



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

Gianbattista Bussi

Director: Félix Francés



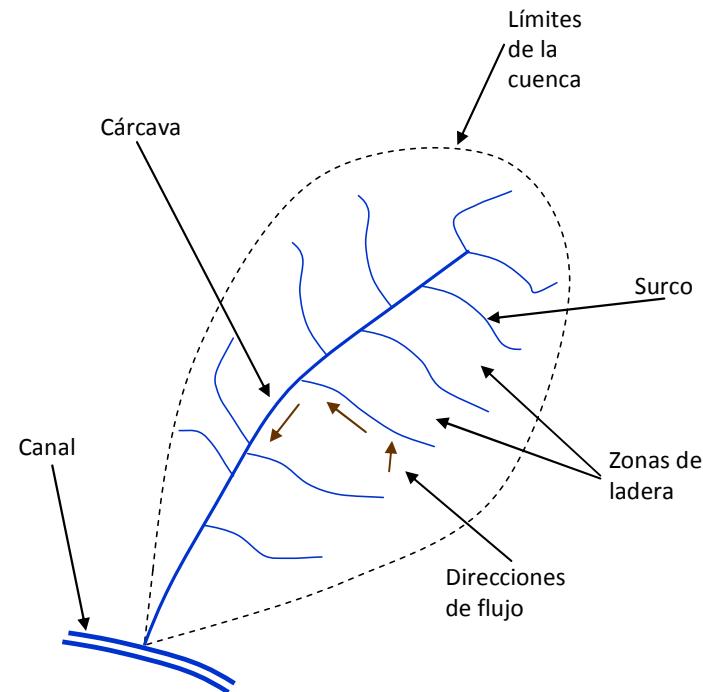
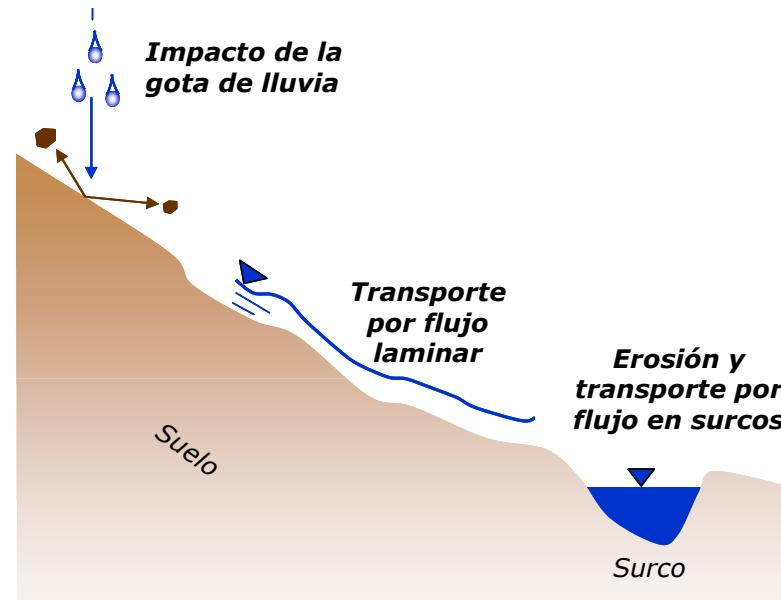
El problema

- 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

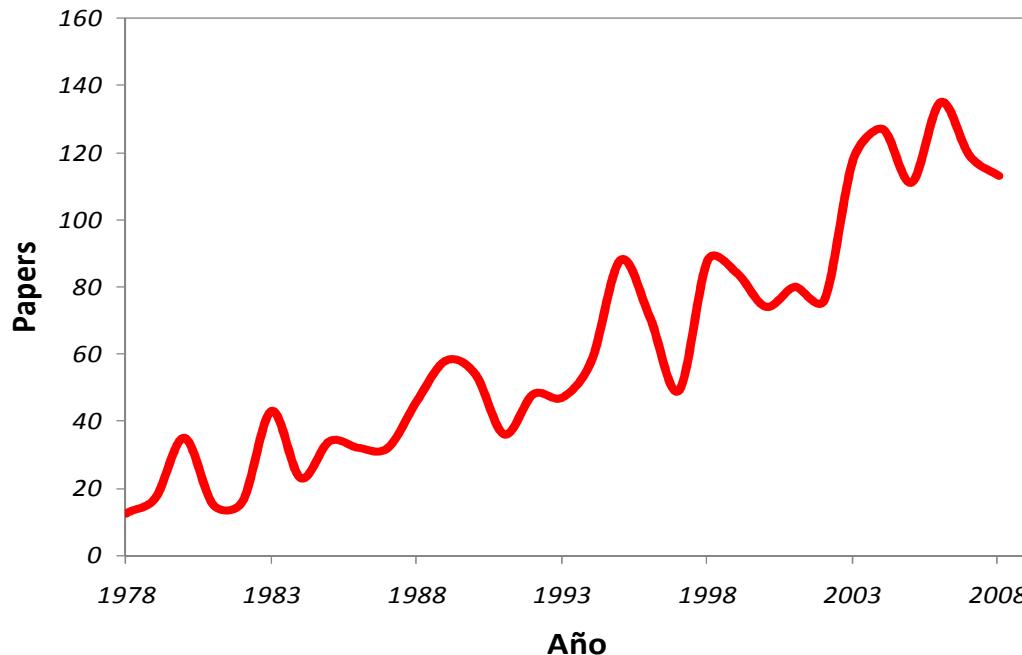
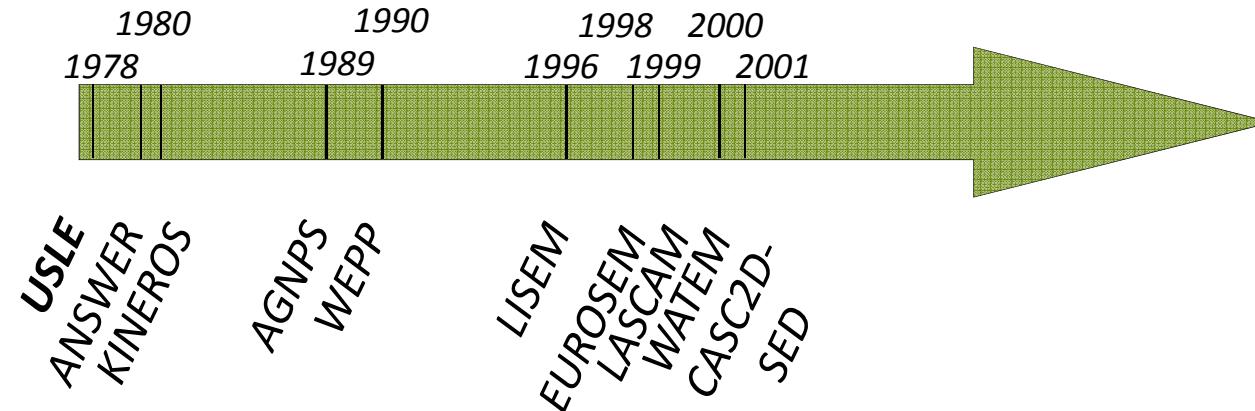
El trabajo

- 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
- ...

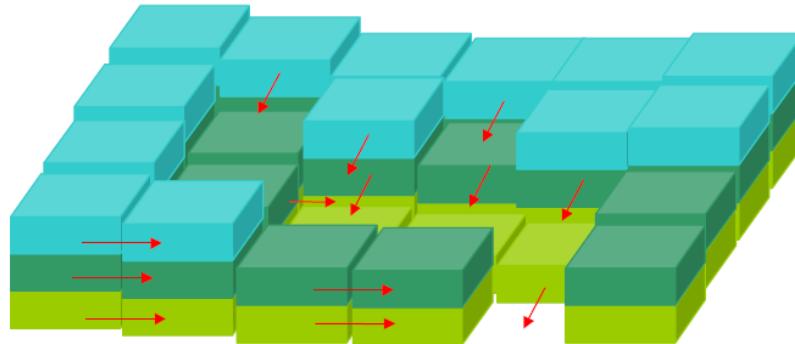
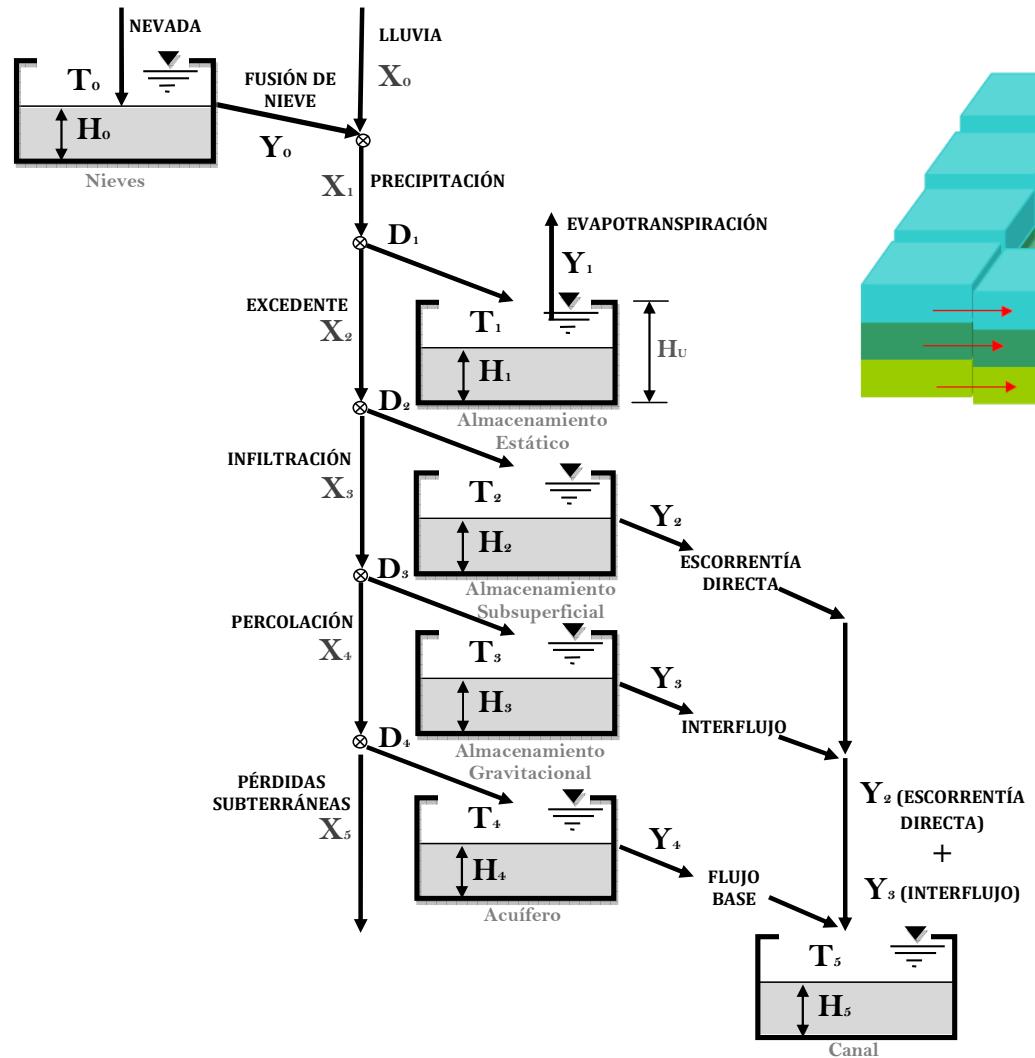
El modelo TETIS-SED

