



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA

*Doctorado en  
Ingeniería del Agua  
y Medioambiental*

# Calibración de un modelo conceptual distribuido del ciclo de sedimentos. Aplicación a la cuenca experimental de Goodwin Creek (EEUU).

Gianbattista Bussi  
Director: Félix Francés



*Valencia, 27 de Mayo de 2010*

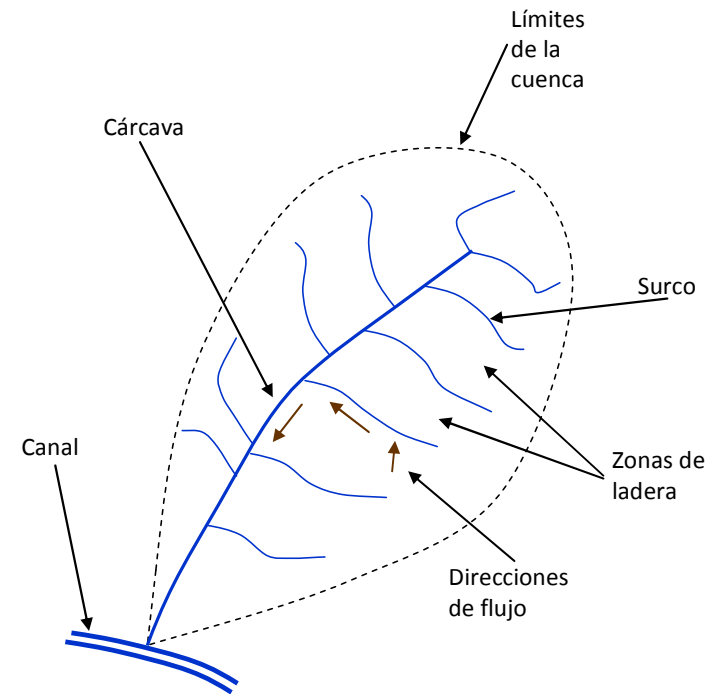
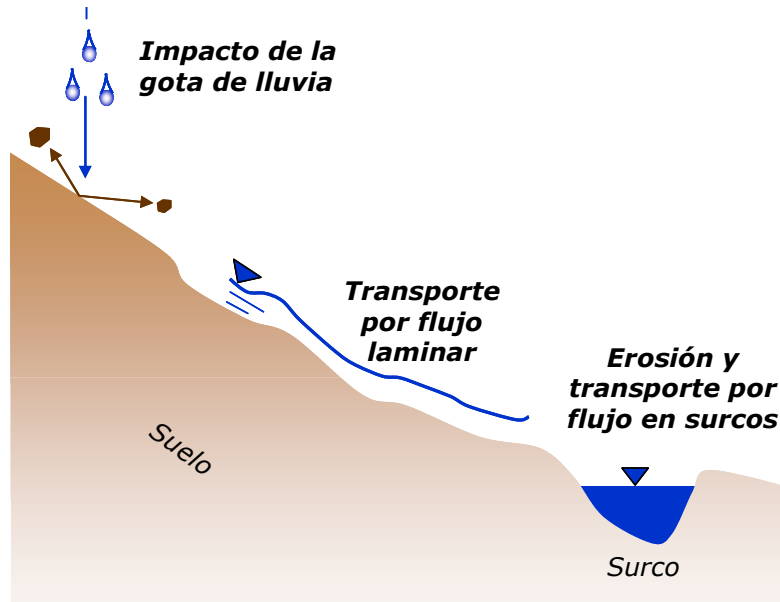
## El problema

- Modelación del ciclo de sedimentos a escala de cuenca
  - Importante para la descripción de la evolución del paisaje
  - Muchos objetivos:
    - Localización de zonas con pérdida de suelo
    - Identificación de las fuentes de sedimentos
    - Tasas de sedimentación de los embalses
    - ...
  - Queda mucho por investigar, sobre todo en cuencas naturales
    - P. ej. En la estimación del transporte de sedimentos los errores suelen ser del mismo orden de magnitud que la variable misma

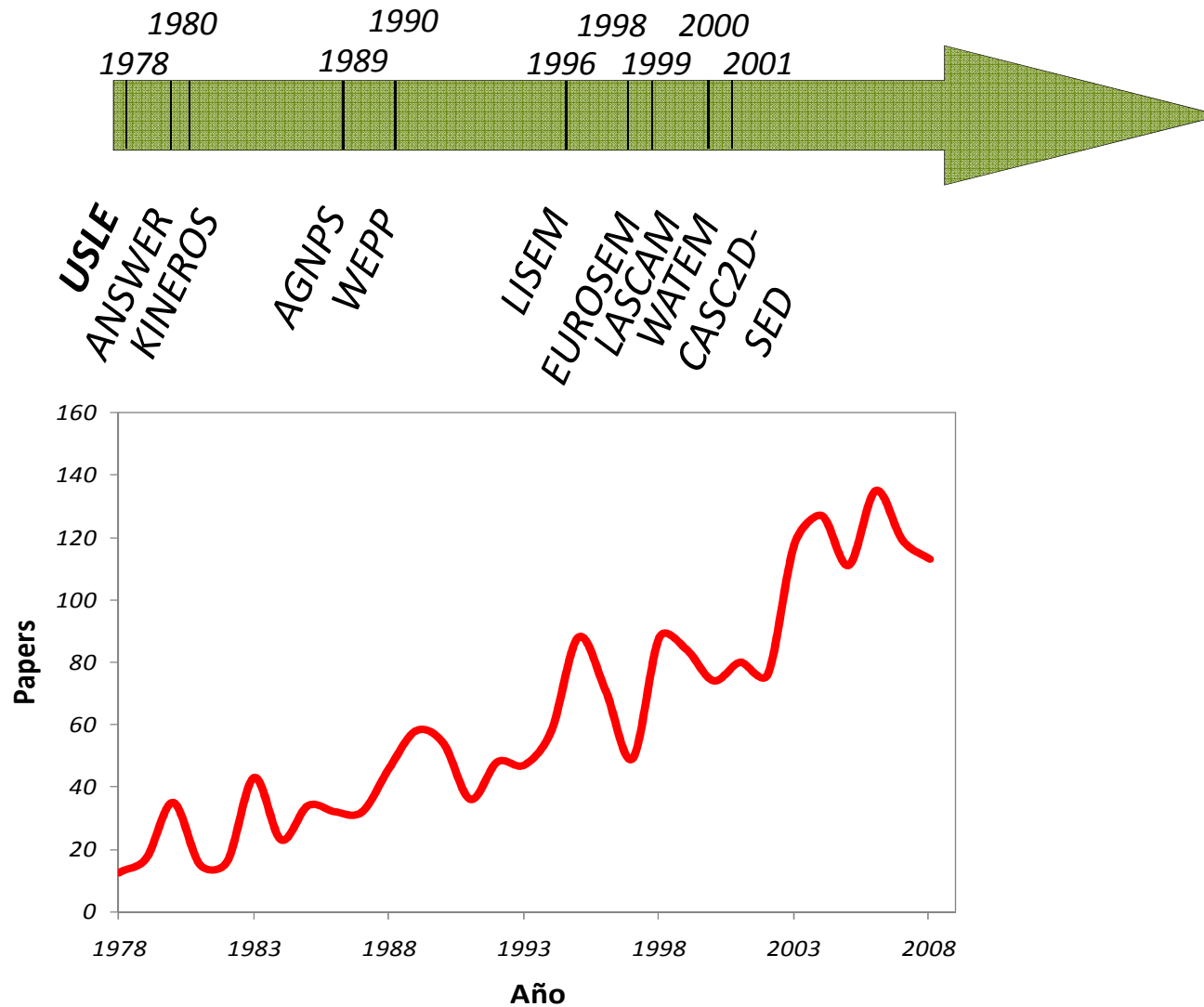
## El trabajo

- 1 - La modelación del ciclo de sedimentos
- 2 - El modelo TETIS-SED
- 3 - El caso de estudio: Goodwin Creek
- 4 - Resultados
- 5 - Conclusiones

# La modelación del ciclo de sedimentos



# Los modelos



## Problemas en la modelación del ciclo de sedimentos

- Representación de los procesos:
  - Complejidad: ¿Modelos físicamente basados o empíricos?
  - Escala temporal: ¿Escala de evento o simulación continua?
  - Validación: ¿El modelo realmente reproduce la dinámica de la cuenca?
  
- Fuerte sensibilidad a los parámetros
  
- Falta de procedimientos claros de calibración y validación
  
- ...

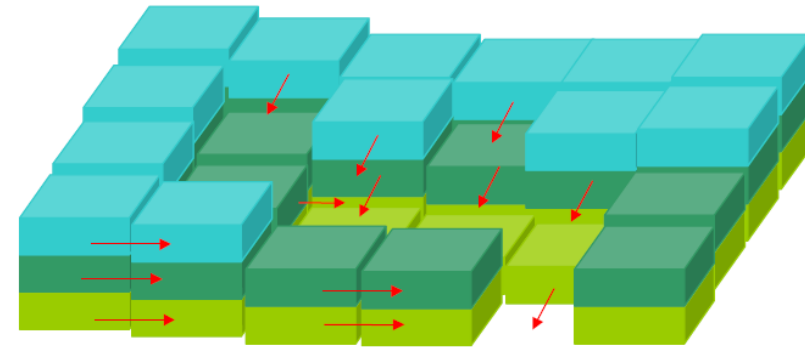
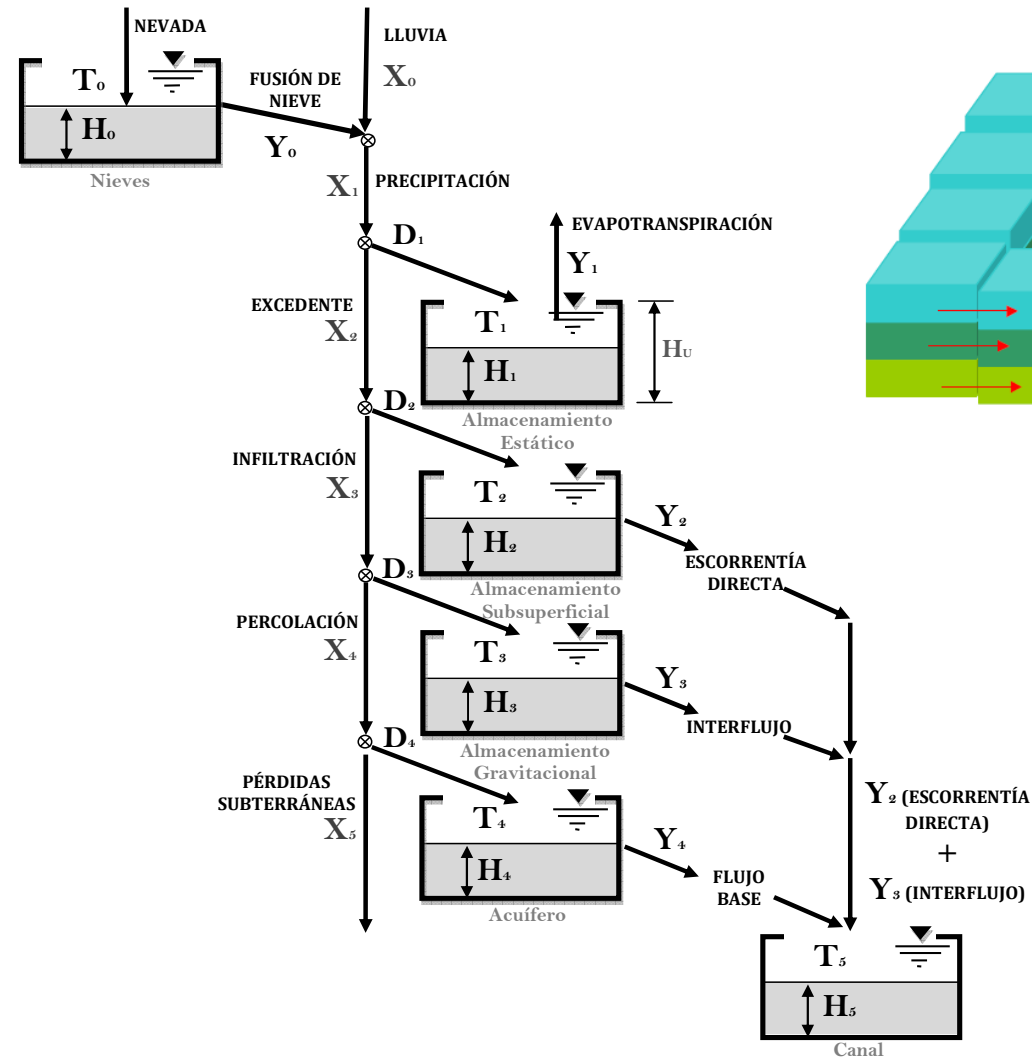
## El modelo TETIS-SED

