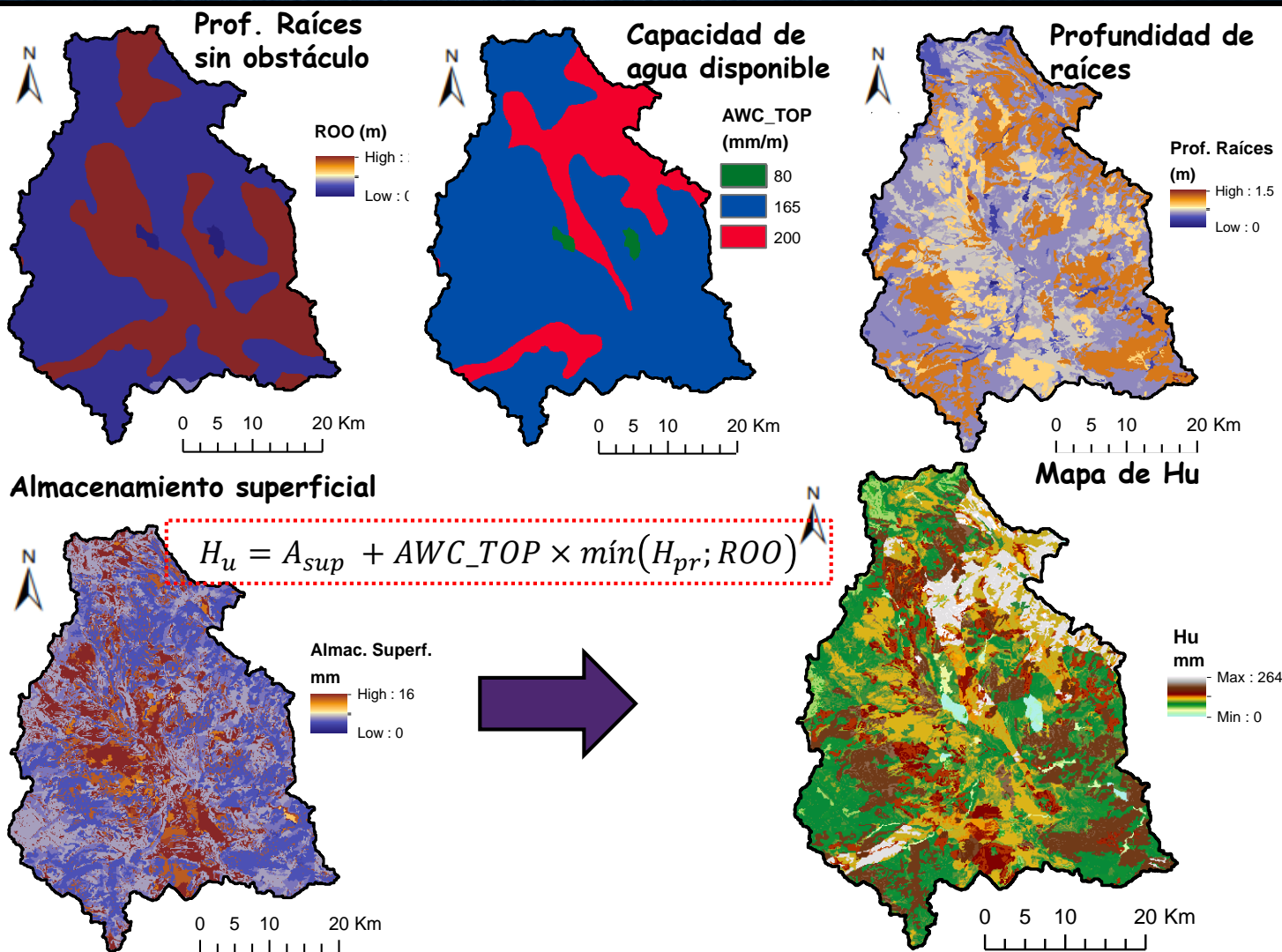
Índice

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



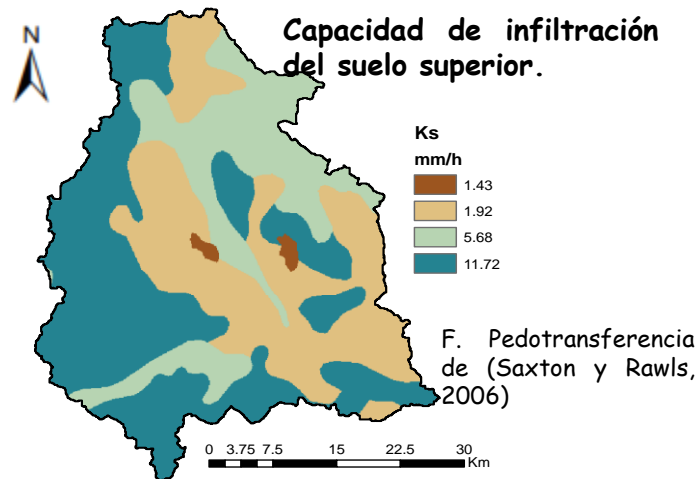
Índice

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

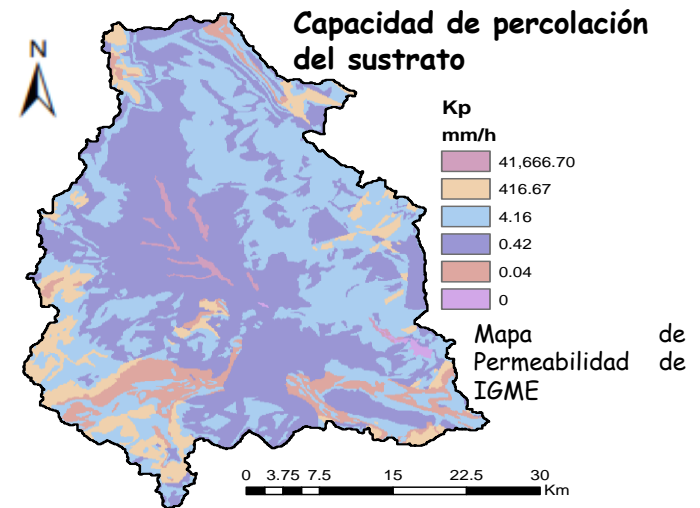
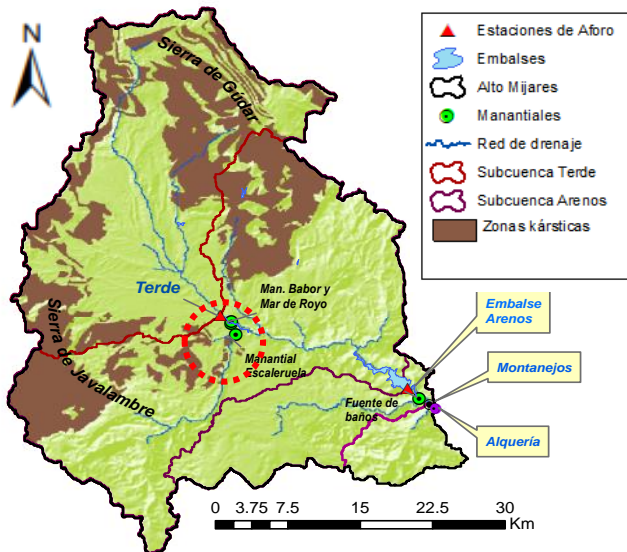


Índice

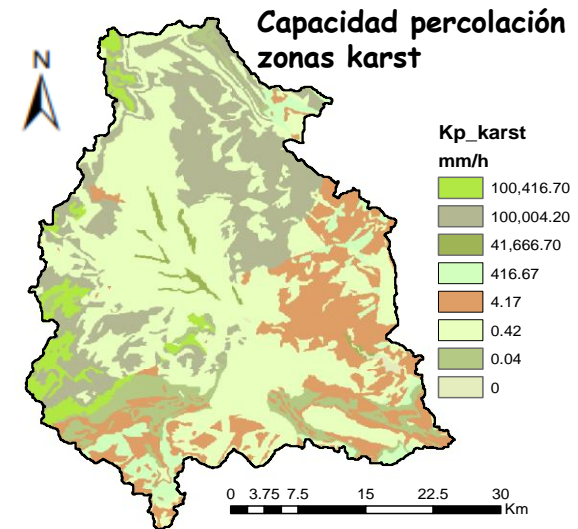