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

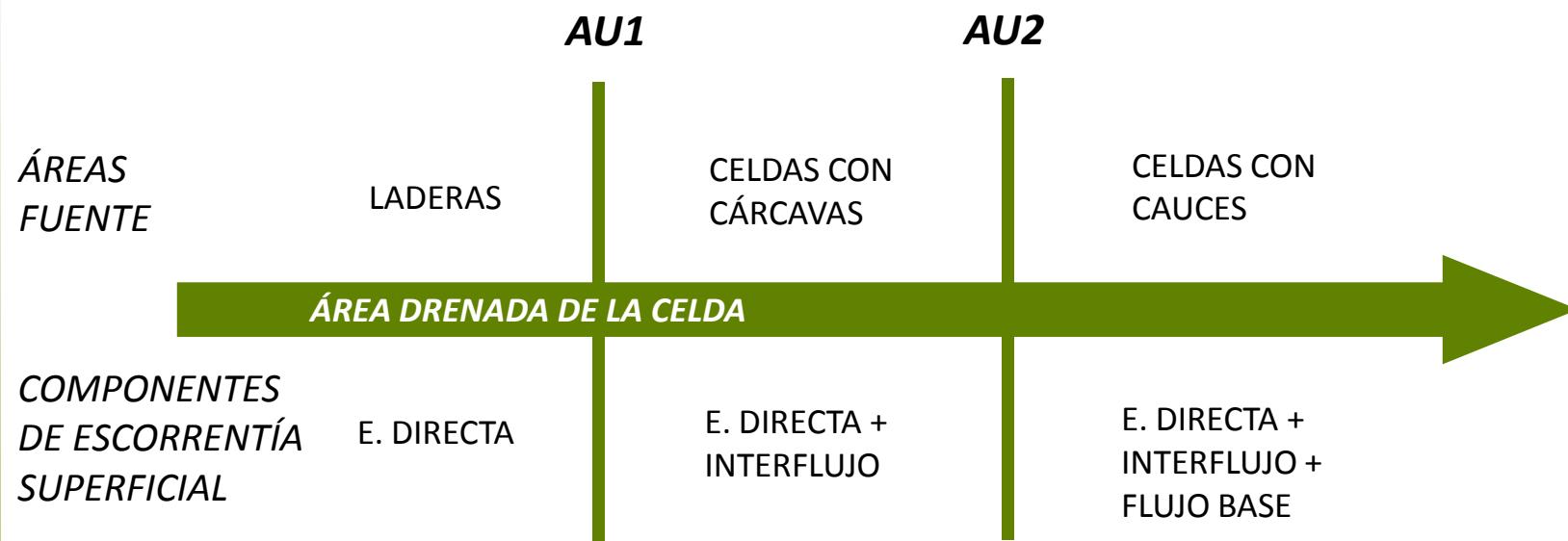
$$H_u(i) \cdot R_l \longrightarrow \text{Factor corrector}$$

- 9 factores correctores

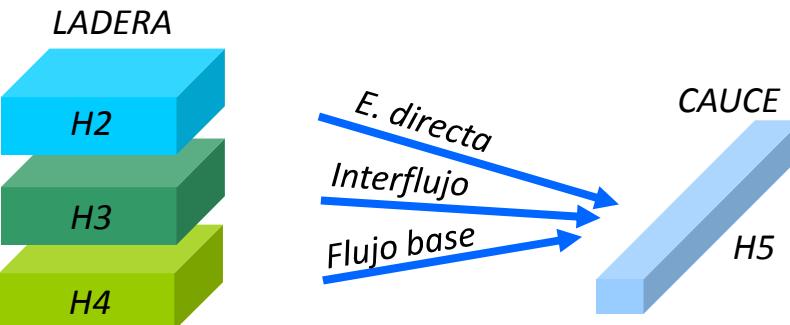
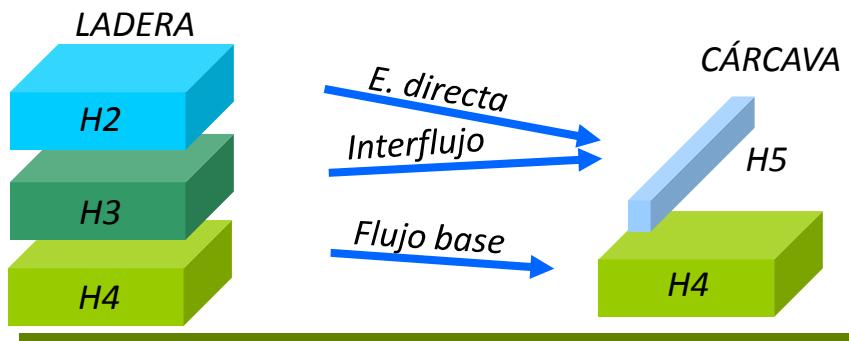
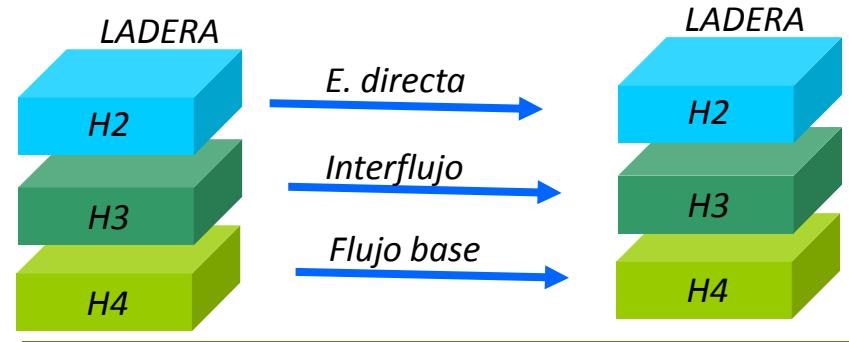
El modelo TETIS: submodelo hidrológico



El modelo TETIS: las áreas umbrales

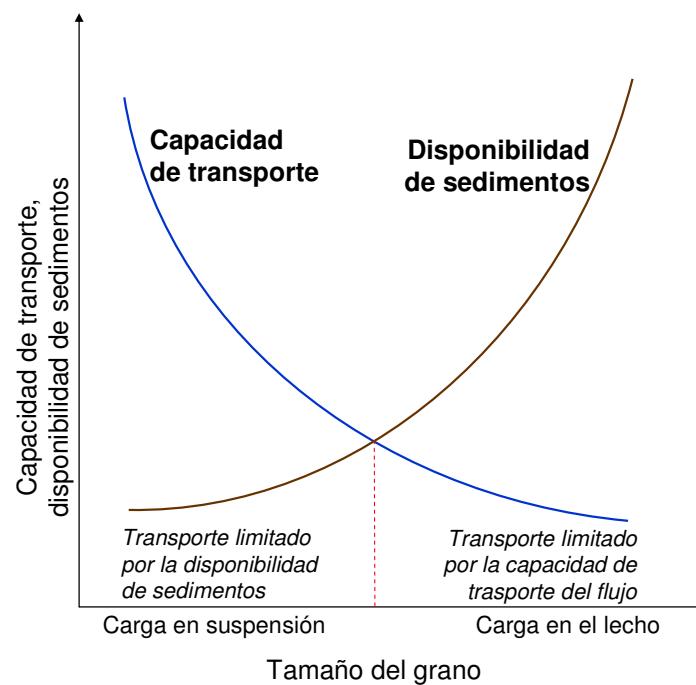


El modelo TETIS: las áreas umbrales



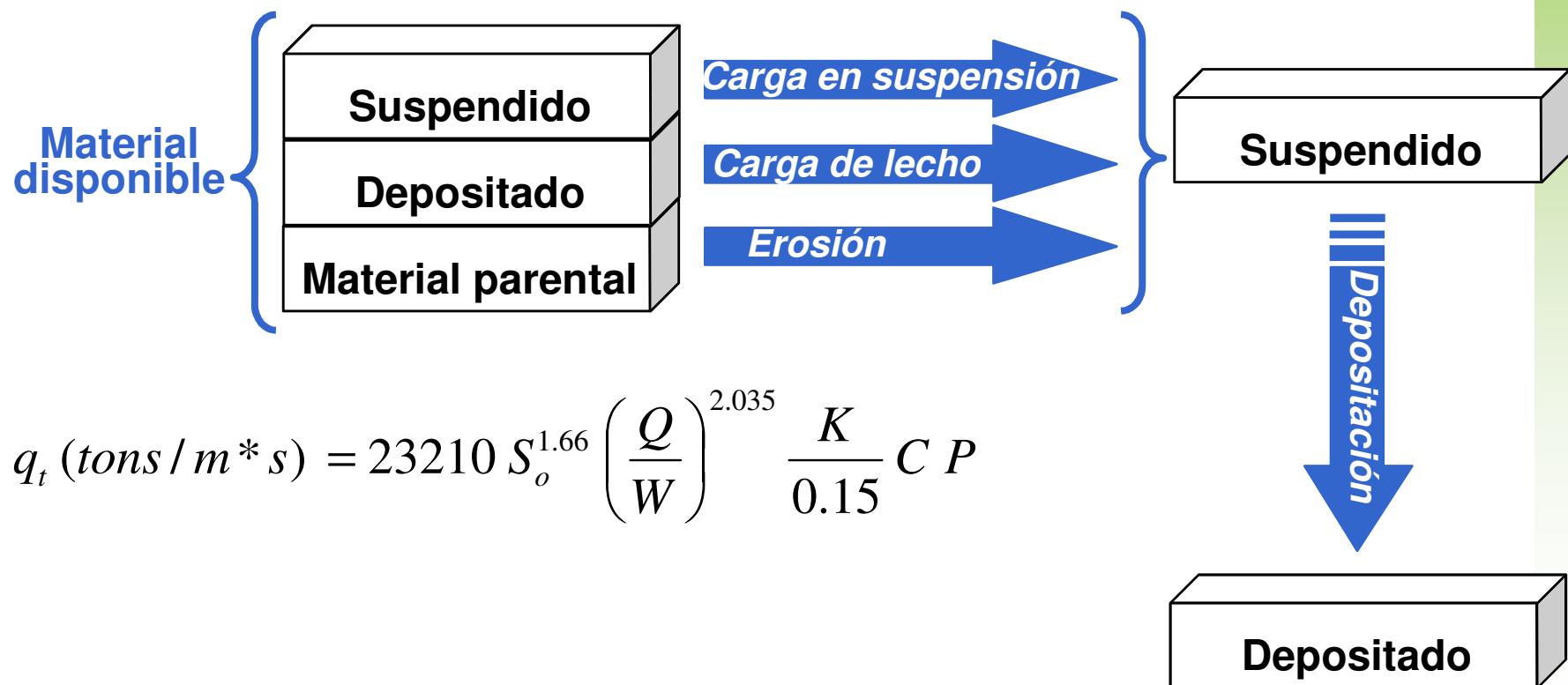
El modelo TETIS-SED: submodelo sedimentológico

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



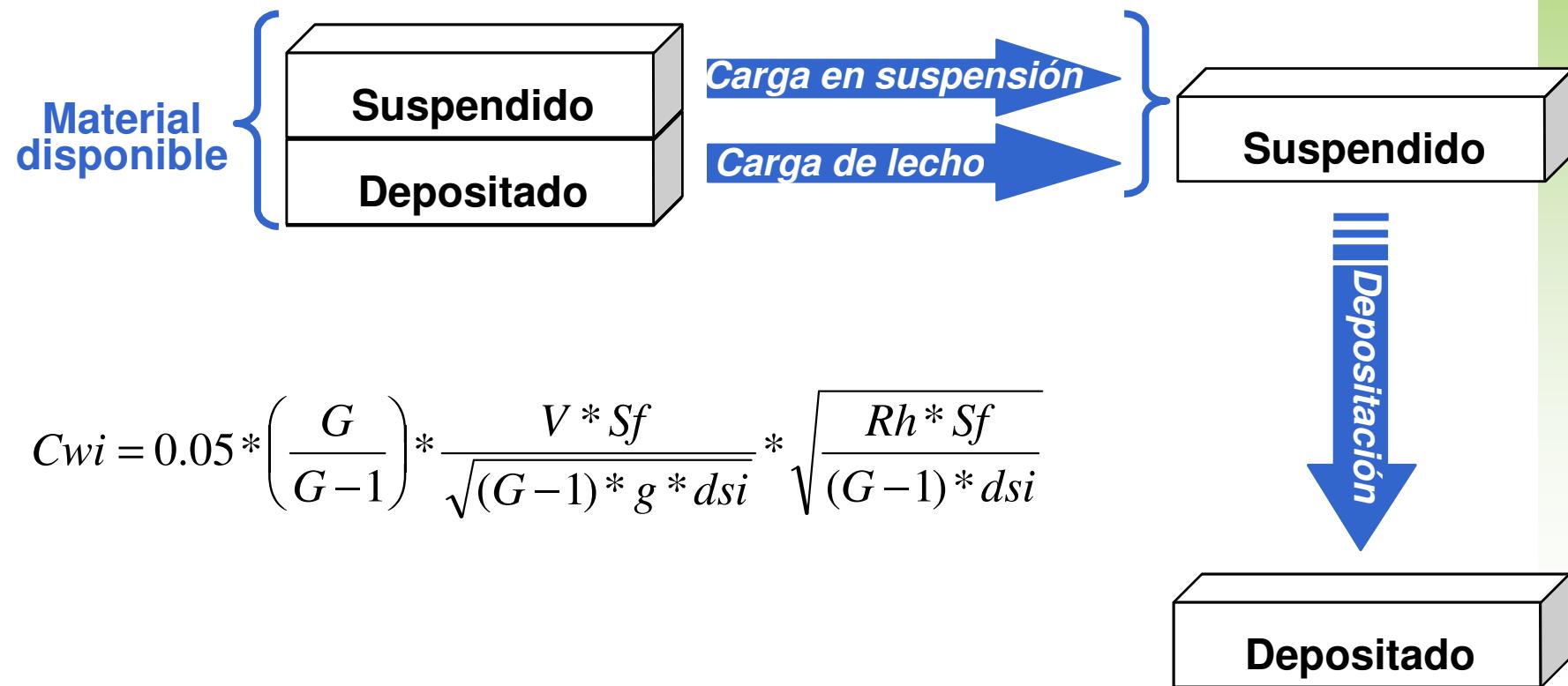
El modelo TETIS-SED: submodelo sedimentológico