- TETIS (submodelo hidrológico)
  - Desarrollado en la UPV desde 1994
  - Conceptual y Distribuido
  - Global: incluye el balance en todo momento
  - Estructura separada del parámetro

$$H_u(i) \cdot R_1 \rightarrow \text{Factor corrector}$$

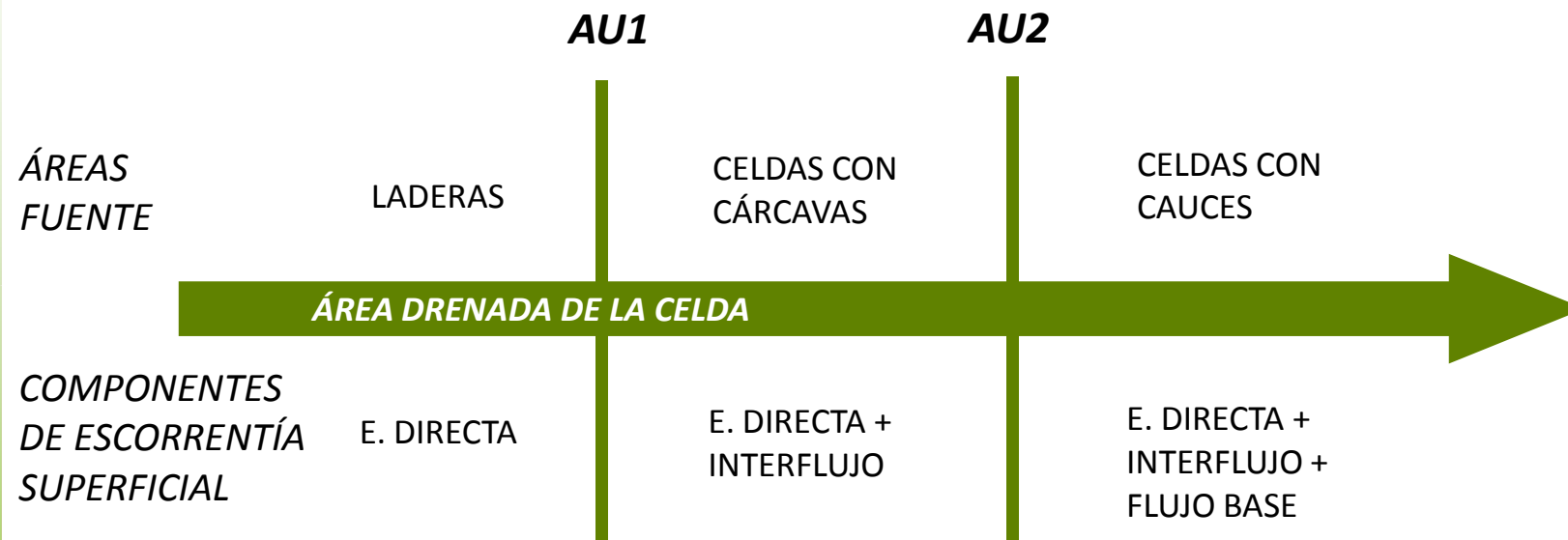
- 9 factores correctores

# El modelo TETIS: submodelo hidrológico

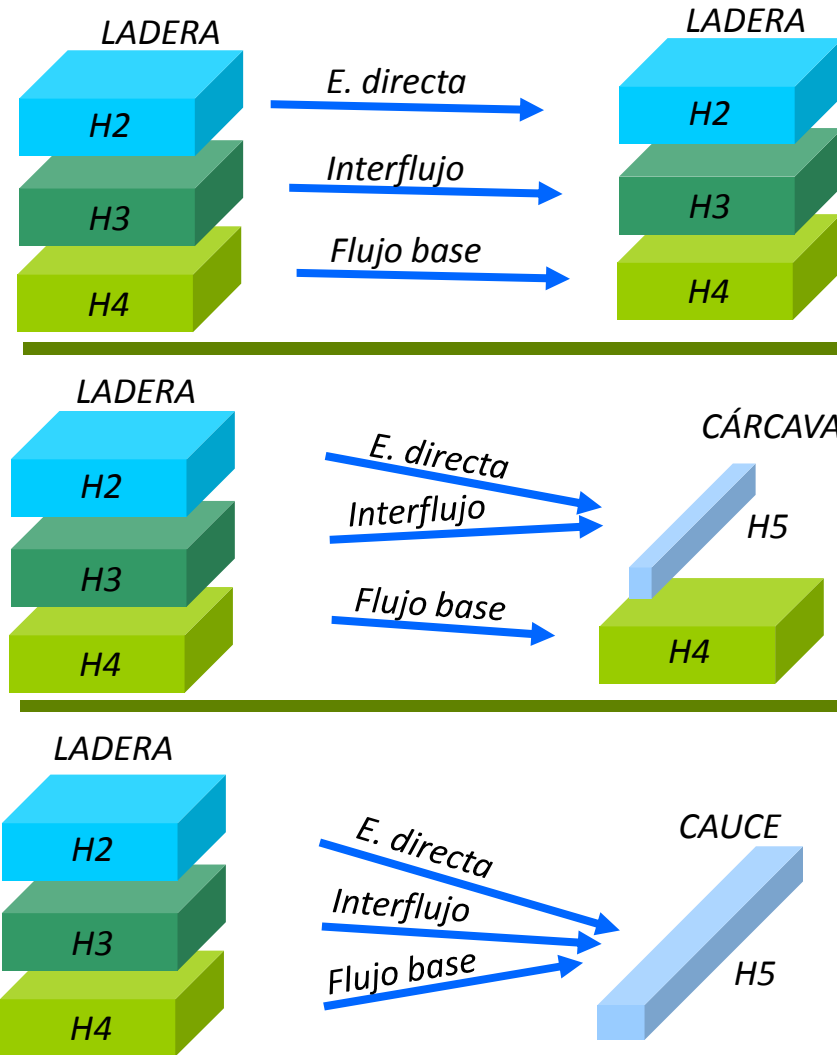




## El modelo TETIS: las áreas umbrales

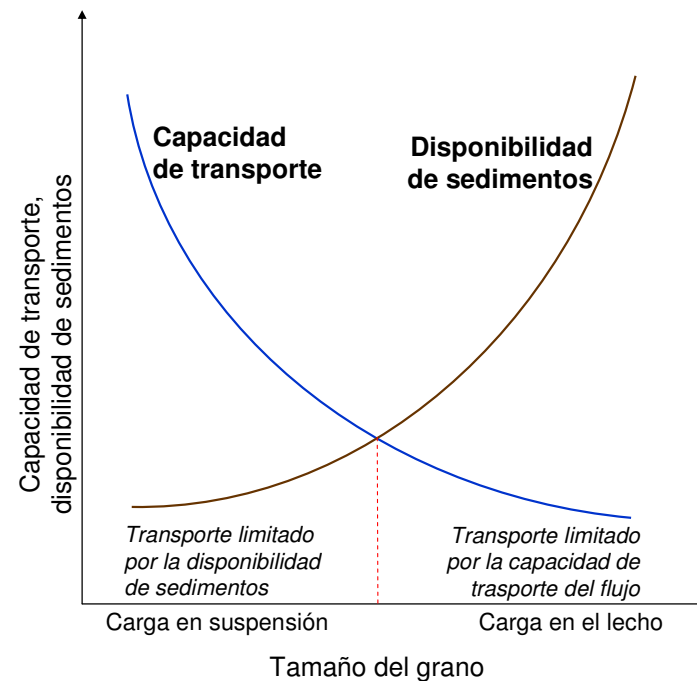


# El modelo TETIS: las áreas umbrales



## El modelo TETIS-SED: submodelo sedimentológico

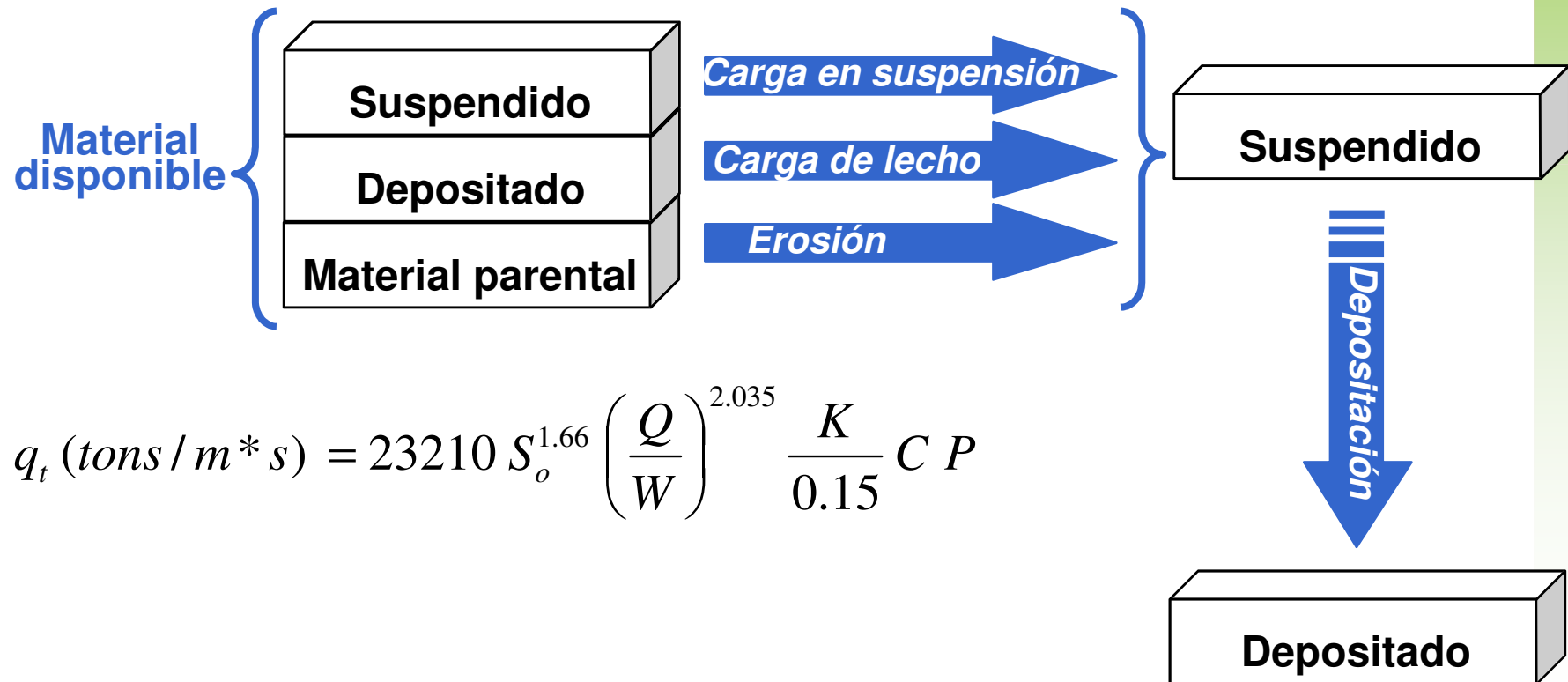
- Integración de CASC2D-SED (Johnson et al., 2000) en TETIS
- Balance entre:
  - Capacidad de transporte
  - Disponibilidad de sedimentos



## El modelo TETIS-SED: submodelo sedimentológico

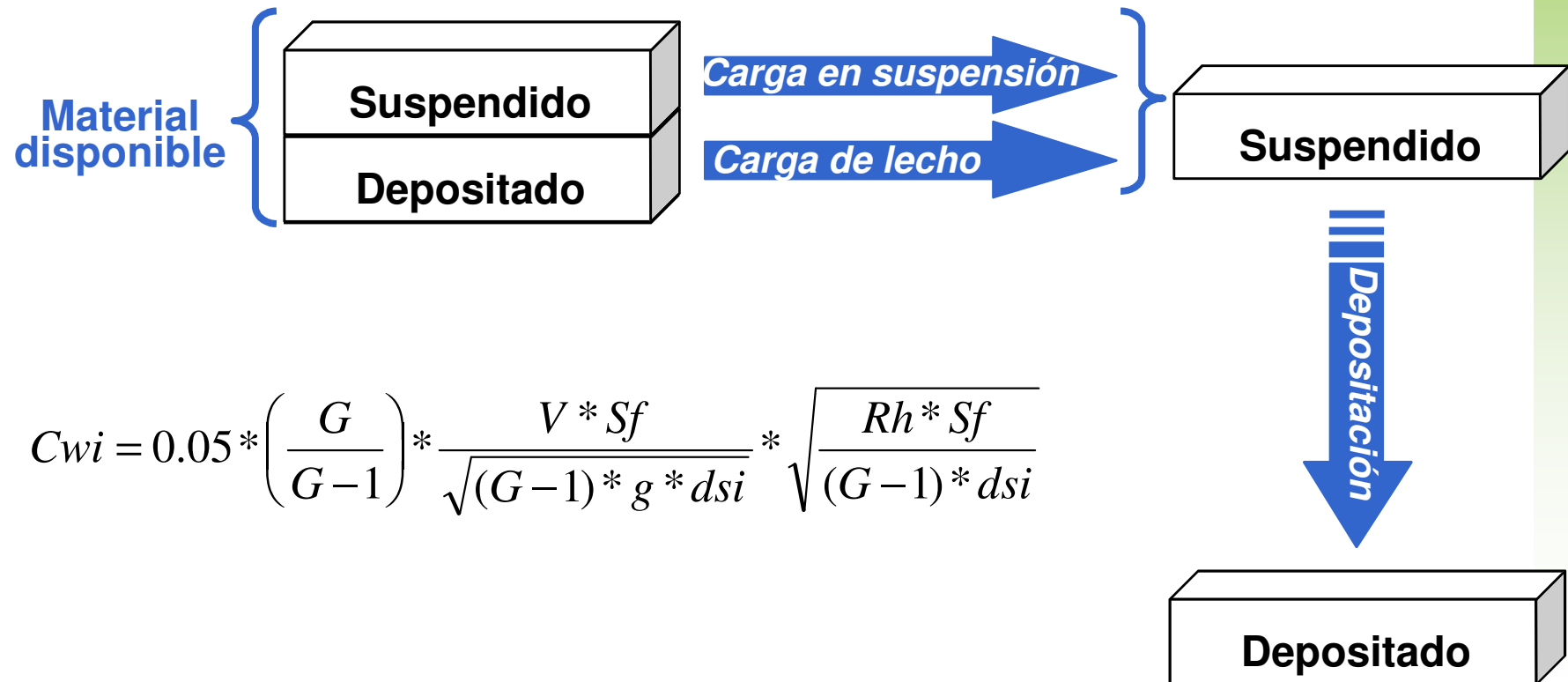
### – Sub-modelo **sedimentológico** - LADERA:

- Capacidad de transporte: **Kilinc-Richardson modificada**



## El modelo TETIS-SED: submodelo sedimentológico

- Sub-modelo **sedimentológico – CÁRCAVAS Y CAUCES:**
  - Capacidad de transporte: **Engelund-Hansen**



## El modelo TETIS-SED: los parámetros del modelo

- Estructura separada del parámetro

$$\theta_{i,j}^* \approx R_i \theta_{i,j}$$

- 3 Factores Correctores (FCs):

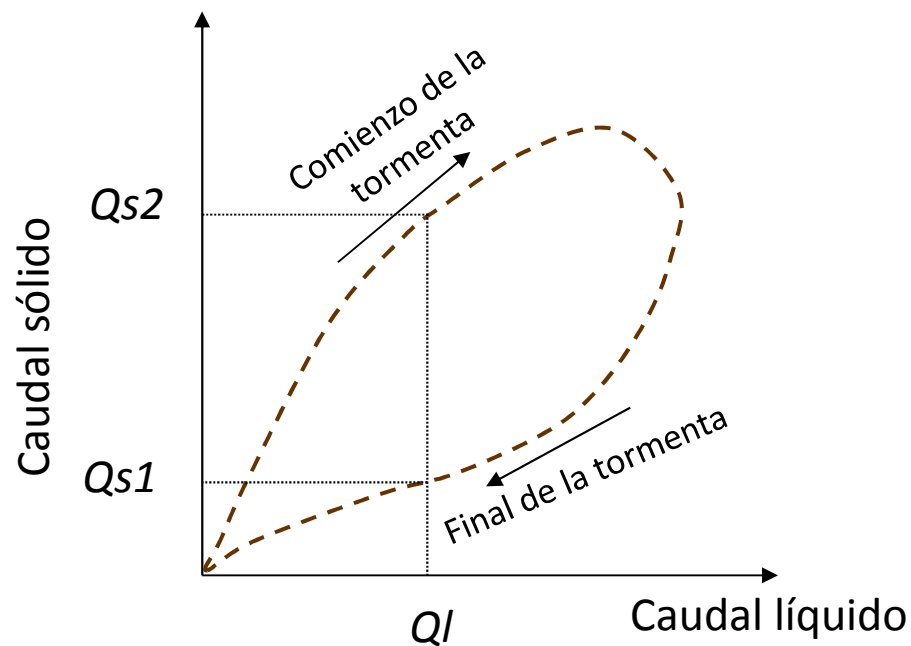
$$q_t^* = KR^* q_t$$

$$Cw_i^* = EH_1^* Cw_i$$

$$Cw_i^* = EH_2^* Cw_i$$

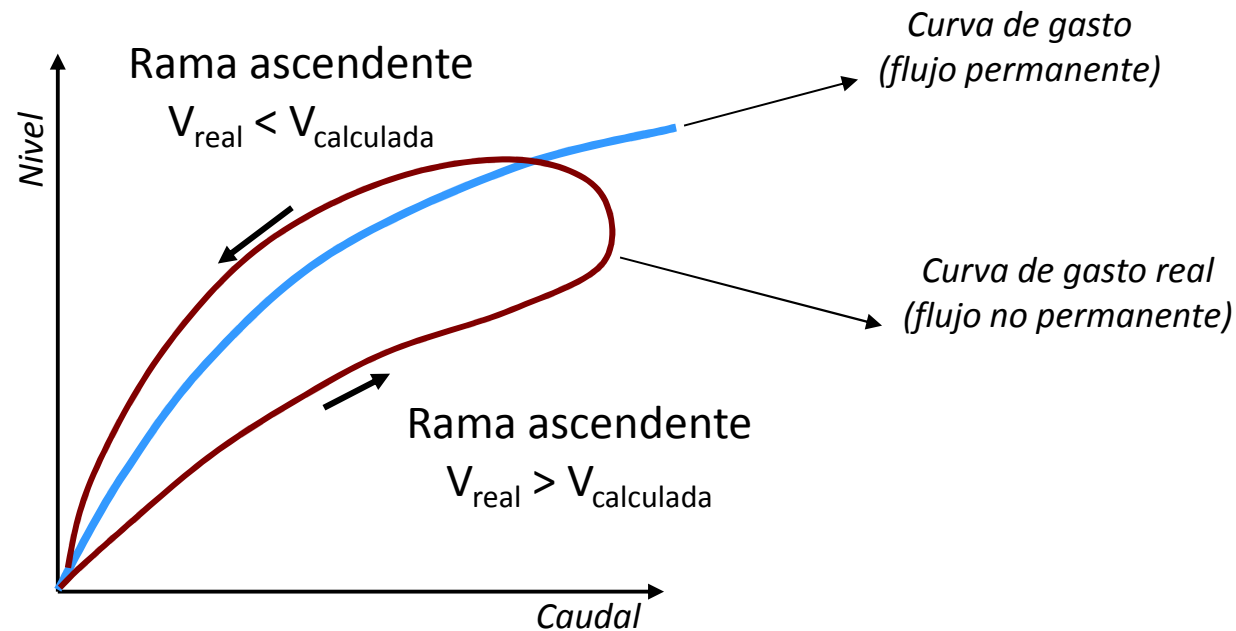
## El modelo TETIS-SED: las condiciones iniciales

- Sedimentos disponibles al momento del comienzo de la crecida: afectan sensiblemente al volumen final de sed. transportados
  - Ej: efecto “gully cleanout”



## El modelo TETIS-SED: las condiciones iniciales

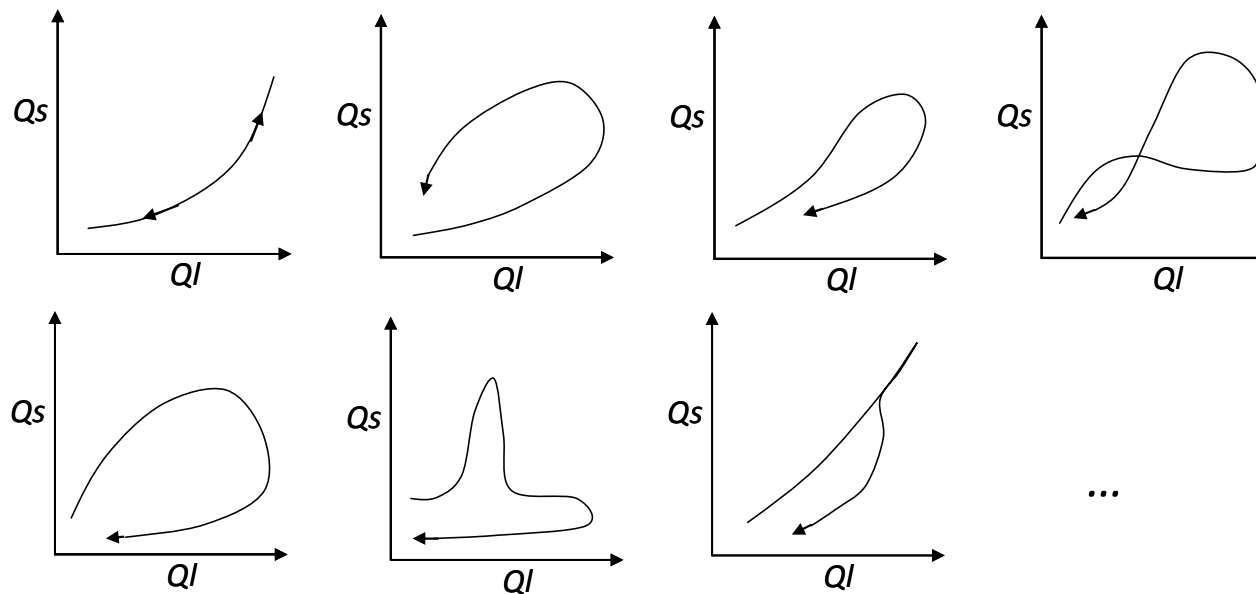
- ¡Atención!: en ríos de grandes dimensiones y poca pendiente este bucle refleja otro fenómeno





## El modelo TETIS-SED: las condiciones iniciales

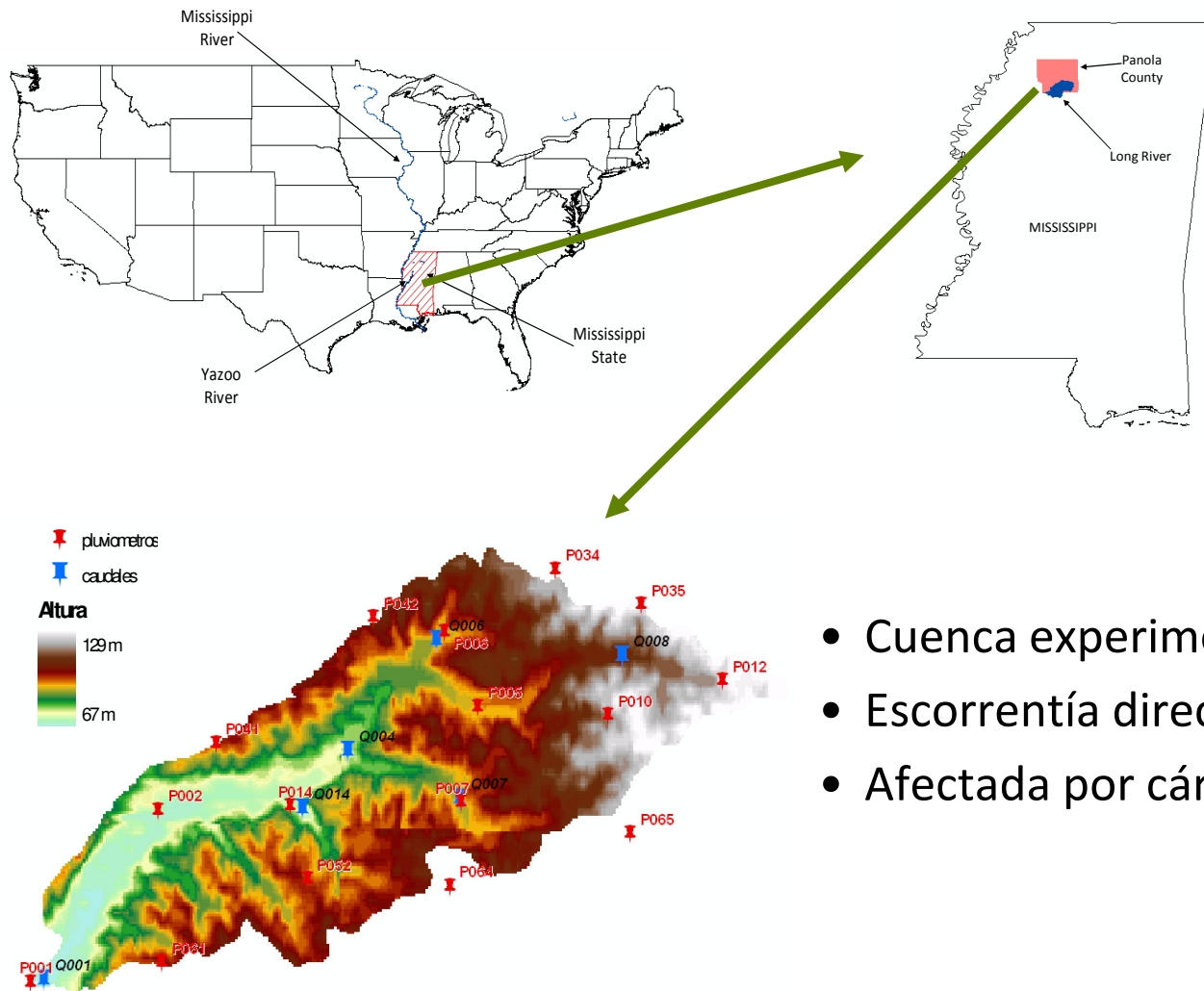
- Varios tipos de bucle de histéresis



## Algoritmo de calibración automática

- Shuffled Complex Evolution (University of Arizona)
  - Combinación de aproximaciones determinísticas y probabilísticas.
  - Evolución de un complejo (cluster) de puntos en el espacio de los parámetros en la dirección del mejoramiento global.
  - Evolución competitiva
  - Barajado de los complejos.
  