1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
4. Información hidrometeorológica
5. Metodología
6. Modelación hidrológica TETIS+MU
7. Modelación térmica SSTEMP
8. Conclusiones



Mapa de zonas kársticas



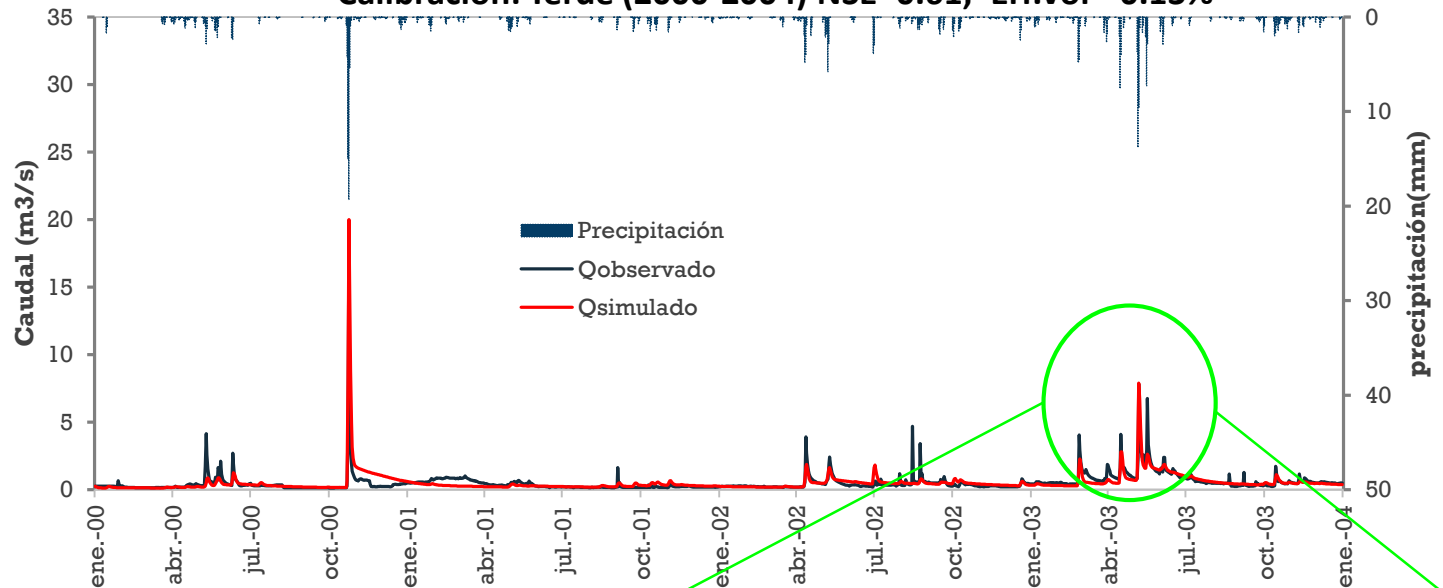
Reclasificando zonas carbonatadas:
C-Alto
C-Medio
C-Bajo