- 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):

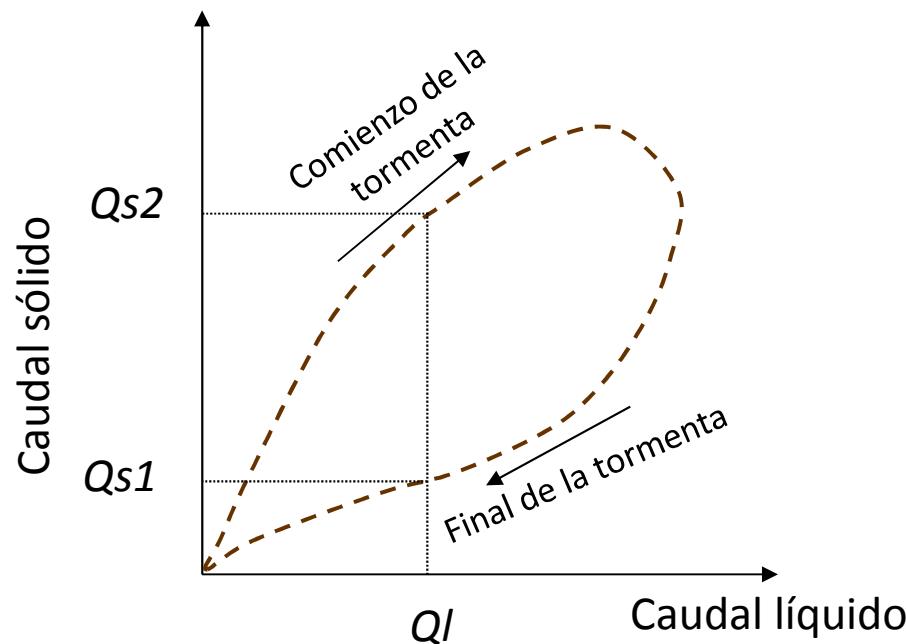
$$q_t^* = KR^* q_t$$

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

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

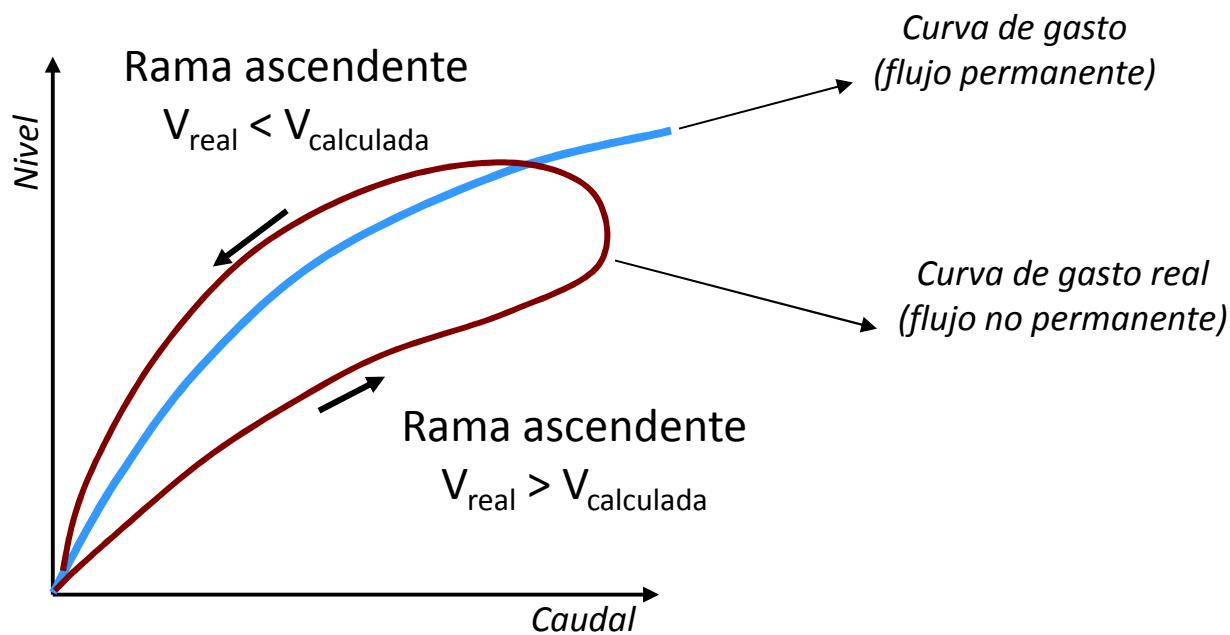
El modelo TETIS-SED: las condiciones iniciales

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



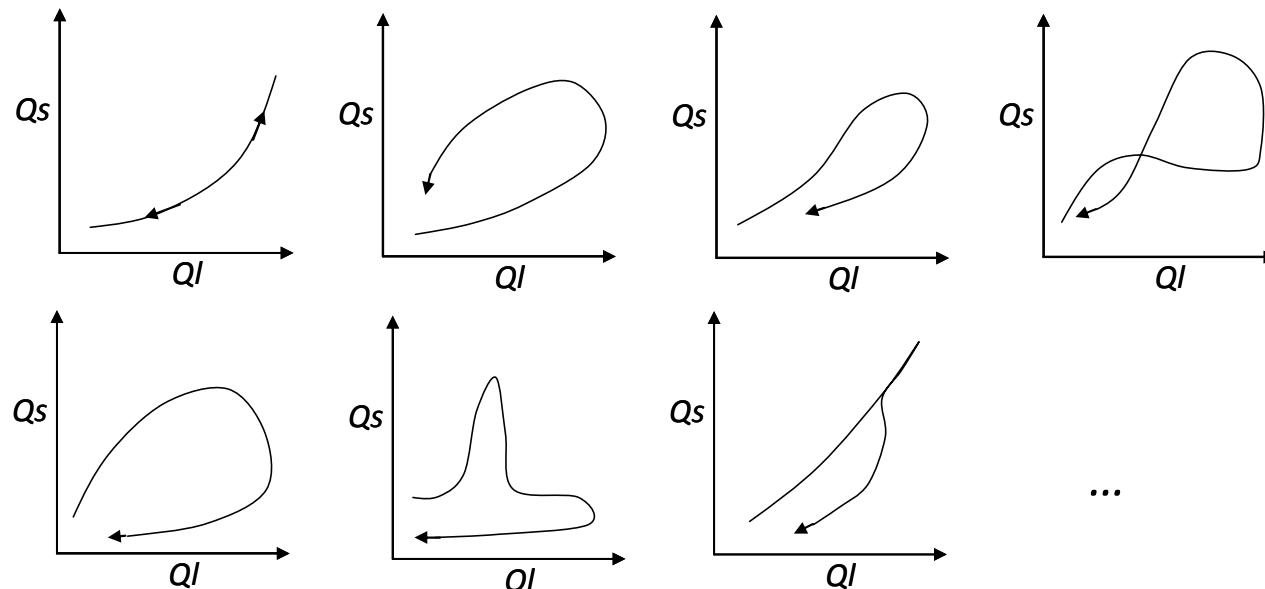
El modelo TETIS-SED: las condiciones iniciales

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



El modelo TETIS-SED: las condiciones iniciales

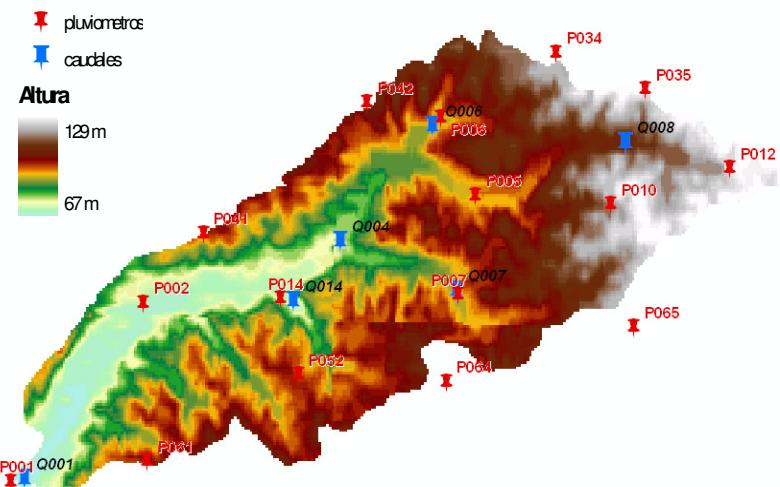
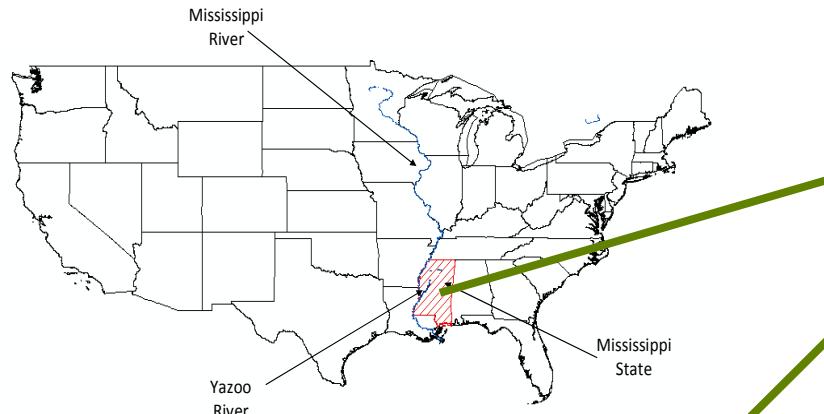
- Varios tipos de bucle de histéresis