- Muy eficiente y rápido
- Usado en todo el mundo
- Ya ha sido aplicado satisfactoriamente a TETIS (submod. hidrológico) numerosas veces

## La cuenca: Goodwin Creek



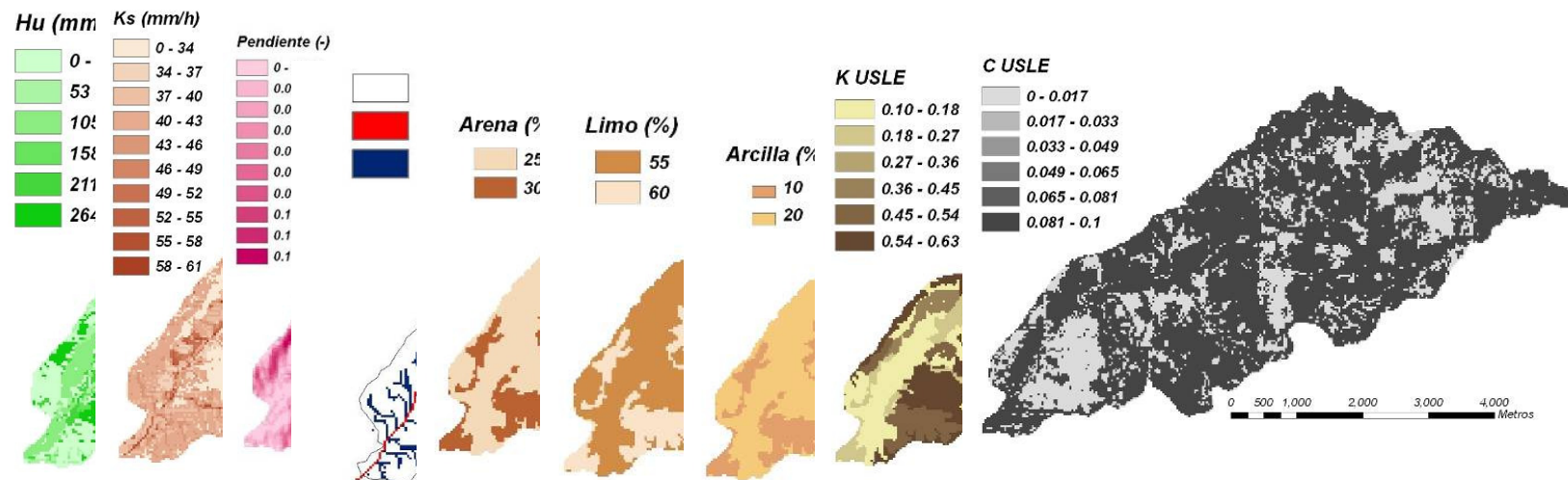
- Cuenca experimental (USDA)
- Escorrentía directa predominante
- Afectada por cárcavas y *badlands*

## La cuenca: Goodwin Creek

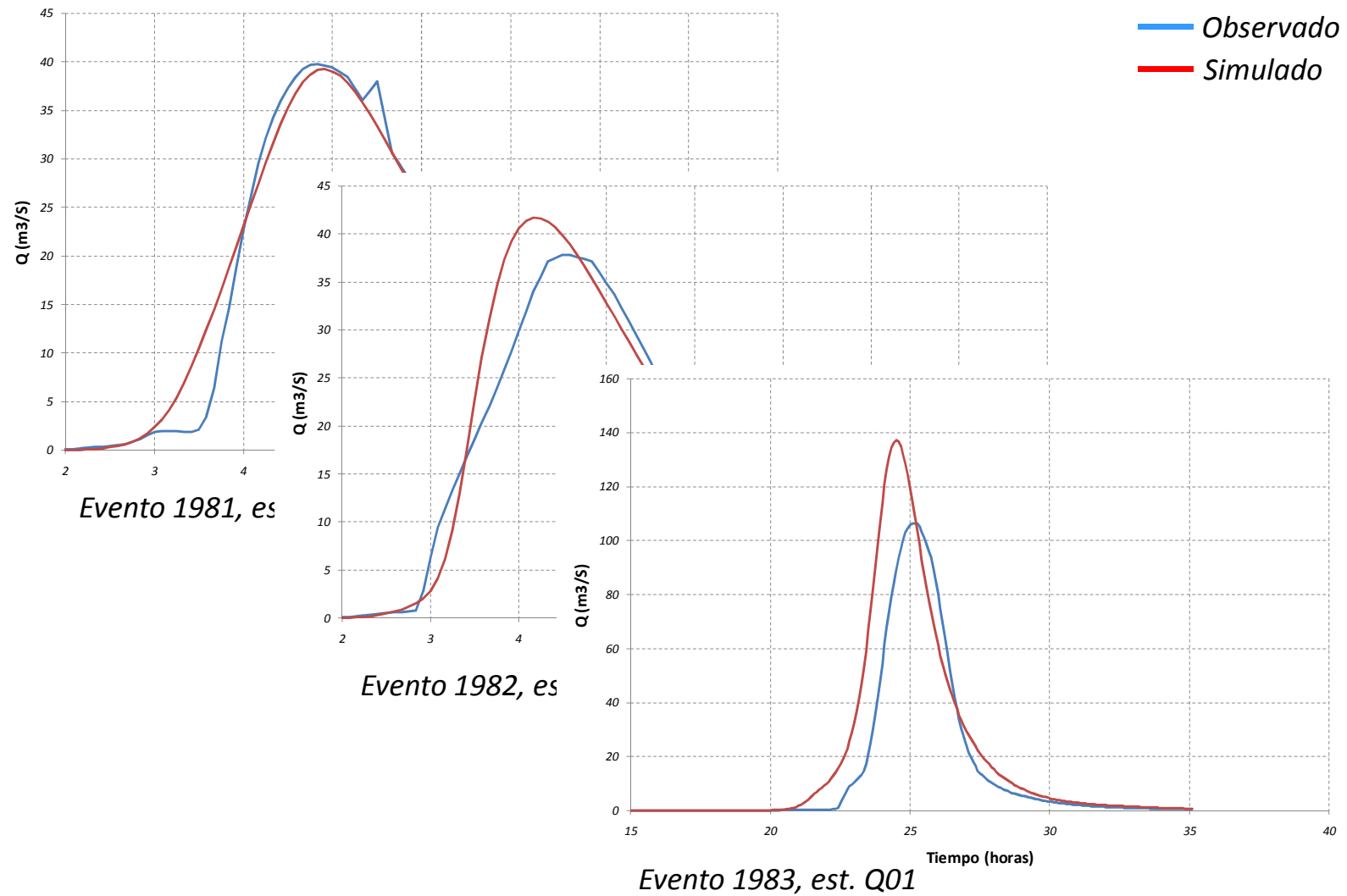
### – Datos hidrometeorológicos:

- 6 estaciones de aforo (líquido y sólido) – alta resolución temporal
- 16 pluviómetros – alta resolución temporal
- Serie temporal continua 1981 – 1990 de caudales líquidos
- Caudales sólidos disponibles en 3 eventos: 1981, 1982, 1983

### – Parámetros iniciales:

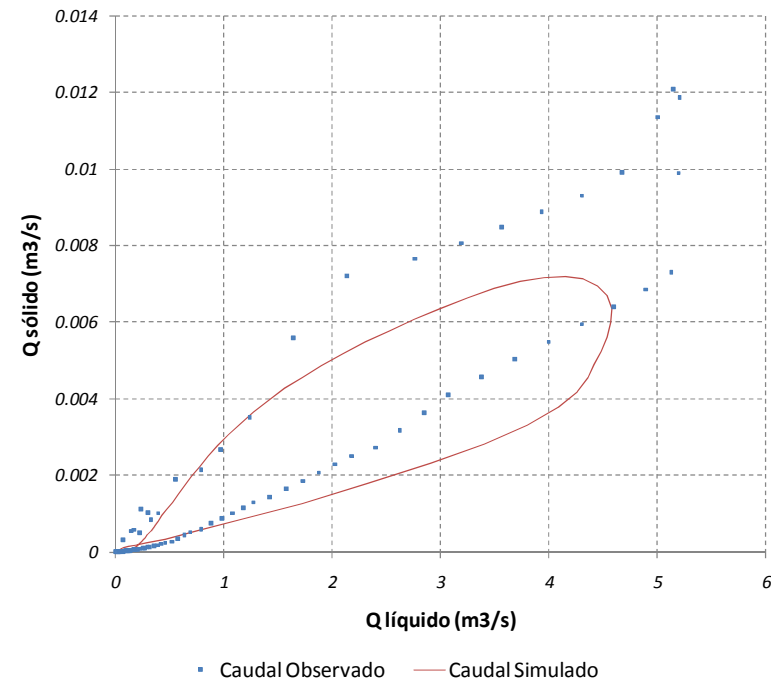
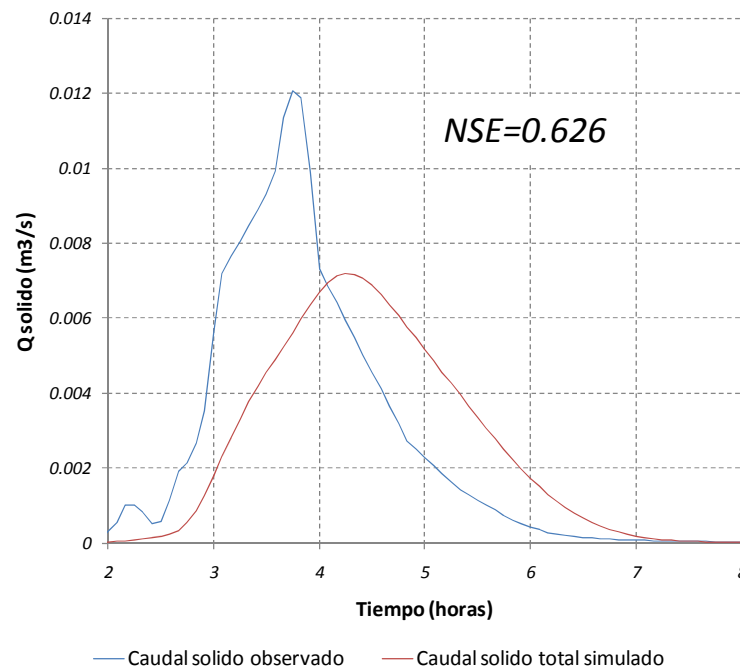