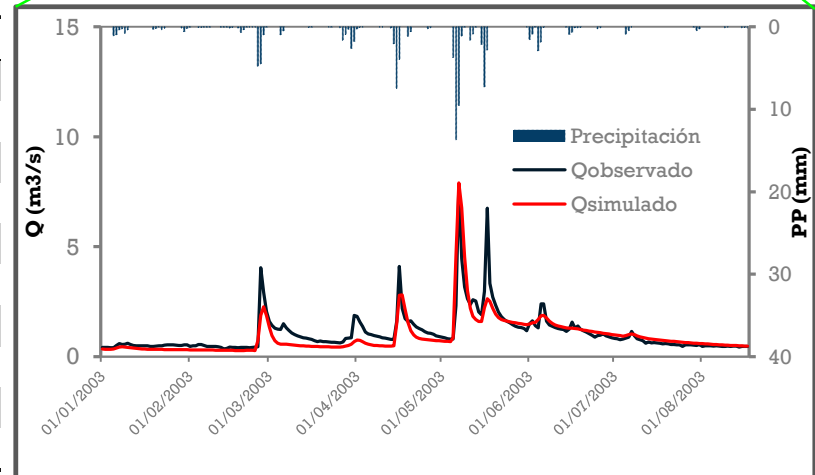
Índice

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

Calibración: Terde (2000-2004) NSE=0.61; Err.Vol=-0.13%



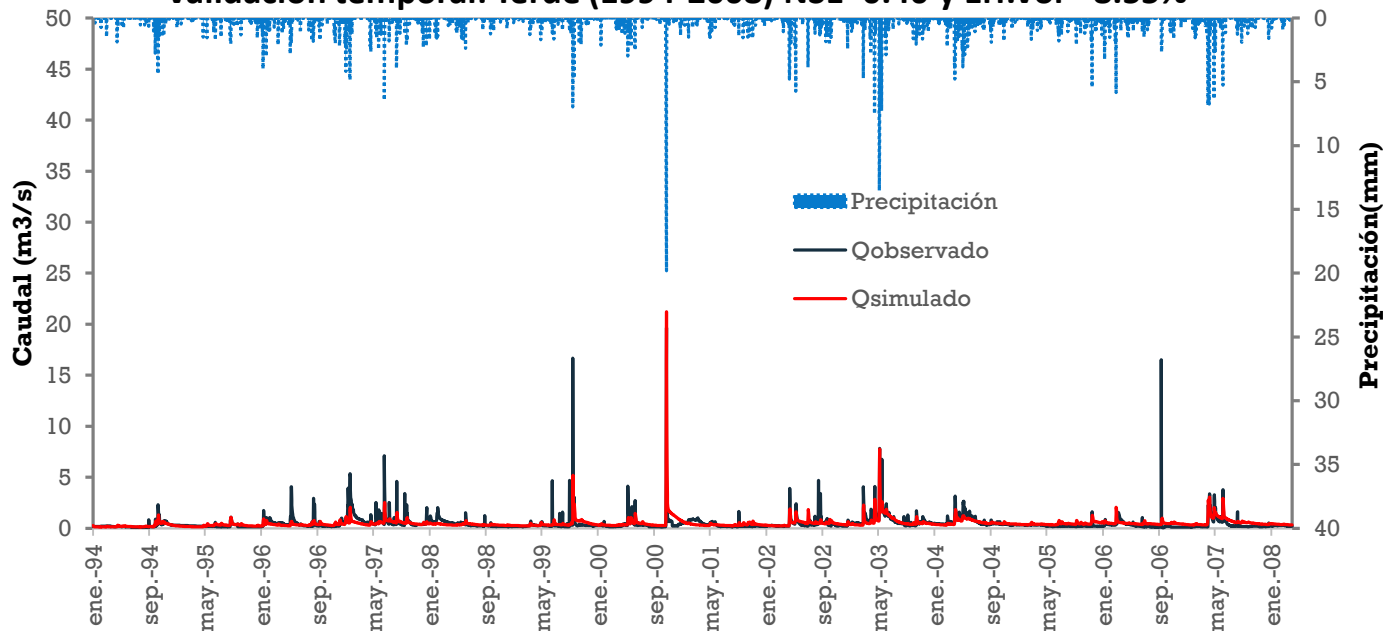
Factor corrector del modelo	FCs	Valor
Almacenamiento estático	FC ₁	3.975
Evapotranspiración	FC ₂	0.828
Infiltración	FC ₃	0.840
Escorrentía directa	FC ₄	1.287
Percolación	FC ₅	0.471
Interflujo	FC ₆	170.609
Flujo subterráneo profundo	FC ₇	0.087
Flujo base	FC ₈	260.033
Velocidad del flujo base	FC ₉	0.133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