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

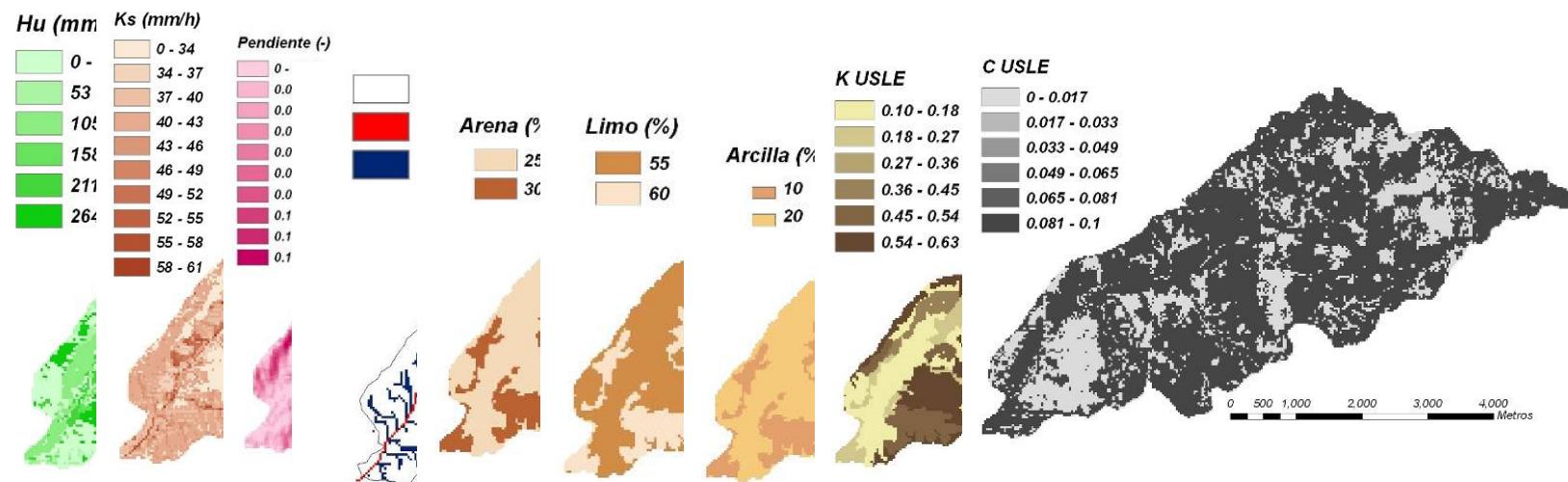
La cuenca: Goodwin Creek



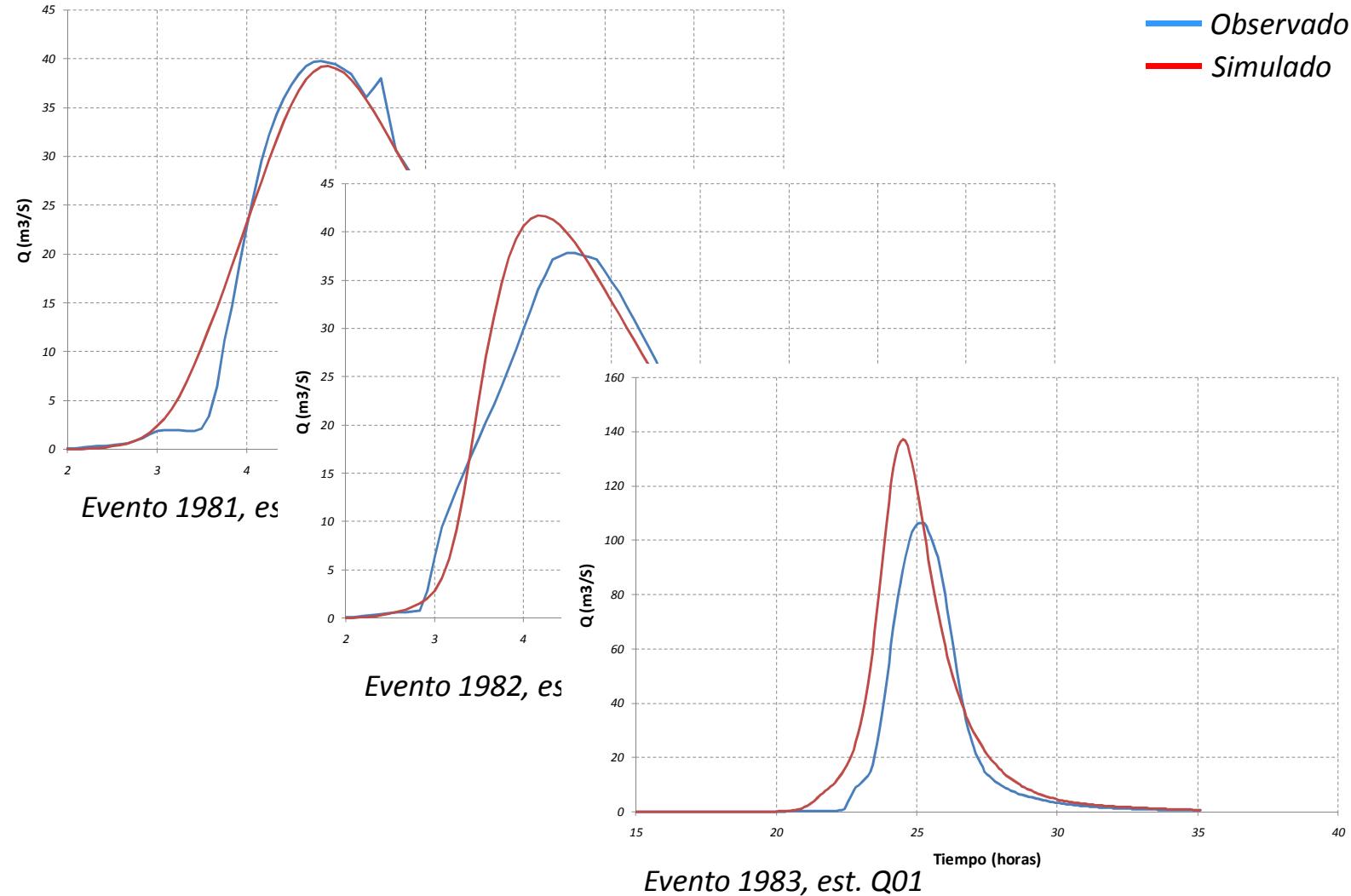
- Cuenca experimental (USDA)
- Escorrentía directa predominante
- Afectada por cárcavas y *badlands*

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:

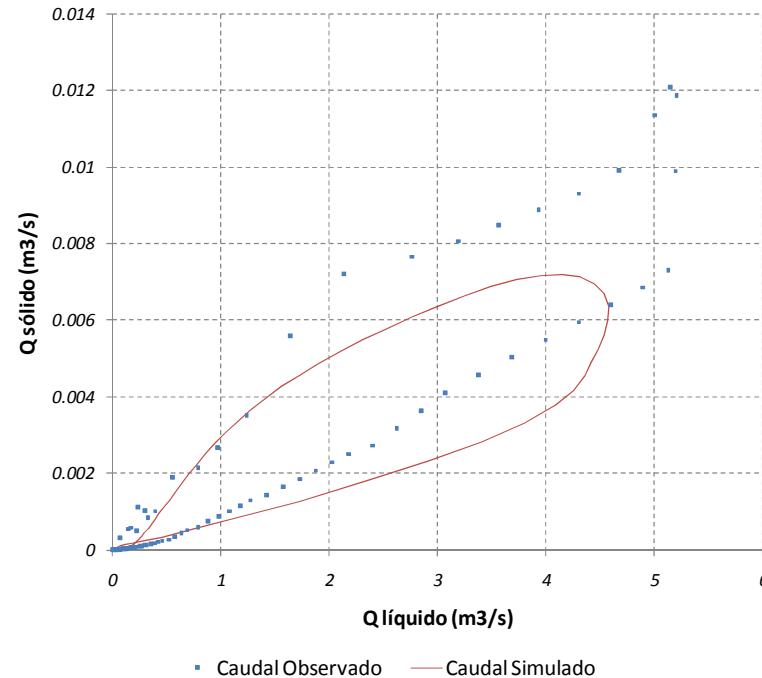
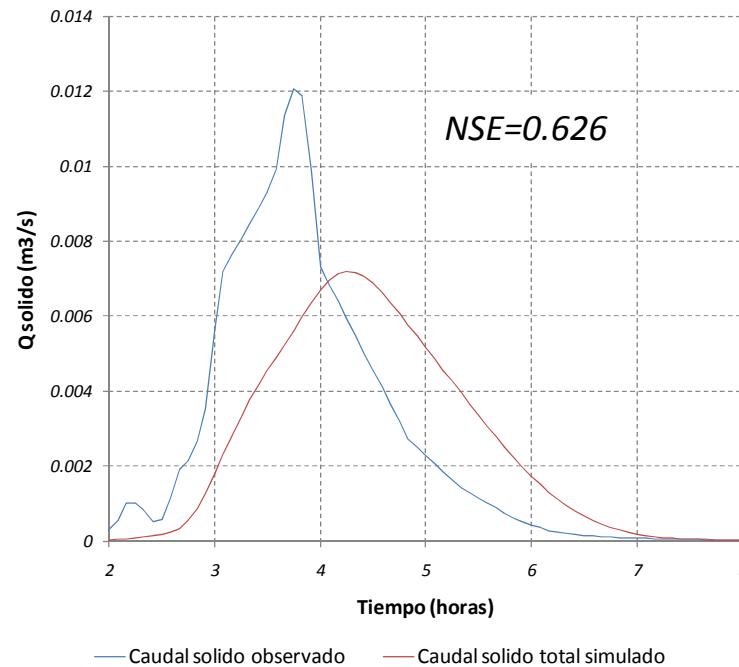