## Resultados: Calibración hidrológica



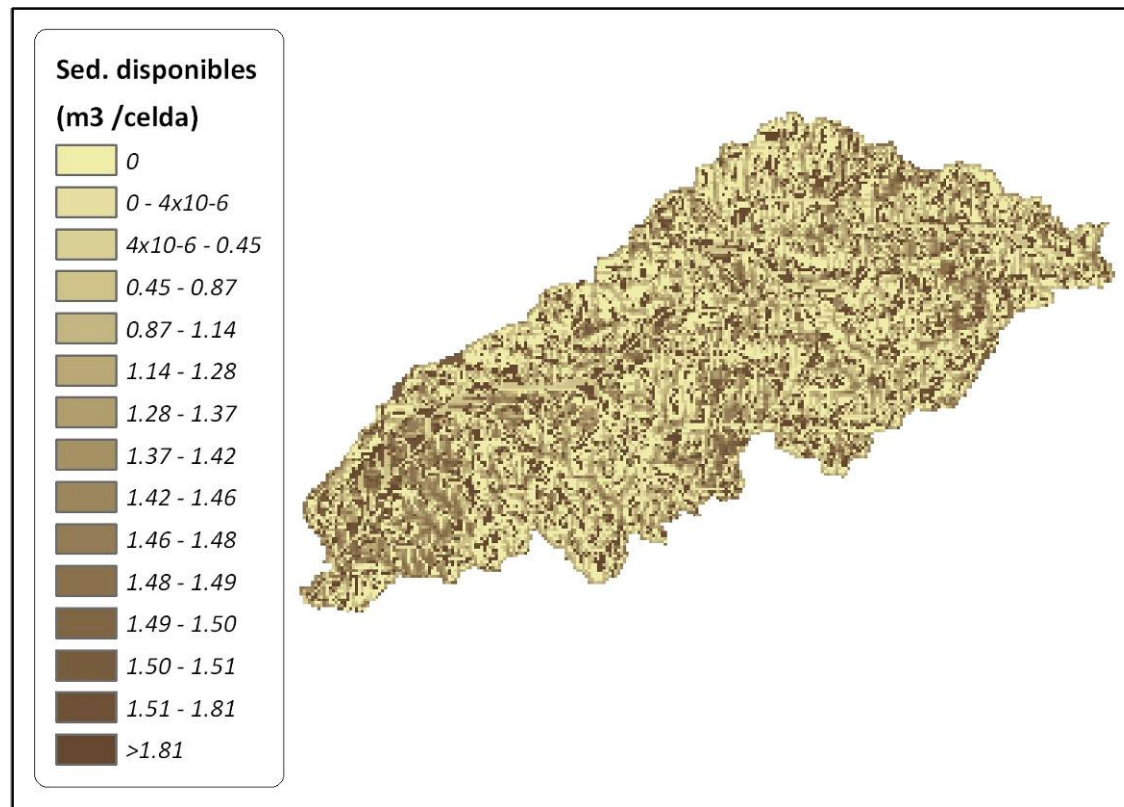
## Calibración del modulo de sedimentos

- Calibración de KR y EH1 en Q07 (cabecera)
- Condiciones iniciales = 0

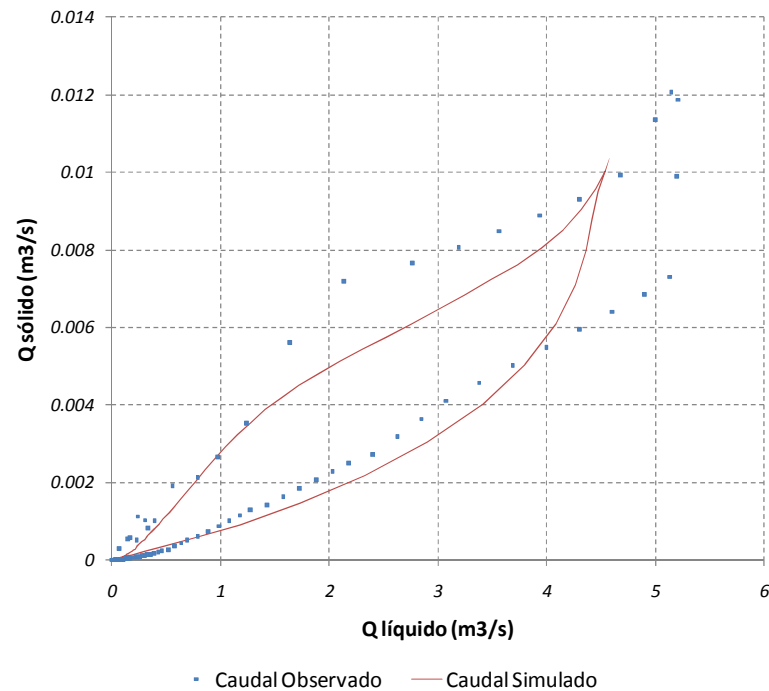
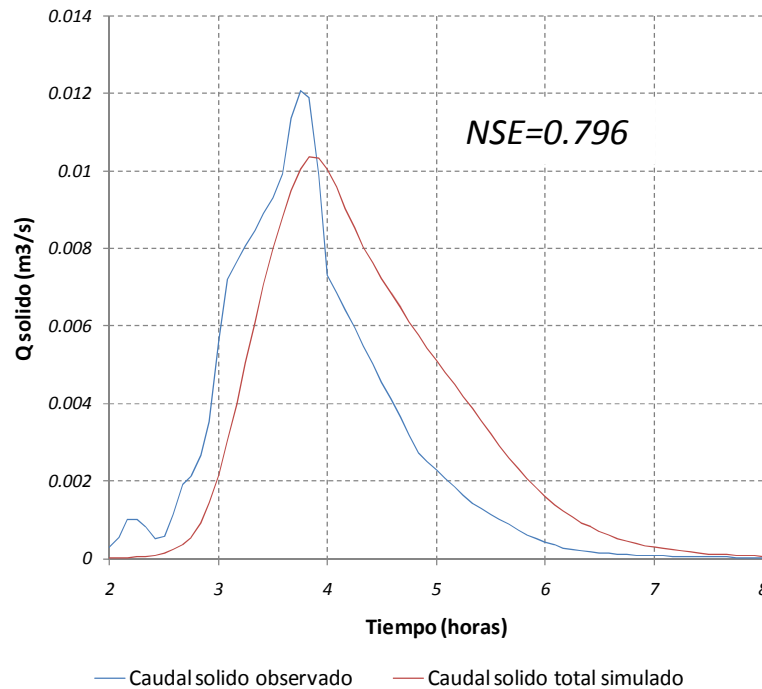


## Calibración del modulo de sedimentos

- Estimación condiciones iniciales: RECIRCULACIÓN



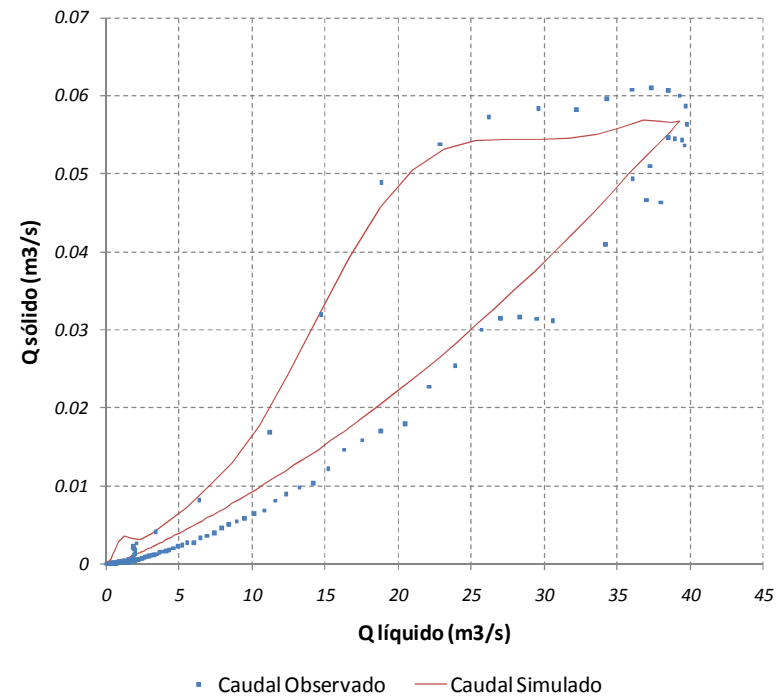
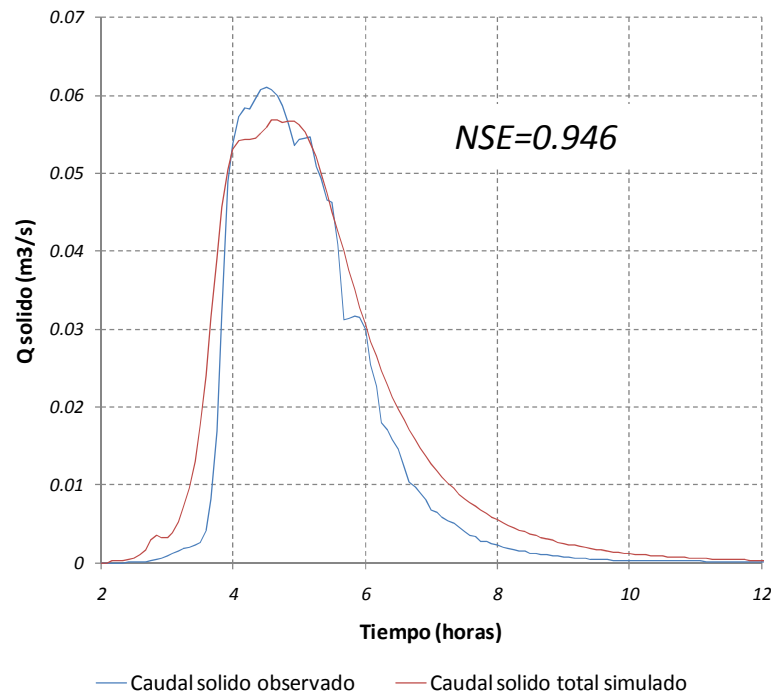
## Calibración del modulo de sedimentos



– Calibración de KR y  $EH_1$  en la estación Q07, evento 1981



## Calibración del modulo de sedimentos



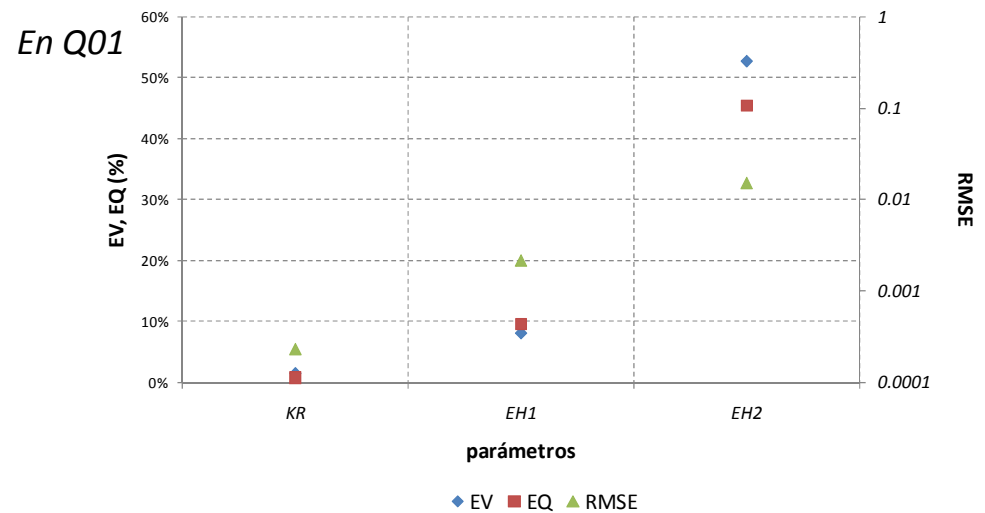
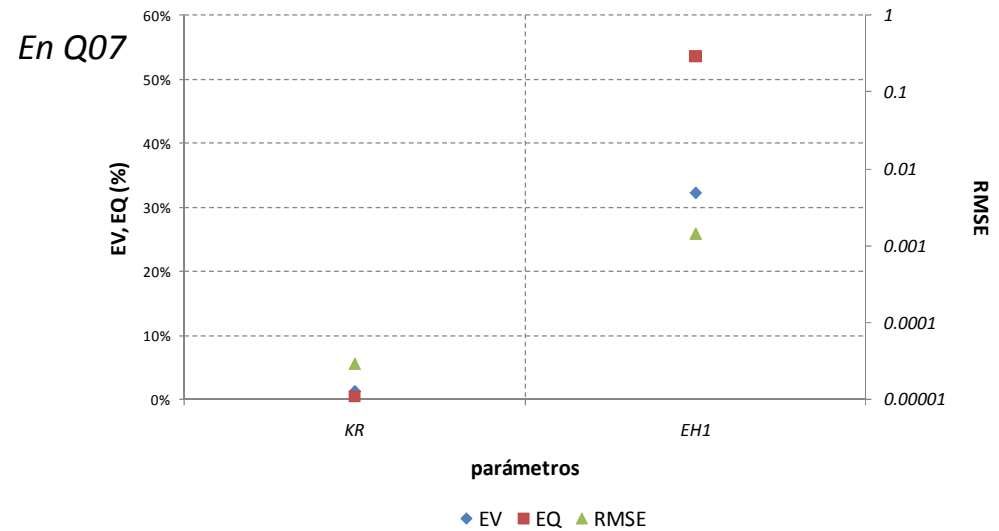
Calibración de EH<sub>2</sub> en la estación Q01, evento 1981

# Análisis de sensibilidad: factores correctores

$$EV\% = \frac{VOL_{FC+50\%} - VOL_{FC-50\%}}{VOL_{FC-50\%}}$$

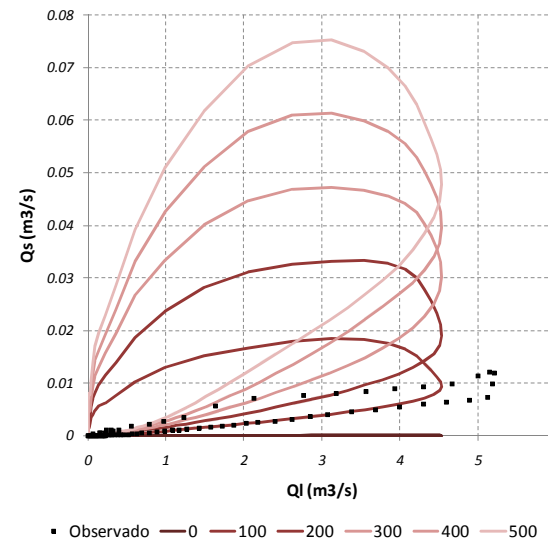
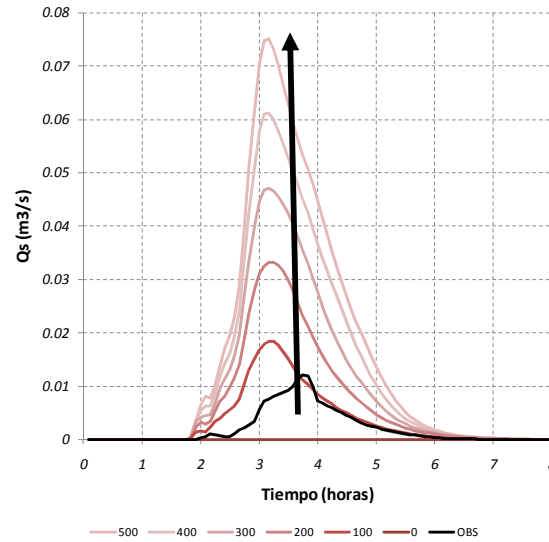
$$EQ\% = \frac{Q_{\max,FC+50\%} - Q_{\max,FC-50\%}}{Q_{\max,FC-50\%}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{FC-50\%} - Q_{FC+50\%})^2}{N}}$$

