



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente

Modelización distribuida del ciclo de sedimentos: aplicación al análisis del efecto del cambio climático en el aterramiento del embalse de Barasona (España)

F. Francés, G. Bussi, L. Ramírez y E. Horel

Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
Universitat Politècnica de València, España

Seminario Internacional. Integración de modelos y análisis de datos para modelación
hidrológica. Universidad de Medellín. Septiembre 2013



Introducción

- Objetivo operacional: determinar el cambio de régimen hídrico (**recursos, crecidas y sedimentos**) en la cuenca del río Esera en el futuro, teniendo en cuenta el cambio climático
 - Con especial atención al **aterramiento** del embalse de Barasona
- Objetivo científico adicional:
 - Explotación de la información batimétrica en la implementación del submodelo de sedimentos
- Herramienta: modelo hidrológico global y distribuido
 - Discretización diaria y tamaño de celda de 100 m



Metodología general

Análisis de evolución de emisiones:
incremento de CO₂

- Escenarios emisiones de CO₂



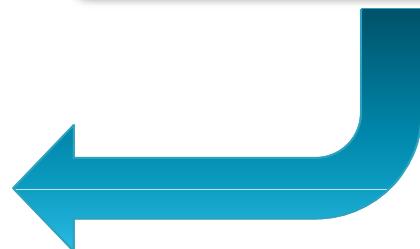
Modelos climáticos y “downscaling”

- Series de precipitación y temperatura



Comparación con observaciones
en período de control

- Selección y corrección



Implementación del modelo hidrológico

- Series de caudales y sedimentos



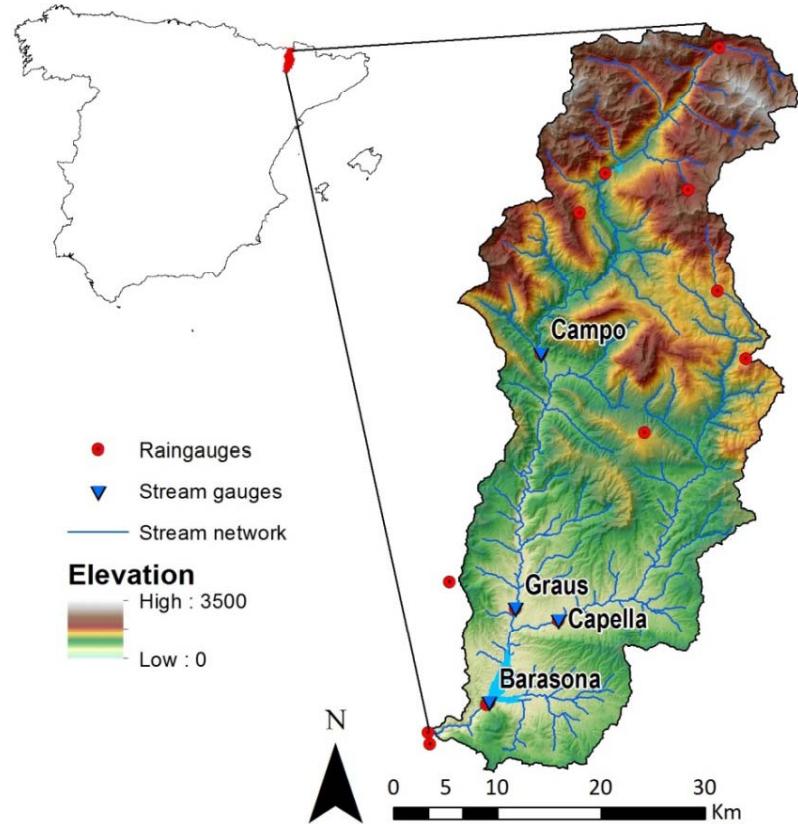
Comparación resultados en situación
actual y futuras

- Análisis y toma de decisiones



Caso de estudio

La cuenca del río Ésera

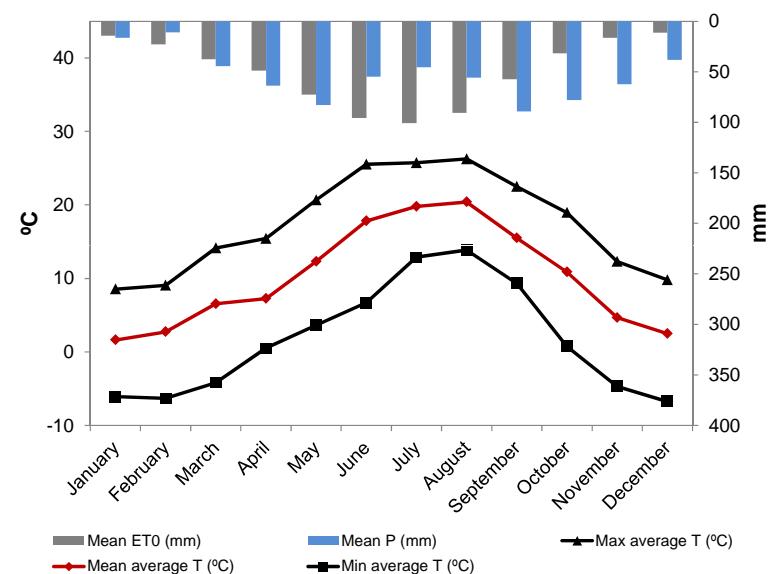


- Vertiente sur de los Pirineos Centrales
- Superficie de 1532 km²
- Principal afluente el río Isábena
- Cuenca de montaña => altas pendientes y nieve en invierno
- Embalse de Barasona

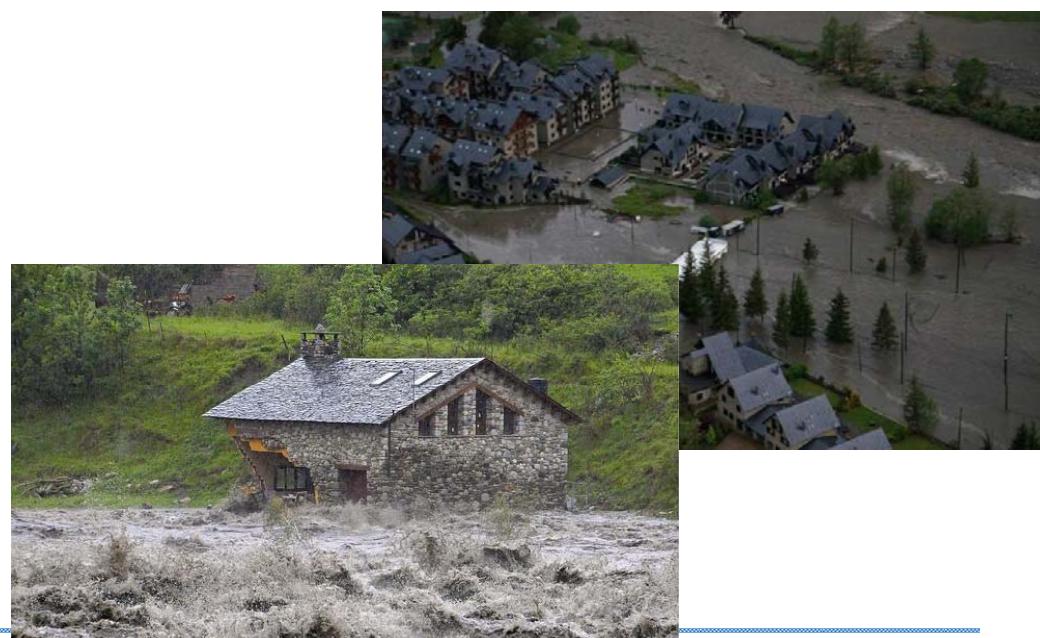


La cuenca del río Ésera

| | |
|----------------------------|--------------|
| Precipitación anual | 570 – 990 mm |
| Temperatura anual | 9.7° – 15.3° |
| ET0 anual | 820 mm |



- Clima mediterráneo de montaña
 - Inviernos secos y fríos
 - Veranos tormentosos con fuertes crecidas





La cuenca del río Ésera



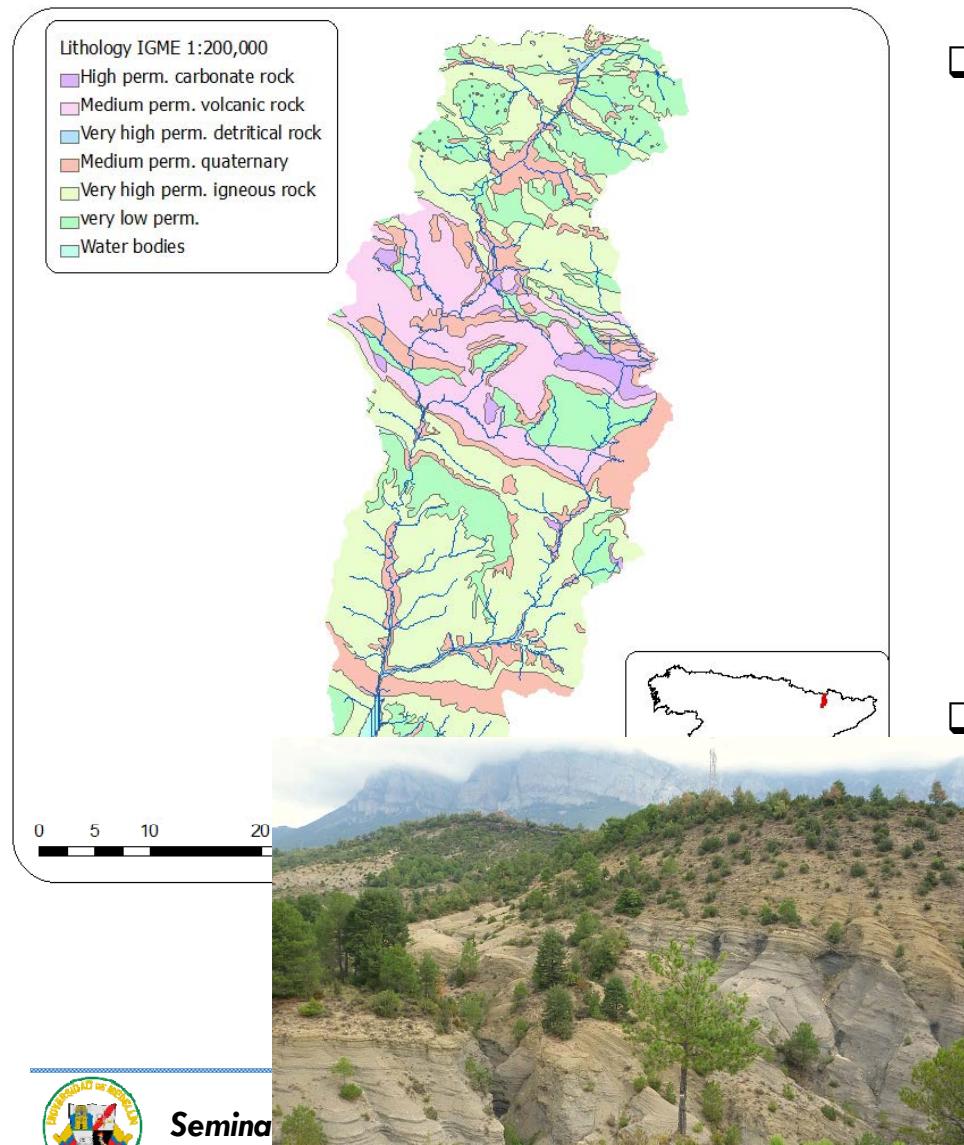
- Usos del suelo:
 - bosque (34%)
 - matorral (27%)
 - pastos (12%) y
 - cultivos de secano (10%)

➤ **Crecimiento histórico del bosque por abandono cultivos**





La cuenca del río Ésera



□ Geología:

- Calizas y areniscas en cabecera
- Margas en el centro con **tasas elevadas de erosión** y paisaje de cárcavas
- Conglomerados y areniscas al sur

□ Edafología:

- Suelos estrechos con poco contenido de MO
- Textura limo-arcillosa y arenoso-arcillosa