Resultados: Calibración hidrológica



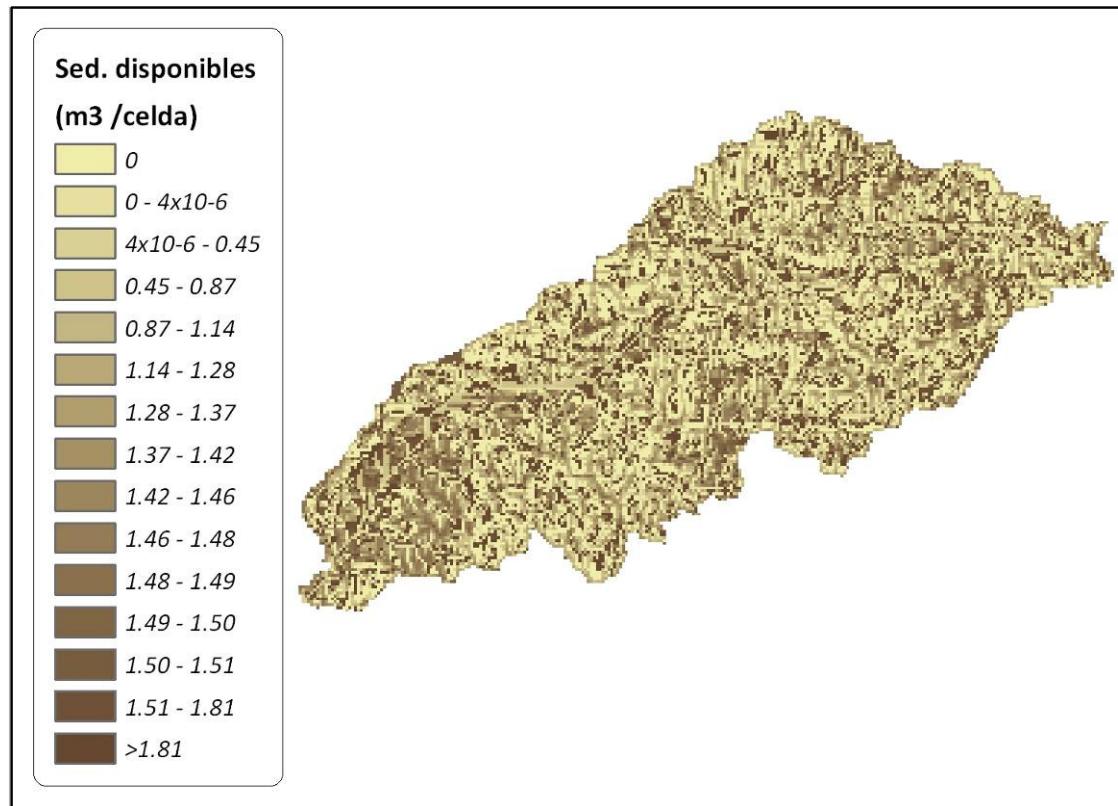
Calibración del modulo de sedimentos

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

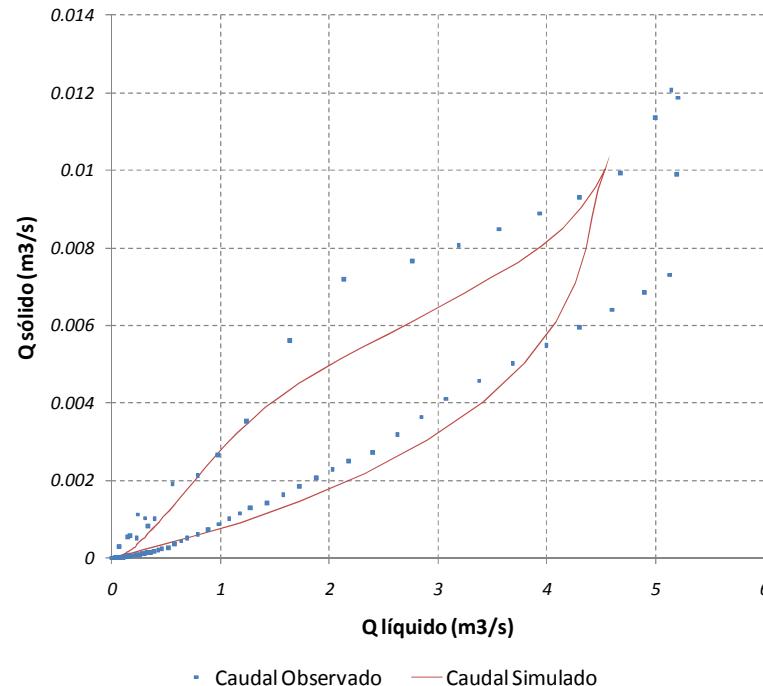
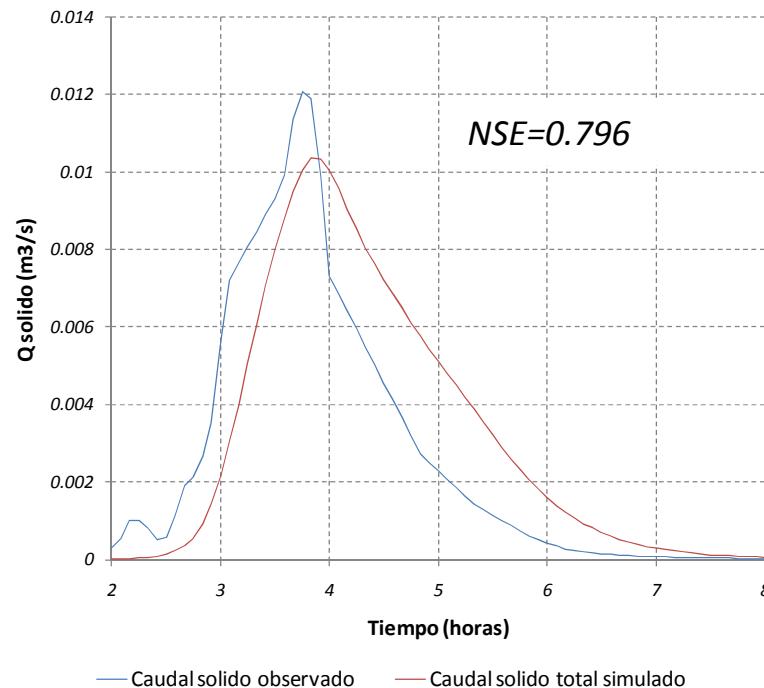


Calibración del modulo de sedimentos

- Estimación condiciones iniciales: RECIRCULACIÓN

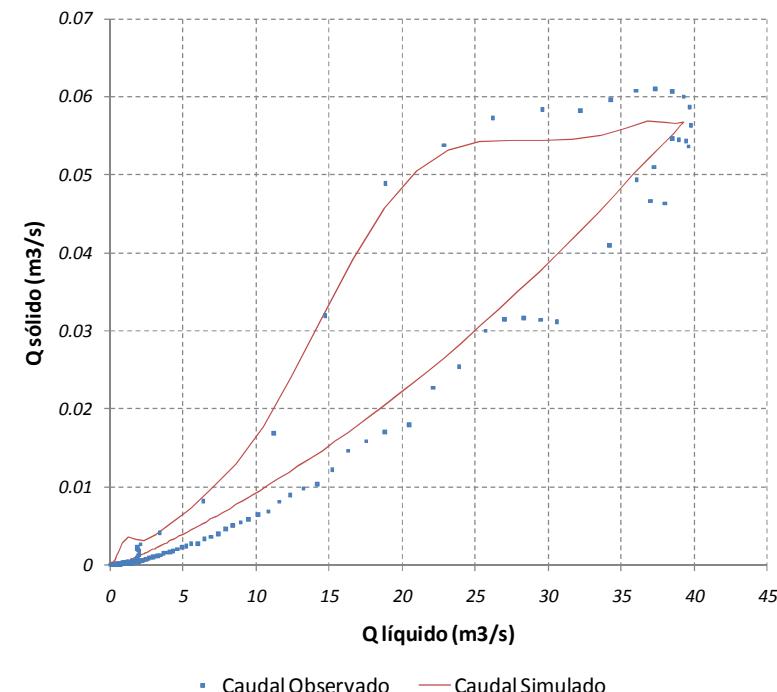
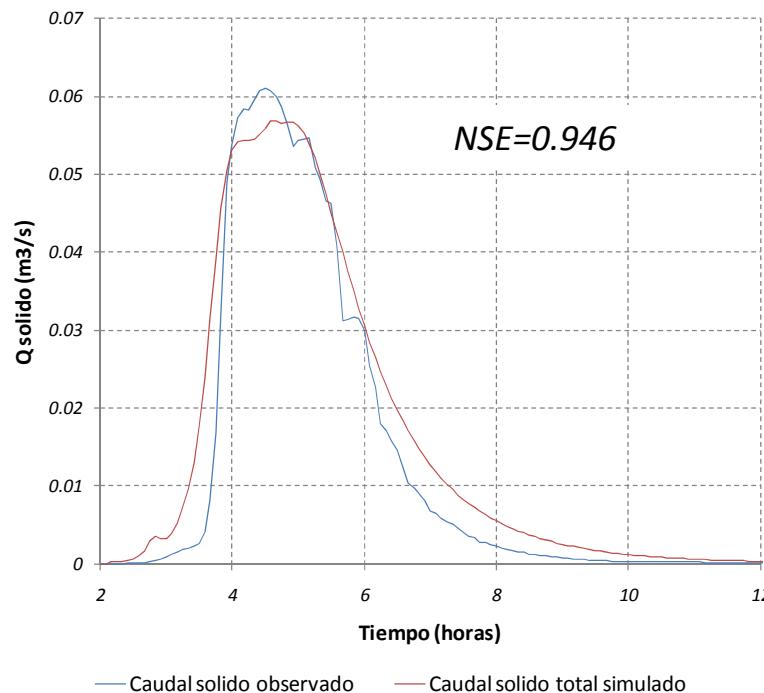


Calibración del modulo de sedimentos



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

Calibración del modulo de sedimentos



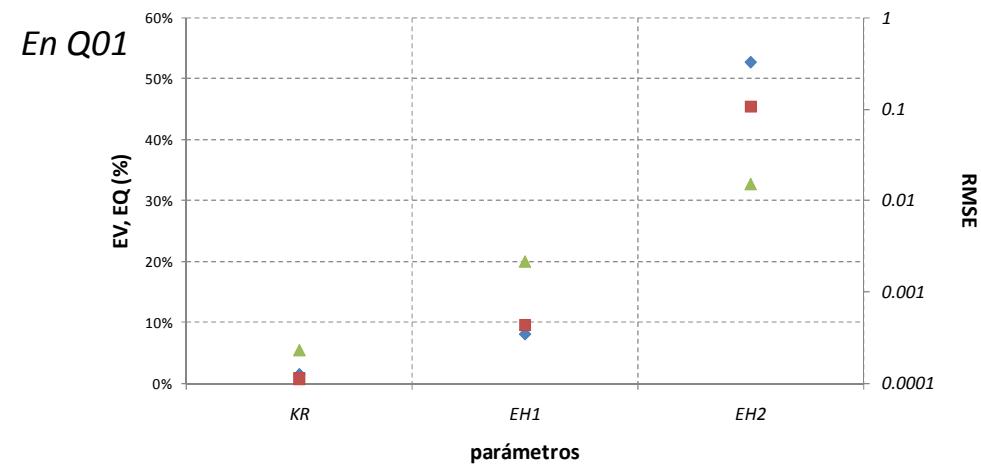
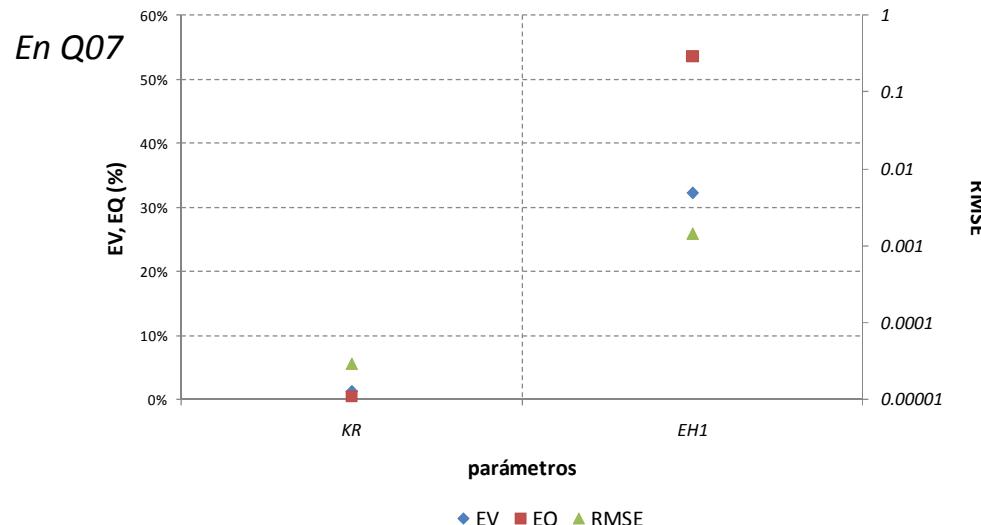
Calibración de EH_2 en la estación Q01, evento 1981

Análisis de sensibilidad: factores correctores

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

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

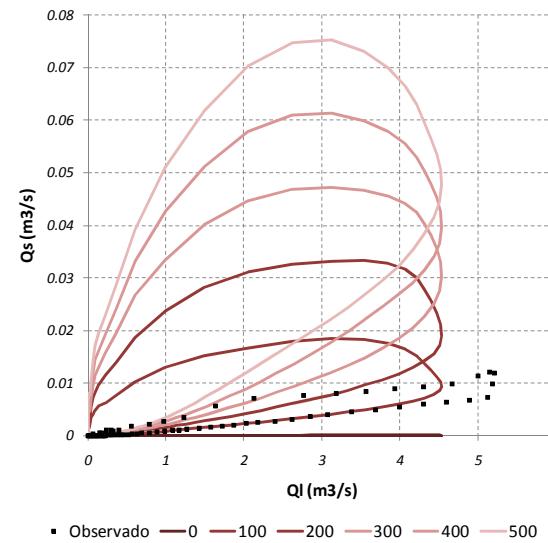
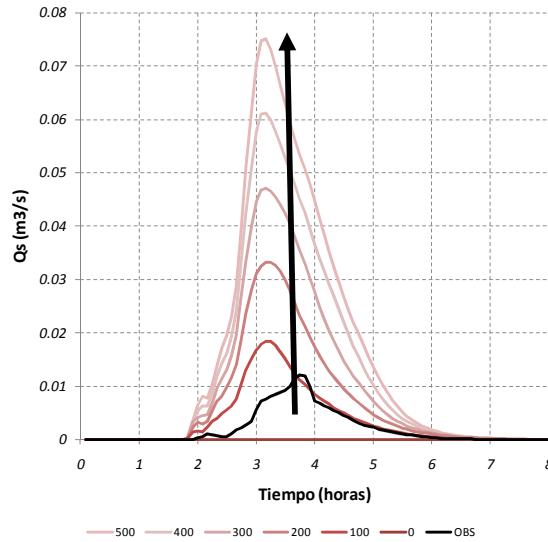
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{FC-50\%} - Q_{FC+50\%})^2}{N}}$$



Análisis de sensibilidad: condiciones iniciales (cárcavas)

