

Estudio del comportamiento hidrológico no-lineal de una pequeña cuenca Mediterránea. Aplicación del estudio a la cuenca de Can Vila (Cataluña).

Universidad Politécnica de Valencia.

Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos

Proyecto Final de Carrera.

Modalidad tipo II

Autor: Guiomar Ruiz Pérez

Tutor: Félix Francés García

Co-Tutora: Chiara Medici



ÍNDICE

- Introducción
- Área de estudio
- Período de calibración
- Modelos agregados
- Modelos distribuidos
- Comparación de modelos
- Conclusiones

INTRODUCCIÓN

- Importancia del conocimiento de los procesos hidrológicos
 - Cuantitativa (crecidas y sequías)
 - Cualitativa (contaminación)
- Dependencia a las características particulares de cada región
 - Dificultad para la transferencia de resultados

INTRODUCCIÓN

- Modelación de los procesos hidrológicos en ámbito climático templado-húmedo.
- Dinámica estacional muy marcada del clima mediterráneo: alternancia de períodos secos y húmedos.



Comportamiento hidrológico complejo y no-lineal. *(Pilgrim et al., 1999)*

- **¿Son fiables los modelos empleados en el ámbito climático templado – húmedo en cuencas de clima mediterráneo?**

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS:

- Mejorar el conocimiento del funcionamiento hidrológico de una pequeña cuenca mediterránea.
- Entender mejor cómo representar la no-linealidad observada en el comportamiento hidrológico de pequeñas cuencas Mediterráneas → Modelos Agregados VS Modelos Distribuidos

INTRODUCCIÓN

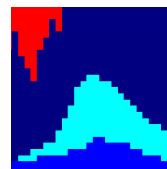
- Procedimiento secuencial:



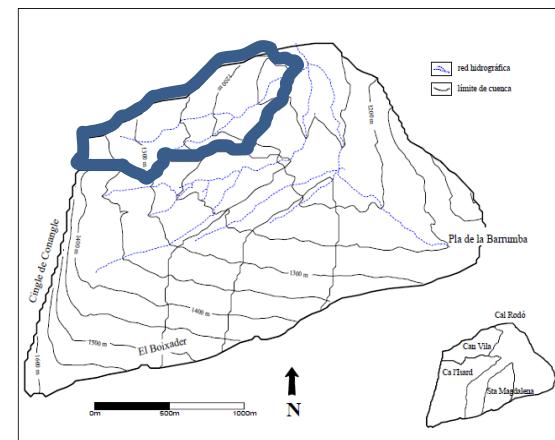
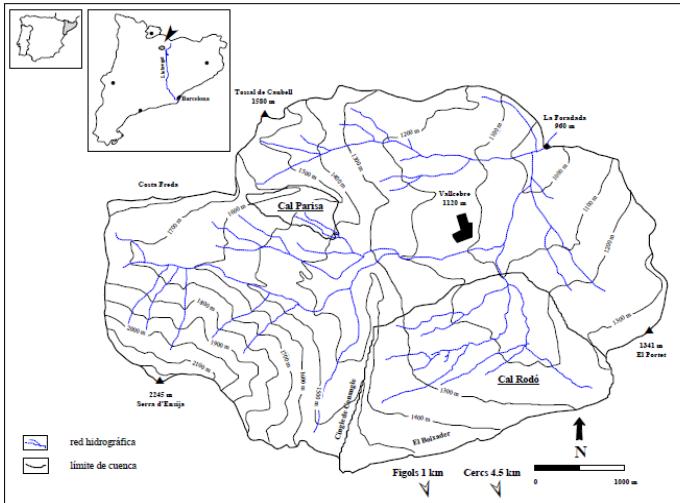
- Modelo agregado LU3
- Modelo agregado LU4
- Modelo distribuido Tetis_DHO3
- Modelo distribuido Tetis_DHE3

LU3:
Conceptual
Hydrological
Lumped Model

LU4:
Conceptual
Hydrological
Lumped Model

TETIS:


LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

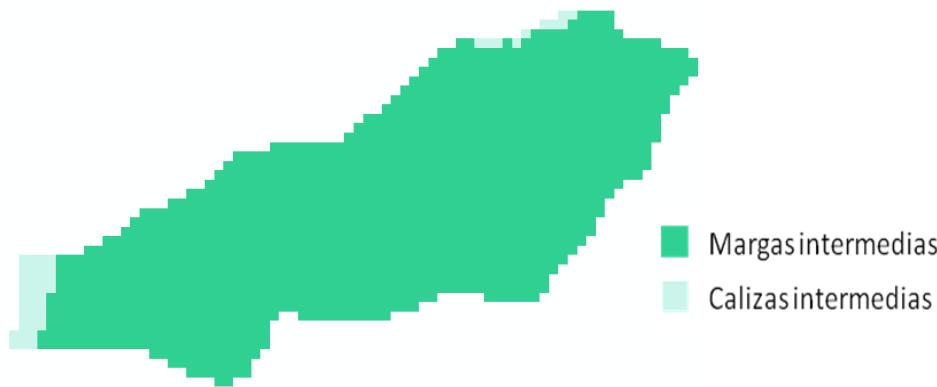


MARCO GEOLÓGICO

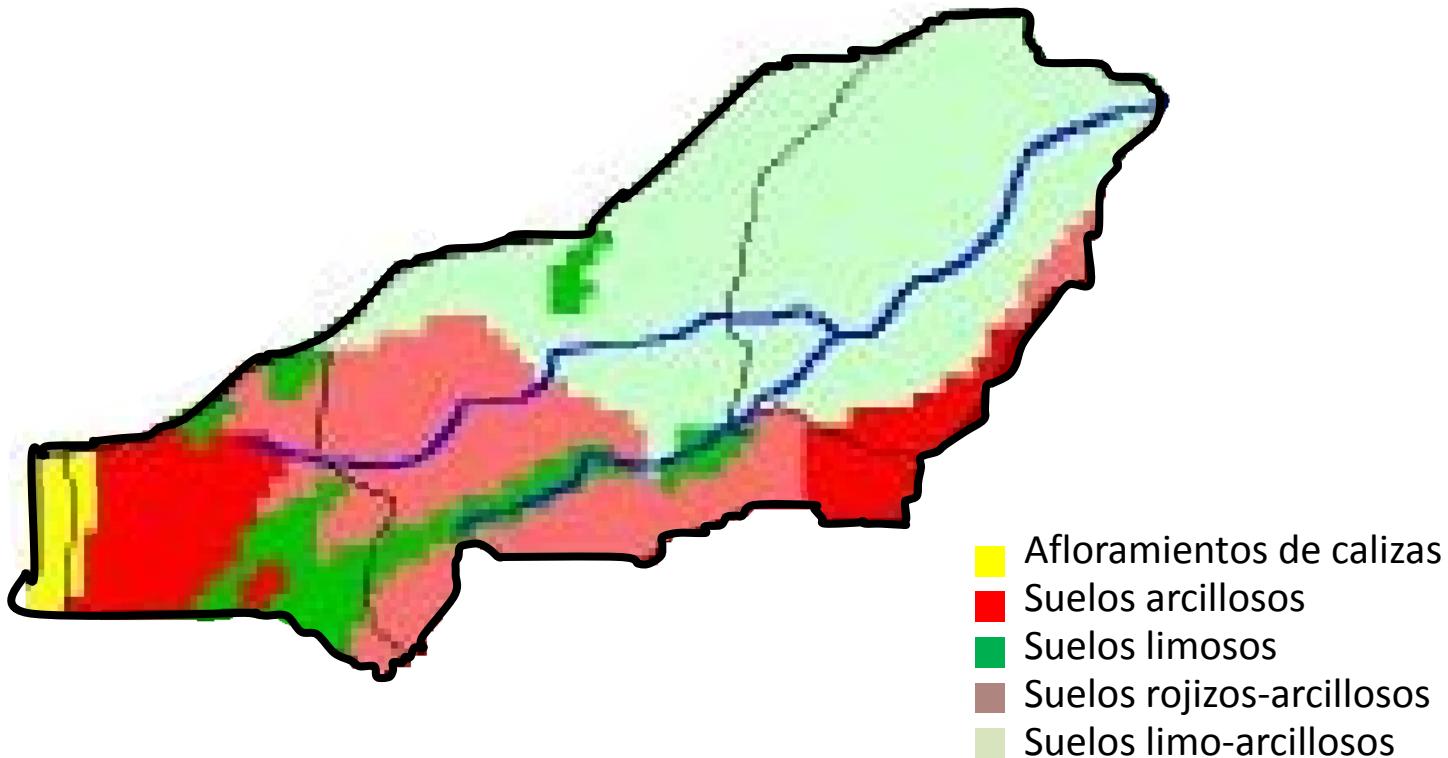
Marco geológico del Alto Llobregat:

- El zócalo Herciniano.
- La unidad del Cadí.
- El manto del Pedraforca.
- La depresión del Ebro.

