



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**





- ❑ Objetivo operacional: determinar el cambio de régimen hídrico (**recursos**, **crecidas** y **sedimentos**) en la cuenca del río Ésera 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 CO<sub>2</sub>

- Escenarios emisiones de CO<sub>2</sub>



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



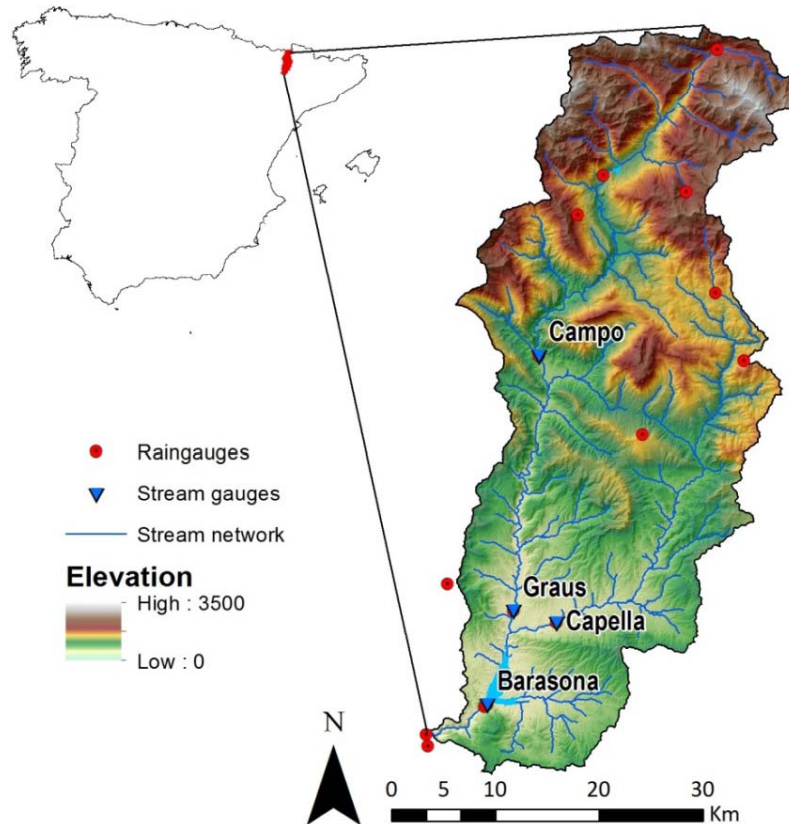


# Caso de estudio





# La cuenca del río Ésera



- ❑ Vertiente sur de los Pirineos Centrales
- ❑ Superficie de 1532 km<sup>2</sup>
- ❑ Principal afluente el río Isábena
- ❑ Cuenca de montaña => altas pendientes y nieve en invierno
- ❑ Embalse de Barasona