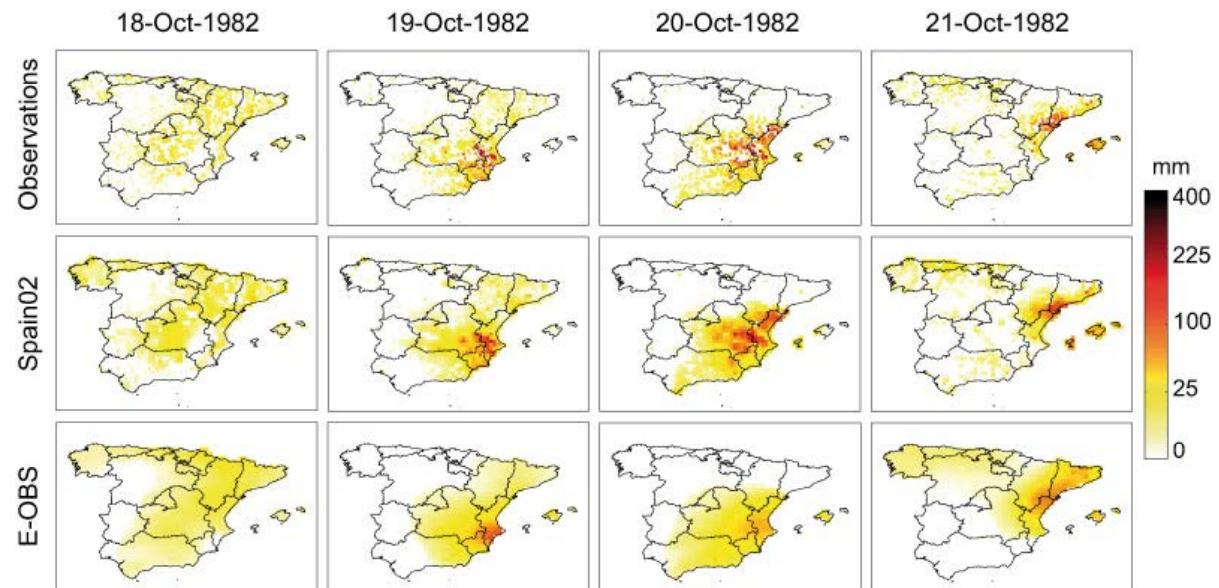
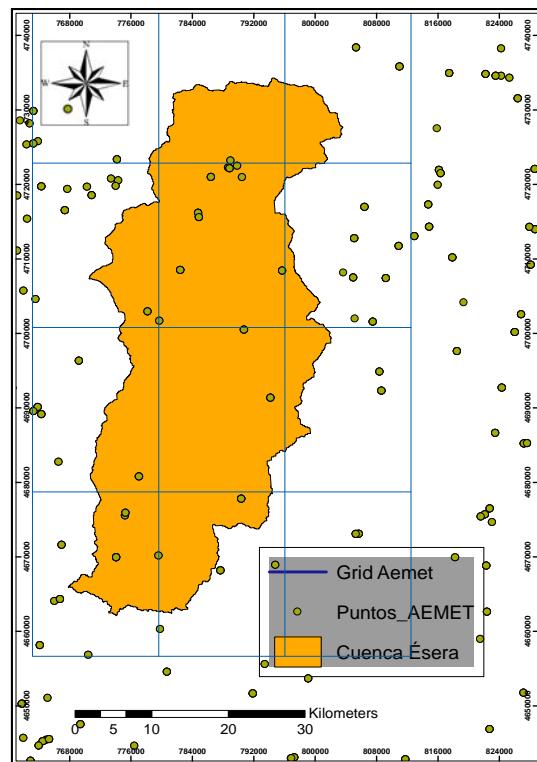
- Instrumentación diaria con series largas:
 - 12 termo-pluviómetros (AEMET)
 - Diversas estaciones de aforos (CHE, CEH-CEDEX)
 - Datos del embalse Barasona (CHE, CEH-CEDEX)

- Instrumentación 15 minutil desde 10/1997- (SAIH-CHE):
 - 11 pluviógrafos con 6 termómetros
 - 3 estaciones de aforo
 - Embalse de Barasona



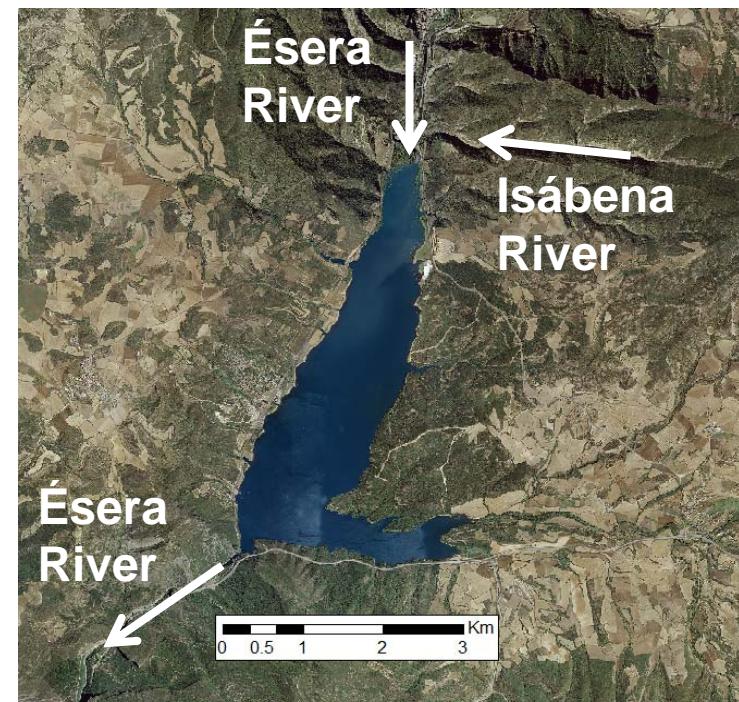
Hidrometeorología

- **Spain02:** Interpolación regional de precipitación y temperatura **diarias**, celdas ~ 20x20 km y de 1950 a 2008

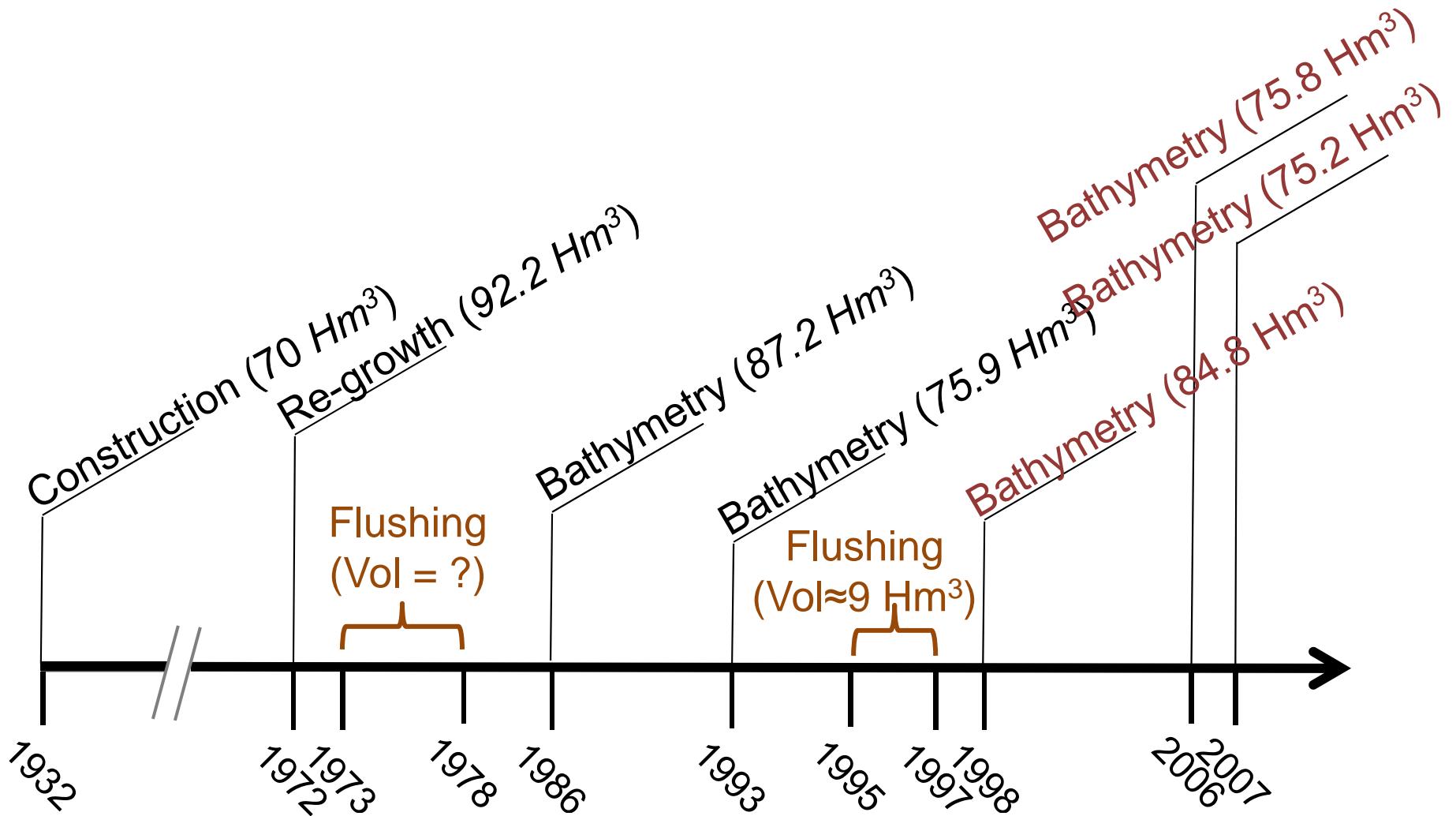


El embalse de Barasona

- Embalse de regulación construido en 1932 (70 Hm^3)
- Recrecido en 1972 (92.2 Hm^3)
 - Problemas de aterramiento
 - Con 5 batimetrías históricas

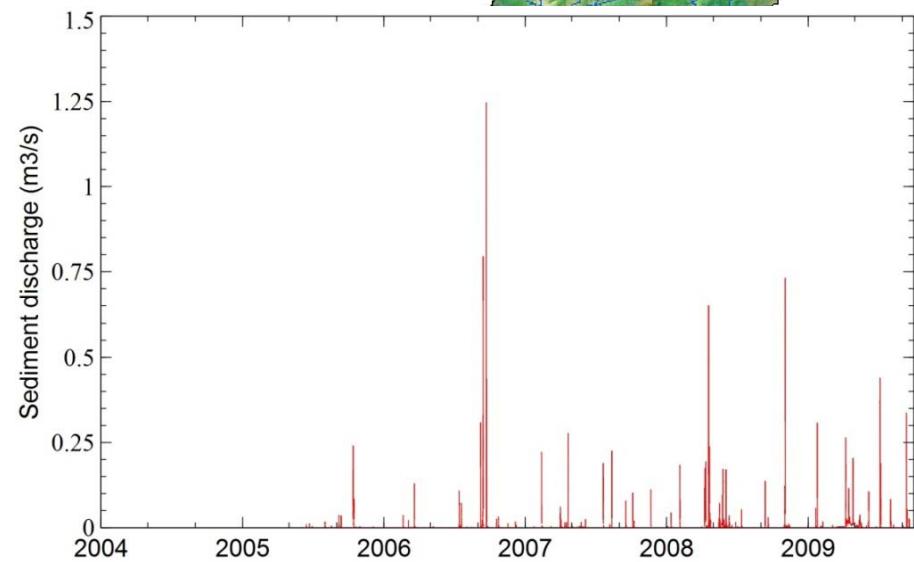
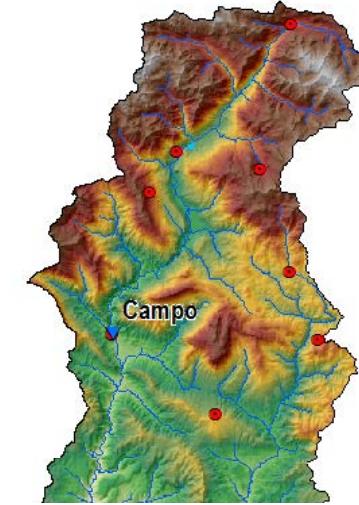


El embalse de Barasona



Sedimentogramas

- Estación experimental en Capella (río Isábena) de la Universitat de Lleida (*López-Tarazón et al. 2009, Geomorphology*)
- Transporte de lecho no medido, pero es muy pequeño
- Muy altas concentraciones de hasta 300 g/l
- Técnicas:
 - Muestreo manual
 - Turbidímetro en continuo