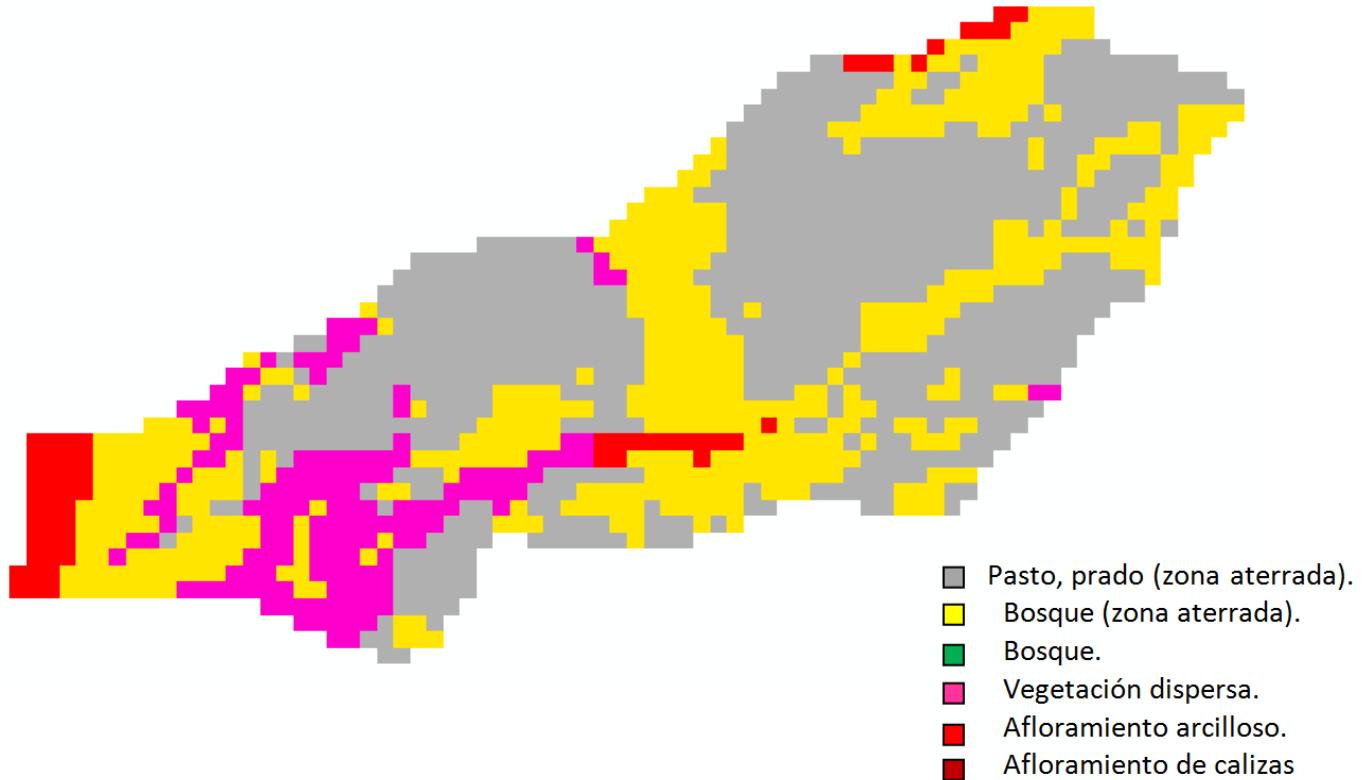
Sucesión de capas calizas y margosas



EDAFOLOGÍA

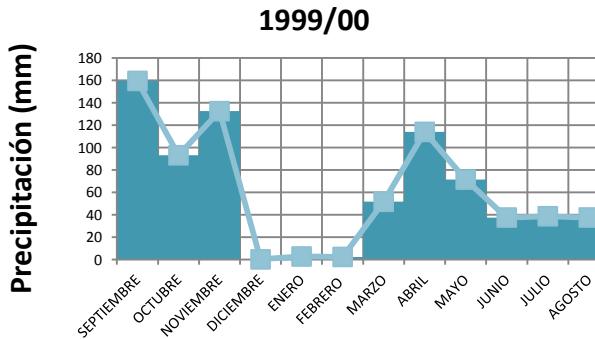
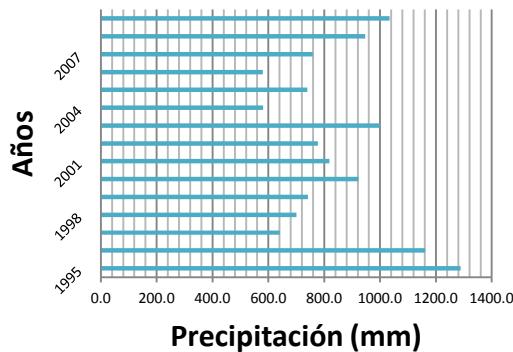


USOS DEL SUELO



CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

- Gran variabilidad inter-anual.
- Gran variabilidad intra-anual e incluso mensual
- Alternancia de períodos secos y húmedos



PERÍODO DE CALIBRACIÓN

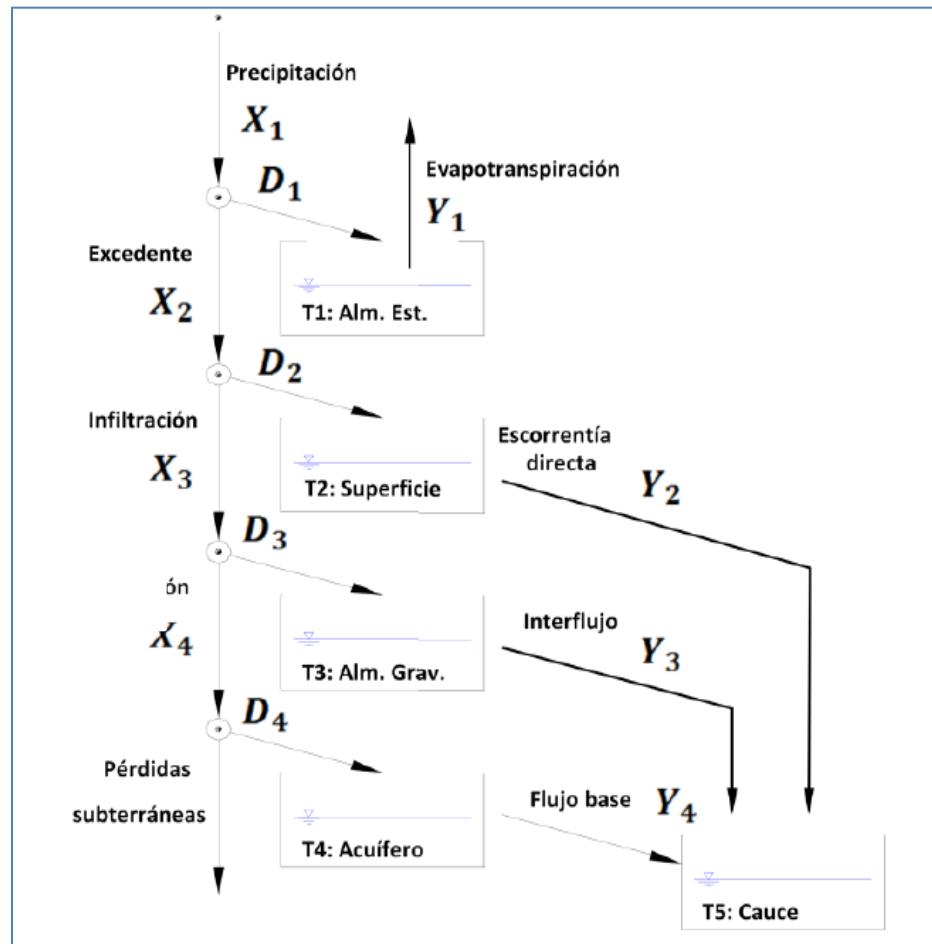
- Período 1 (11/05/1995 a 31/08/1999).

- Período húmedo
- Prec. Máxima Mensual = 325.6 mm
- Prec. Media Anual = 871.5 mm

- Período 2 (1/09/2003 a 31/08/2008).