# La cuenca del río Ésera

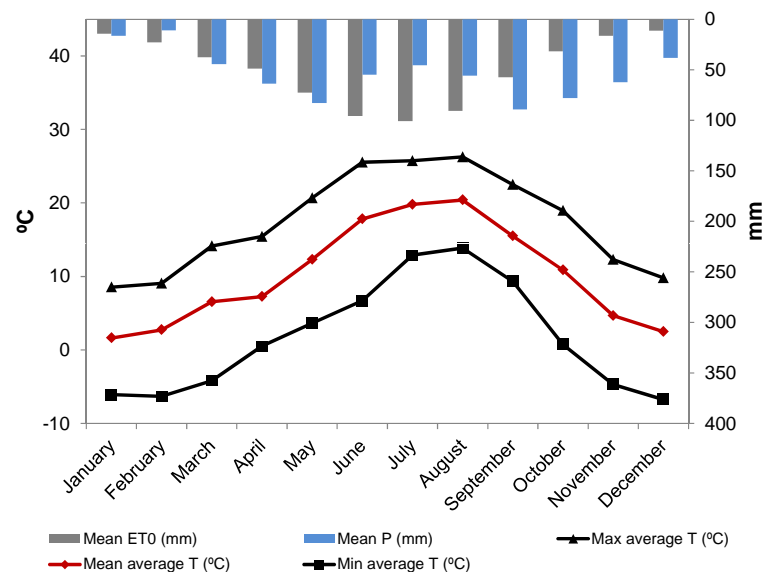
**Precipitación anual** 570 – 990 mm

**Temperatura anual** 9.7° – 15.3°

**ET0 anual** 820 mm

## □ Clima mediterráneo de montaña

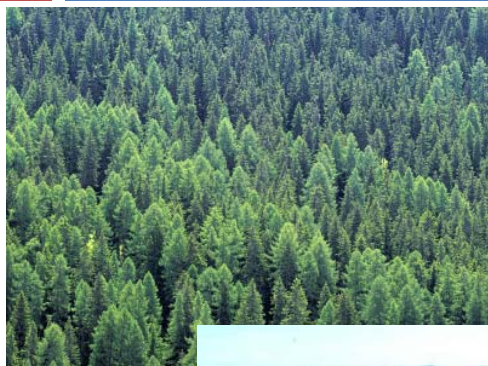
- Inviernos secos y fríos
- Veranos tormentosos con fuertes crecidas