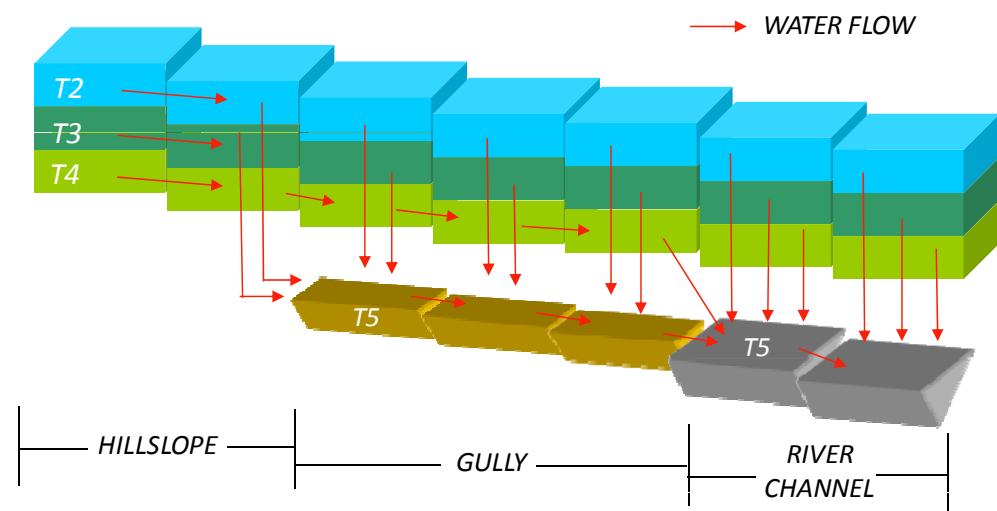


Implementación modelo



El modelo TETIS

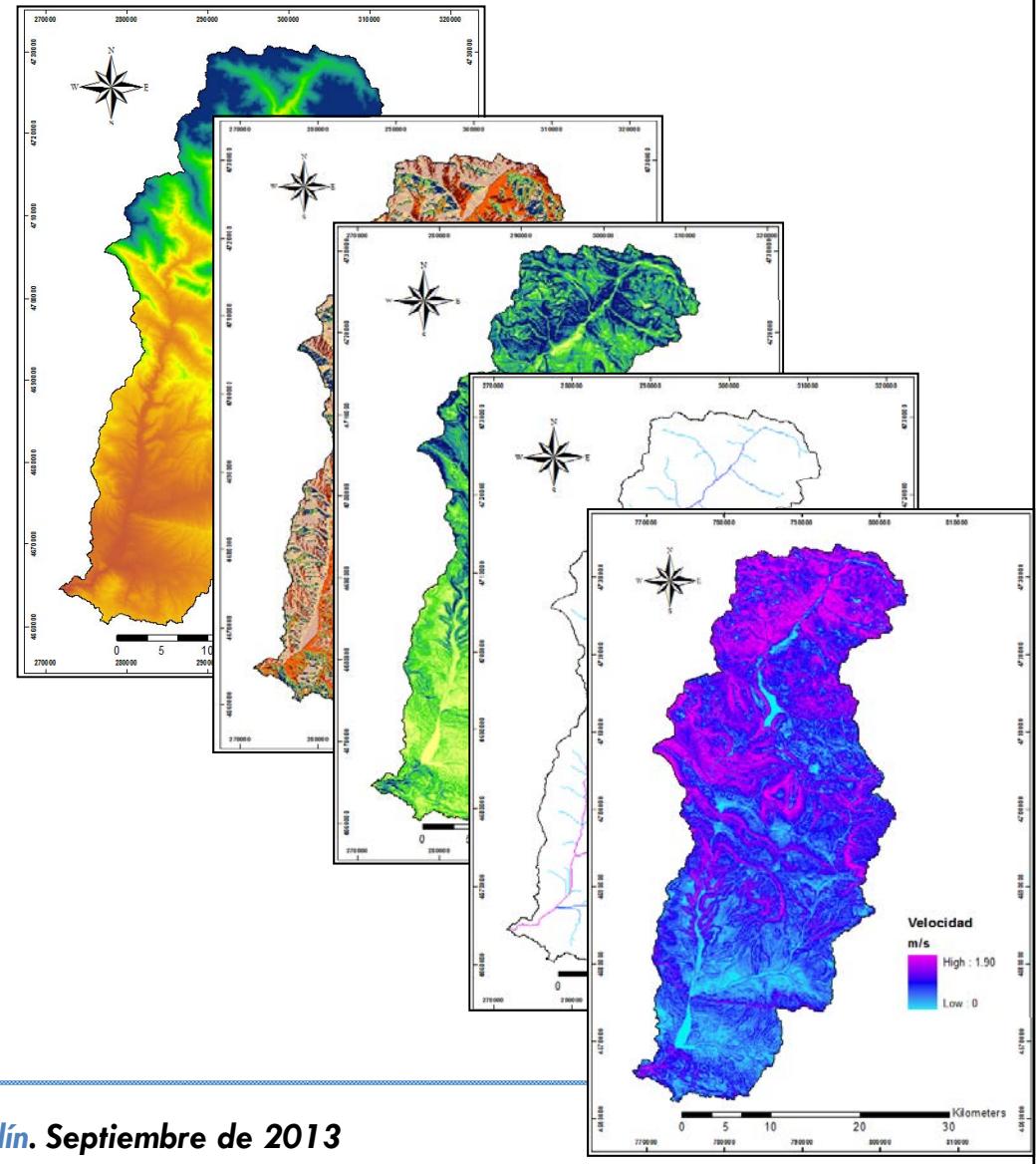
- Desarrollado en la UPV desde 1994 (versión 8.2.7 en la red)
- **Distribuido** en el espacio, conceptual con **parámetros sentido físico**
 - Reproducción variabilidad espacial del Ciclo Hidrológico
 - Reducción del efecto de escala espacial
 - Resultados en **cualquier punto**
- **Modelo global**: recursos, crecidas y sedimentos ... calidad, vegetación dinámica, ...
- Estructura separada de parámetros efectivos
 - Algoritmo de **calibración automática** potente
 - Explotación de **toda la información** existente



Estimación inicial de parámetros

□ MED

- Fuente: MED nacional del IGN a 25m => re-escalado a 100 m y corrección del MED



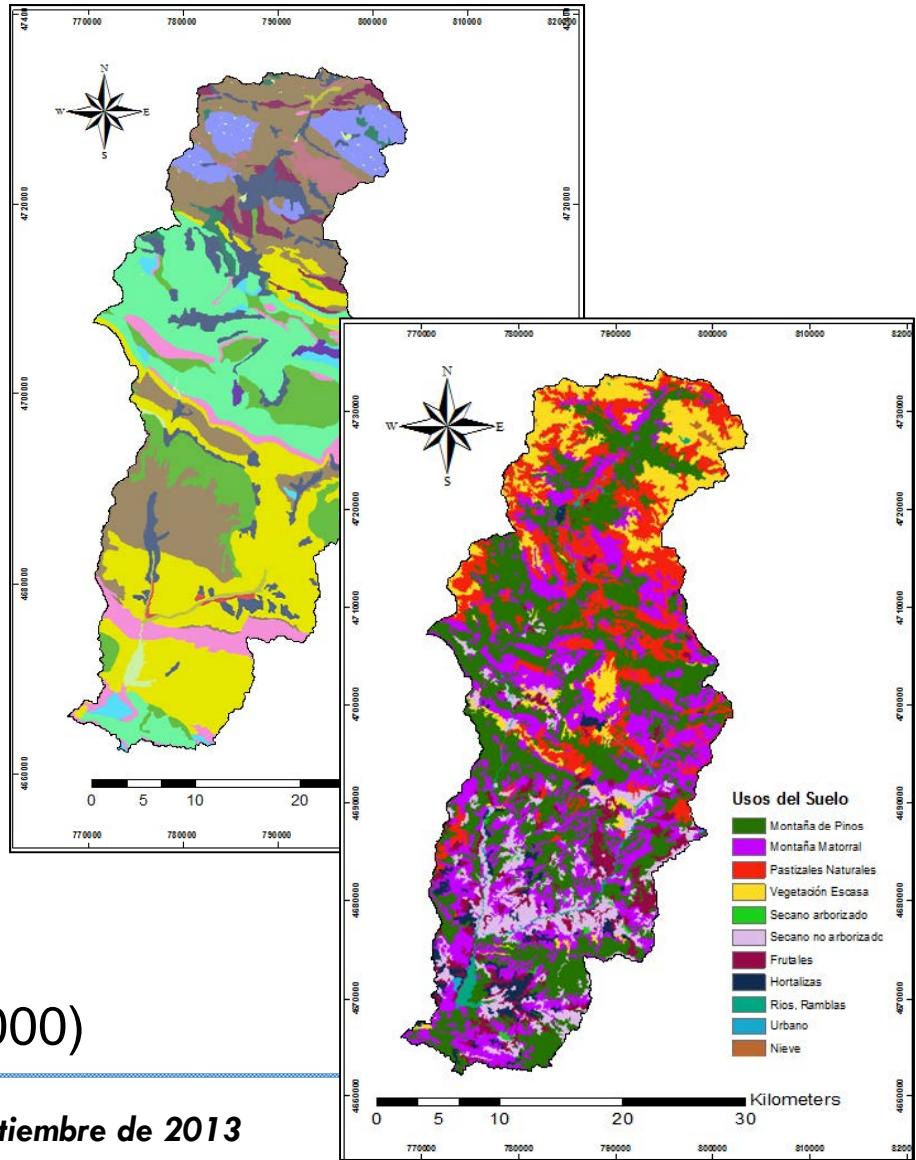
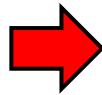
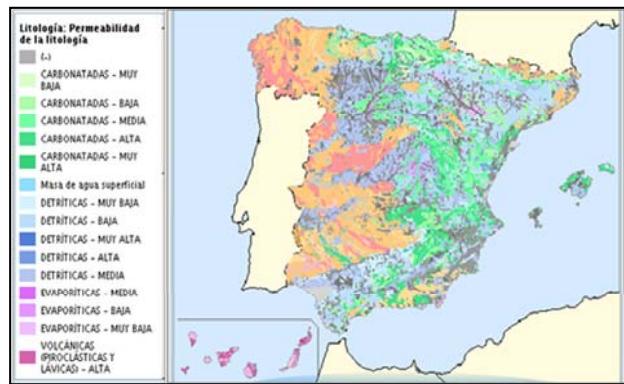
□ Derivados del MED

- Dirección de flujo
- Pendiente
- Celdas acumuladas
- Velocidad en ladera



Estimación inicial de parámetros

- Permeabilidad del sustrato/acuífero
 - Fuente: Mapa litológico del IGME (1:200,000)

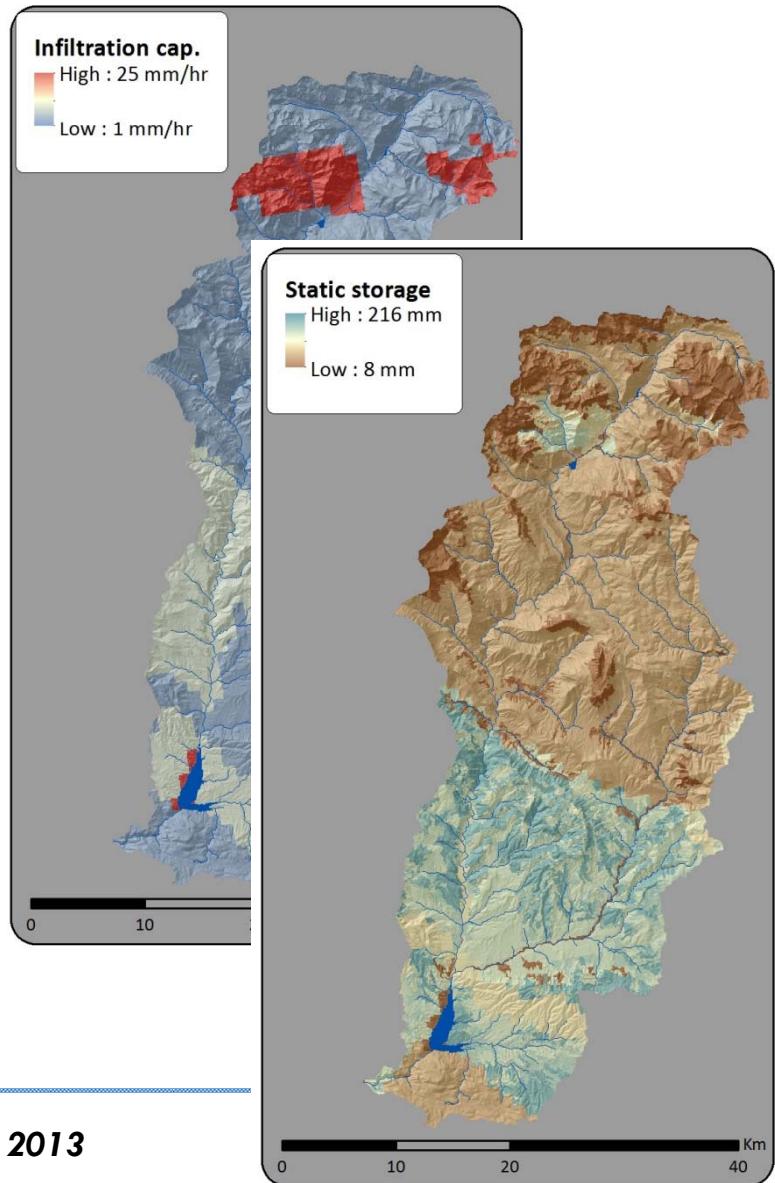


- Cubierta del suelo (coef. de vegetación e intercepción)
 - Fuente: Corine 2006 (1:100,000)