- Período seco
- Prec. Máxima Mensual= 215.6 mm
- Prec. Media Anual = 664.8 mm

ESQUEMA CONCEPTUAL



LU3:
Conceptual
Hydrological
Lumped
Model

PARÁMETROS Y CONDICIONES A CALIBRAR

Parámetro

Almacenamiento capilar (Hu)

Capacidad de infiltración gravitacional (Ks)

Capacidad de percolación (Kp)

Tiempo medio de residencia del flujo superficial (T1)

Tiempo medio de residencia del flujo subsuperficial (T2)

Tiempo medio de residencia del flujo base (T3)

Factor corrector de la ET0 (FC)

+ almacenamientos iniciales de los cuatro tanques

FUNCIÓN OBJETIVO

Recomendaciones de Legates y McCabe (1999)

- Un indicador del error.
- Un índice adimensional cuantificador de la bondad del ajuste.
- Un procedimiento gráfico.

$$\text{Error (\%)} = \frac{\sum Q_{obs_i} - \sum Q_{sim_i}}{\sum Q_{obs_i}} * 100$$

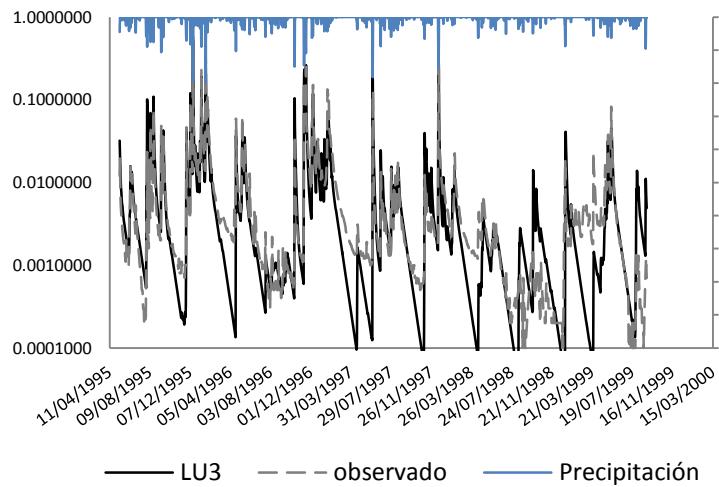
$$Nash = \frac{\sum (Q_{obs_i} - \overline{Q_{obs}})^2 - \sum (Q_{obs_i} - Q_{sim_i})^2}{\sum (Q_{obs_i} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

RANGO DE VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS

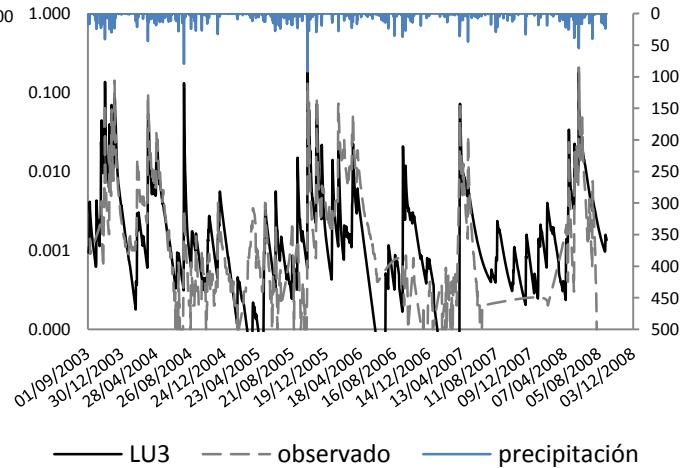
Necesario hacer un análisis de sensibilidad local.

Parámetro	Valor mín.	Valor máx.
Almacenamiento capilar (Hu)	5	600
Capacidad de infiltración gravitacional (Ks)	5	50
Capacidad de percolación (Kp)	1	20
Tiempo medio de residencia del flujo superficial (T1)	1	2
Tiempo medio de residencia del flujo subsuperficial (T2)	1.5	20
Tiempo medio de residencia del flujo base (T3)	5	100
Factor corrector de la ETP (FC)	0.7	1

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN



Nash = 0.861
Error Vol. (%) = 14.33 %

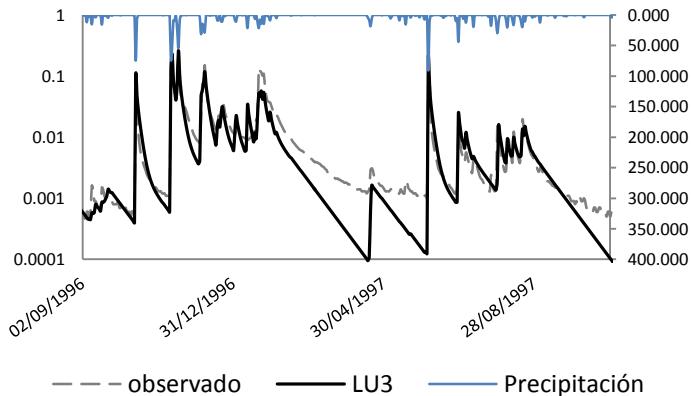


Nash = 0.501
Error Vol. (%) = 2.39 %

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

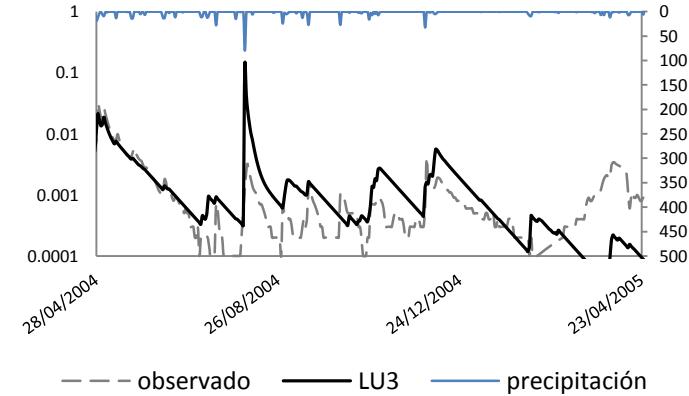
MODELOS
AGREGADOS

Problema con las curvas de recesión:



Sobrevaloración en el período seco.

Infravaloración en el período húmedo.

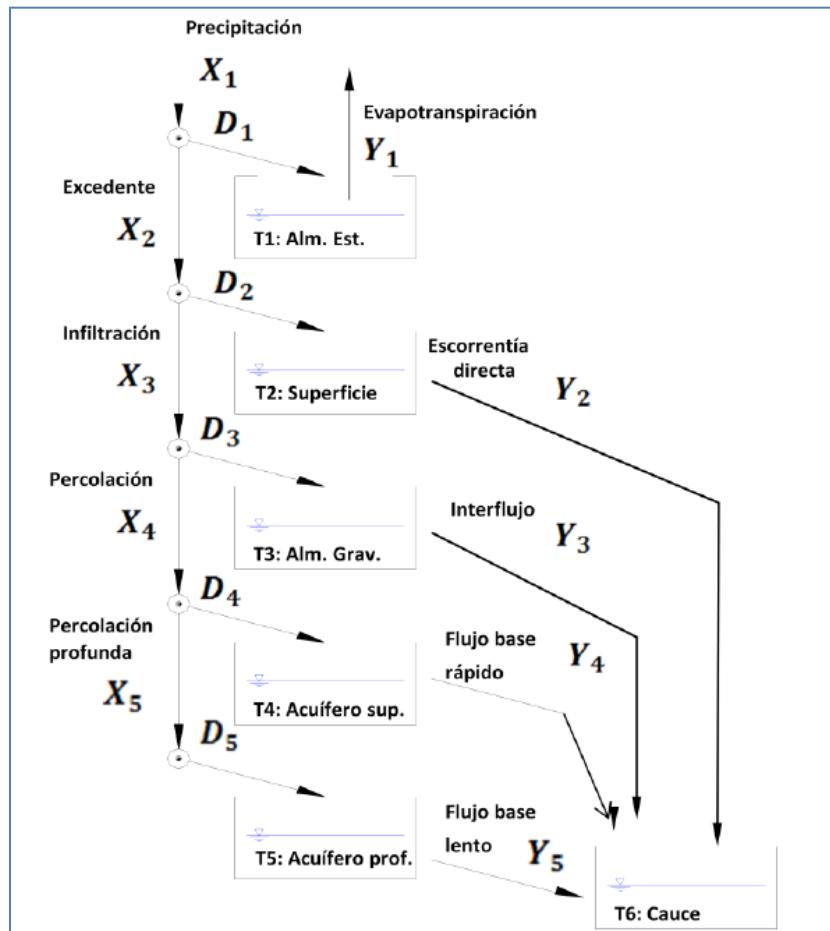


RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Problema con las curvas de recesión:

- Los resultados obtenidos con el modelo LU3 apuntan a un diferente comportamiento de la respuesta hidrológica de la cuenca en época seca y época húmeda.
- Posible formación de un acuífero colgado.
- El modelo LU4 surge para tratar de plasmar aquellas situaciones en las que parece haber una desconexión de la zona permanentemente saturada mientras que sí puede darse una saturación de la parte más superficial.