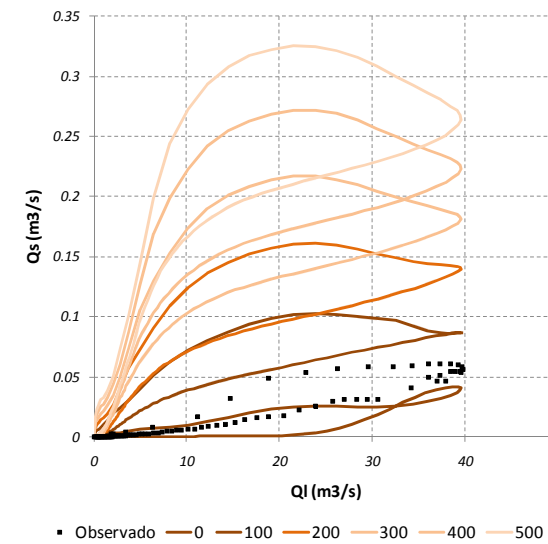
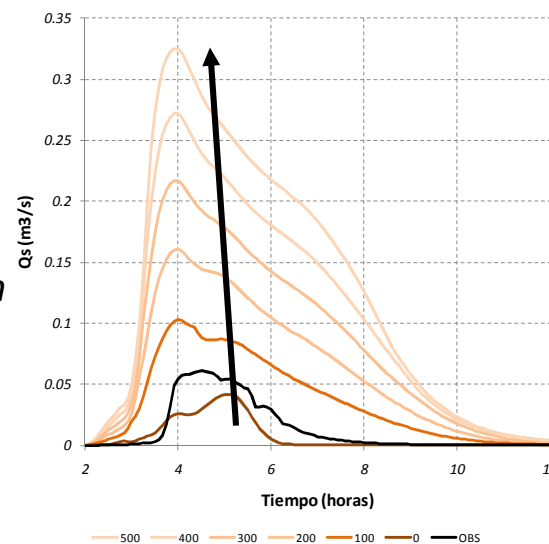


# Análisis de sensibilidad: condiciones iniciales (cárcavas)

**Q01 – Evento 1981**  
 VARIACIÓN: de 0 m<sup>3</sup>/m  
 a 15 m<sup>3</sup>/m

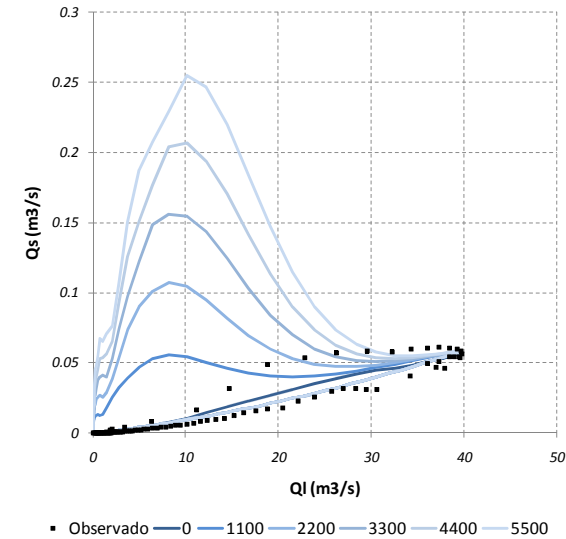
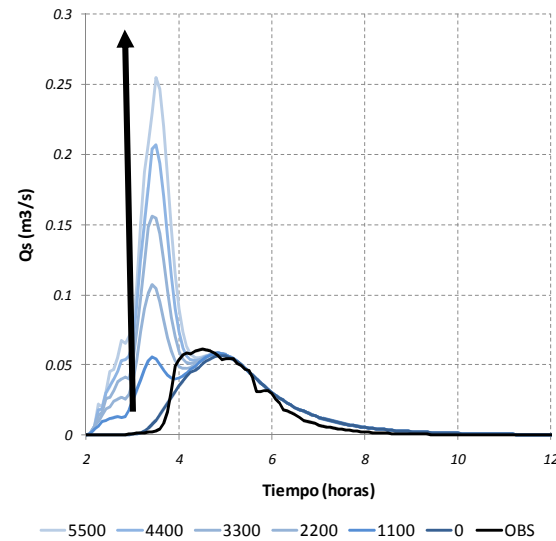


**Q07 – Evento 1981**  
 VARIACIÓN: de 0 m<sup>3</sup>/m  
 a 15 m<sup>3</sup>/m



## Análisis de sensibilidad: condiciones iniciales (cauces)

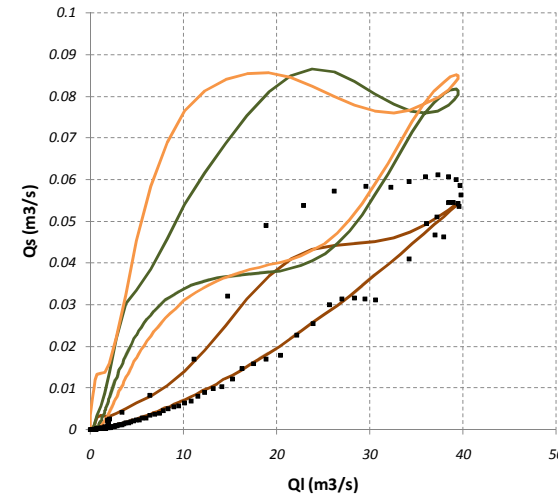
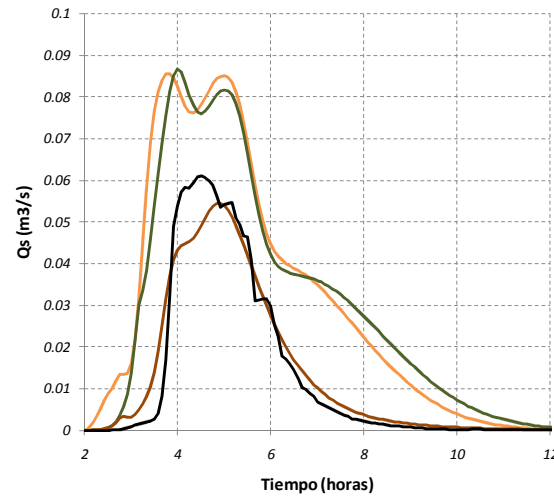
Q01 – Evento 1981  
VARIACIÓN: de 0 m<sup>3</sup>/m  
a 15 m<sup>3</sup>/m



# Análisis de sensibilidad: condiciones iniciales (textura)

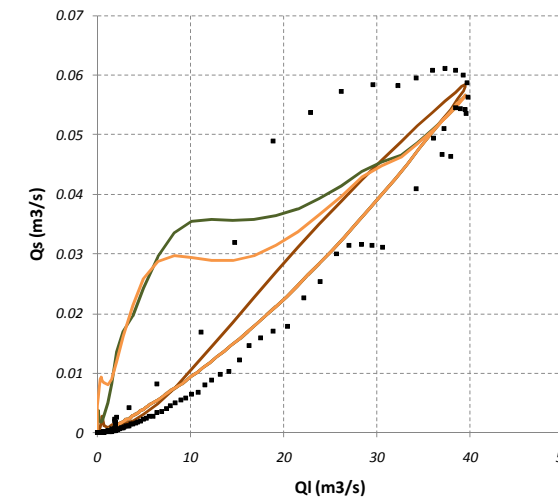
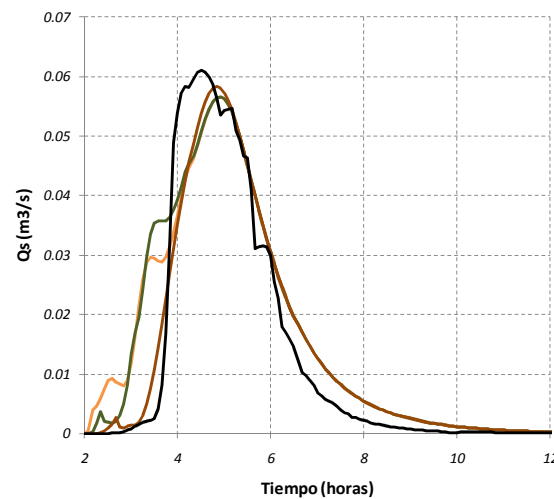
Q01 – Evento 1981

Variación de la  
textura en **Cárcavas**



Q01 – Evento 1981

Variación de la  
textura en **Cauces**



## Validación

- Problema: las condiciones iniciales de sedimentos disponibles afectan sensiblemente el volumen total movilizado

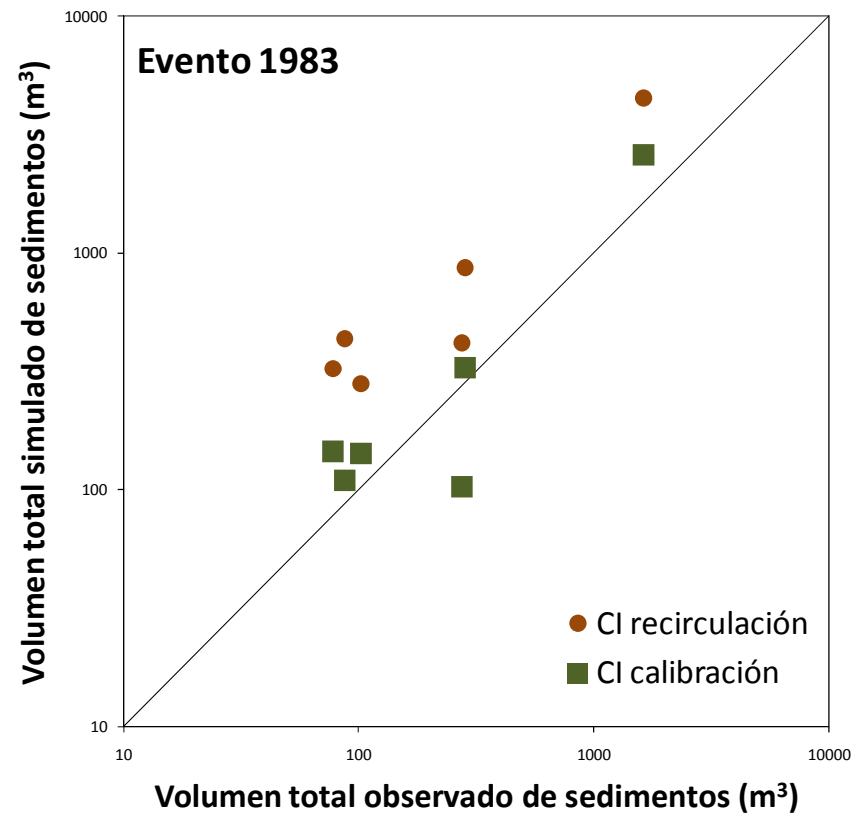
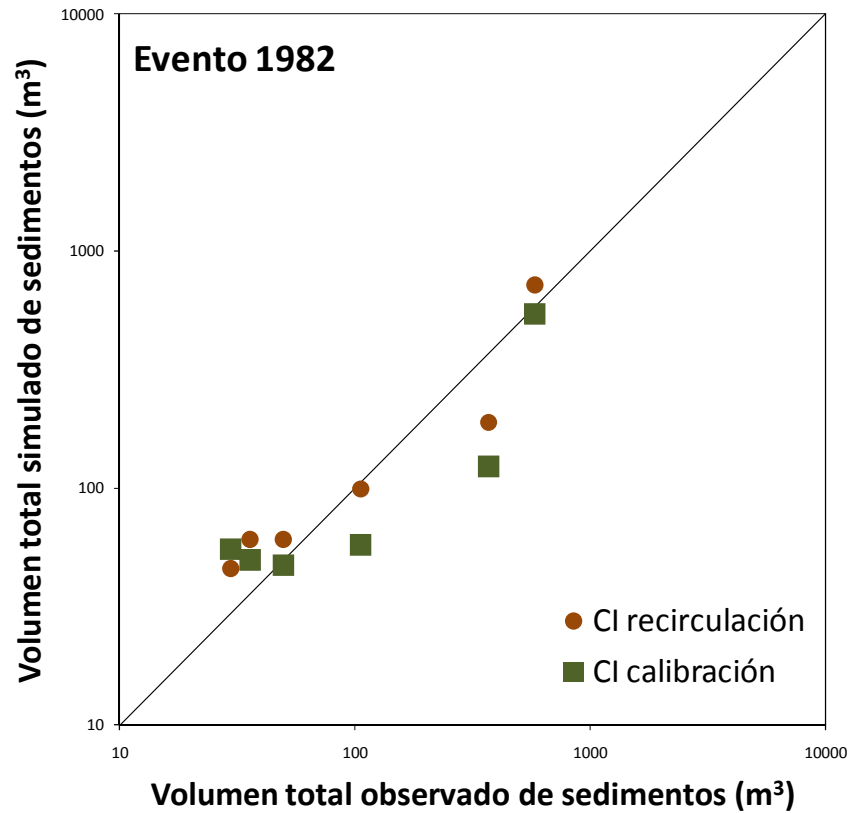