Estimación inicial de parámetros

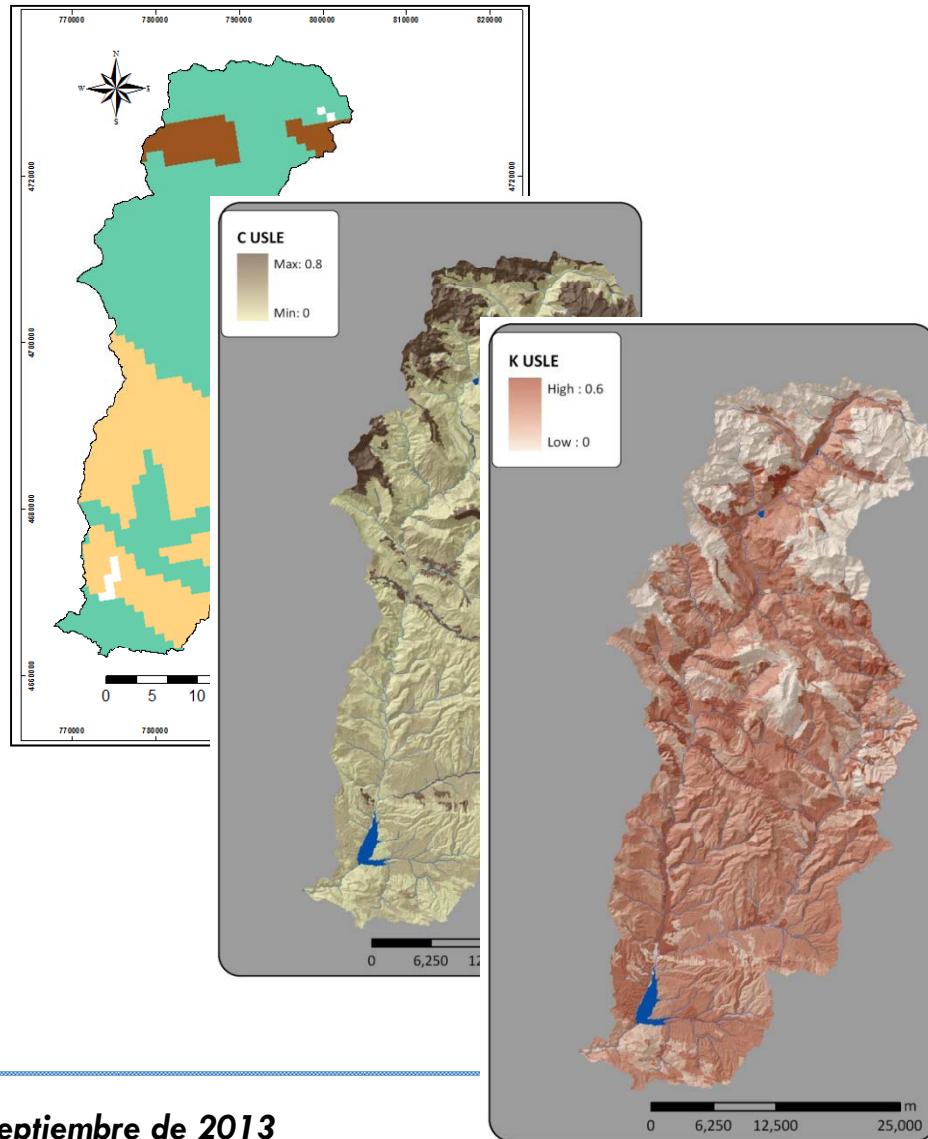
- Permeabilidad suelo superior
 - Fuente: European Soil Database (1:1,000,000)
- Capacidad estática máxima
 - Fuente: ESD + cubierta del suelo del Corine



Estimación inicial de parámetros

□ Mapa de texturas

- Fuente: European Soil Database (1:1,000,000)



□ Factores de la USLE

- Fuente: publicación científica previa (*Alatorre et al., 2010*)

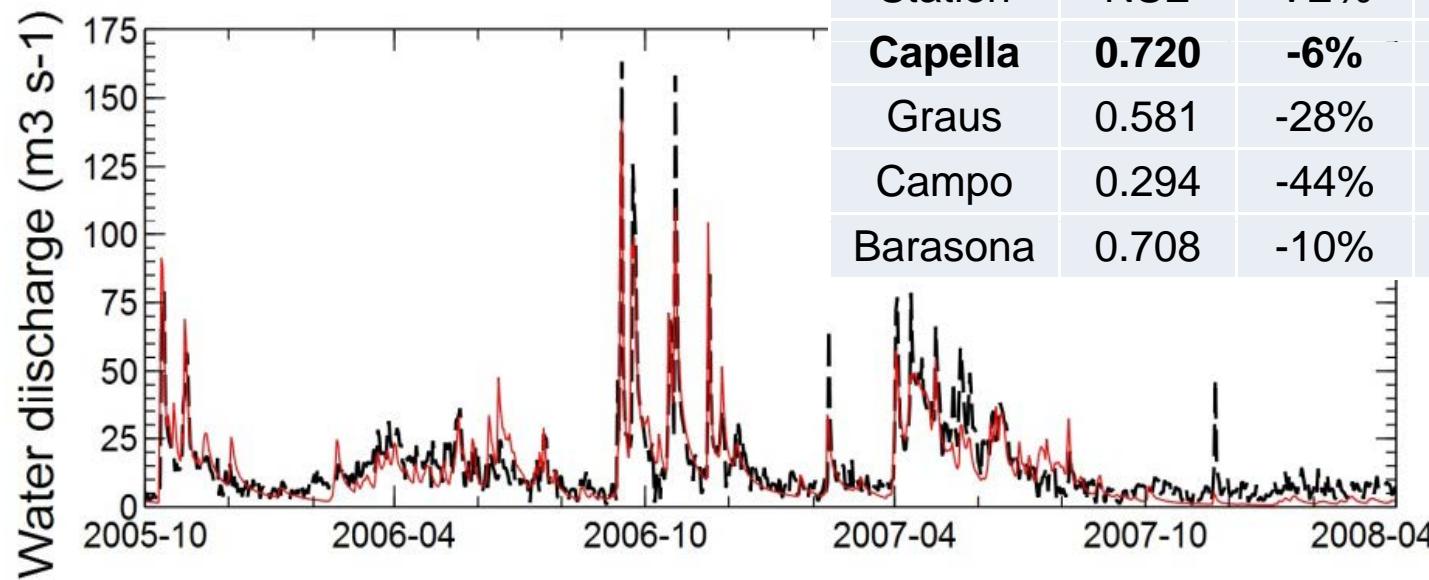


Calibración y validación

□ Submodelo hidrológico

- Calibrado en Capella (2005-2008)
- Validado en Graus, Campo, Barasona y Capella (1997-2005)

| Station | Calibration period | | Validation period | |
|----------------|--------------------|------------|-------------------|------|
| | NSE | VE% | NSE | VE% |
| Capella | 0.720 | -6% | 0.686 | -39% |
| Graus | 0.581 | -28% | 0.704 | -61% |
| Campo | 0.294 | -44% | 0.455 | -35% |
| Barasona | 0.708 | -10% | 0.529 | -22% |





Calibración y validación

□ Submodelo de sedimentos

➤ Densidad sedimentos

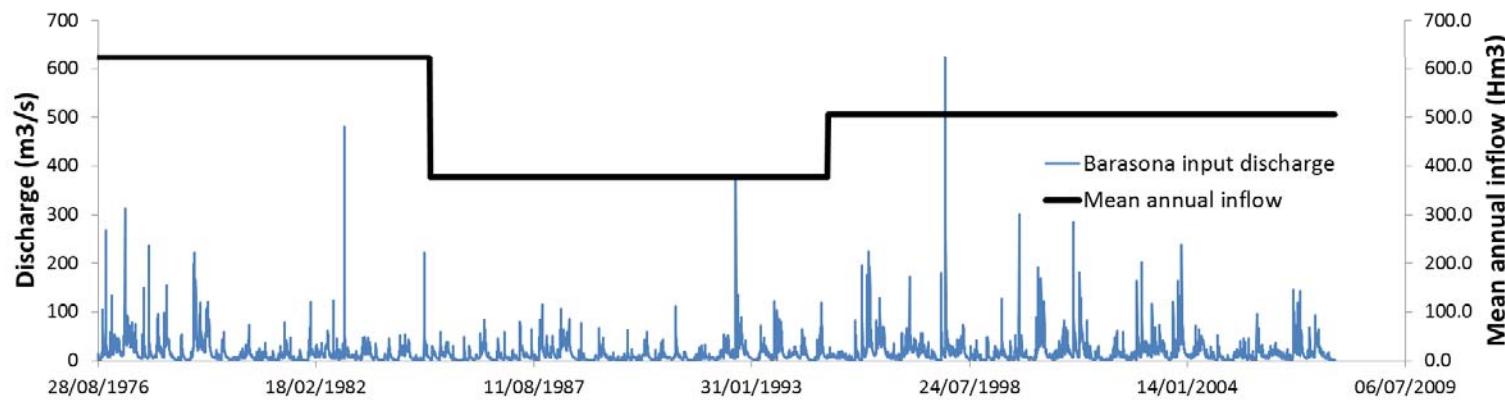
- Fórmula de Miller (coeficientes de Lane y Koelzer)
- Textura a partir del input dado por TETIS
- Validación con la medición de 1986 (1.112 t m^{-3})



Calibración y validación

□ Submodelo de sedimentos

- Densidad sedimentos
- Eficiencia de retención
 - Curvas de Brune, función de la capacidad del embalse y de la aportación media => variables en el tiempo
 - Aportación media para grandes períodos
 - Capacidad embalse en función del aterramiento
 - Validación con Avendaño Salas et al. (1997) → 86%



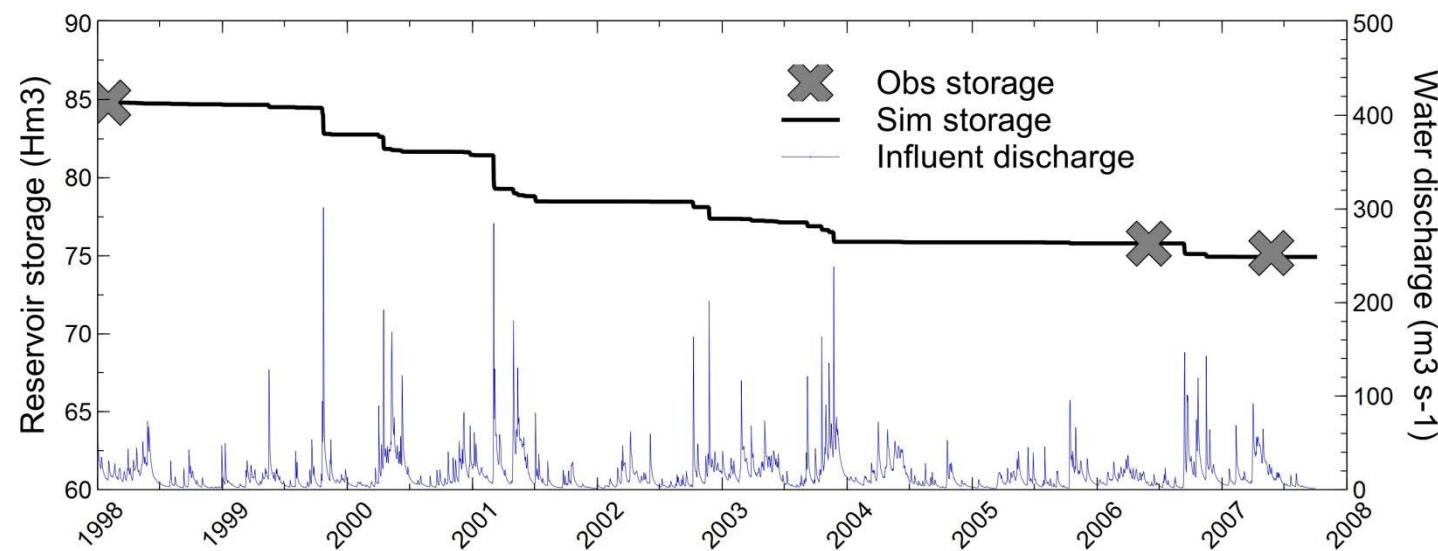
Calibración y validación

□ Submodelo de sedimentos

■ Calibración y validación en embalse de Barasona



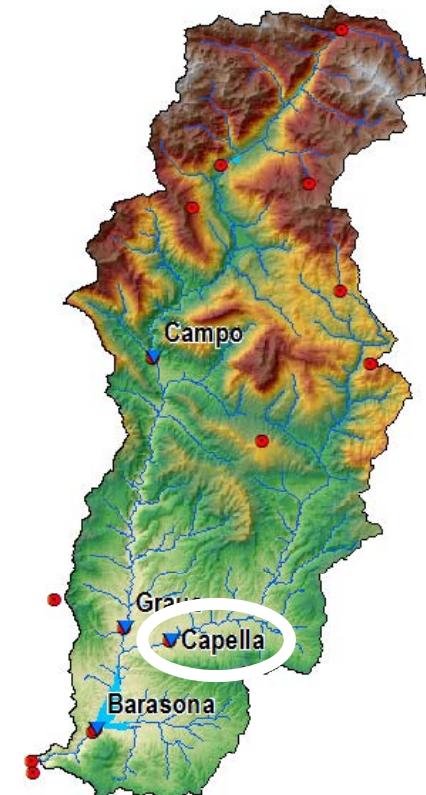
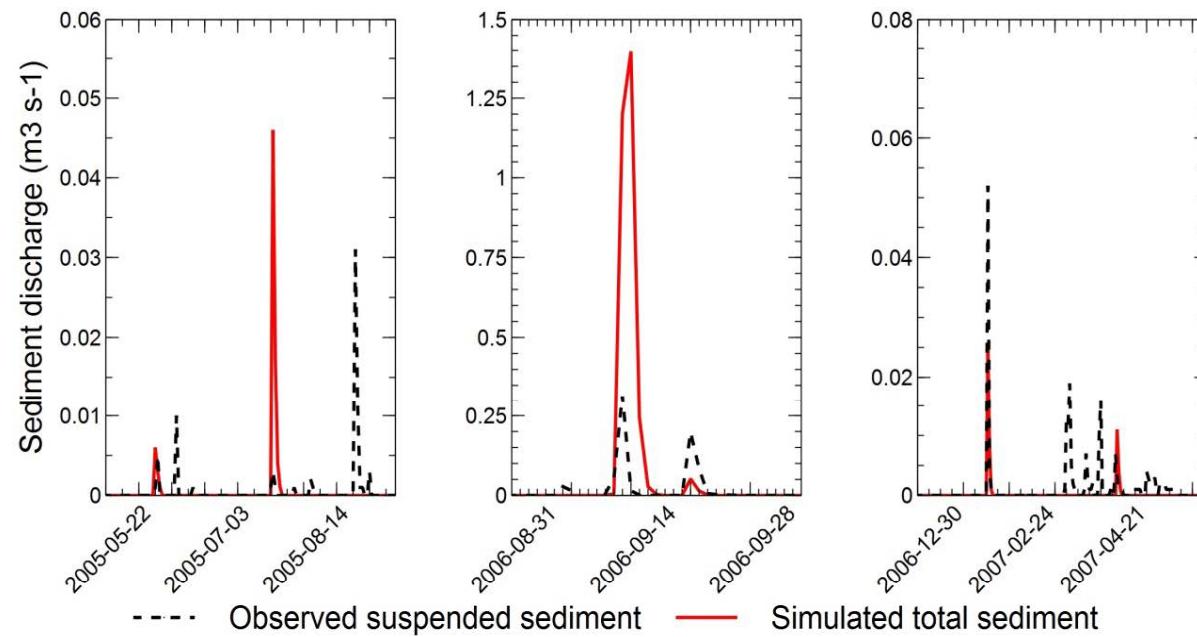
| Period | Accumulated sediments Hm ³ | Specific sediment yield t km ⁻² year ⁻¹ | Simulated volume Hm ³ |
|-----------------------------|---------------------------------------|---|----------------------------------|
| Calibration 1998-2006 | 9.02 | 820 | 9.02 |
| Validation 2006-2007 | 0.60 | 435 | 0.76 |