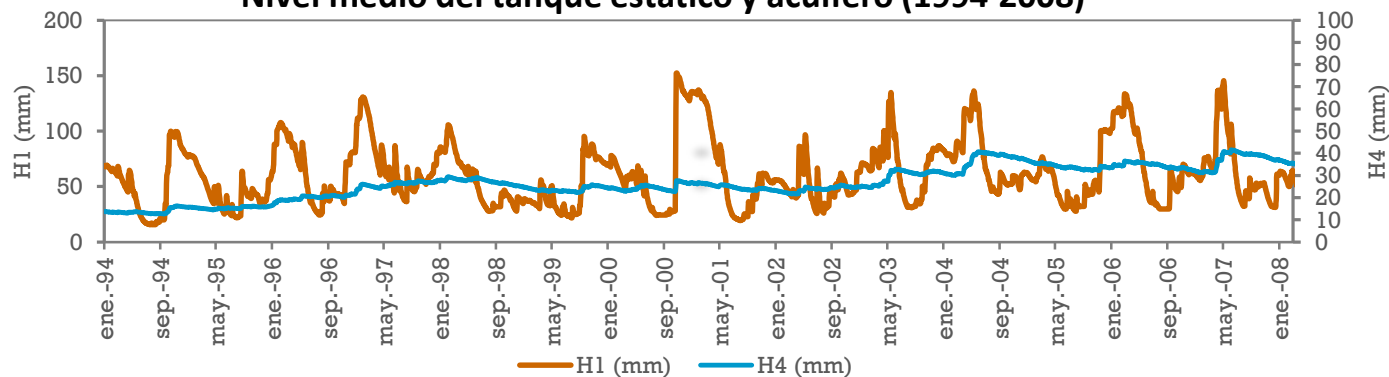
Índice

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

Validación temporal: Terde (1994-2008) NSE=0.40 y Err.Vol=-8.55%



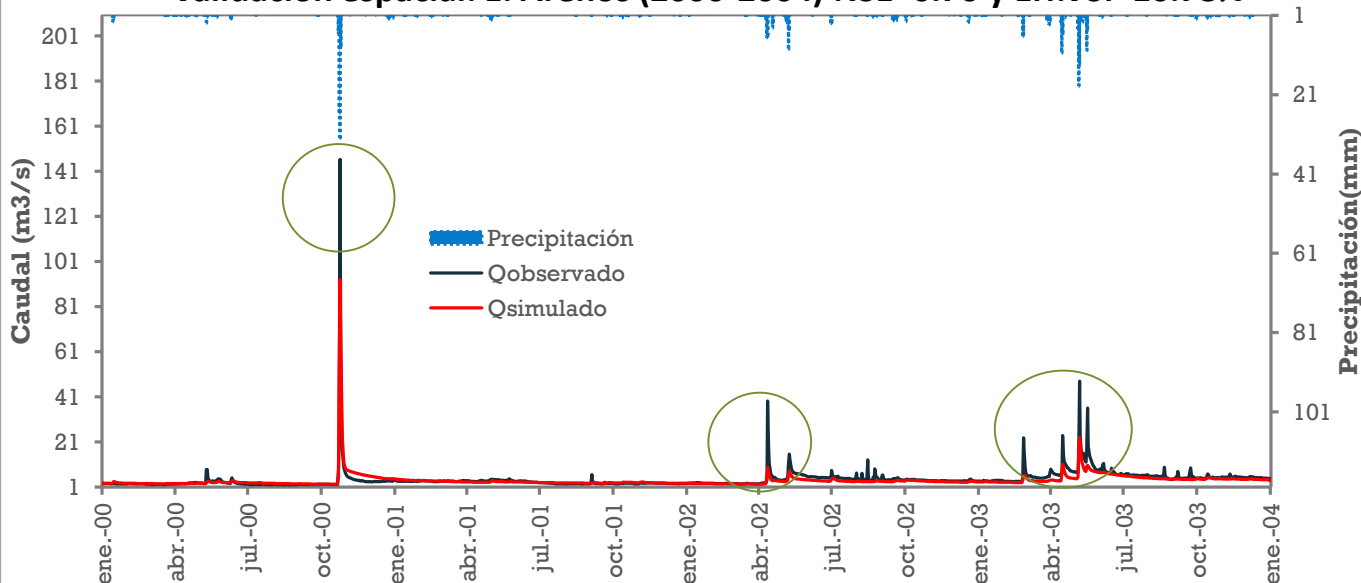
Nivel medio del tanque estático y acuífero (1994-2008)