ESQUEMA CONCEPTUAL



LU4:
Conceptual
Hydrological
Lumped
Model

PARÁMETROS Y CONDICIONES A CALIBRAR

Parámetro

Almacenamiento capilar (Hu)

Capacidad de infiltración gravitacional (Ks)

Capacidad de percolación (Kp)

Tiempo medio de residencia del flujo superficial (T1)

Tiempo medio de residencia del flujo subsuperficial (T2)

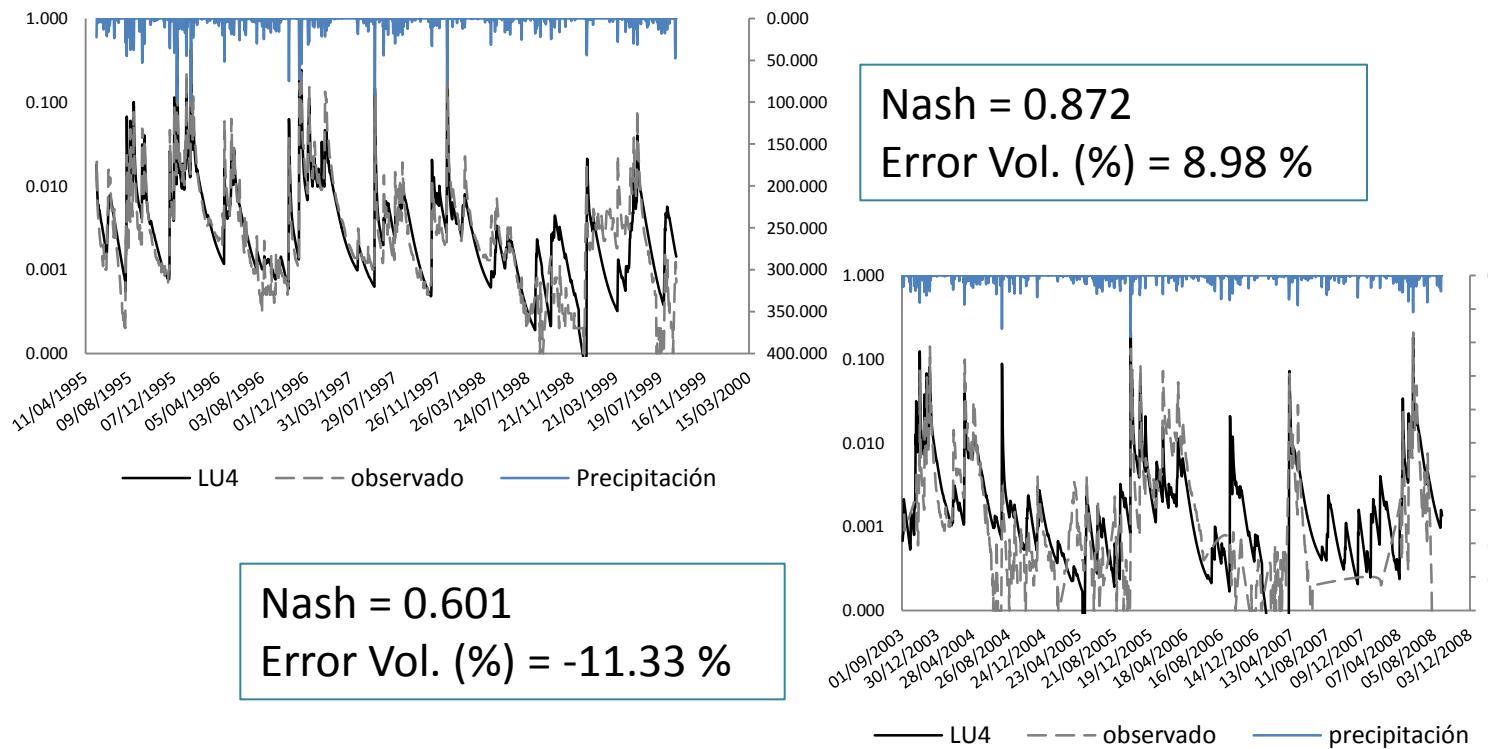
Tiempo medio de residencia del flujo base (T3)

Tiempo medio de residencia del flujo base lento (T4)

Umbral de activación del tanque lento (Hm)

Factor corrector de la ETP (FC)

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN



RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN

Período 1 Validación

Modelo	Nash	Error en volumen
LU3	0.782	27.4%
LU4	0.826	21.7%

Período 2 Validación

Modelo	Nash	Error en volumen
LU3	0.335	54.7%
LU4	0.537	47.3%

COMPARACIÓN DE MODELOS

Comparación del valor de los parámetros y del balance hídrico

	Flujo	% Participación período 1	%Participación período 2
LU3: Conceptual Hydrological Lumped Model	Escorrentía directa	22.37	10.08
	Interflujo	47.00	48.63
	Flujo base	30.63	41.29
LU4: Conceptual Hydrological Lumped Model	Flujo	% Participación período 1	%Participación período 2
	Escorrentía directa	22.16	8.05
	Interflujo	27.40	27.49
	Flujo base superficial	42.13	54.52
	Flujo base profundo	8.31	9.95

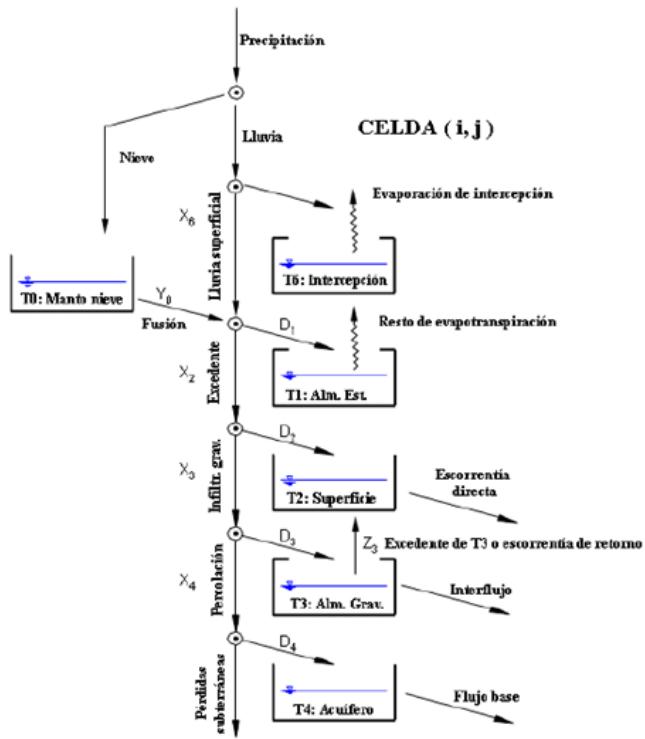
COMPARACIÓN DE MODELOS

Comparación del valor de los parámetros y del balance hídrico

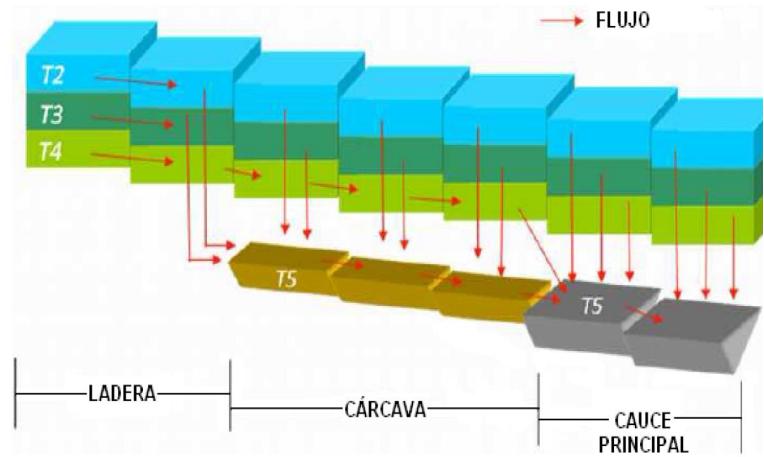
	Flujo	% Participación período 1	%Participación período 2
LU3: Conceptual Hydrological Lumped Model	Escorrentía directa	22.37	10.08
	Interflujo	47.00	48.63
	Flujo base	30.63	41.29
LU4: Conceptual Hydrological Lumped Model	Flujo	% Participación período 1	%Participación período 2
	Escorrentía directa	22.16	8.05
	Interflujo	27.40	27.49
	Flujo base superficial	42.13	54.52
	Flujo base profundo	8.31	9.95