Calibración y validación

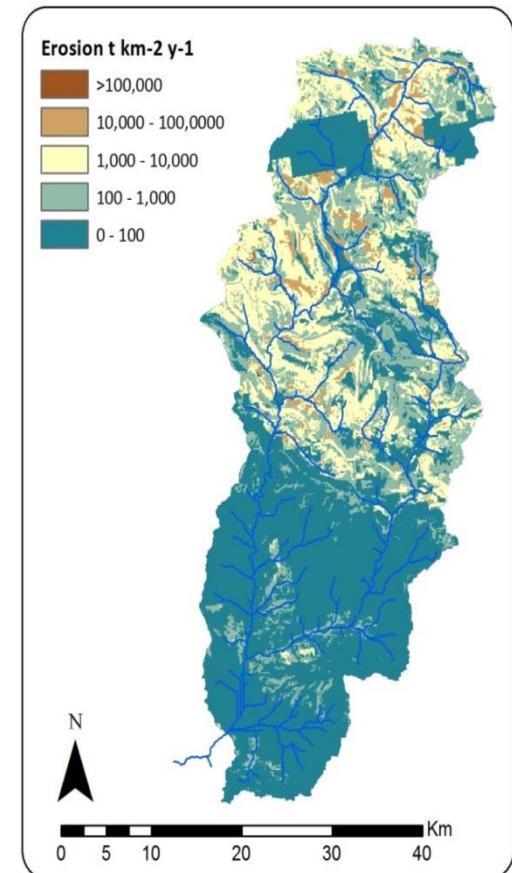
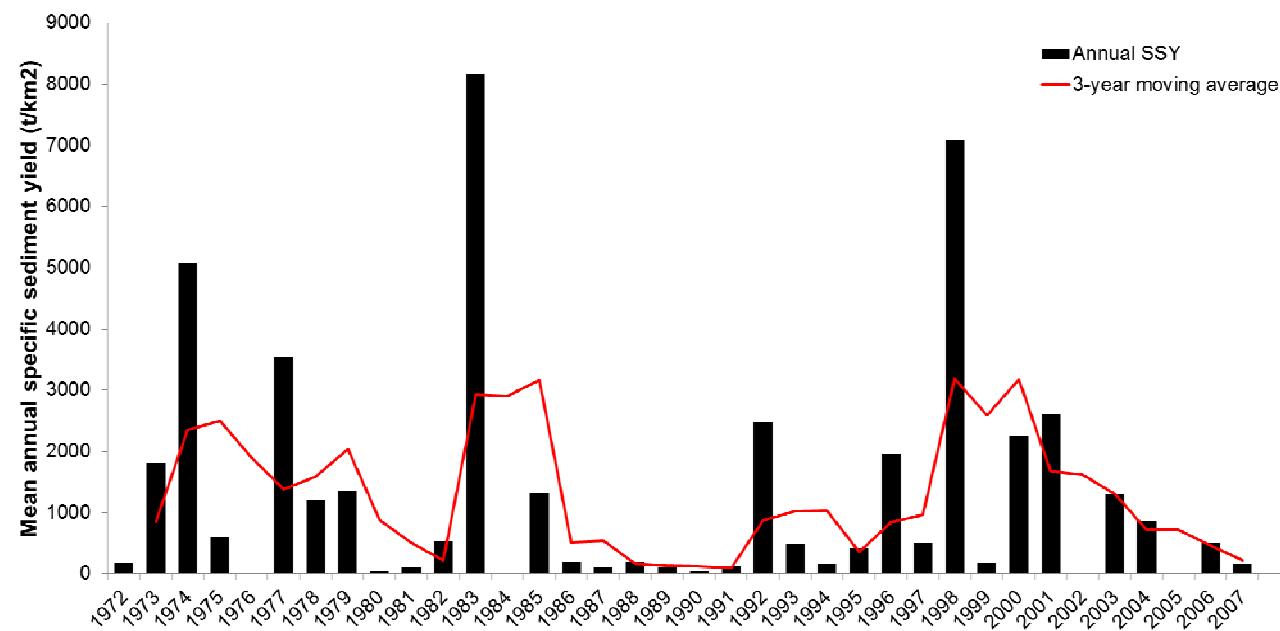
□ Submodelo de sedimentos

- Validación en Capella con simulación carga total vs suspendidos observados
- ¿errores turbidímetro para altas concentraciones?
(Regües & Nadal-Romero 2012, CATENA)



Ejemplo de resultados

- En el espacio => zonas más erosivas:
“badland” central y cabeceras
- En el tiempo => producción de sedimentos en
la cuenca altamente variable



Escenarios climáticos

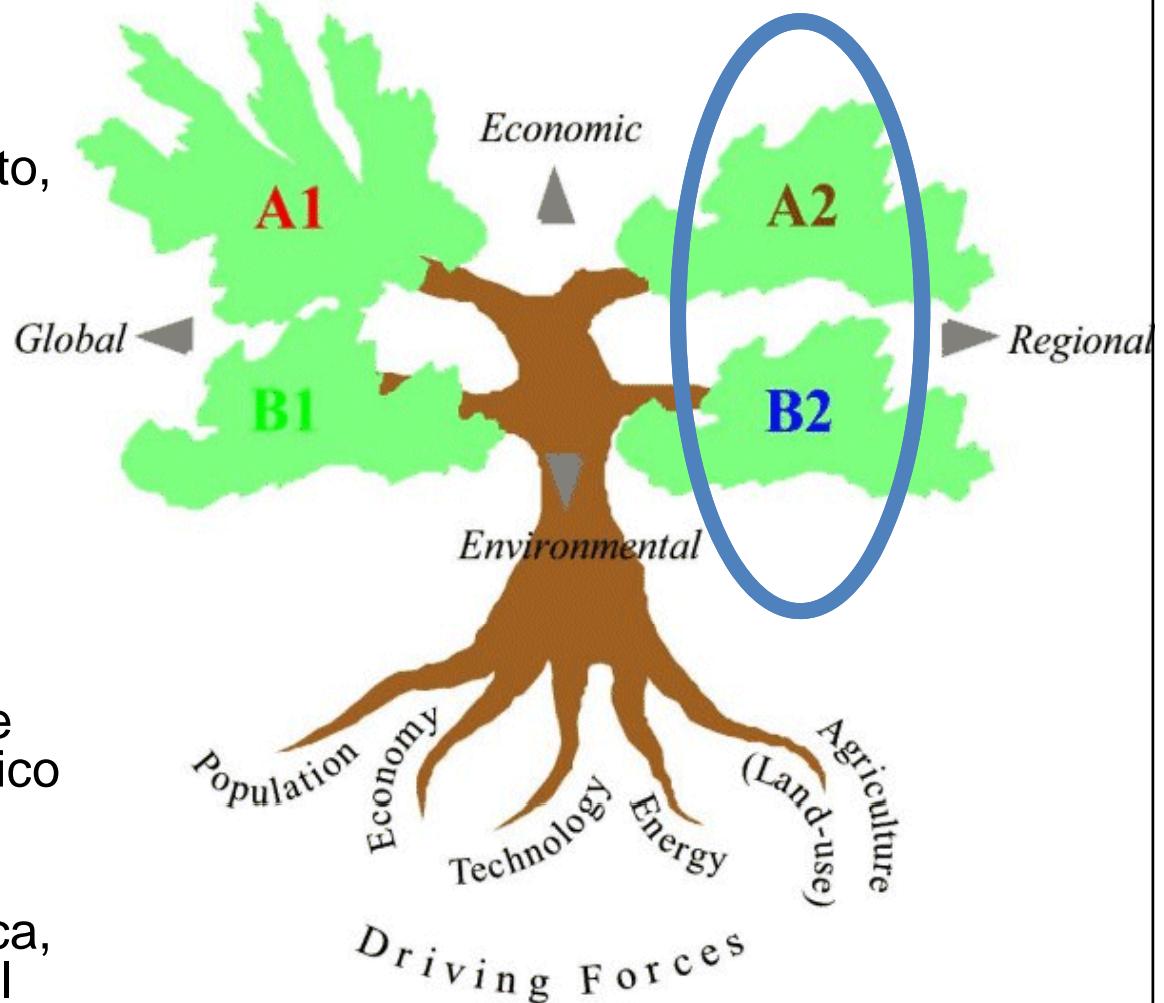
Escenarios de emisiones 2071-2100

- **Escenario A2: muy pesimista**

- Población mundial y economía en crecimiento, pero sin coordinación: mundo heterogéneo y países autosuficientes
- Cambios tecnológicos lentos y dispares.

- **Escenario B2: menos pesimista**

- Población mundial en crecimiento (menos que A2), desarrollo económico intermedio.
- Soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental

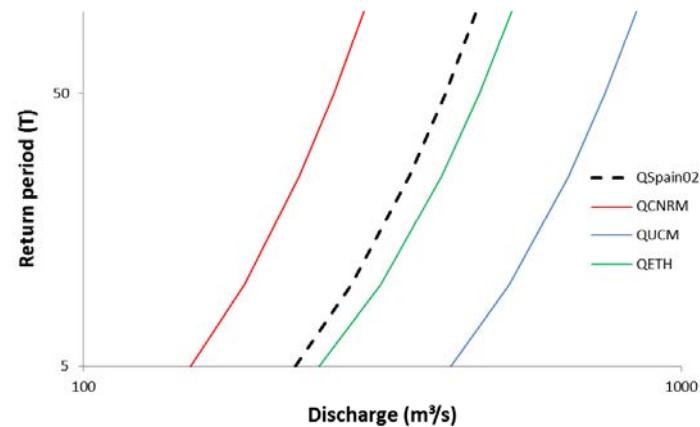
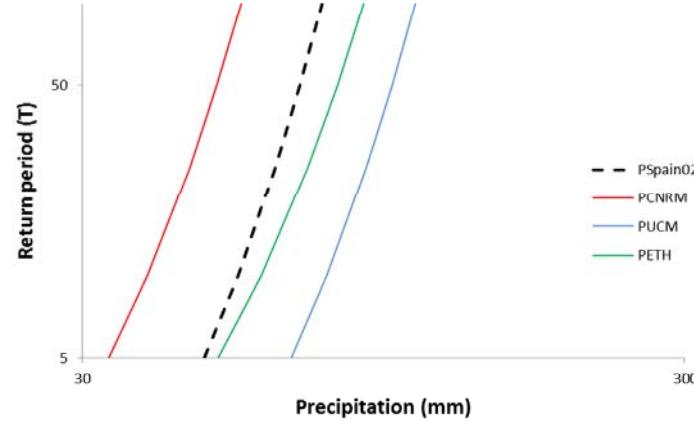
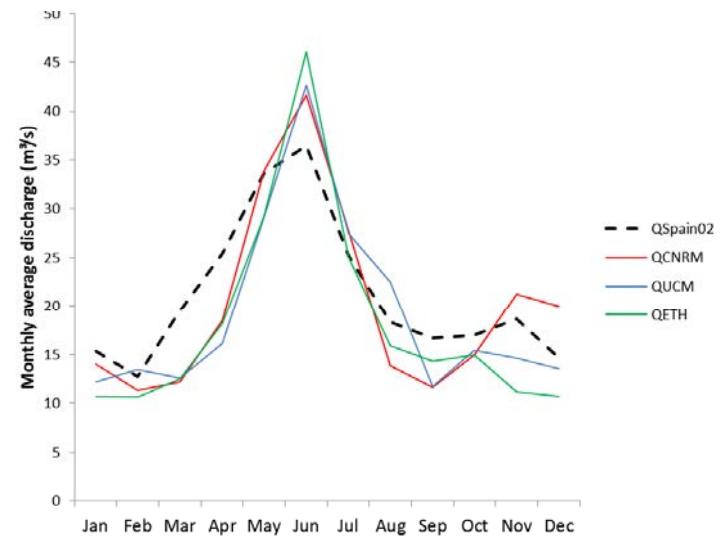
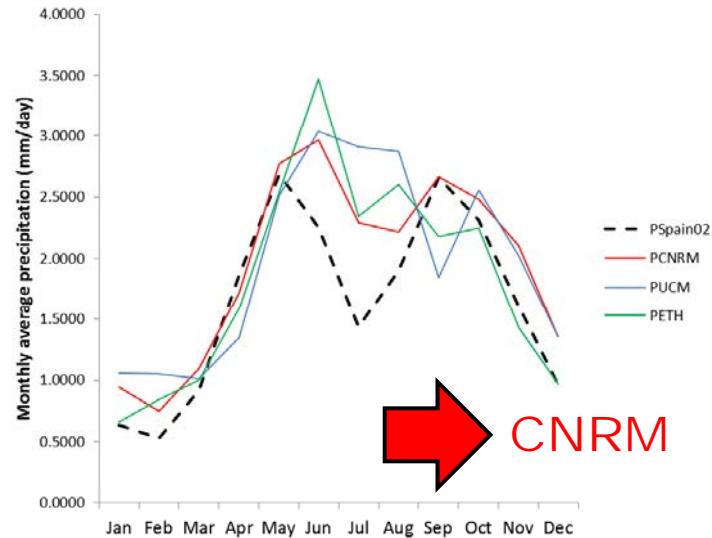