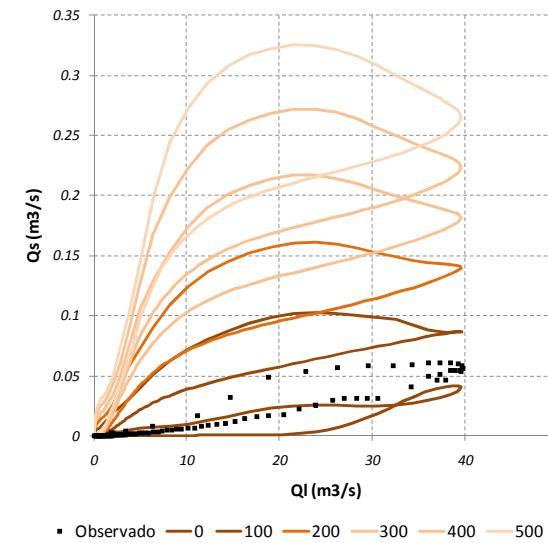
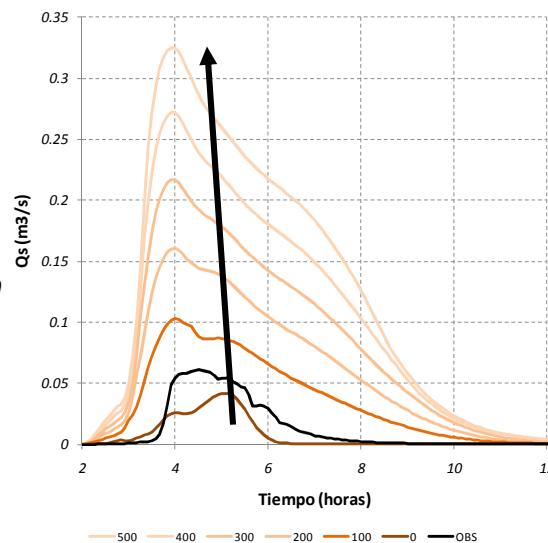
Q01 – Evento 1981

VARIACIÓN: de 0 m³/m
a 15 m³/m



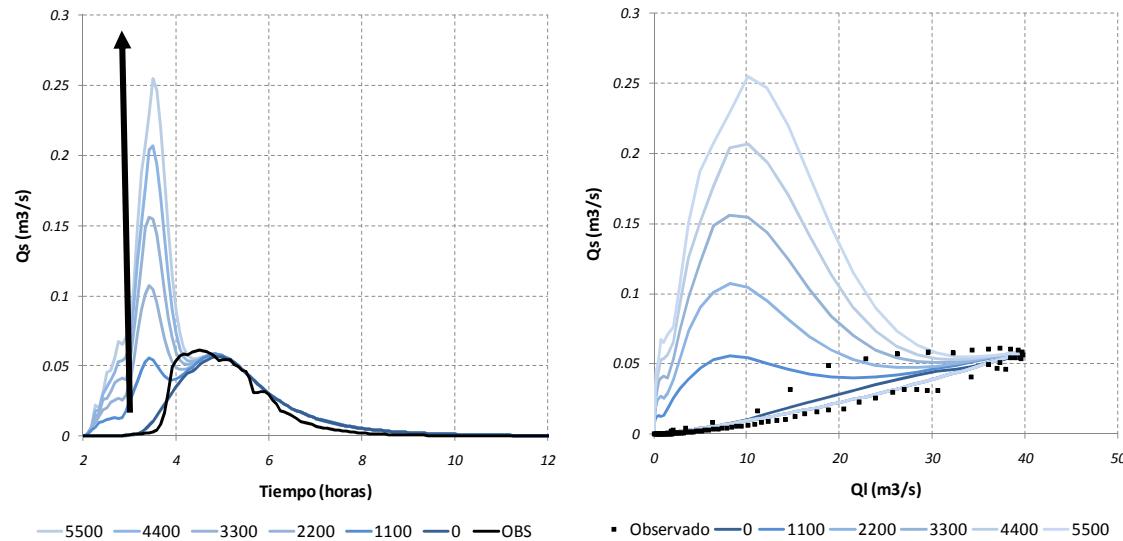
Q07 – Evento 1981

VARIACIÓN: de 0 m³/m
a 15 m³/m



Análisis de sensibilidad: condiciones iniciales (cauces)

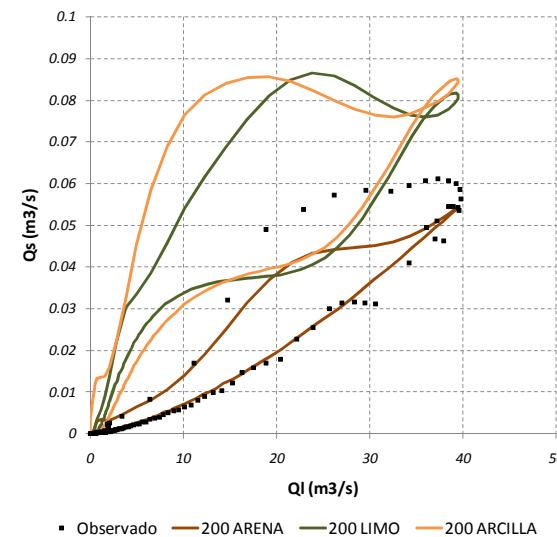
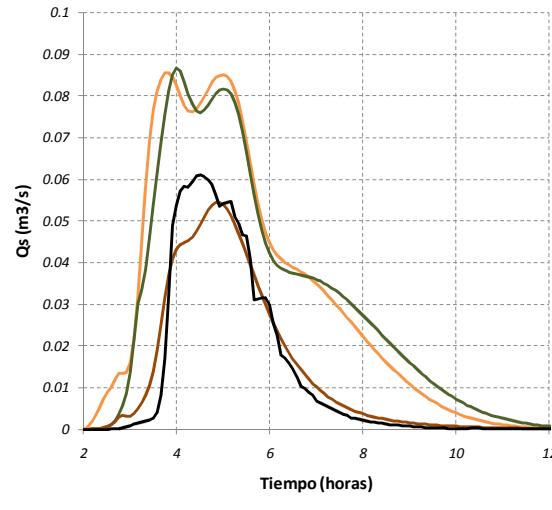
Q01 – Evento 1981
VARIACIÓN: de 0 m³/m
a 15 m³/m



Análisis de sensibilidad: condiciones iniciales (textura)

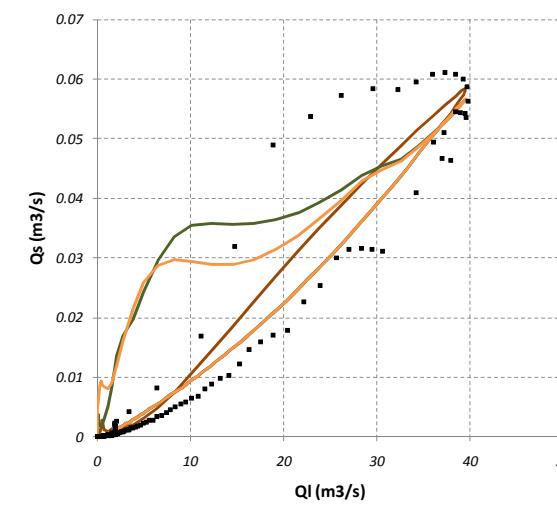
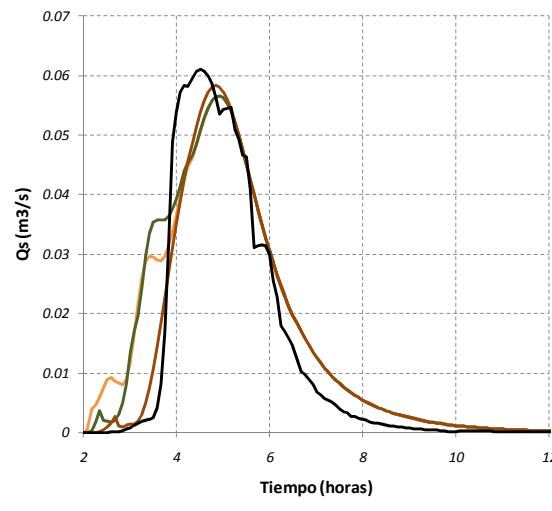
Q01 – Evento 1981

Variación de la textura en Cárcavas



Q01 – Evento 1981

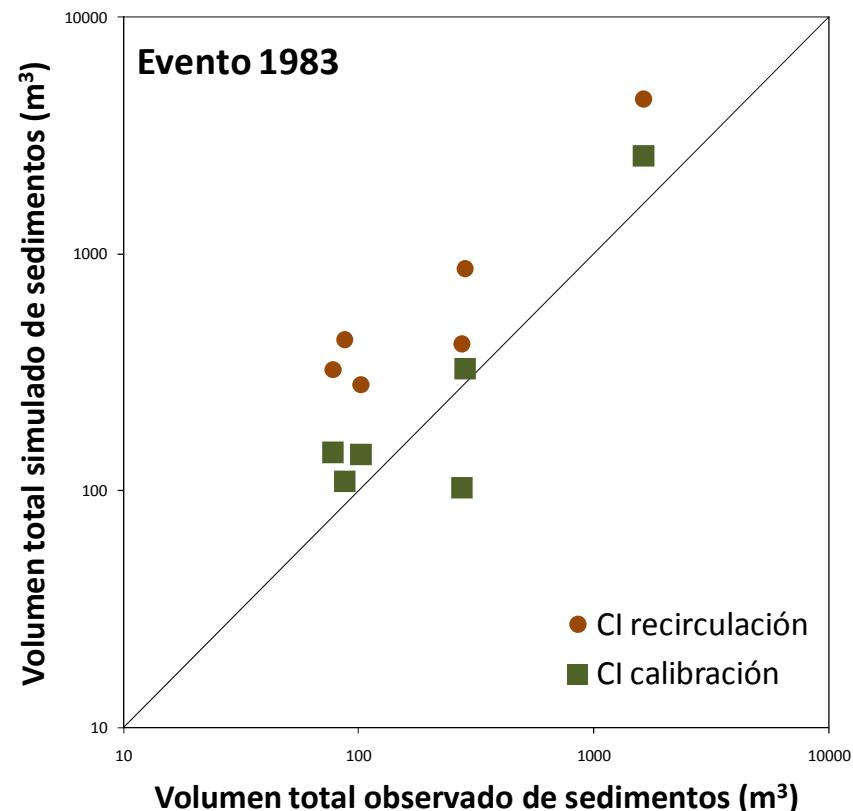
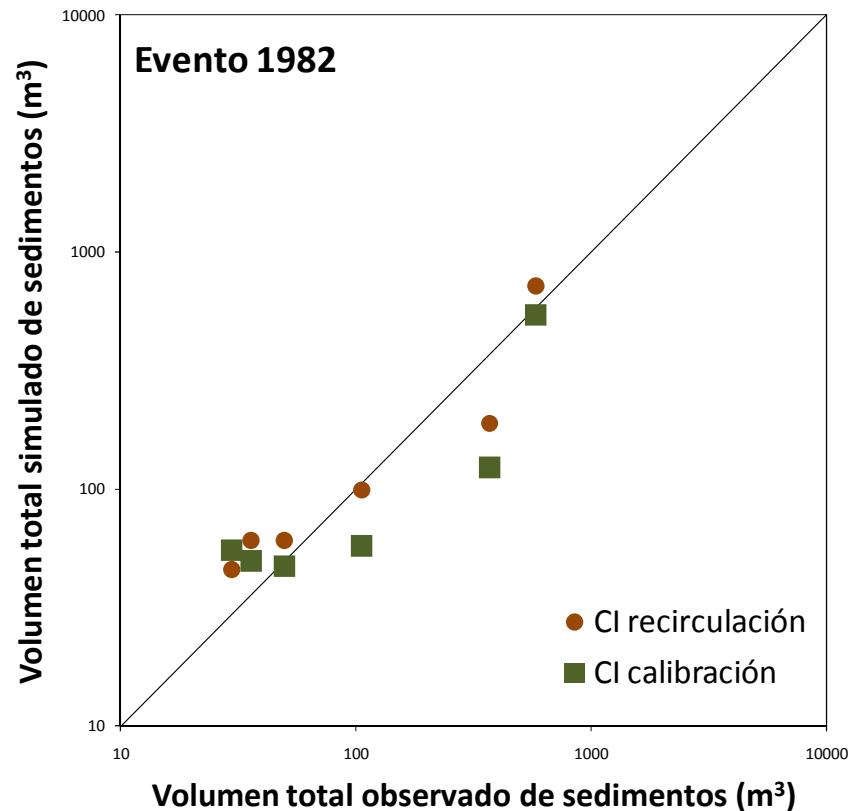
Variación de la textura en Cauces