ESQUEMA CONCEPTUAL

A nivel de celda



Conceptualización horizontal



PREPARACIÓN DE LOS DATOS

- Mapas derivados del DEM
- Parámetros geomorfológicos
 - Áreas Umbrales
 - Onda Cinemática Geomorfológica (OCG)
- Mapas de parámetros
 - Tetis_DHO3
 - Tetis_DHE3

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas derivados del DEM:

- Modelo de elevación digital
- Mapa de direcciones de flujo
- Mapa de celdas acumuladas
- Mapa de pendientes

MODELOS
DISTRIBUIDOS

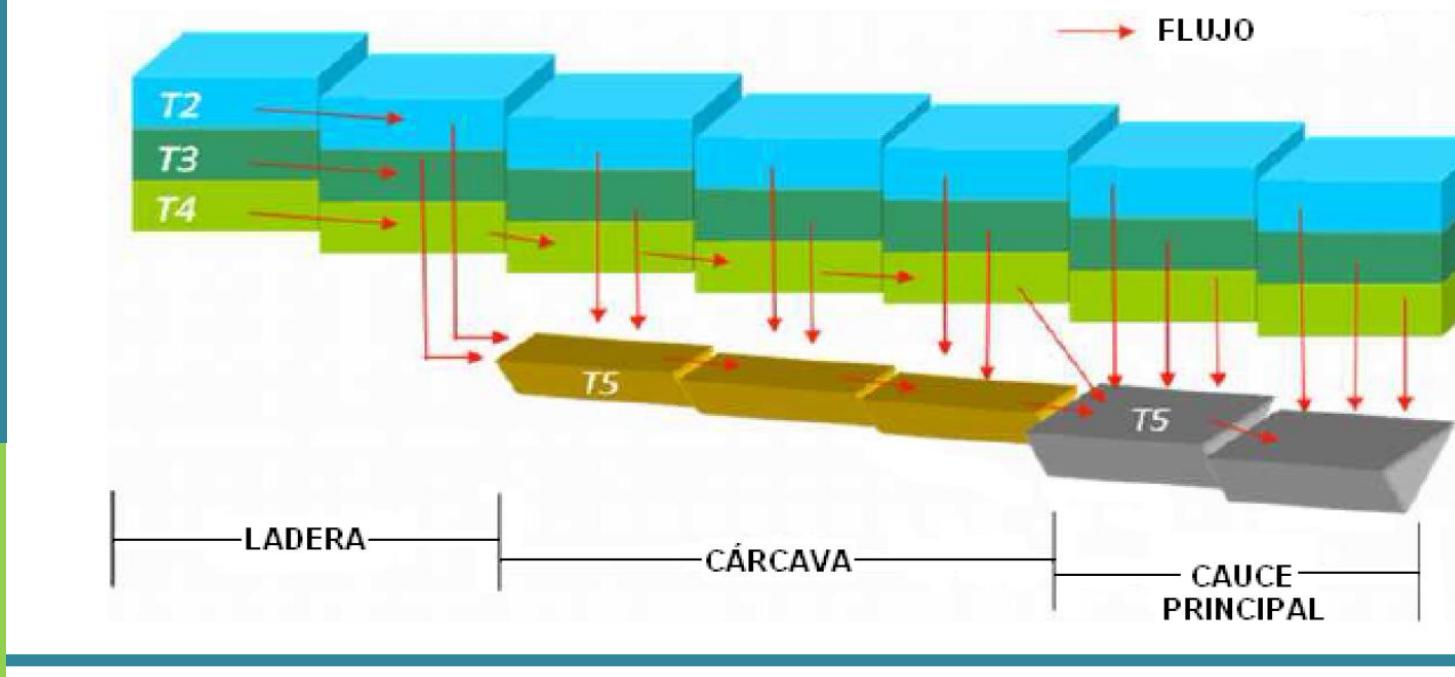


PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Parámetros Geomorfológicos:

- Áreas Umbrales
- Onda Cinemática Geomorfológica

MODELOS
DISTRIBUIDOS



PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Parámetros Geomorfológicos: Áreas Umbrales

- Mayor dificultad área umbral del interflujo
- Estudio de influencia de las áreas umbrales del modelo (detallado en Anejo 7)

ÁREA UMBRAL	VALOR Km^2
Flujo Base	0.0506
Interflujo	0.0028

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- **Mapa de velocidad de la escorrentía directa**

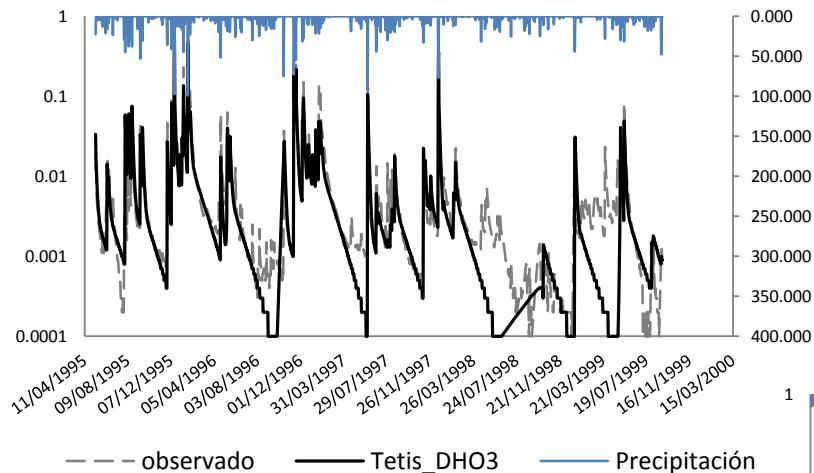
$$v = 1.414 * \sqrt{\text{pendiente } (m/m)}$$

Tetis_DHO3:
Distribución
de
parámetros
homogénea.

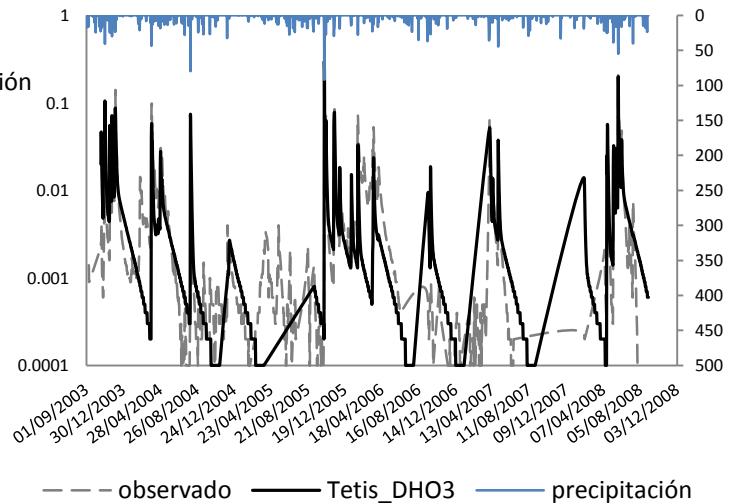
- Mapa del factor de vegetación λ_v
- Mapa de interceptación máxima $I_{\text{máx}}$
- Mapa de almacenamiento hídrico H_u
- Mapa de conductividades (vertical, horizontal, superficial y profunda

Mapa de 1

RESULTADOS OBTENIDOS



Nash = 0.594
Error Vol. (%) = -15.84 %



PREPARACIÓN DE LOS DATOS

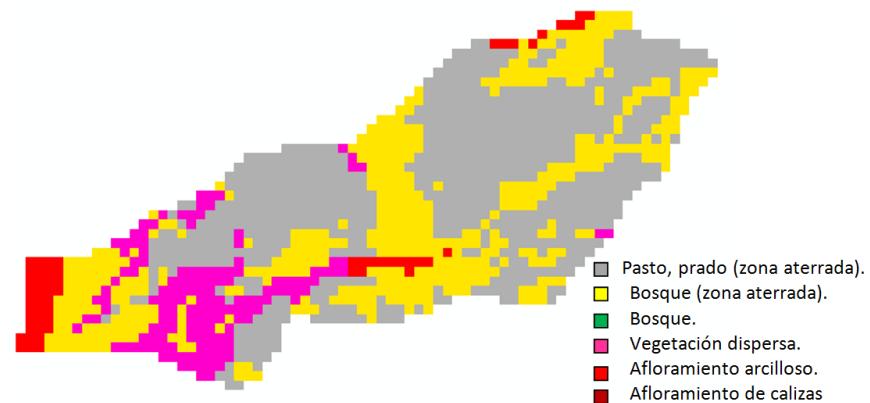
Mapas de parámetros:

- Mapa de velocidad de la escorrentía directa

$$v = 1.414 * \sqrt{\text{pendiente} (m/m)}$$

- Mapa del factor de vegetación $\lambda v \rightarrow$ mapa usos suelo

Unidad	λv
Bosque de pino albar	1
Pasto natural	0.9
Vegetación Escasa	0.3
Afloramientos	0.2



Tetis_DHE3:
Distribución
de
parámetros
heterogénea

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de interceptación máxima

La interceptación es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados

Unidad	Interceptación (mm)
Bosque de pino albar	9
Pasto natural	3
Vegetación Escasa	0 aprox.
Afloramientos	0 aprox.