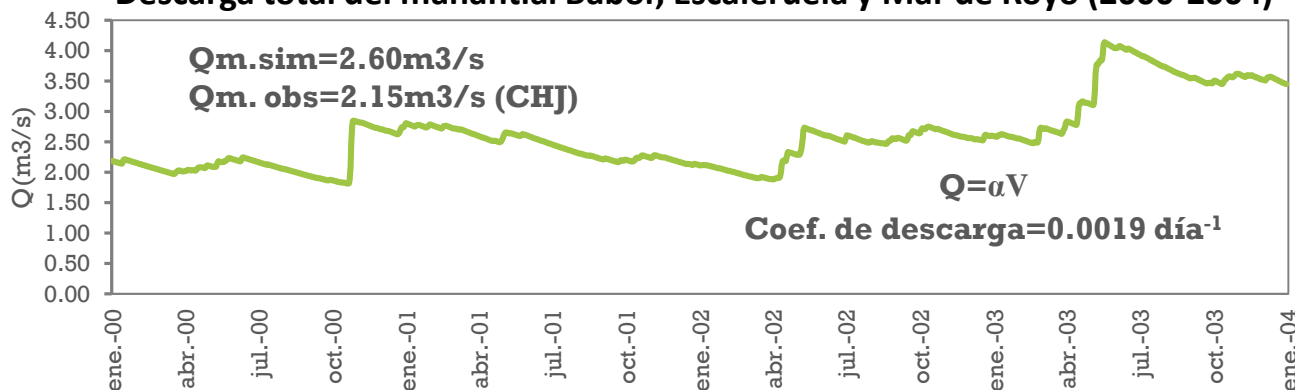
Índice

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

Validación espacial: E. Arenós (2000-2004) NSE=0.76 y Err.Vol=10.78%



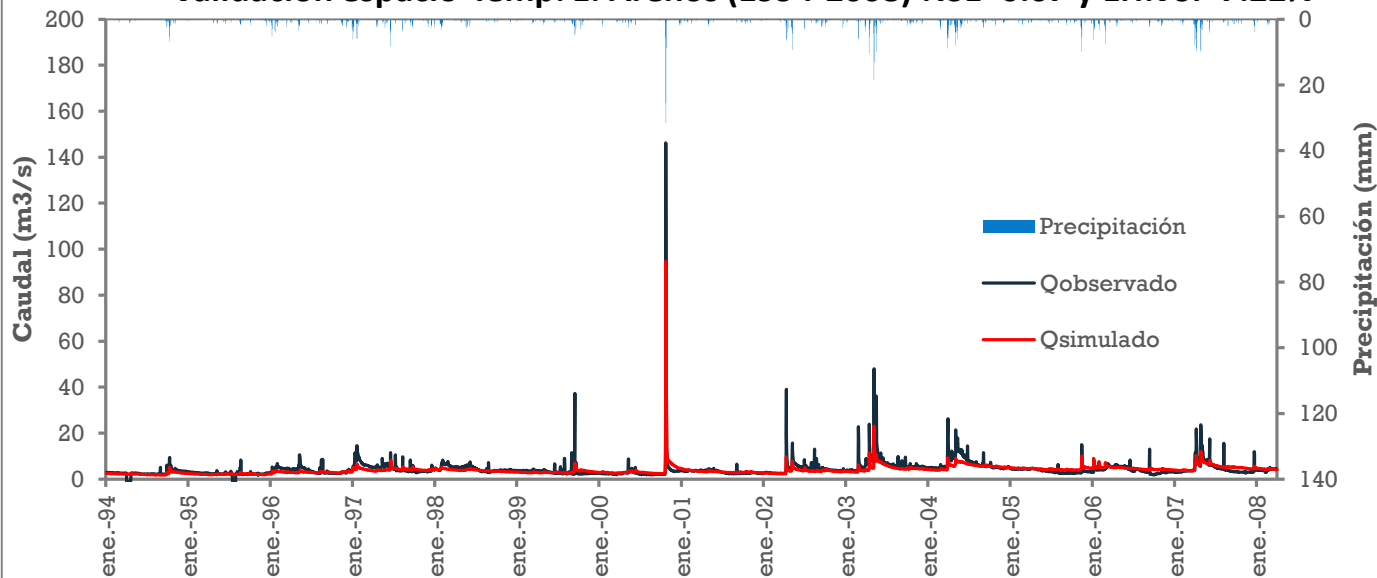
Descarga total del manantial Babor, Escaleruela y Mar de Royo (2000-2004)