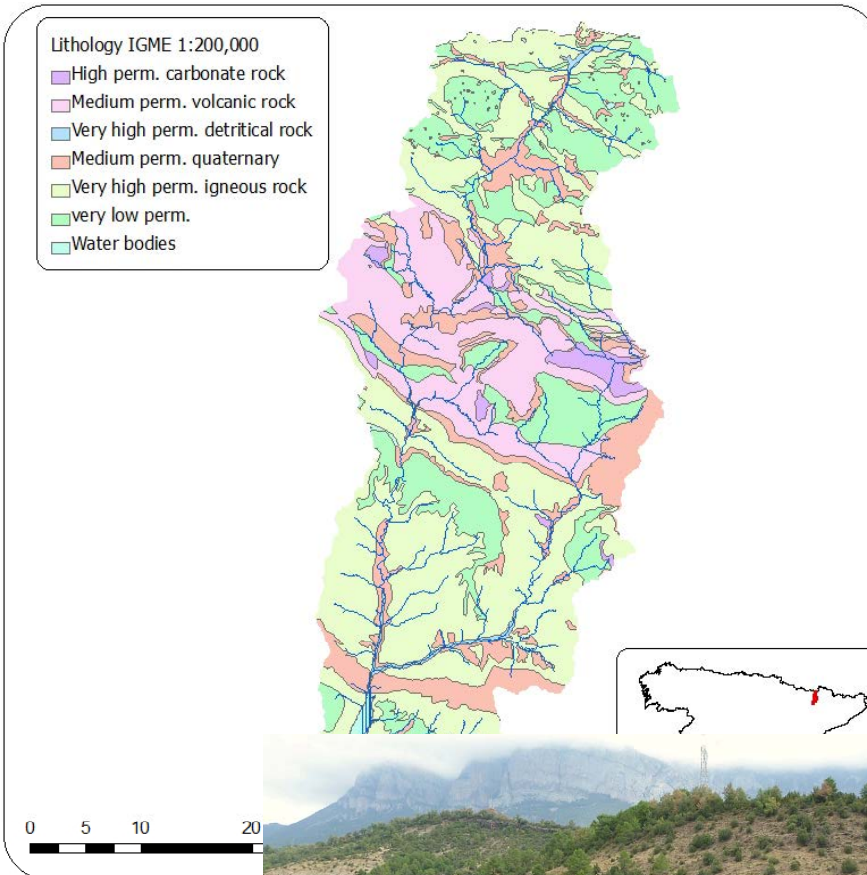
# La cuenca del río Ésera



- ❑ 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

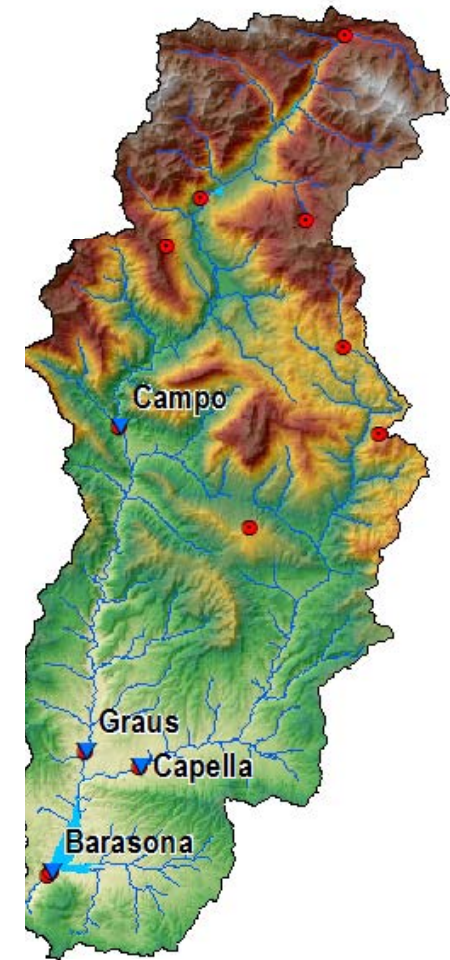
## □ Edafología:

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



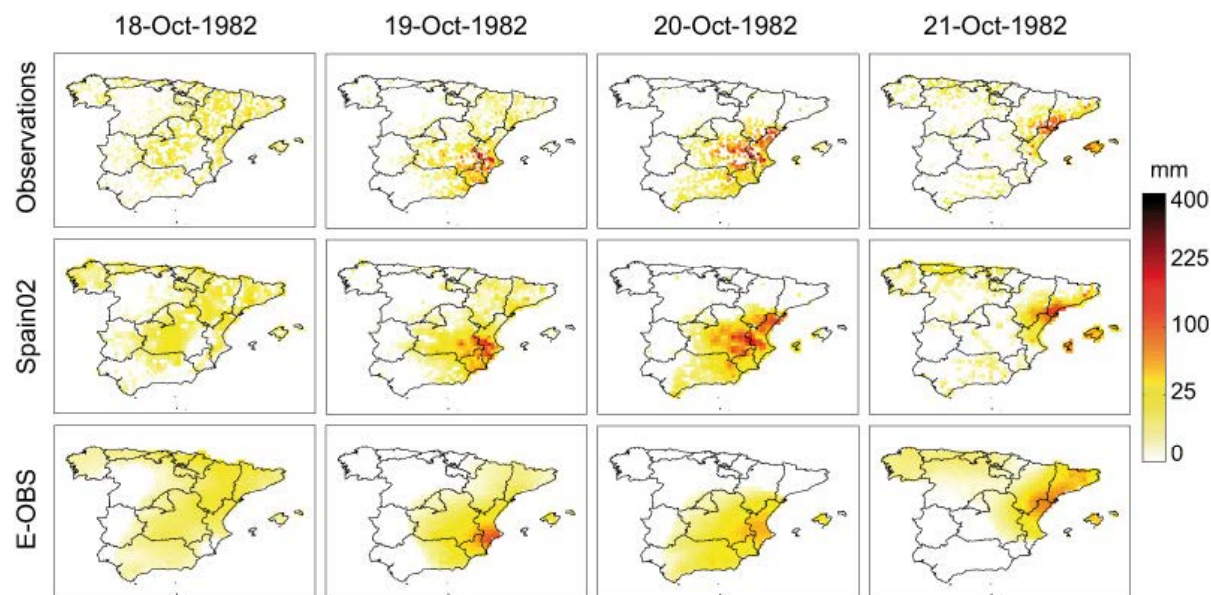
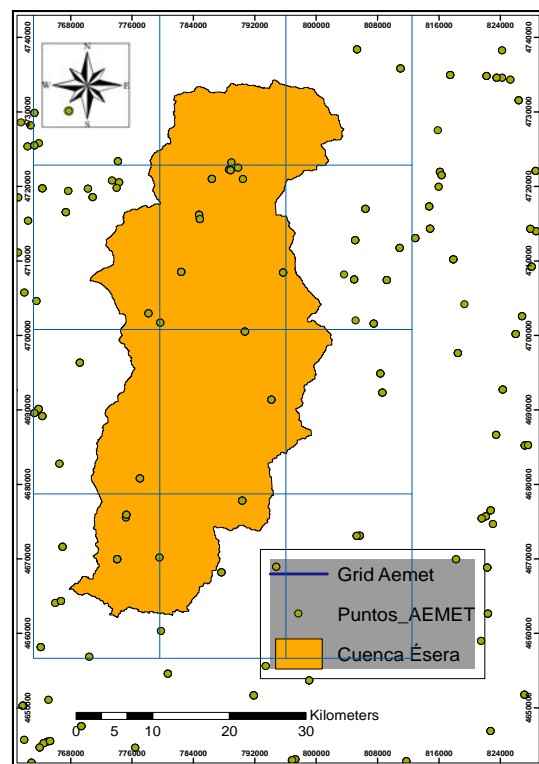