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de almacenamiento hídrico Hu

El almacenamiento estático máximo (H_u) es la cantidad máxima de agua (en mm) que se puede acumular en el tanque estático. Este tanque representa el agua que transita por la cuenca y que sólo sale de ella por evapotranspiración, por lo tanto no contribuye a la escorrentía.

- Almacenamiento debido a la cubierta vegetal
- Almacenamiento en depresión
- Agua retenida por las fuerzas capilares en la parte superior del suelo

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de almacenamiento hídrico Hu
- Almacenamiento debido a la cubierta vegetal

Unidad	Almacenamiento (mm)
Bosque de pino albar	4.5
Pradera natural	6
Vegetación Escasa	0

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de almacenamiento hídrico Hu
- Almacenamiento en depresión

NECESARIO TENER EN CUENTA EL ATERRAZAMIENTO

Terrazas pequeñas:

Dimensiones menores al tamaño de celda.

Terrazas grandes:

Dimensiones mayores al tamaño de celda



DE LOS DATOS

to hídrico Hu
o al almacenamiento en

ATA EL ATERRAZAMIENTO

naño de celda.

año de celda

Sistema de drenaje propio



ANALISIS DE LOS DATOS

enimiento hídrico Hu



Terrazas pequeñas

Dimensiones

Terrazas grandes

Dimensiones

Encharcamiento típico de las terrazas pequeñas

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de almacenamiento hídrico Hu
- Almacenamiento debido al almacenamiento en depresión

NECESARIO TENER EN CUENTA EL ATERRAZAMIENTO

Terrazas pequeñas → Almacenamiento pendiente cero

Dimensiones menores al tamaño de celda

Terrazas grandes:

Dimensiones mayores al tamaño de celda

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de almacenamiento hídrico Hu
- Agua retenida por las fuerzas capilares en la parte superior del suelo

A determinar:

- Capacidad de campo y punto de marchitez
- Profundidad efectiva
 - Profundidad efectiva de raíces
 - Profundidad del suelo

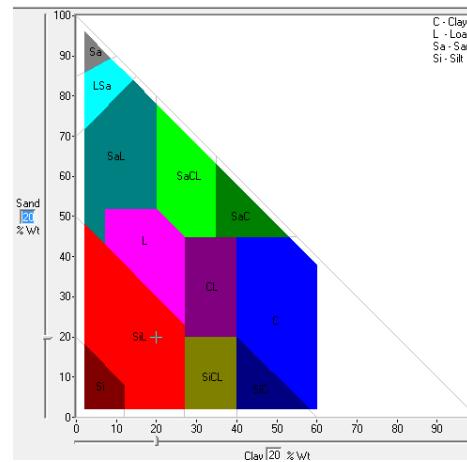
PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de almacenamiento hídrico Hu
- Agua retenida por las fuerzas capilares en la parte superior del suelo

A determinar:

- **Capacidad de campo y punto de marchitez**



PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de almacenamiento hídrico Hu
→ Agua retenida por las fuerzas capilares en la parte superior del suelo

A determinar:

- **Profundidad efectiva de raíces**

Tipo de vegetación	Profundidad efectiva de raíces (m)
Pino Albar (<i>pinus sylvestris</i>)	1.5
Pradera natural	0.5
Vegetación escasa	0.5
Afloramientos	0

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de almacenamiento hídrico Hu
- Agua retenida por las fuerzas capilares en la parte superior del suelo

A determinar:

- **Profundidad del suelo → Dato**



PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de almacenamiento hídrico Hu



PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de conductividades
- VERTICALES
- Capacidad de infiltración gravitacional (Ks)
 - Tasa de percolación (Kp)
 - Tasa de percolación profunda (Kpp) → Pérdidas nulas
- HORIZONTALES
- Conductividad horizontal interflujo (Kss)
 - Conductividad horizontal flujo base (Ksa)

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de conductividades
- VERTICALES
- **Capacidad de infiltración gravitacional (Ks)**
 - **Tasa de percolación (Kp)**
 - Tasa de percolación profunda (Kpp)

NECESARIO:

- Mapa de edafología
- Análisis de las muestras a través del programa SWC

PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Mapas de parámetros:

- Mapa de conductividades

HORizontales

- Conductividad horizontal interflujo (Kss)
- Conductividad horizontal flujo base (Ksa)

MISMA DISTRIBUCIÓN QUE
CONDUCTIVIDADES VERTICALES

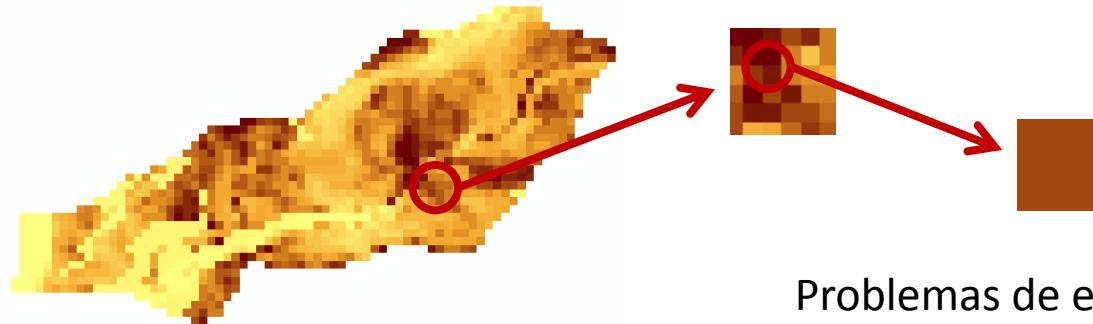
Necesario considerar aterrazamiento:
Terrazas pequeñas siempre más húmedas. (*Lloréns, 2002*)

➡ Valor original / 10

FASE DE CALIBRACIÓN

Parámetro efectivo:

- Comportamiento de un área finita o volumen finito
- No pueden ser medidos puntualmente
- No necesitan estar relacionados con medidas puntuales



Problemas de escalabilidad

FASE DE CALIBRACIÓN

Parámetro efectivo en TETIS:

$$\theta_{i,j}^* \approx R_i \theta_{i,j}, \quad j = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, p$$

$\theta_{i,j}^*$ Parámetro efectivo
 R_i Factor corrector
 $\theta_{i,j}$ Parámetro estimado



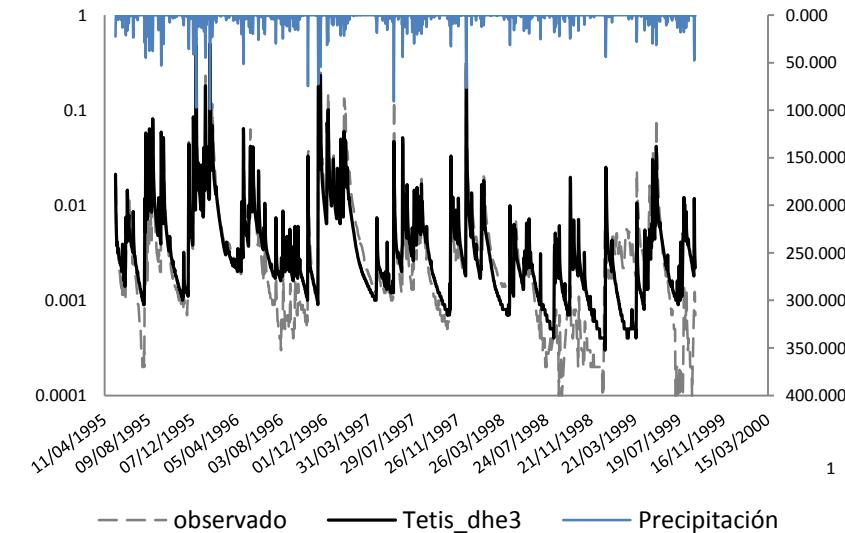
Erros conceptuales del modelo
Erros en los datos de entrada
Efectos de escala espacial y temporal

FASE DE CALIBRACIÓN

Factores correctores a calibrar:

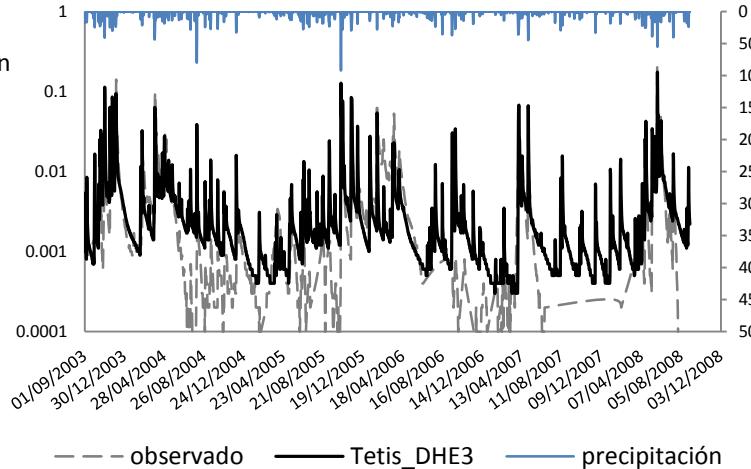
- FC-1: Almacenamiento Estático
- FC-2: Evaporación
- FC-3: Infiltración
- FC-4: Escorrentía directa
- FC-5: Percolación
- FC-6: Interflujo
- FC-7: Pérdidas Subterráneas
- FC-8: Flujo Base
- FC-9: Velocidad del flujo

RESULTADOS OBTENIDOS



Nash = 0.831
Error Vol. (%) = 11.30 %

Nash = 0.670
Error Vol. (%) = -16.72%



FASE DE VALIDACIÓN

Período 1 Validación

Modelo	Nash	Error en volumen
Tetis_DHO3	0.767	14.9%
Tetis_DHE3	0.812	21.5%

Período 2 Validación

Modelo	Nash	Error en volumen
Tetis_DHO3	0.550	35.3%
Tetis_DHE3	0.623	32.4%

COMPARACIÓN DE MODELOS

- Análisis Multicriterio: Óptimo de Pareto
 - Procedimiento seguido
 - Comprobación de la solución de compromiso
 - Comparación de los resultados de cada modelo

COMPARACIÓN DE MODELOS

Análisis Multicriterio: Óptimo de Pareto

- Procedimiento seguido

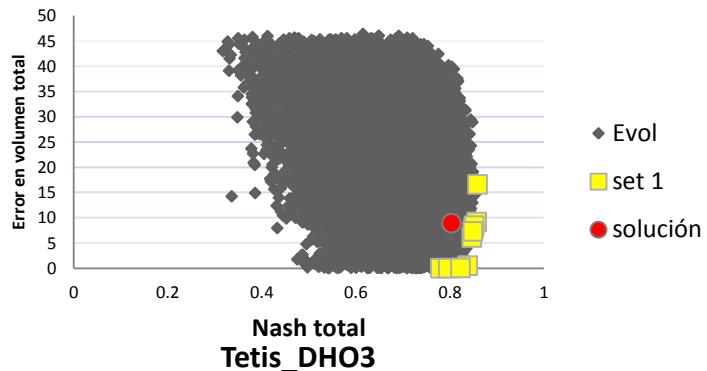
- Generación de 10,000 simulaciones de Montecarlo
- Valoración de todos los criterios establecidos
- Creación del ranking de Pareto
- Representación gráfica de los resultados

COMPARACIÓN DE MODELOS

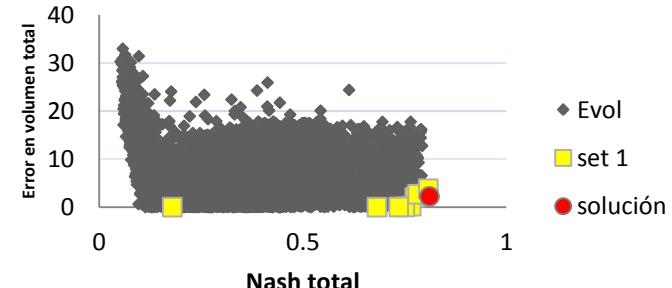
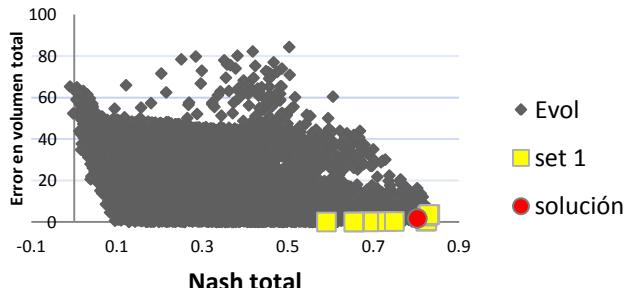
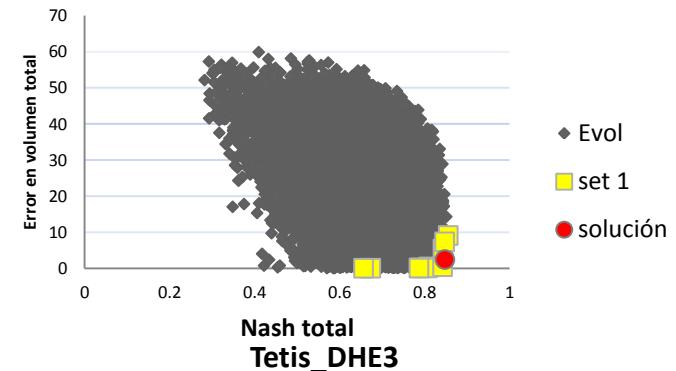
Análisis Multicriterio: Óptimo de Pareto

- Comprobación de la solución de compromiso

LU3



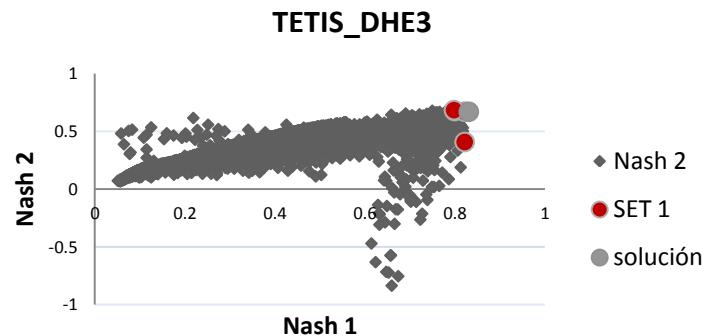
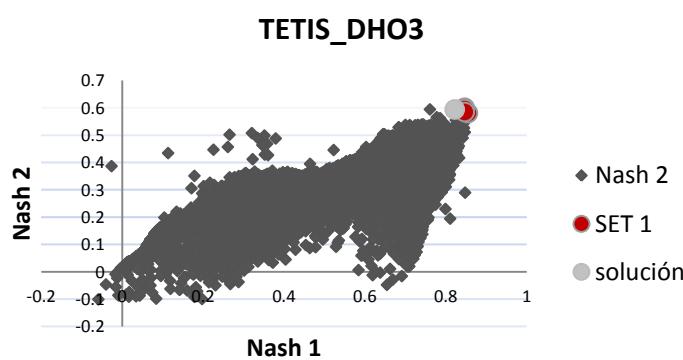
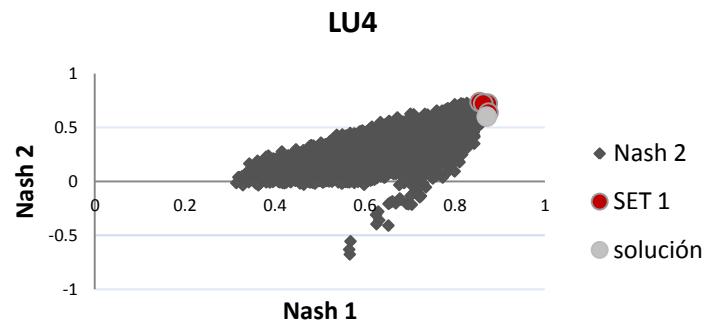
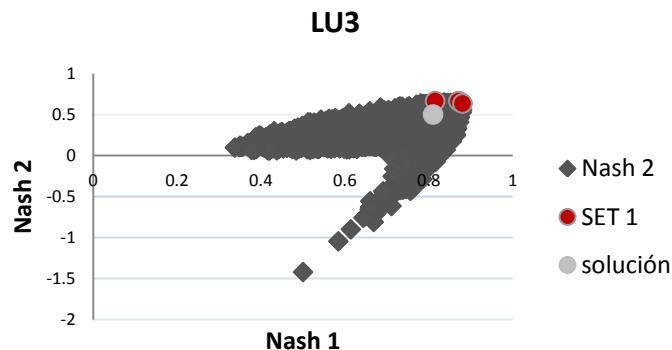
LU4