- Necesidad de estimar dichas condiciones iniciales



- 2 métodos:
  - Recirculación
  - Calibración manual

# Validación



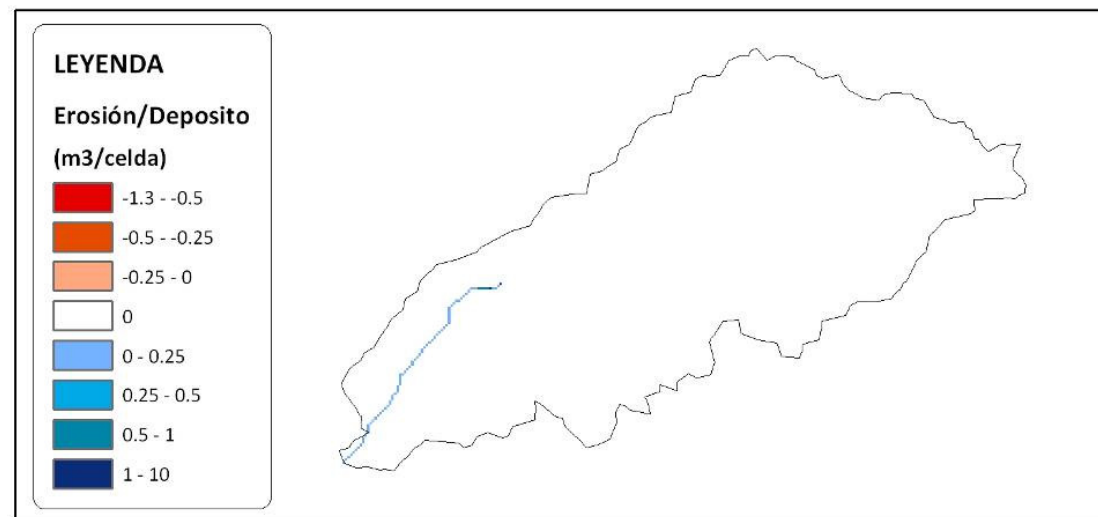
## Simulación continua cincominutal

- Herramienta para la estimación de la condiciones iniciales
  - Simulación del periodo precedente al evento (p. ej. 1 año)
  - Análogo a estimación de las condiciones de humedad en la simulación hidrológica
  - Reproducción realística de los procesos que llevan a una determinada situación de sed. depositados en la cuenca



## Simulación continua cincominutal

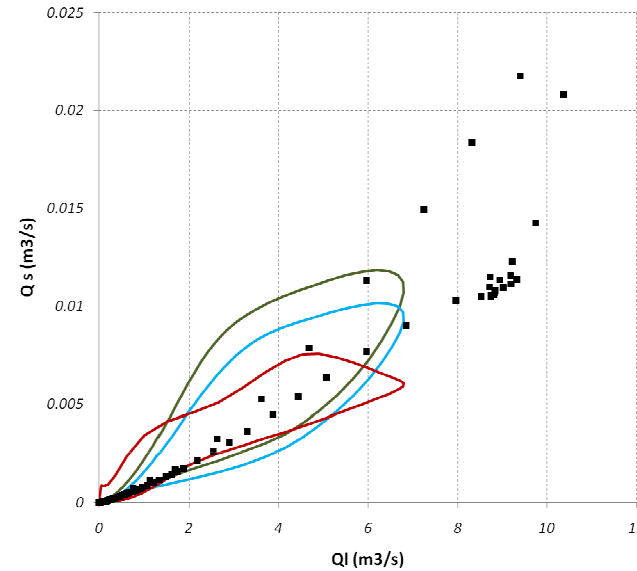
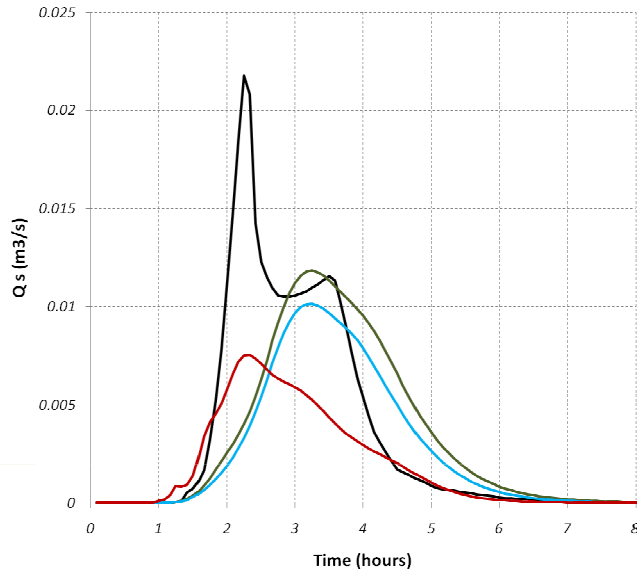
- Reproducción del efecto de depositación de material en las cárcavas (causa del ciclo de histeresis)



*Ej: erosión depositación neta después del evento de 1982*

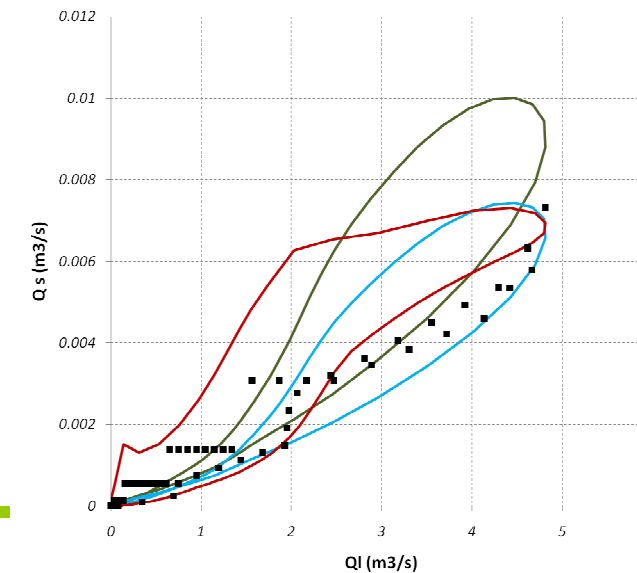
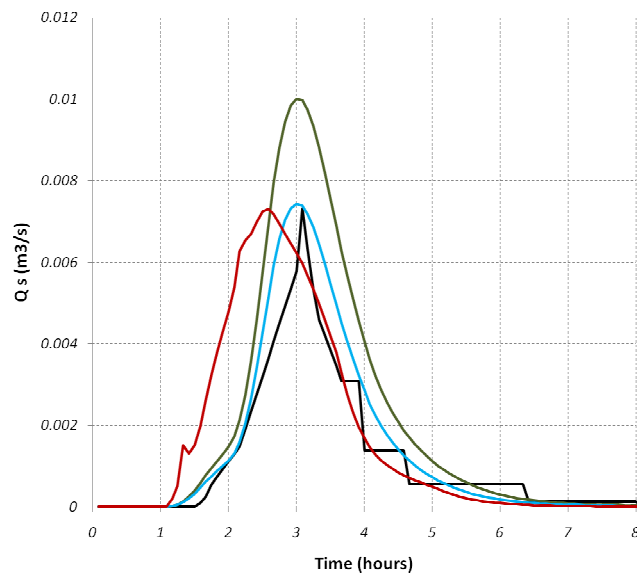
**CAUCES**

# Simulación continua cincominutal

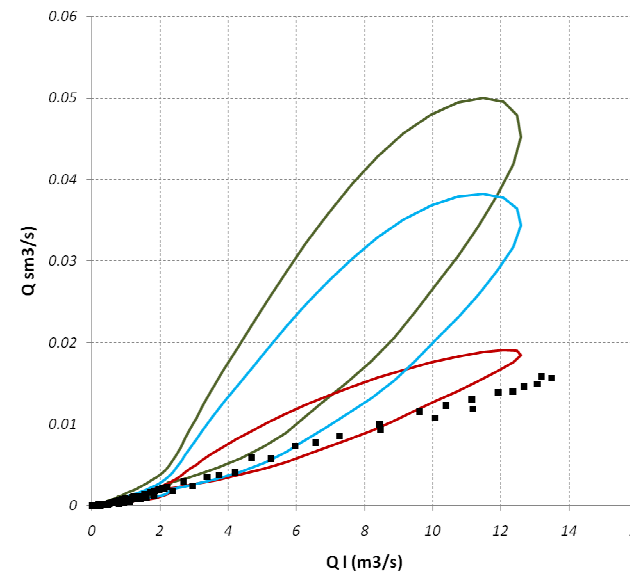
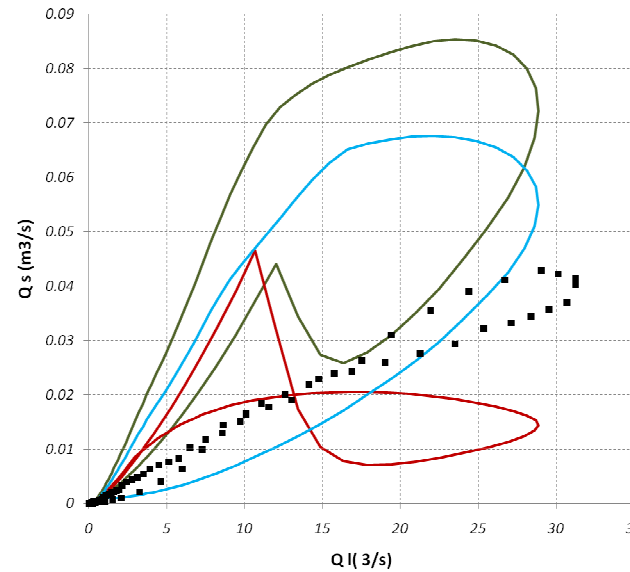
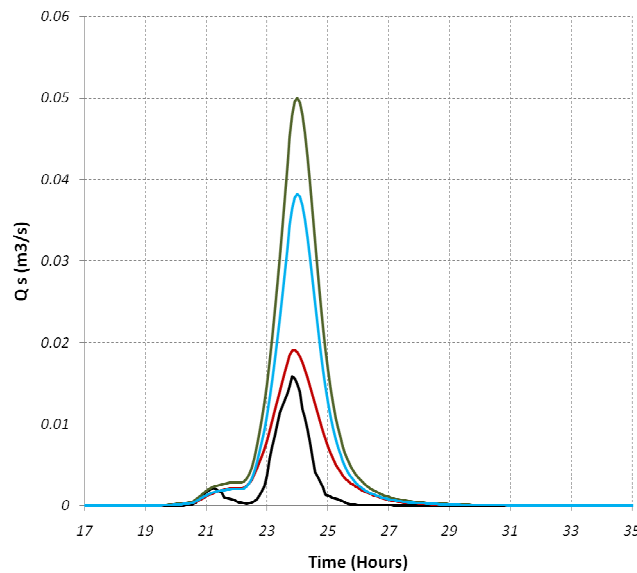
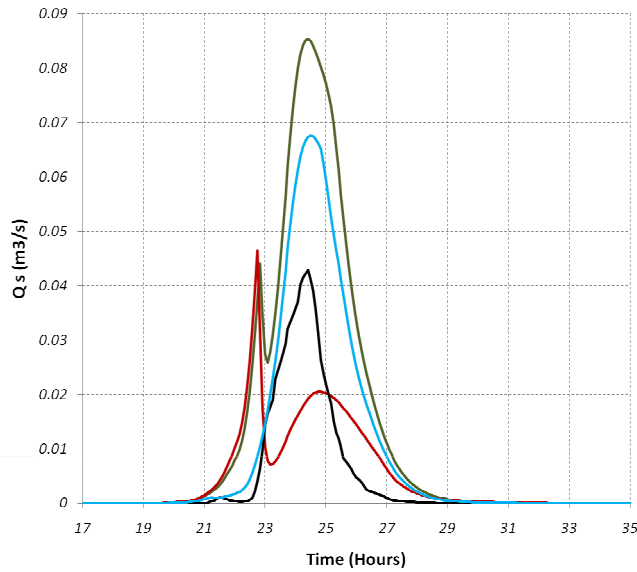


EV 1982

- Observed solid discharge
- Simulated solid discharge (Available sed. estimated by recirculation)
- Simulated solid discharge (Available sed. estimated by calibration)
- Simulated solid discharge (Available sed. estimated by continuous simulation)