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

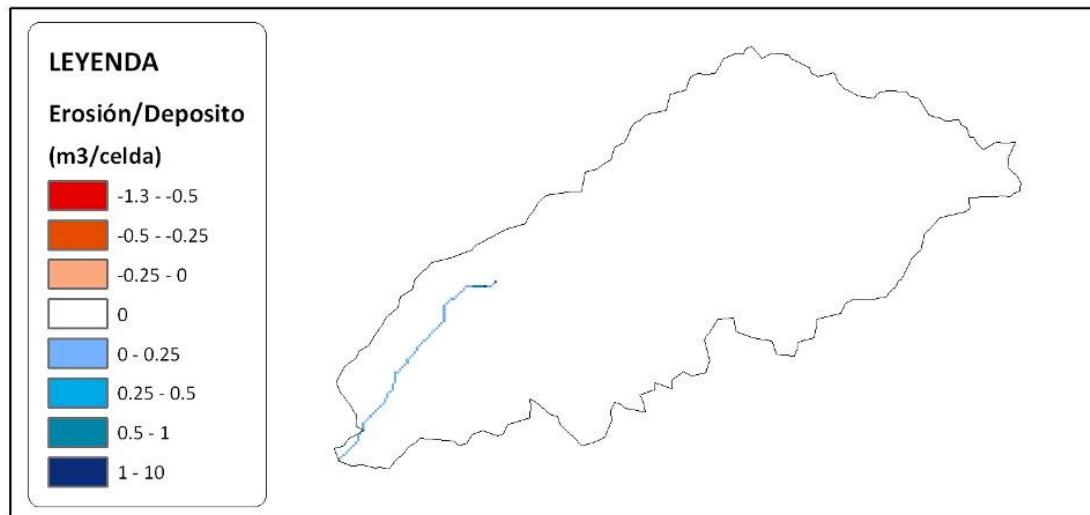


Simulación continua cincominutal

- 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

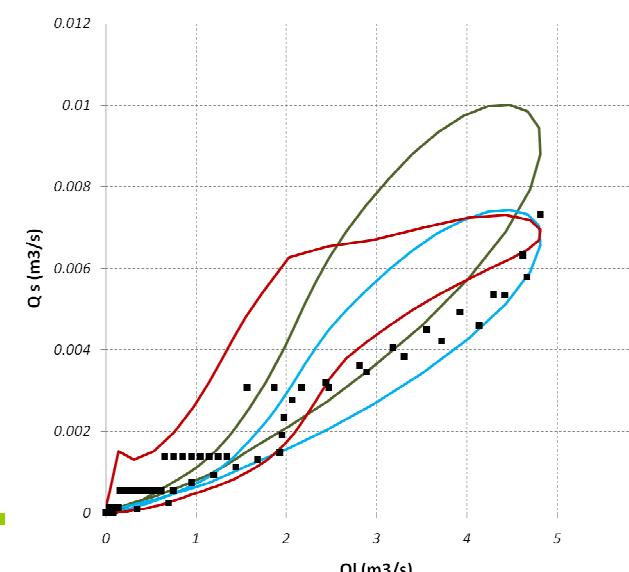
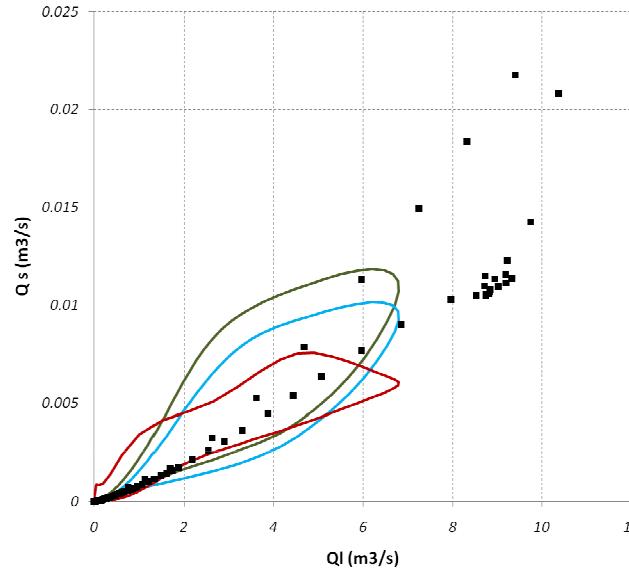
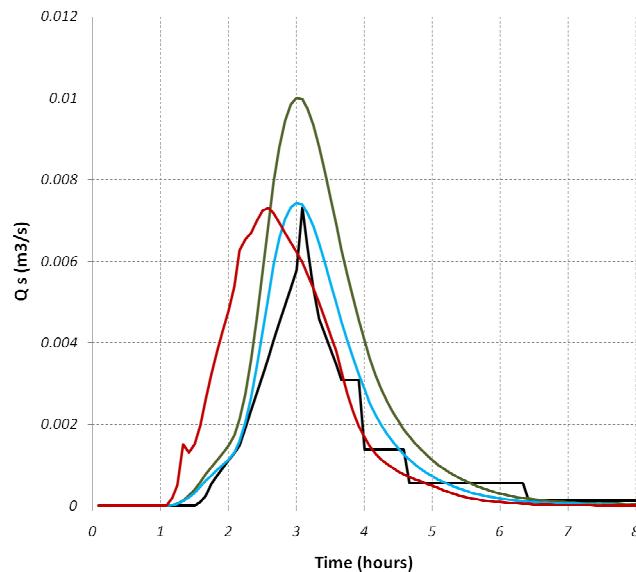
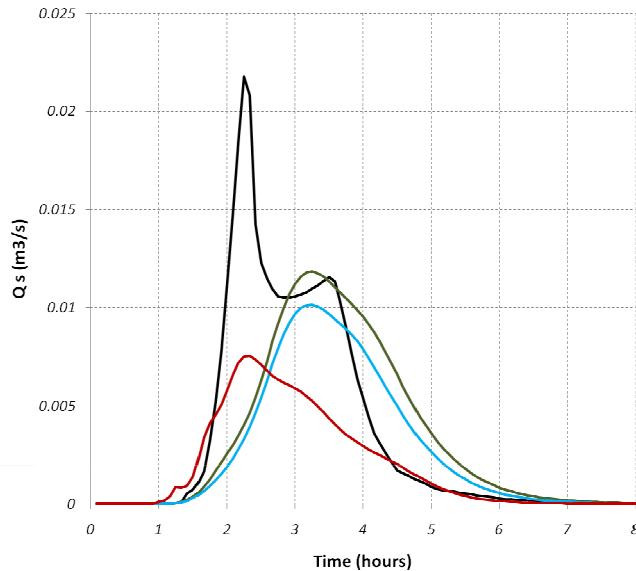
- Reproducción del efecto de deposición de material en las cárcavas (causa del ciclo de histeresis)



Ej: erosión deposición neta después del evento de 1982

CAUCES

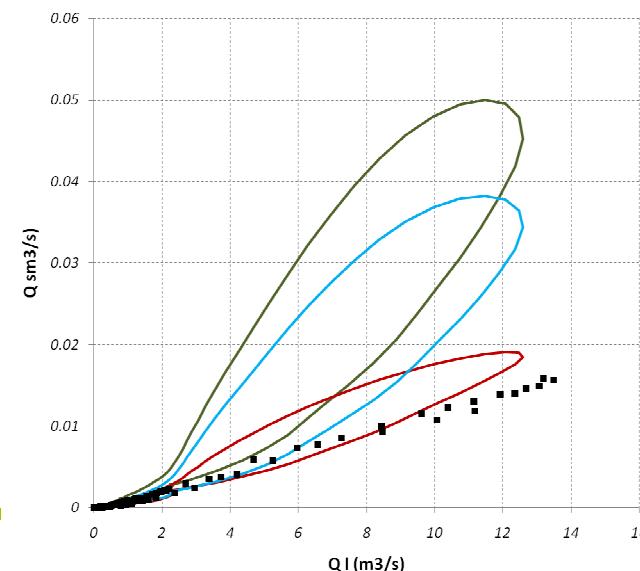
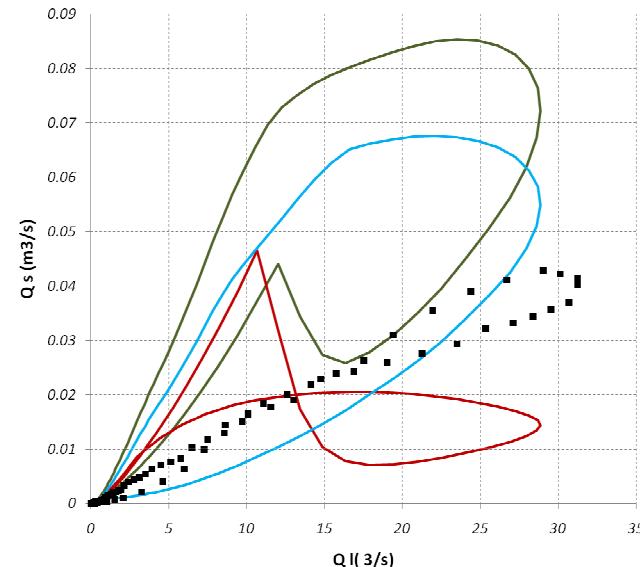
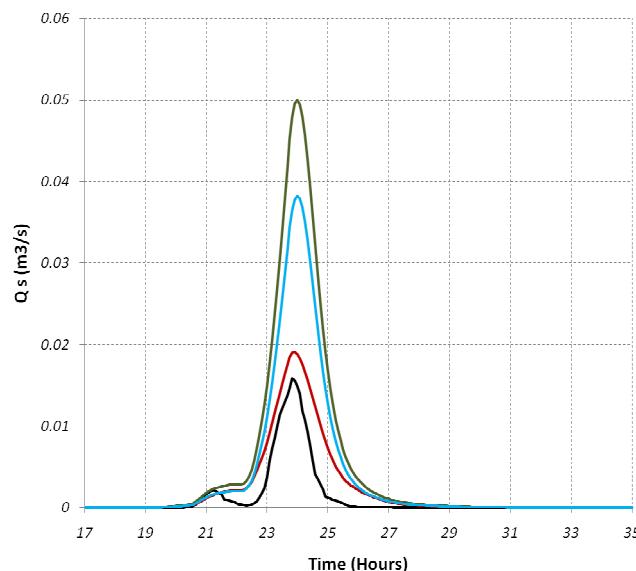
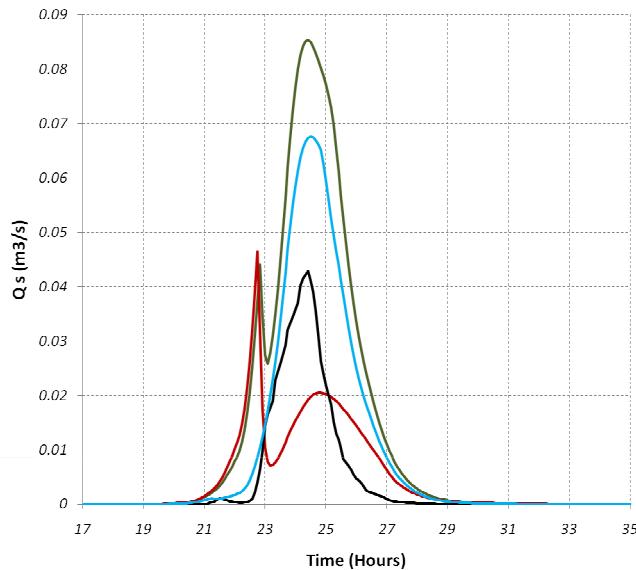
Simulación continua cincominutal



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)