COMPARACIÓN DE MODELOS

Análisis Multicriterio: Óptimo de Pareto

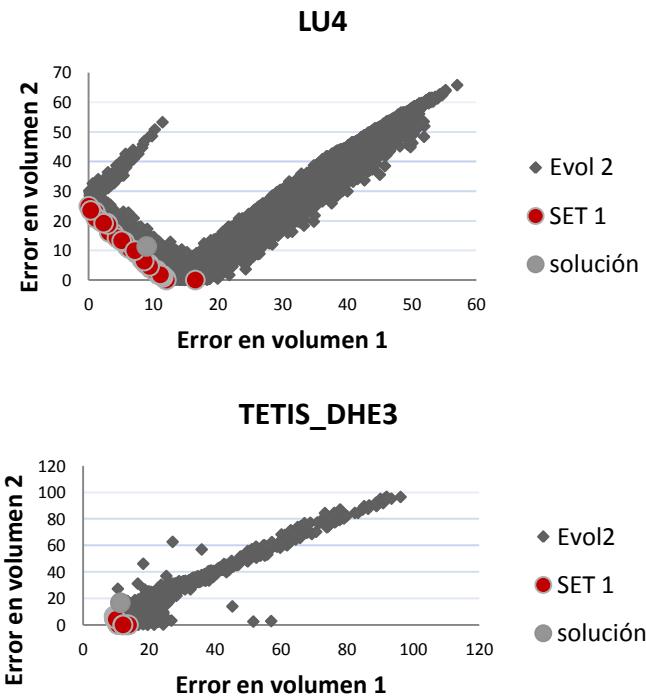
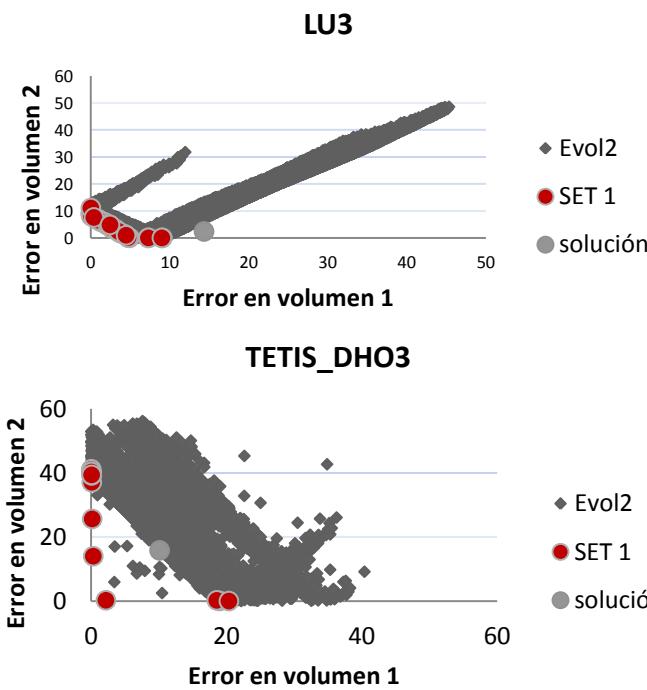
- Comparación de los resultados obtenidos



COMPARACIÓN DE MODELOS

Análisis Multicriterio: Óptimo de Pareto

- Comparación de los resultados obtenidos



CONCLUSIONES

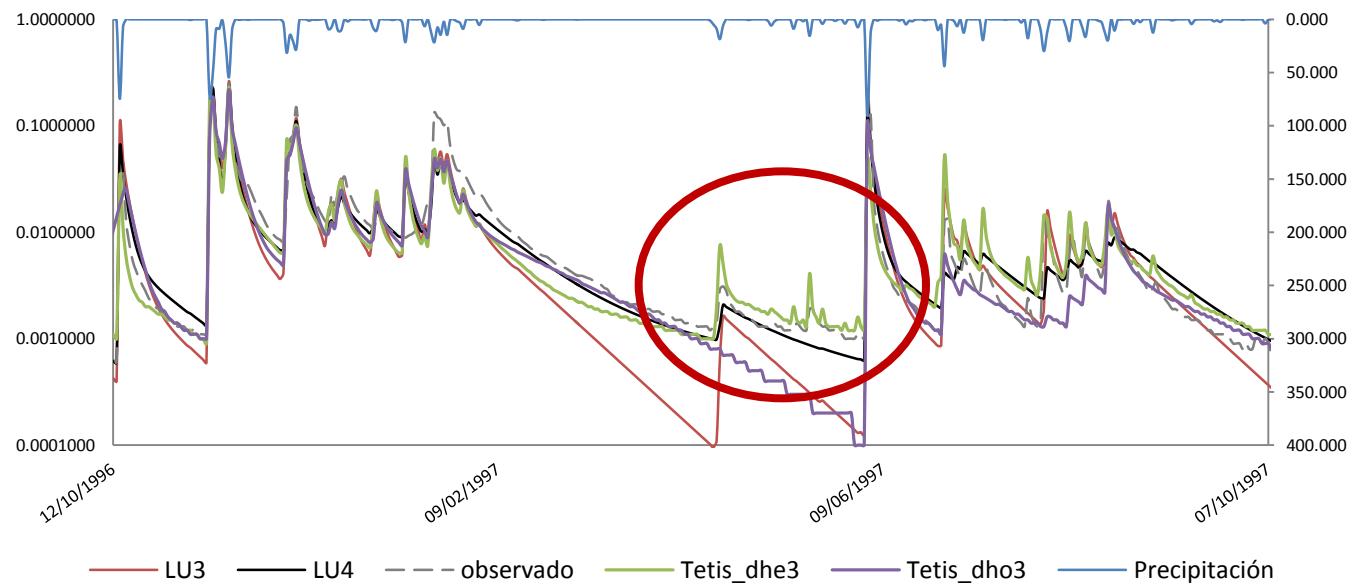
- Modelo LU3: Peores resultados
- Modelo LU4: Buenos resultados con necesidad de introducir una no-linealidad en el esquema conceptual.
 - Flujo base superficial funcionaba como interflujo.
 - Muy pocas diferencias entre período seco y húmedo

Quizás la necesidad de introducir el último tanque al modelo agregado original (LU3) se deba mayoritariamente a la incapacidad de los modelos agregados de modelar la distribución espacial de los parámetros y, por tanto, la posibilidad de la existencia de distintas velocidades del interflujo (pues parece ser la clave distintiva) en cada una de las celdas.

CONCLUSIONES

- Resultados muy parecidos entre el modelo LU4 y el modelo Tetis_DHE3 sin necesidad de introducir una cuarta respuesta.
- Mejores resultados en Tetis_DHE3 que en Tetis_DHO3.

MODELOS
DISTRIBUIDOS

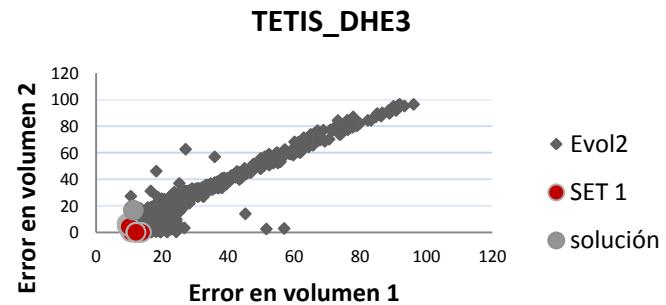
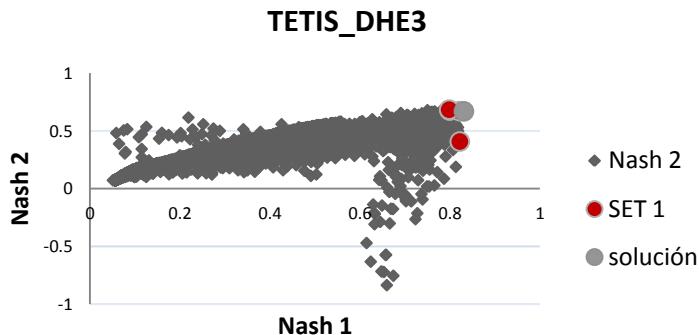


CONCLUSIONES

- Resultados obtenidos → Muy próximos al óptimo de Pareto
- Modelo Tetis_DHE3 :

→ Recta creciente con pendiente de 45º

→ Resultados aptos considerando todos los criterios



Estudio del comportamiento hidrológico no-lineal de una pequeña cuenca Mediterránea. Aplicación del estudio a la cuenca de Can Vila (Cataluña).

Universidad Politécnica de Valencia.

Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos

Proyecto Final de Carrera.

Modalidad tipo II

Autor: Guiomar Ruiz Pérez

Tutor: Félix Francés García

Co-Tutora: Chiara Medici