Modelos climáticos

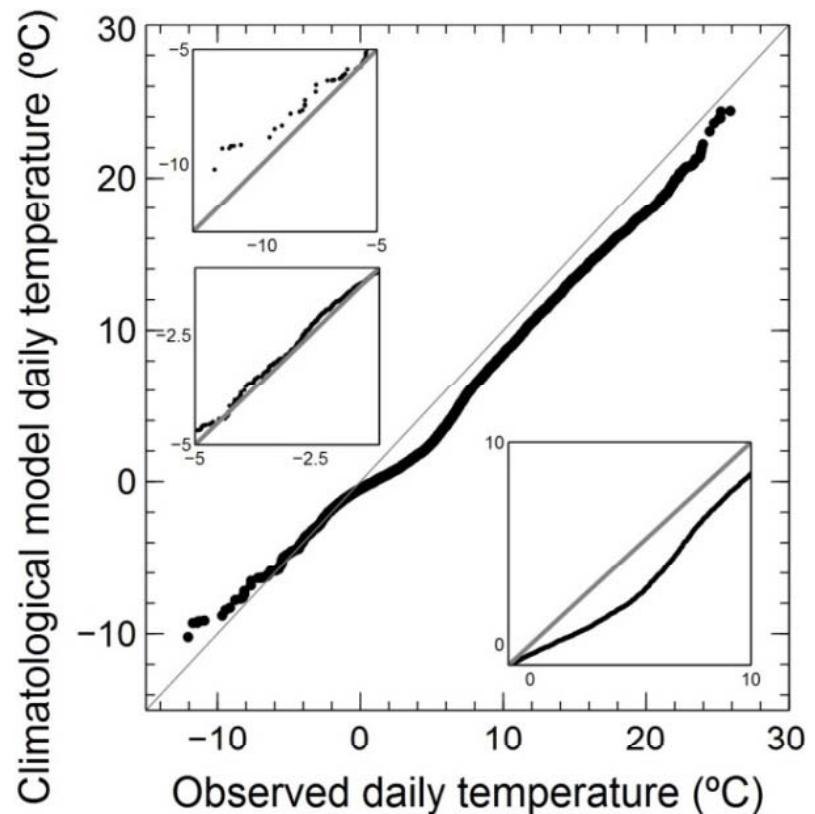
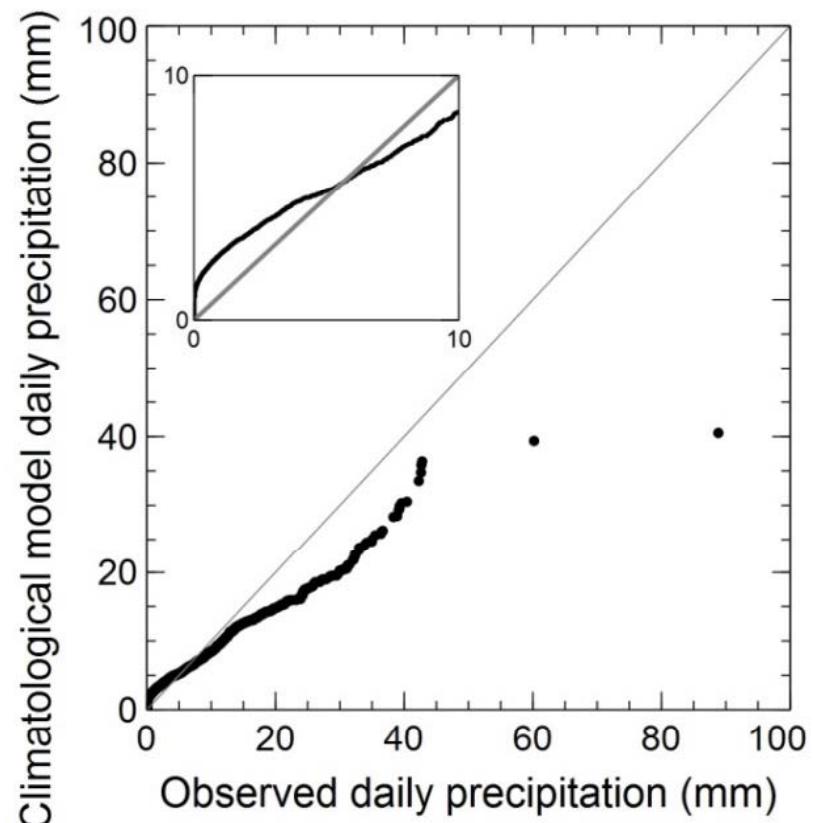
- En la zona de estudio y con discretización diaria se dispone de 3 resultados del proyecto PRUDENCE, que combinó un mismo modelo de circulación global con regionales diferentes:
 - **UCM** Universidad de Castilla la Mancha, España (hadAM3+ PROMES)
 - **CRNM** Centro Nacional para la Investigación Meteorológica, Francia (hadAM3+ARPEGE)
 - **ETH** Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zurich (hadAM3+ CHRM)
- Selección por comparación con las observaciones (Spain02) en el período de control 1961-1990:



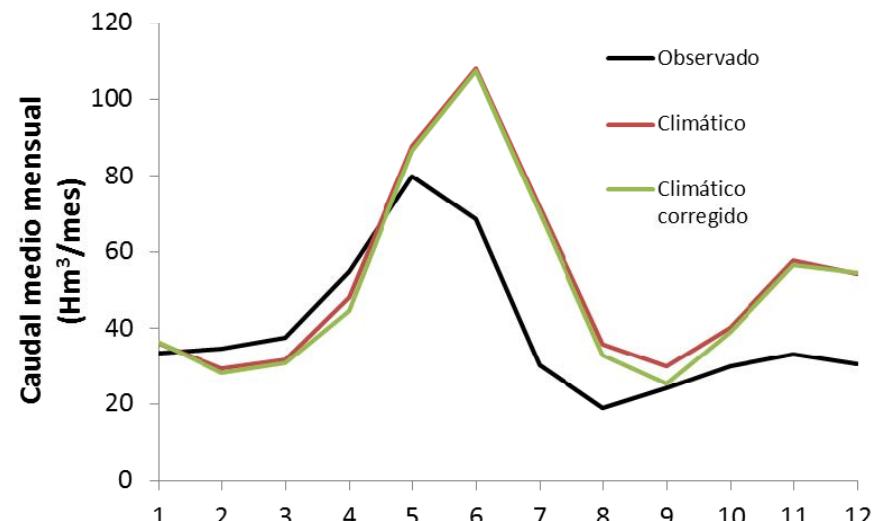
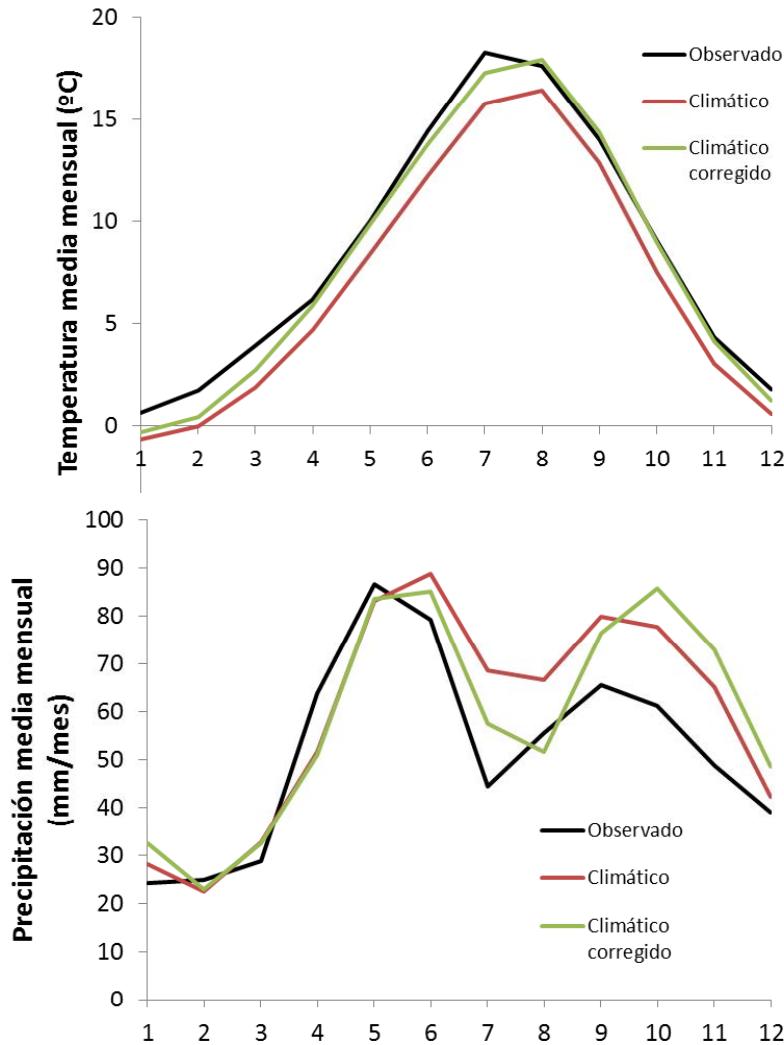
Selección modelo climático



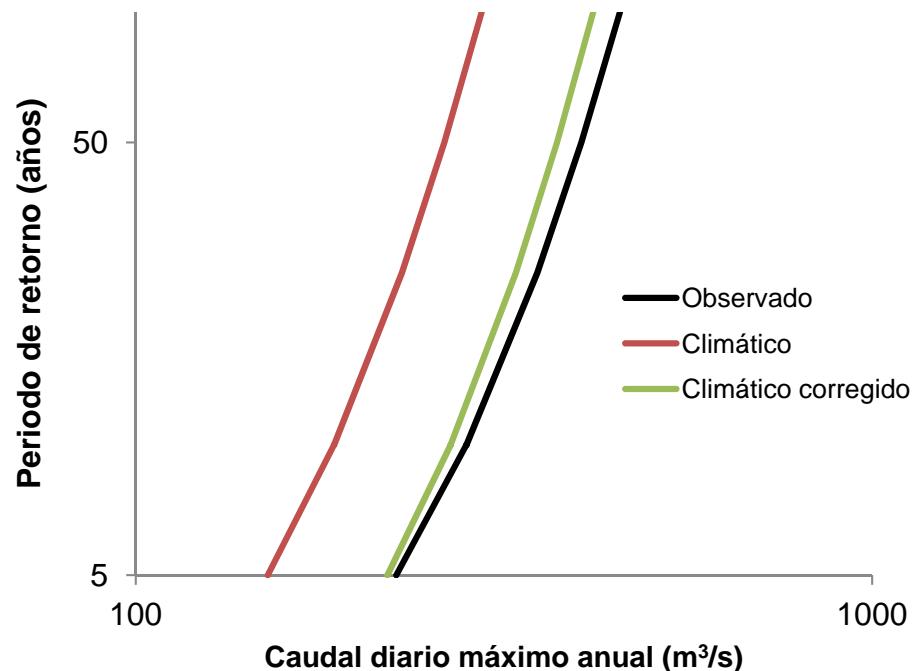
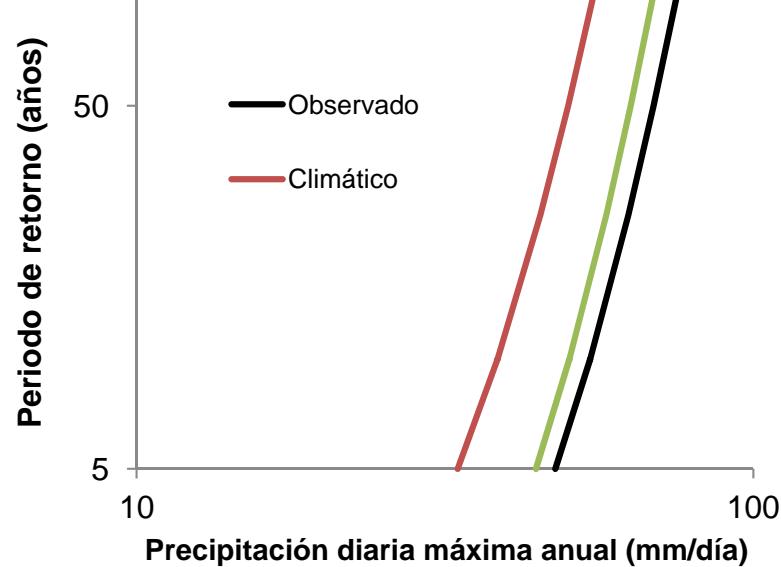
Corrección modelo climático