- ❑ Instrumentación diaria con series largas:
  - 12 termo-pluviómetros (AEMET)
  - Diversas estaciones de aforos (CHE, CEH-CEDEX)
  - Datos del embalse Barasona (CHE, CEH-CEDEX)
  
- ❑ Instrumentación 15 minutal desde 10/1997- (SAIH-CHE):
  - 11 pluviógrafos con 6 termómetros
  - 3 estaciones de aforo
  - Embalse de Barasona





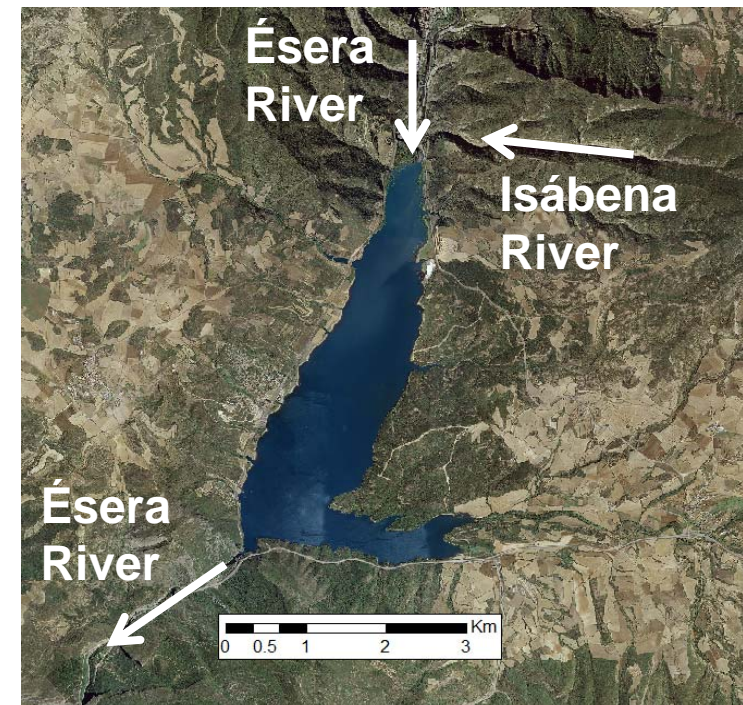
- ❑ **Spain02**: Interpolación regional de precipitación y temperatura **diarias**, celdas ~ 20x20 km y de 1950 a 2008