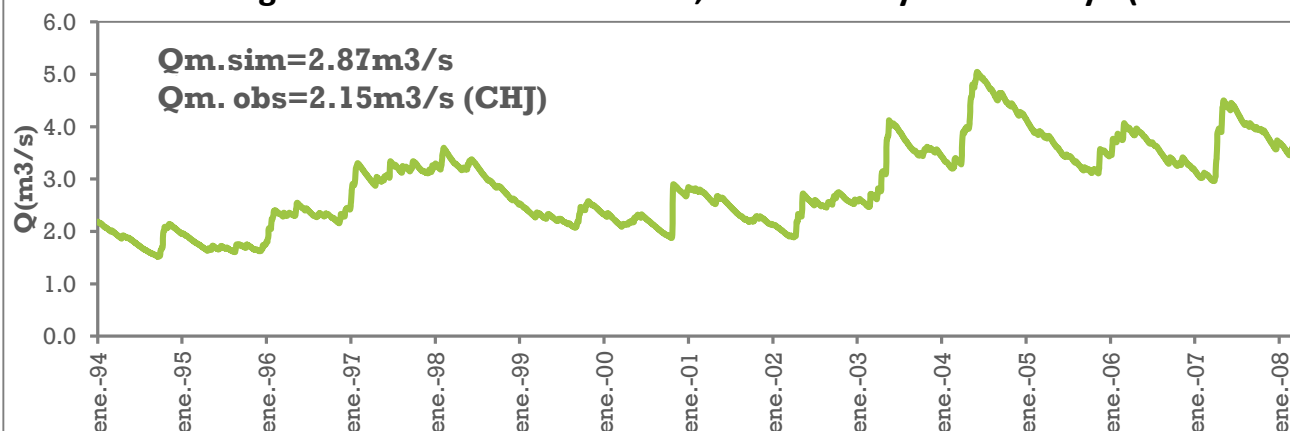
Índice

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

Validación espacio-Temp: E. Arenós (1994-2008) NSE=0.67 y Err.Vol=7.22%



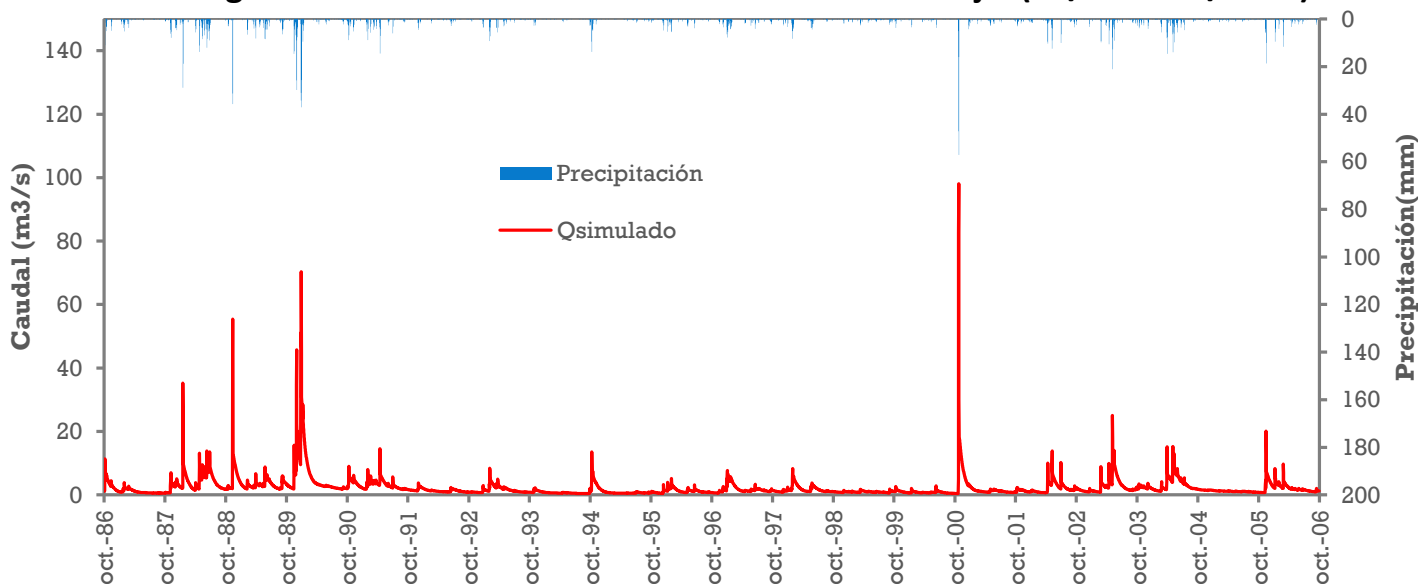
Descarga total del manantial Babor, Escaleruela y Mar de Royo (1994-2008)



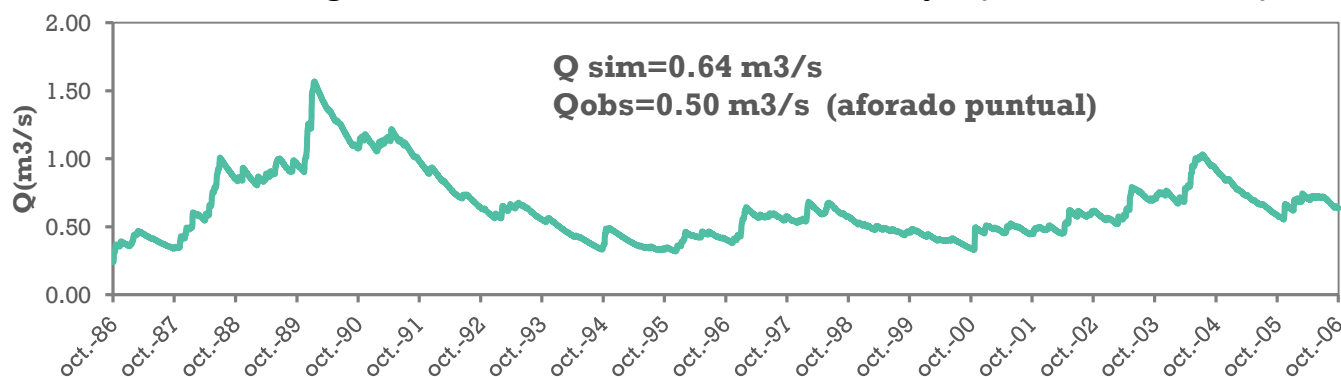
Índice

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

Hidrograma simulada de cuenca intermedia Montanejos(10/1986-09/2006)



Descarga total del manantial termal Montanejos (10/1986-09/2006)