Corrección modelo climático



Corrección modelo climático



Resultados y discusión

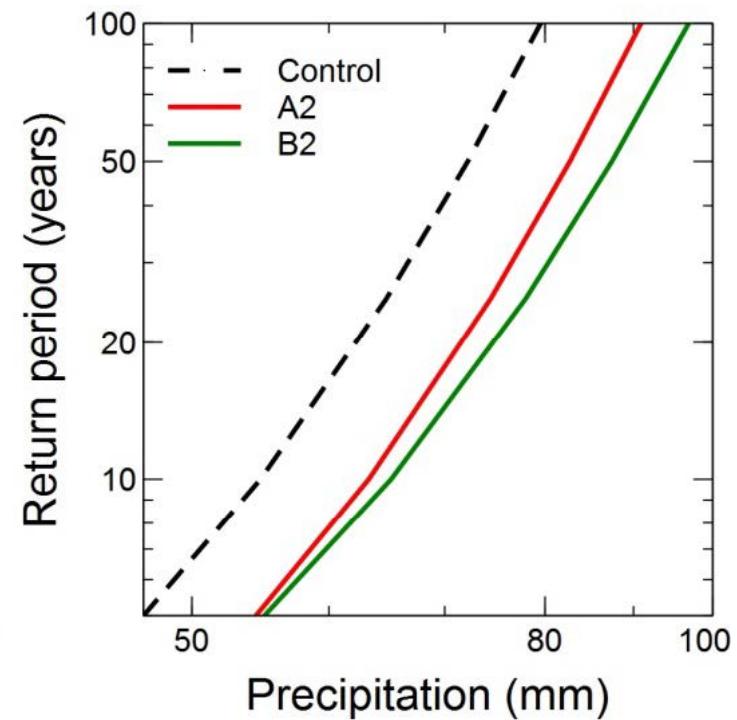
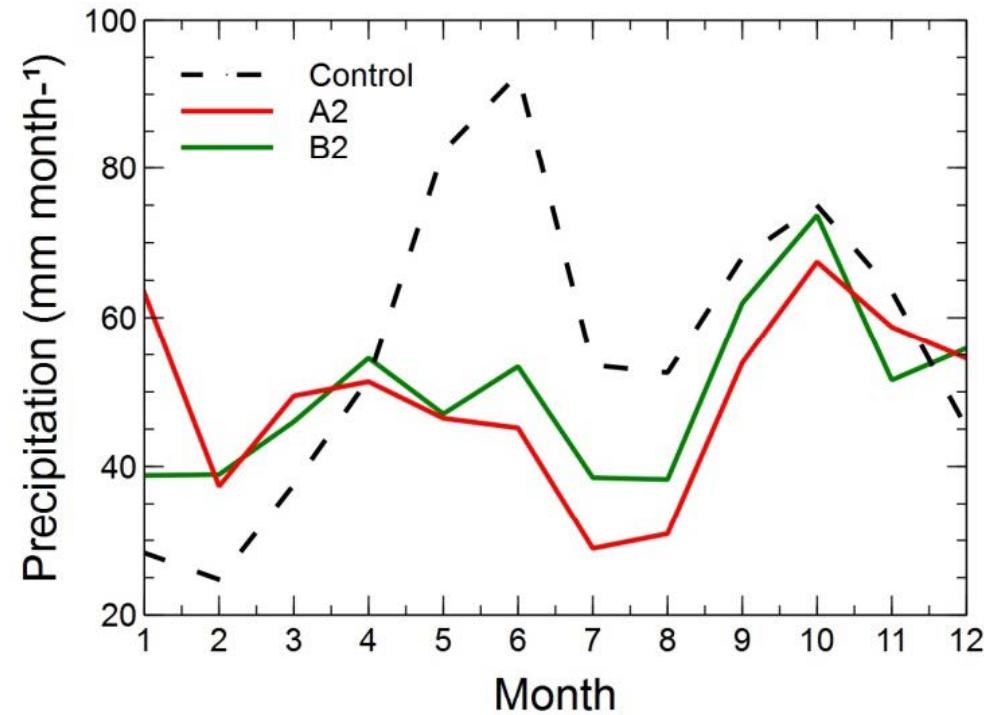
Valores medios

| Mean state variable | Control scenario | A2 scenario | |
|--|------------------|-------------|------|
| Precipitation (mm y ⁻¹) | 686 | 596 | -13% |
| Temperature (°C) | 7.99 | 12.06 | 51% |
| Soil moisture (%) | 74 | 54 | -27% |
| Snowpack water equivalent (mm) | 49 | 15 | -69% |
| Water yield (Hm ³ y ⁻¹) | 690.6 | 417.6 | -40% |
| Specific sediment yield (Mg ha ⁻¹ y ⁻¹) | 6.33 | 3.62 | -43% |



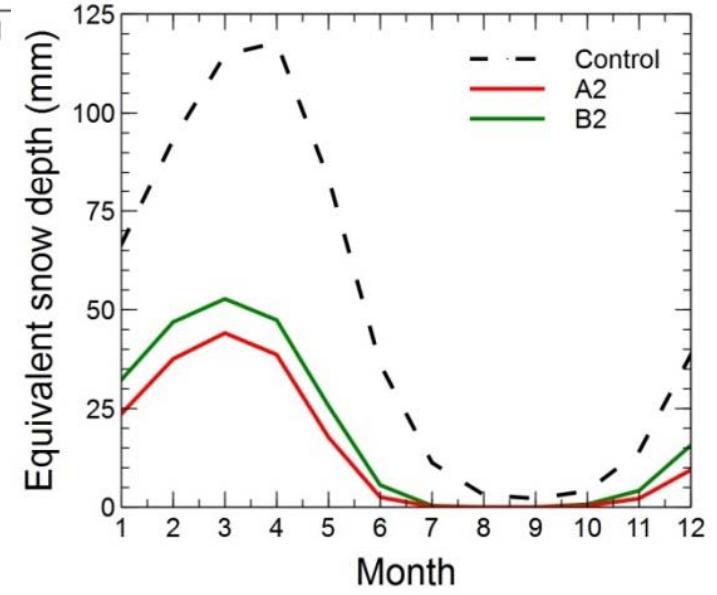
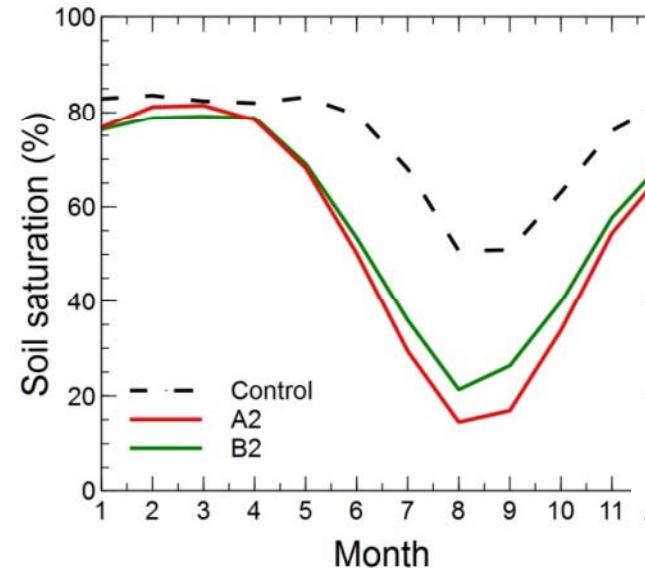
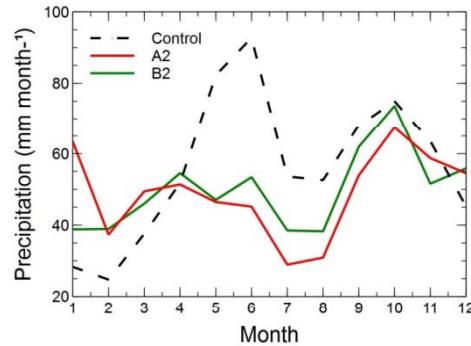


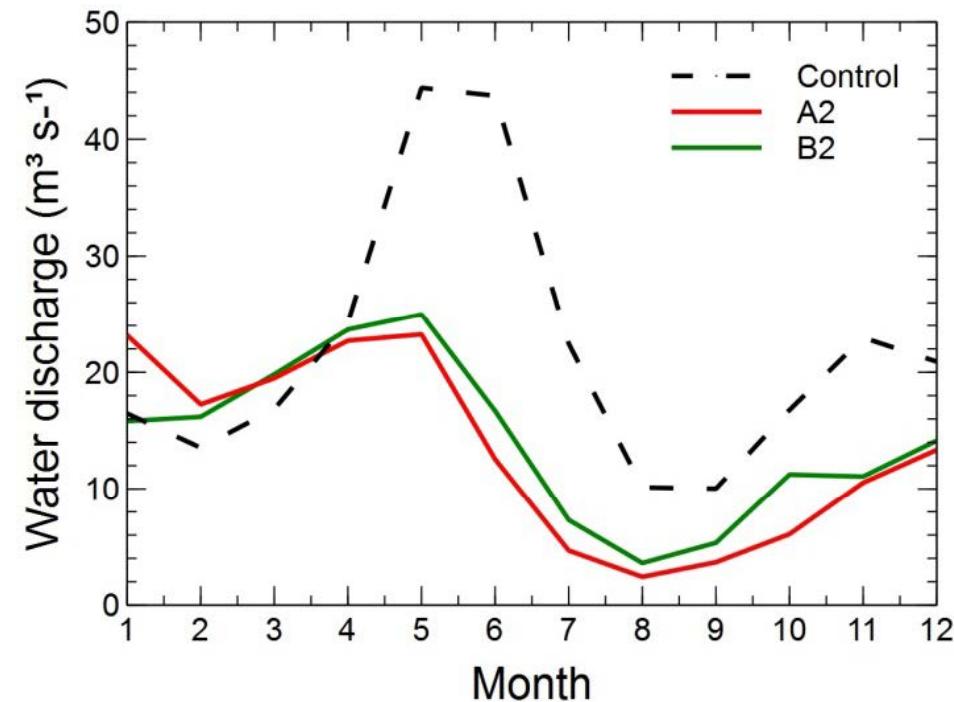
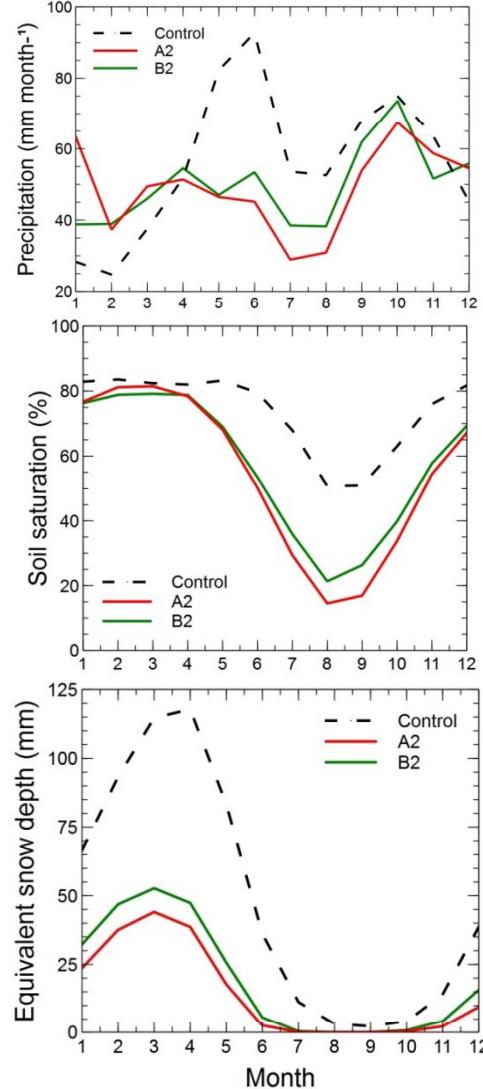
Precipitación