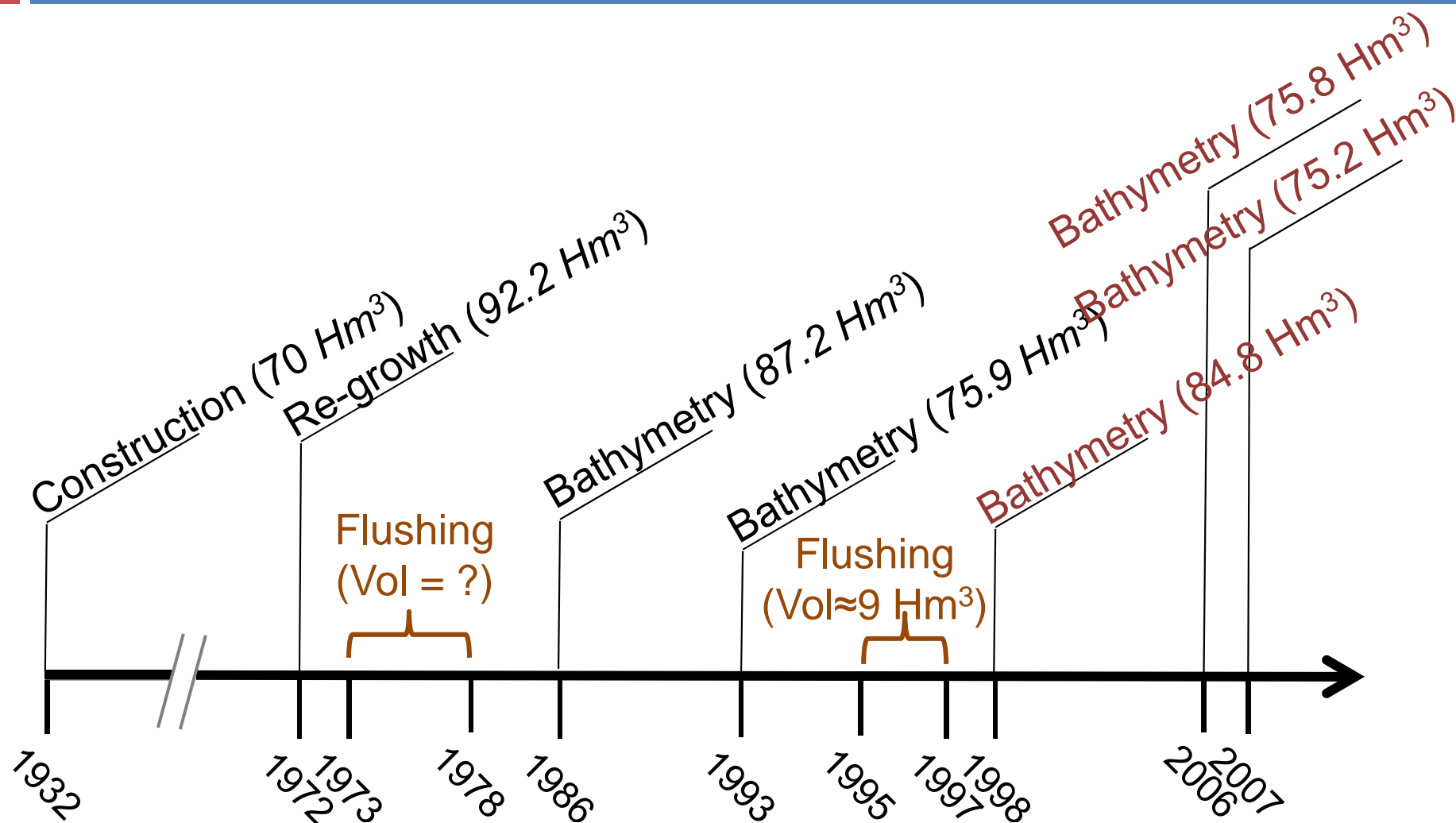
# El embalse de Barasona

- ❑ Embalse de regulación construido en 1932 (70 Hm<sup>3</sup>)
- ❑ Recrecido en 1972 (92.2 Hm<sup>3</sup>)
  - Problemas de aterramiento
  - Con 5 batimetrías históricas