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

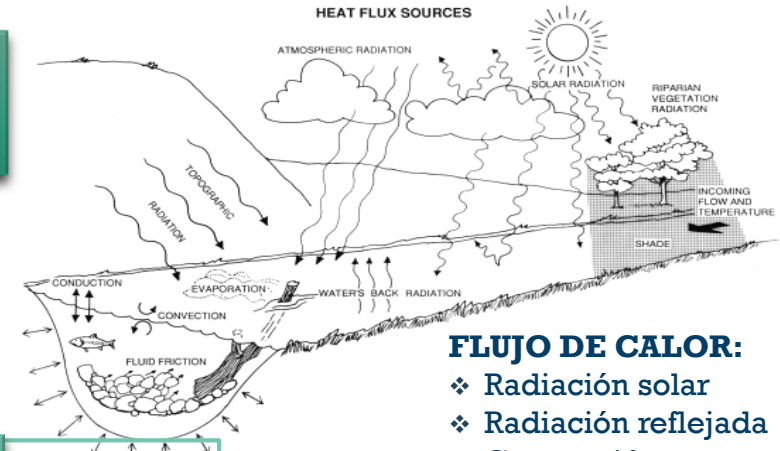
Modelo térmico SSTEMP

Calibración

Escenario N° 01
E. Cirat: $Q=0$ m³/s
Descarga media mensual manantial

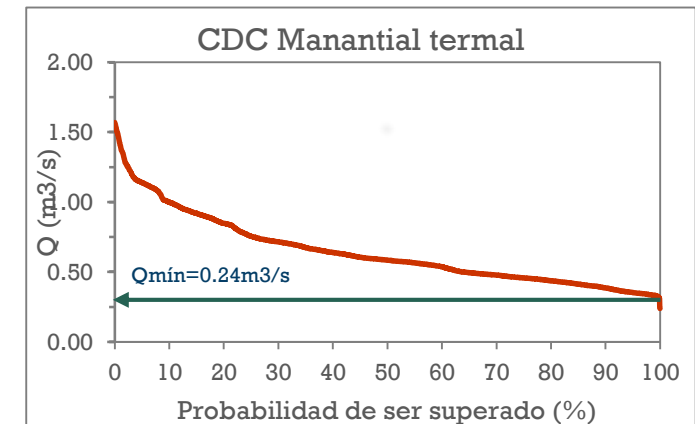
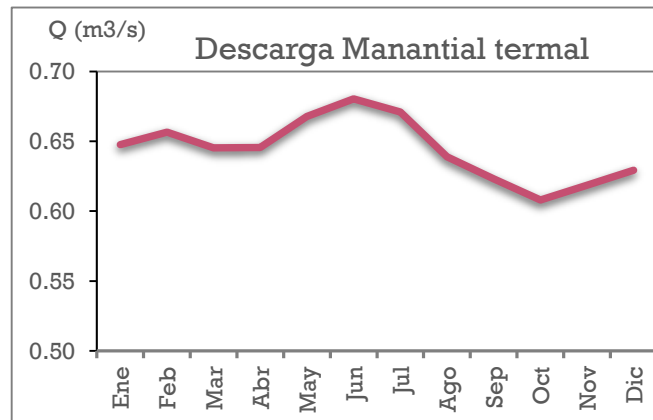
Escenario N° 02
E. Cirat: $Q=0.4$ m³/s
Descarga media mensual Manantial

Escenario N° 03
Manantial $Q_m=0.24$ m³/s
E. Cirat: $Q=0.16$ m³/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 (°)	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

$$W = AQ^B$$

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 hidrológicas mensuales

Mes	Manantial	Montanejos	Embalse Cirat		
	Q _{man} Esc.1 (m3/s)	Temperatura de salida (°C)	Q _e Esc.2 (m3/s)	Q _{comp} Esc.3 (m3/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

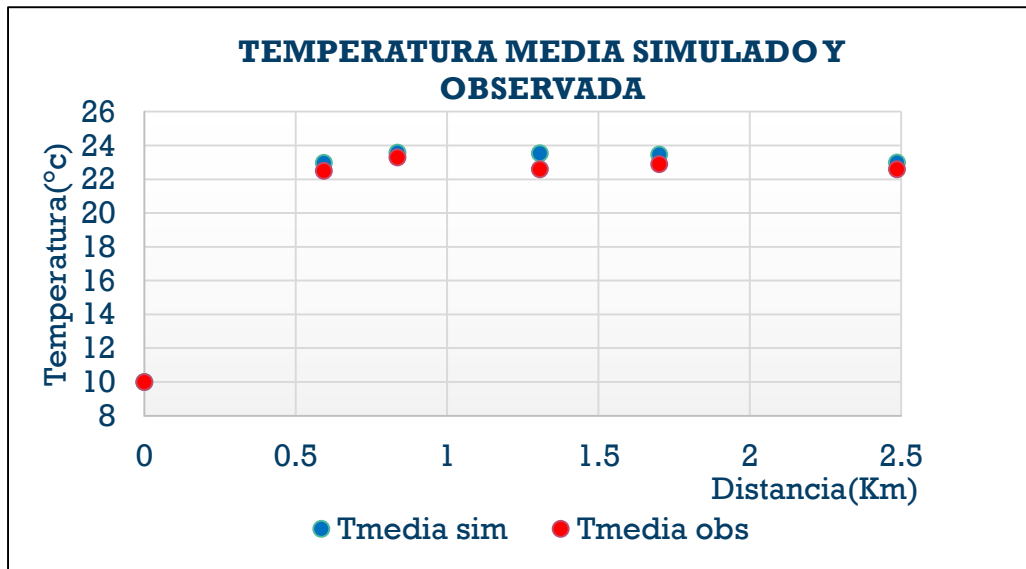


Variables de sombra de vegetación y topográfica

Tramo	Azimut(°)	LADO OESTE					LADO ESTE				
		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