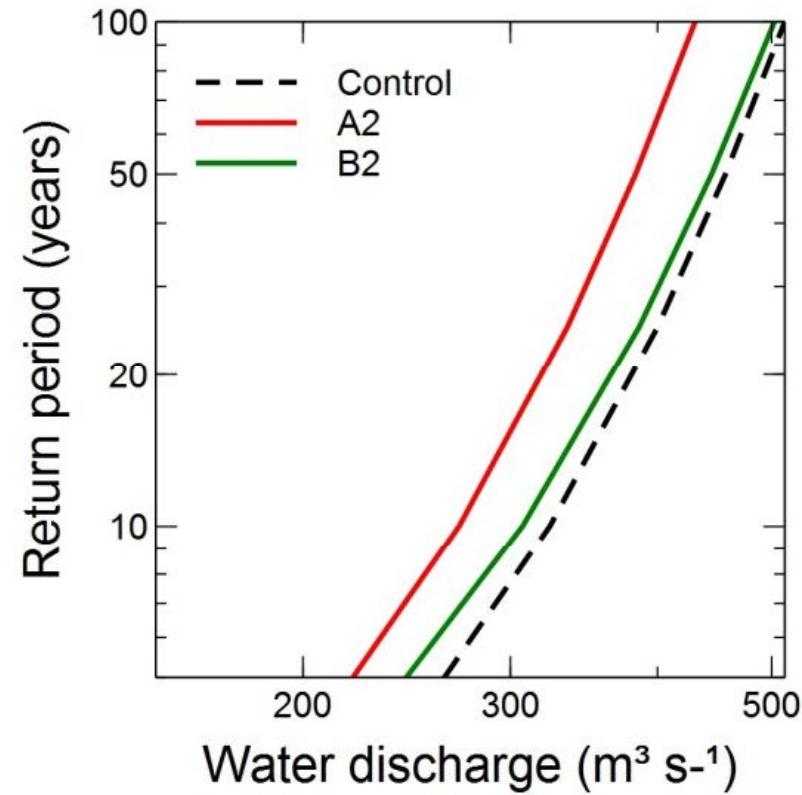
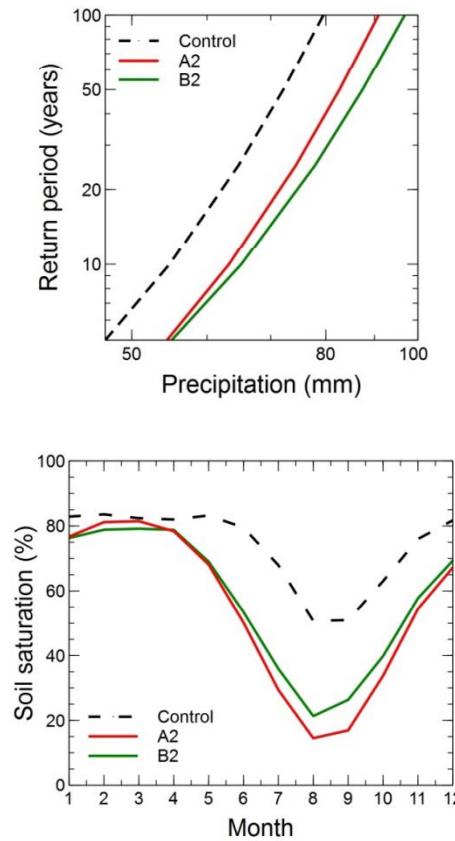


Almacenamientos



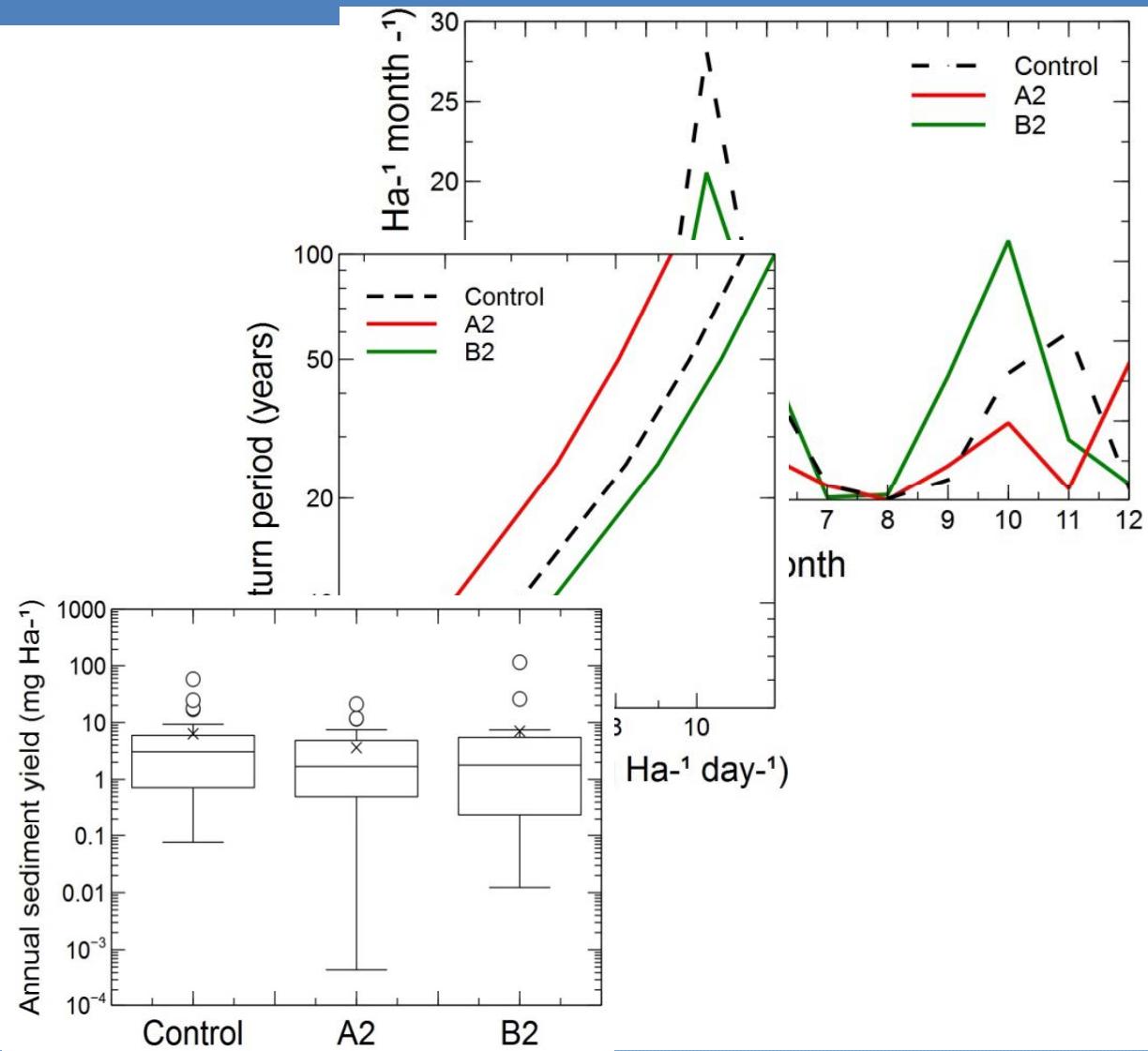
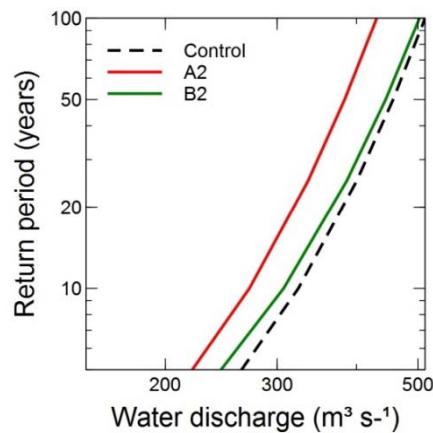
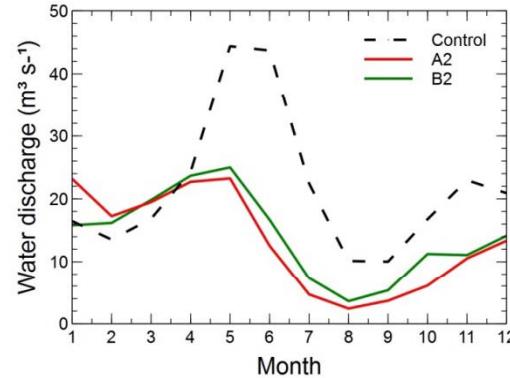


Crecidas

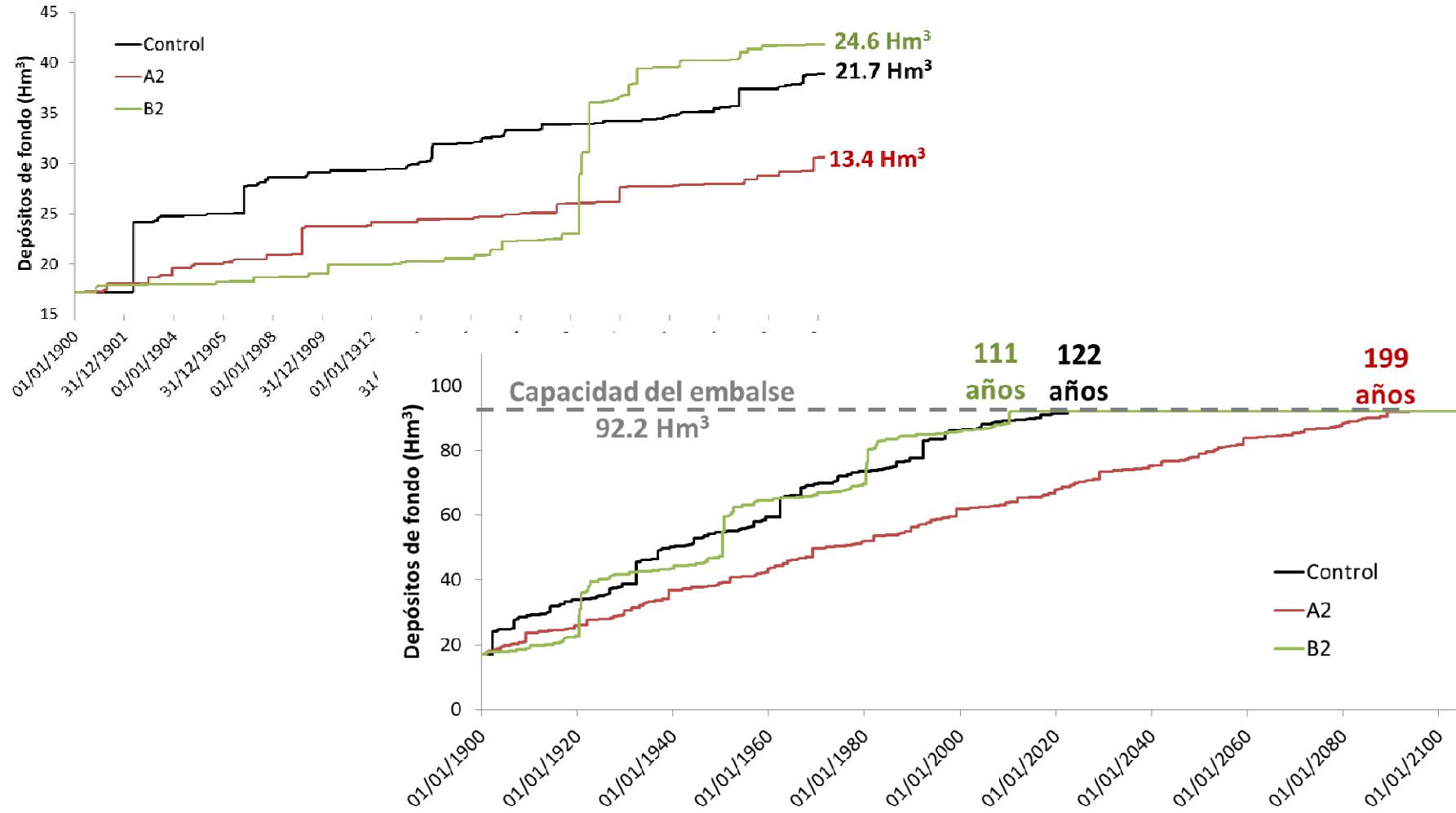




Sedimentos



Aterramiento embalse Barasona



Conclusiones

- La utilidad de los modelos matemáticos no es reproducir lo que ya hemos observado => **aprender, reconstruir, predecir**
- Modelos distribuidos con parámetros base física:
 - Variabilidad espacial implícita y natural
 - Resultados en cualquier punto de la cuenca
 - Posibilidad de explotar información espacial existente
- Modelos globales:
 - Interacciones entre procesos y variables no previstas
 - Mismo modelo para problemas diferentes
- Con TETIS ha sido posible utilizar información difusa de sedimentos para su calibración y validación



Conclusiones

- Escenarios climáticos: mayores T (y ET0) y menores precipitaciones pero más torrenciales
 - Pero **alta incertidumbre** de los escenarios climáticos
=> selección (por estacionalidad) y corrección
- Resultados en el Ésera
 - Disminución significativa de recursos hídricos
 - Modificación significativa de la nivología en cantidad y temporalidad con impacto económico y ambiental
 - Compensación en crecidas y sedimentos entre mayor torrenciaльidad y condición de humedad inicial más seca + menor fusión, especialmente en A2





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente

Muchas gracias por su atención

Prof. Félix Francés (ffrances@hma.upv.es)
Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental
Iluvia.dihma.upv.es

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio Español de Economía y Competitividad a través de los proyectos de investigación SCARCE (CSD2009-00065) y ECOTETIS (CGL2011-28776-C02-01)

Seminario Internacional. Integración de modelos y análisis de datos para modelación hidrológica. Universidad de Medellín. Septiembre 2013