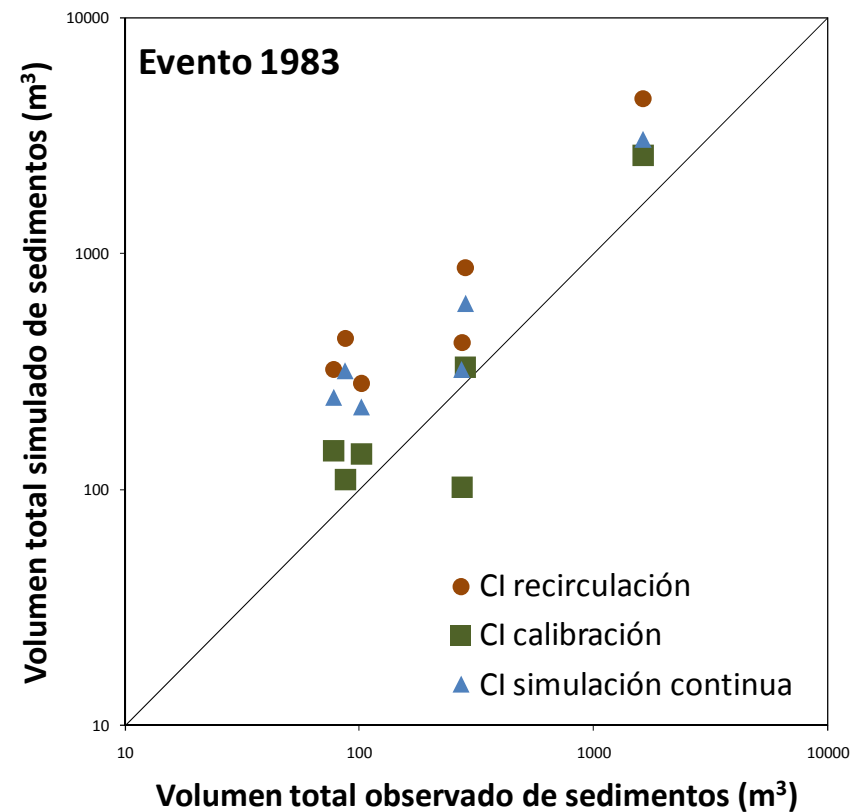
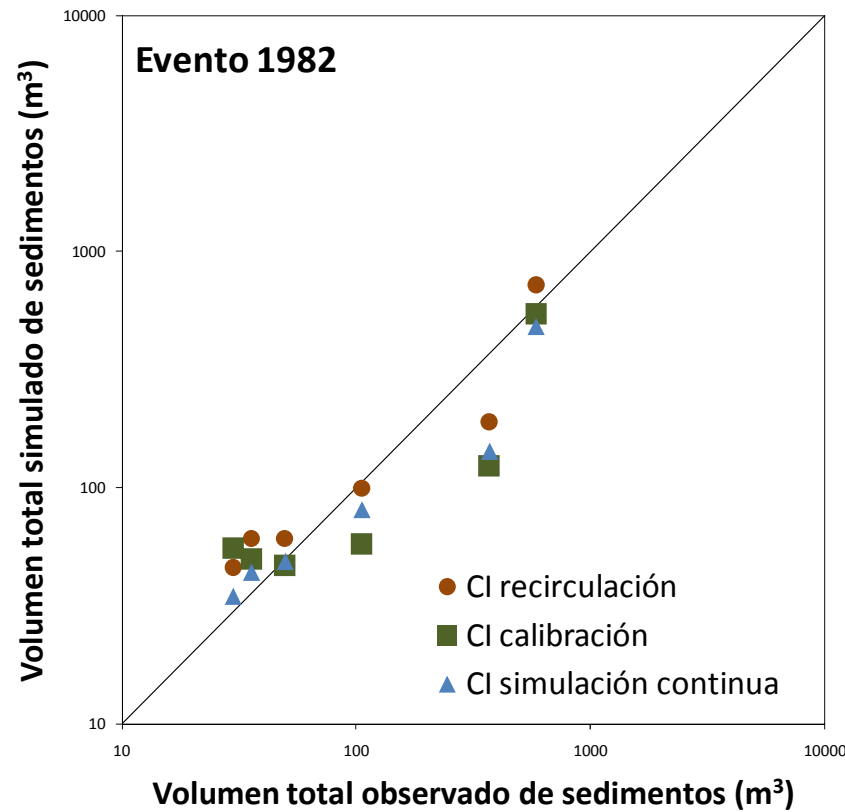
# Simulación continua cincominutal



EV 1983

- Observed solid discharge
- Simulated solid discharge (Available sed. estimated by recirculation)
- Simulated solid discharge (Available sed. estimated by calibration)
- Simulated solid discharge (Available sed. estimated by continuous simulation)

# Simulación continua cincominutal



## Simulación continua diaria

### – Objetivos:

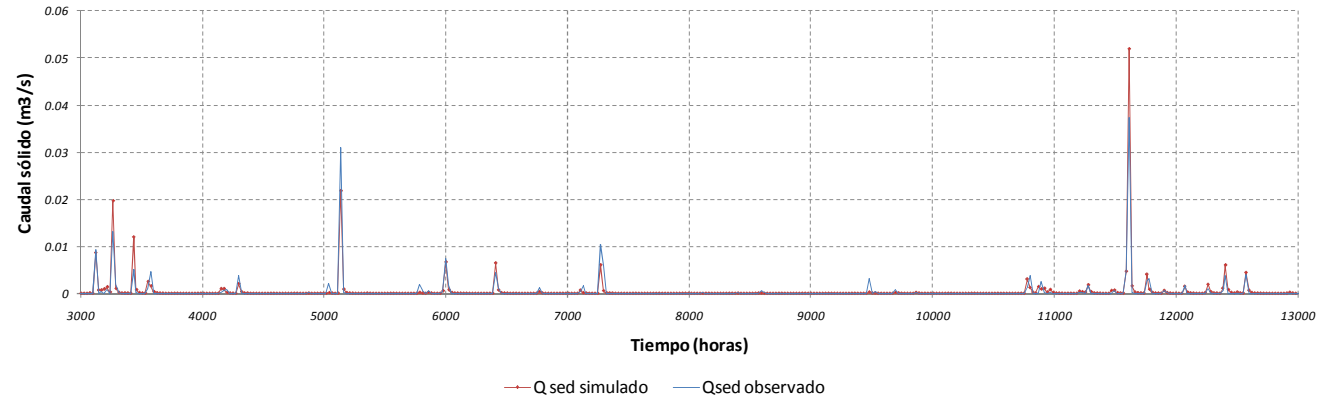
- Análisis del funcionamiento de TETIS-SED en la simulación de horizontes temporales del orden de algunos años
- Análisis del efecto de la escala temporal sobre los factores correctores

### – Metodología:

- No se dispone de series temporales continuas de caudal sólido
- Se ha simulado con  $Dt=5$  min el periodo 1981-1990 y se ha tomado la serie obtenida y agregada a  $Dt=1$  día como valor observado

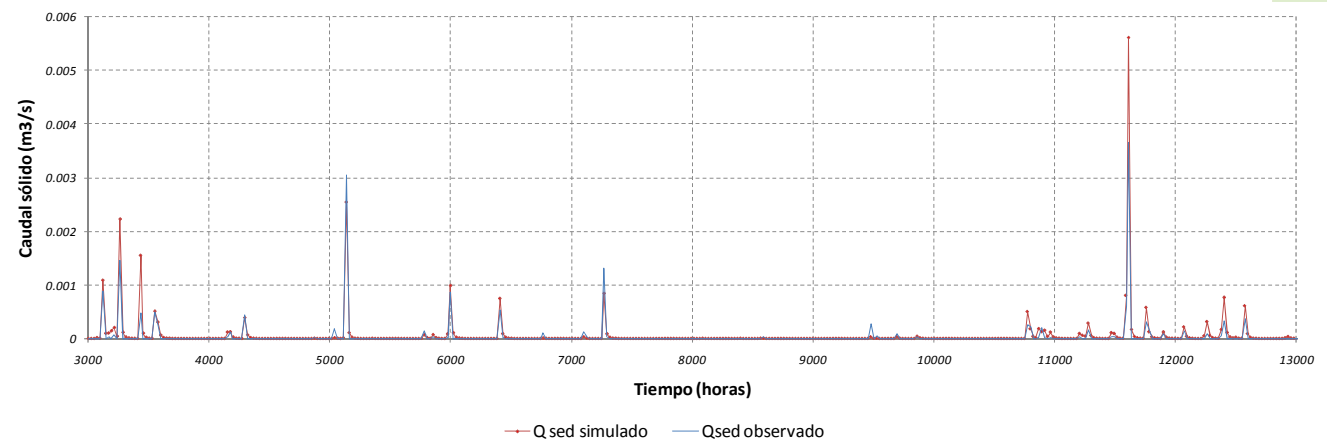
# Simulación continua diaria

FC	Valor
KR	0.0000012
EH1	0.0001596
EH2	0.0000225



Periodo de calibración, Q01

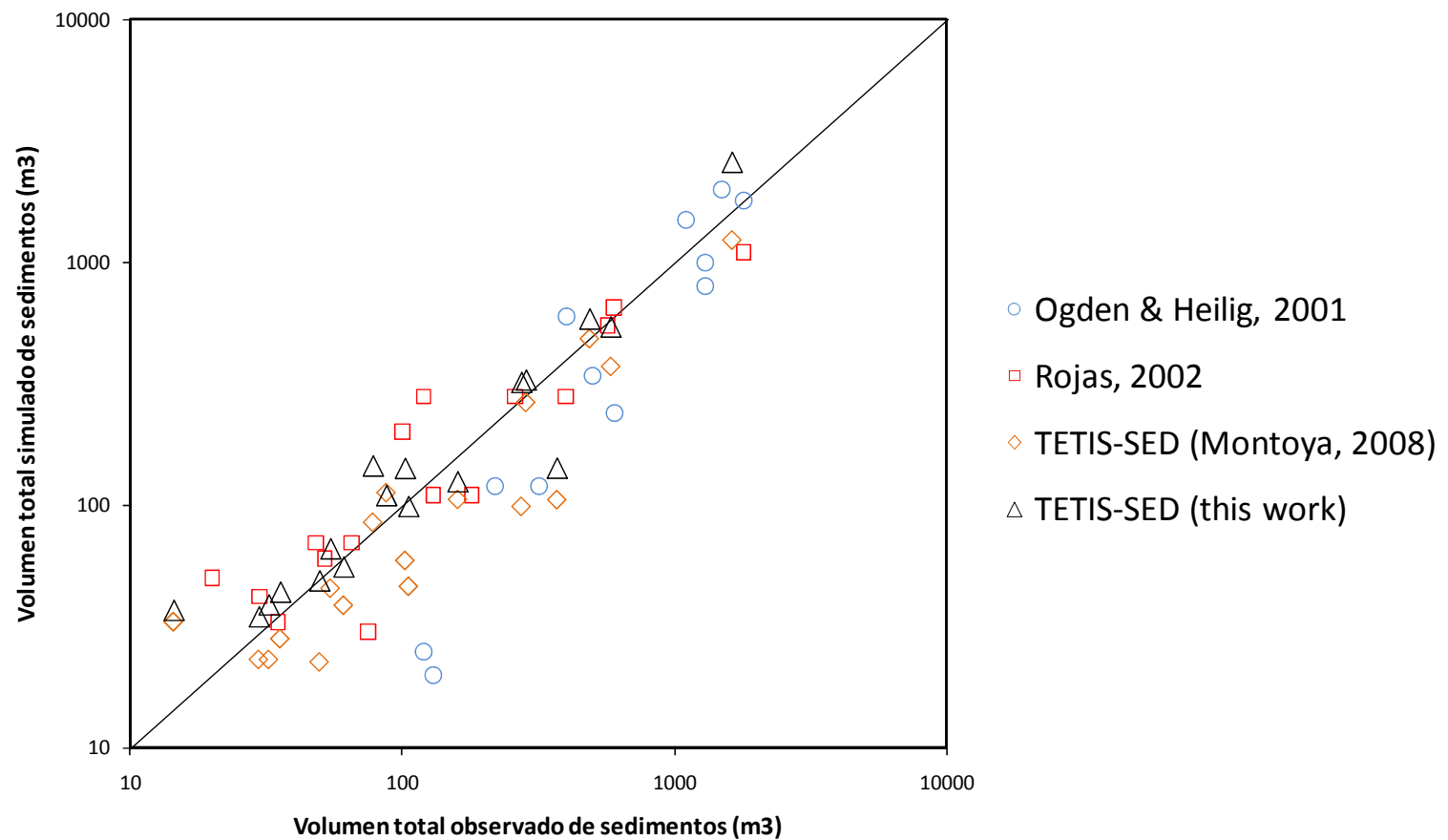
Estación	NSE	Error Volumen
Q01	0.826	-3%
Q04	0.695	47%
Q06	0.807	26%
Q07	0.760	43%
Q08	0.810	22%
Q14	0.425	70%



Periodo de calibración, Q07

# Conclusiones

## – Comparación de TETIS-SED con otros modelos



## Aportes del trabajo

- TETIS-SED es un modelo a baja complejidad pero con base física
- Se propone un procedimiento de calibración preciso, flexible y rápido
- Se proporciona un método sencillo para comprobar que el modelo reproduzca la dinámica interna de la cuenca
- Se define la sensibilidad del modelo a FCs y a las condiciones iniciales
- Se proponen tres metodologías para estimar la cantidad de sedimentos disponibles a la erosión
- Se comprueba la utilidad de TETIS-SED también a la escala histórica



## Líneas de investigación futuras

- Validación de TETIS-SED en otras cuencas
- Calibración de TETIS-SED con volúmenes de sedimentos acumulados en obras transversales a los ríos (presas, azudes, etc.)
- Mejora del modelo y análisis de sus prestaciones a la escala histórica
- Incorporación de fuentes puntuales de sedimentos al modelo (deslizamientos, inestabilidad de los taludes, etc.)

## Producción científica

- En el marco del presente trabajo se han producido dos ponencias en congresos...
  - JIA, Madrid, Octubre 2009 – Presentación oral
  - EGU General Assembly, Viena (Austria), Mayo 2010 – Poster
  
- ... y dos artículos para revistas científicas, actualmente en fase de redacción:
  - Ingeniería del Agua (solicitado)
  - Revista internacional a definir

Gracias por la atención