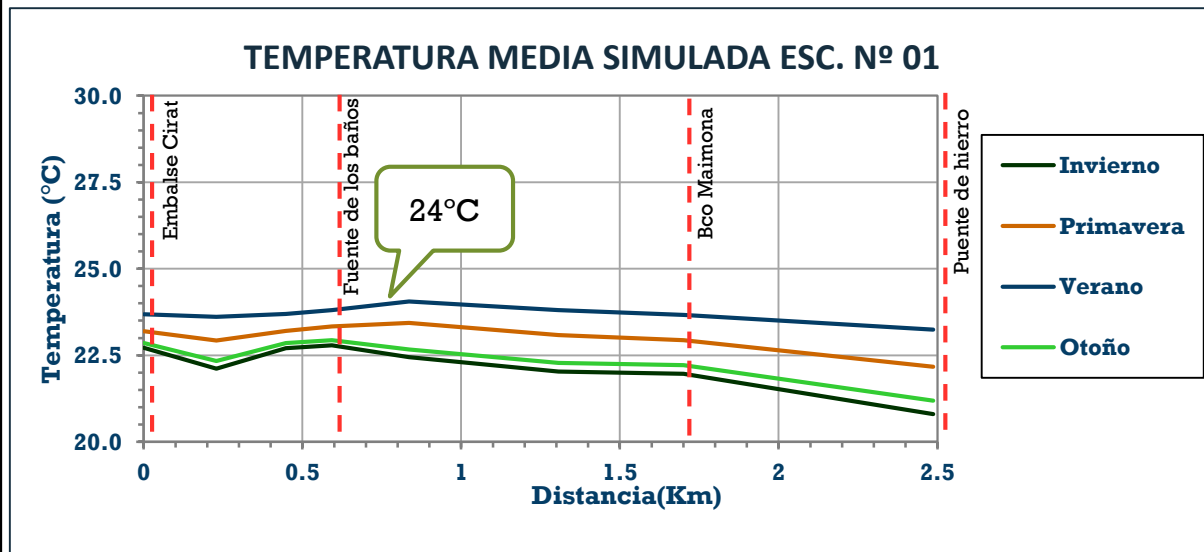
Índice

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: $Q=0 \text{ m}^3/\text{s}$
Descarga media mensual de Manantial

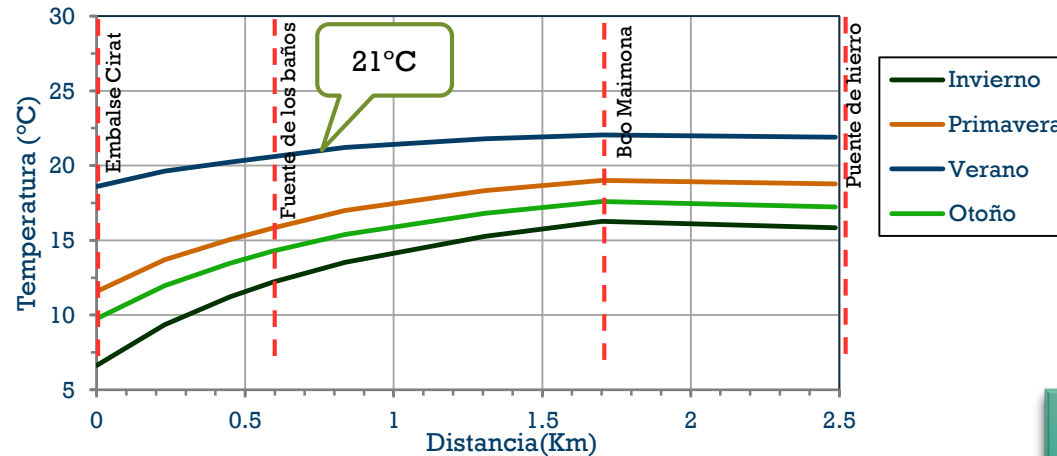


Escenario Actual del tramo de estudio.

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

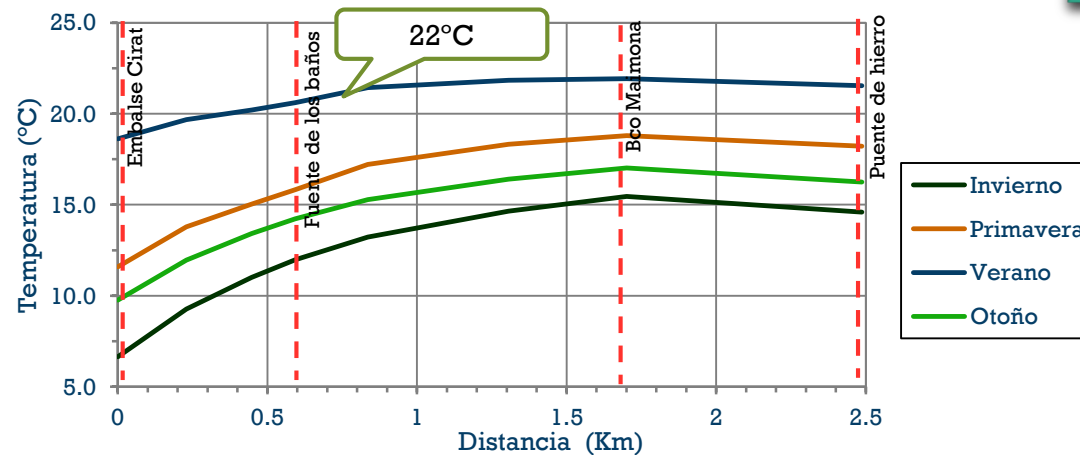
TEMPERATURA MEDIA SIMULADA –ESCENARIO N° 02



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-ESCENARIO 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 m³/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.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

**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