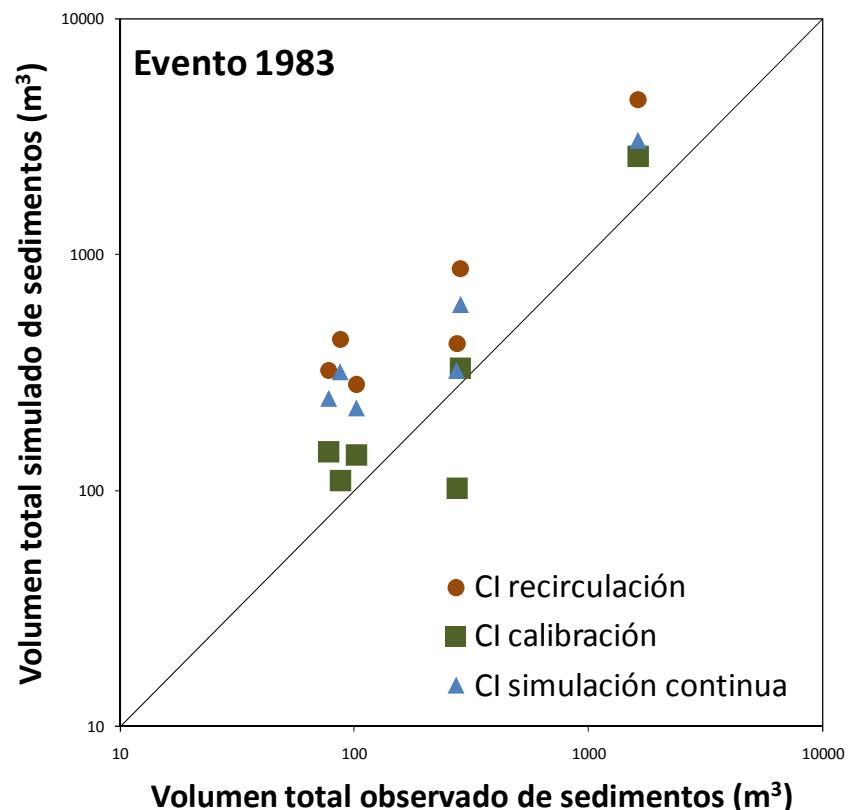
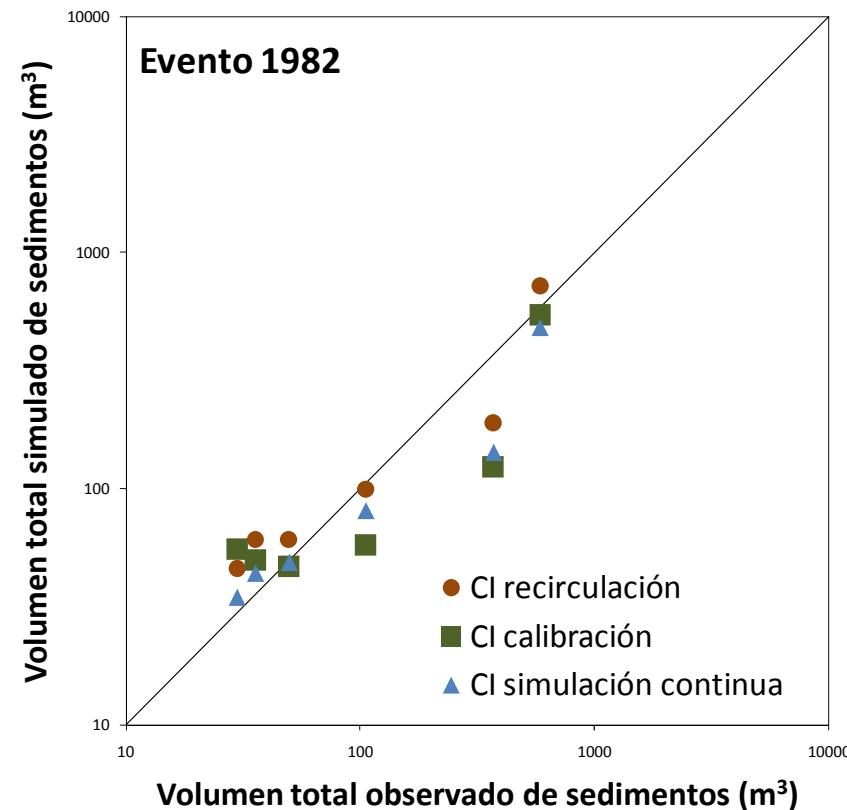
Simulación continua cincominutal



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

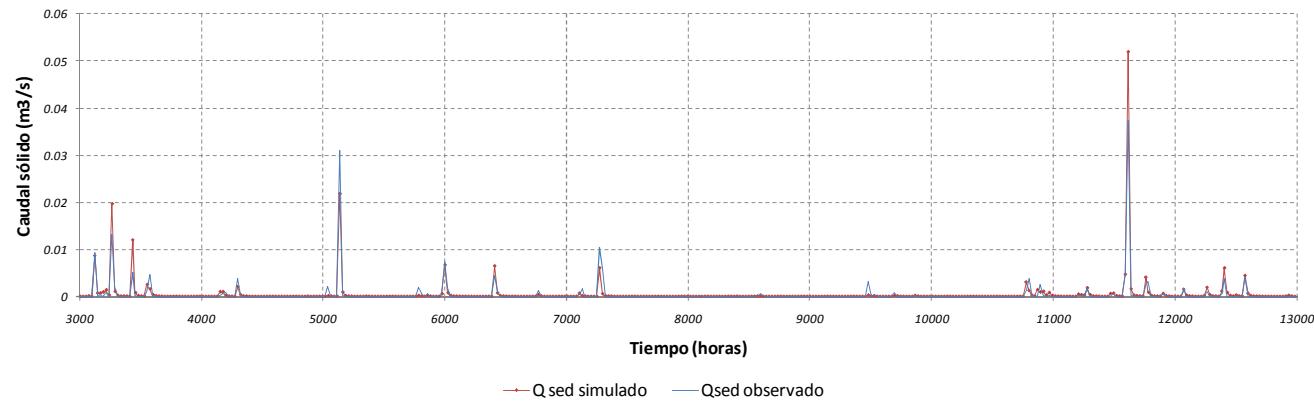


Simulación continua diaria

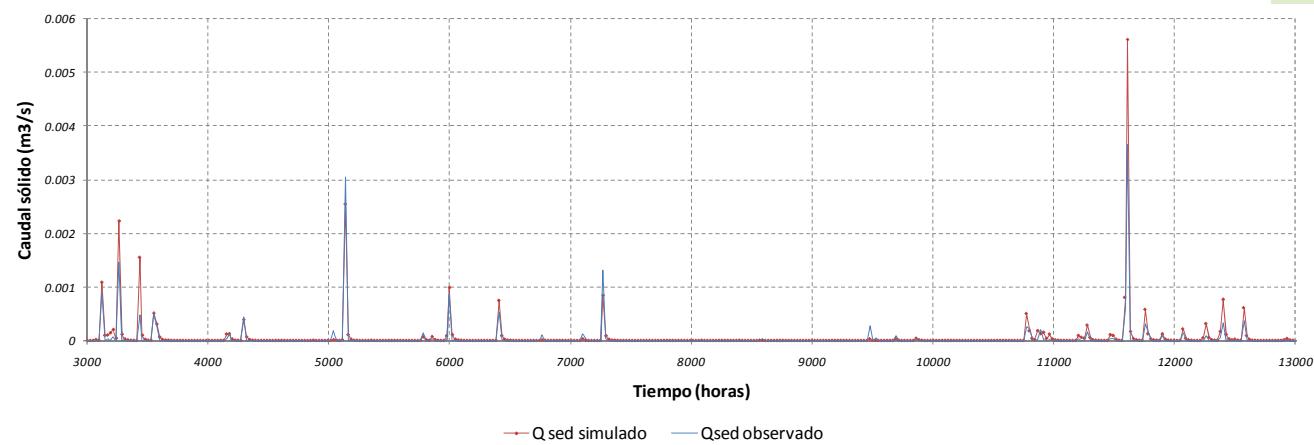
- Objetivos:
 - Análisis del funcionamiento de TETIS-SED en la simulación de horizontes temporales del orden de algunos años
 - Análisis del efecto de la escala temporal sobre los factores correctores
- Metodología:
 - No se dispone de series temporales continuas de caudal sólido
 - Se ha simulado con $Dt=5$ 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

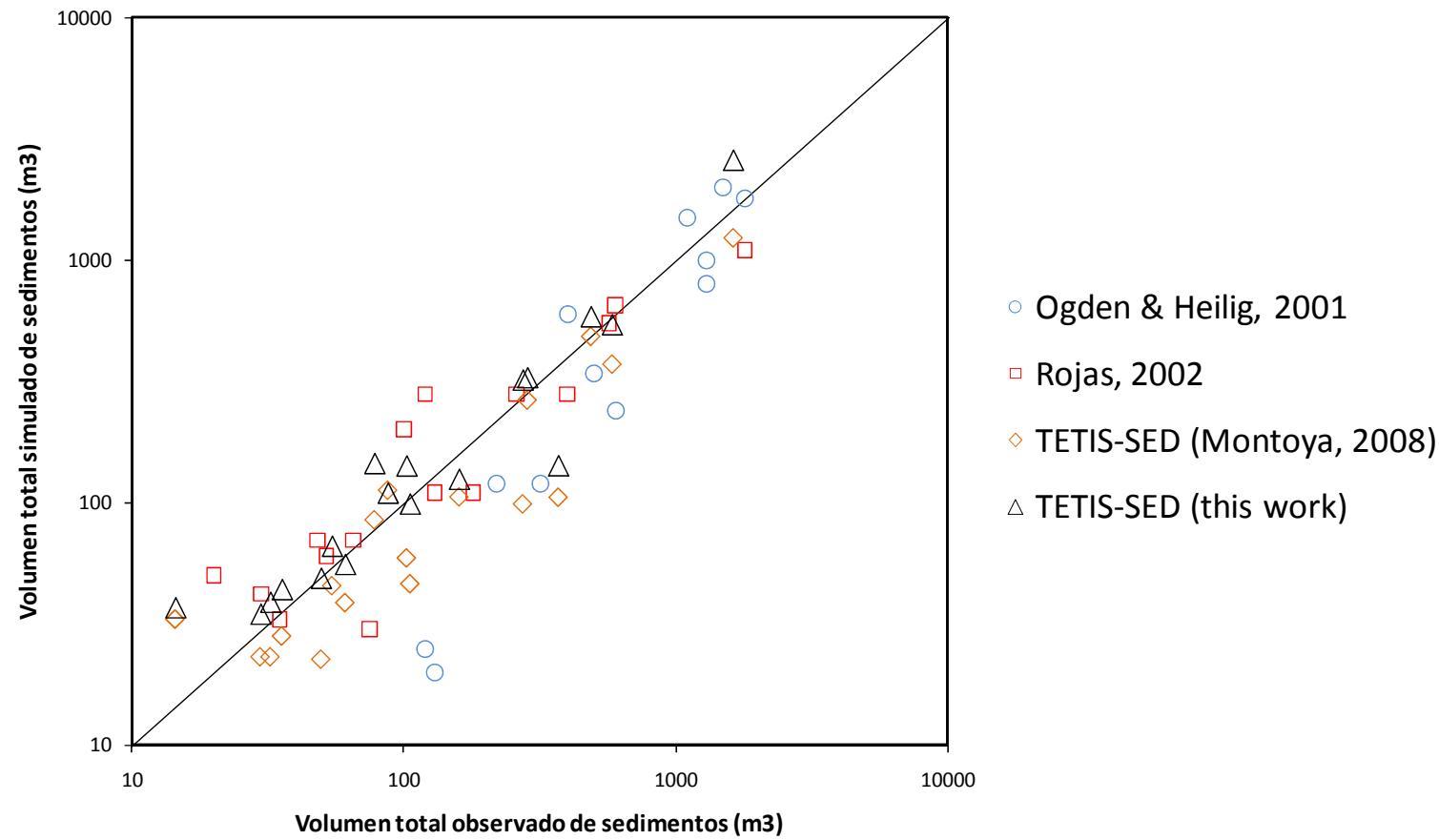


Estación	NSE	Error Volumen
Q01	0.826	-3%
Q04	0.695	47%
Q06	0.807	26%
Q07	0.760	43%
Q08	0.810	22%
Q14	0.425	70%



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 trasversales 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