# El embalse de Barasona

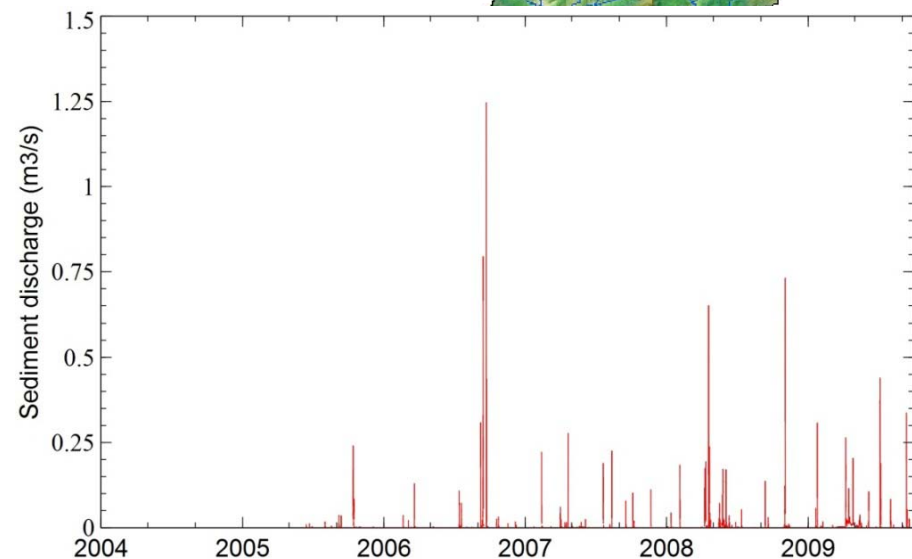
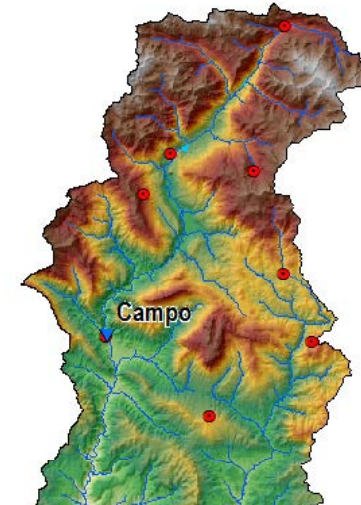






# Sedimentogramas

- ❑ 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







Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

---

# Implementación modelo



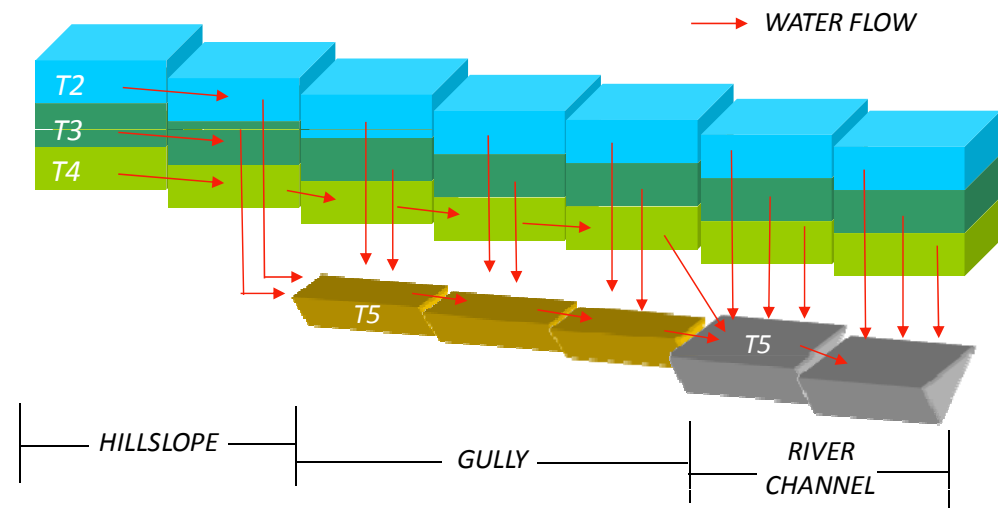
---

Seminario Internacional. *Universidad de Medellín*. Septiembre de 2013



# 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





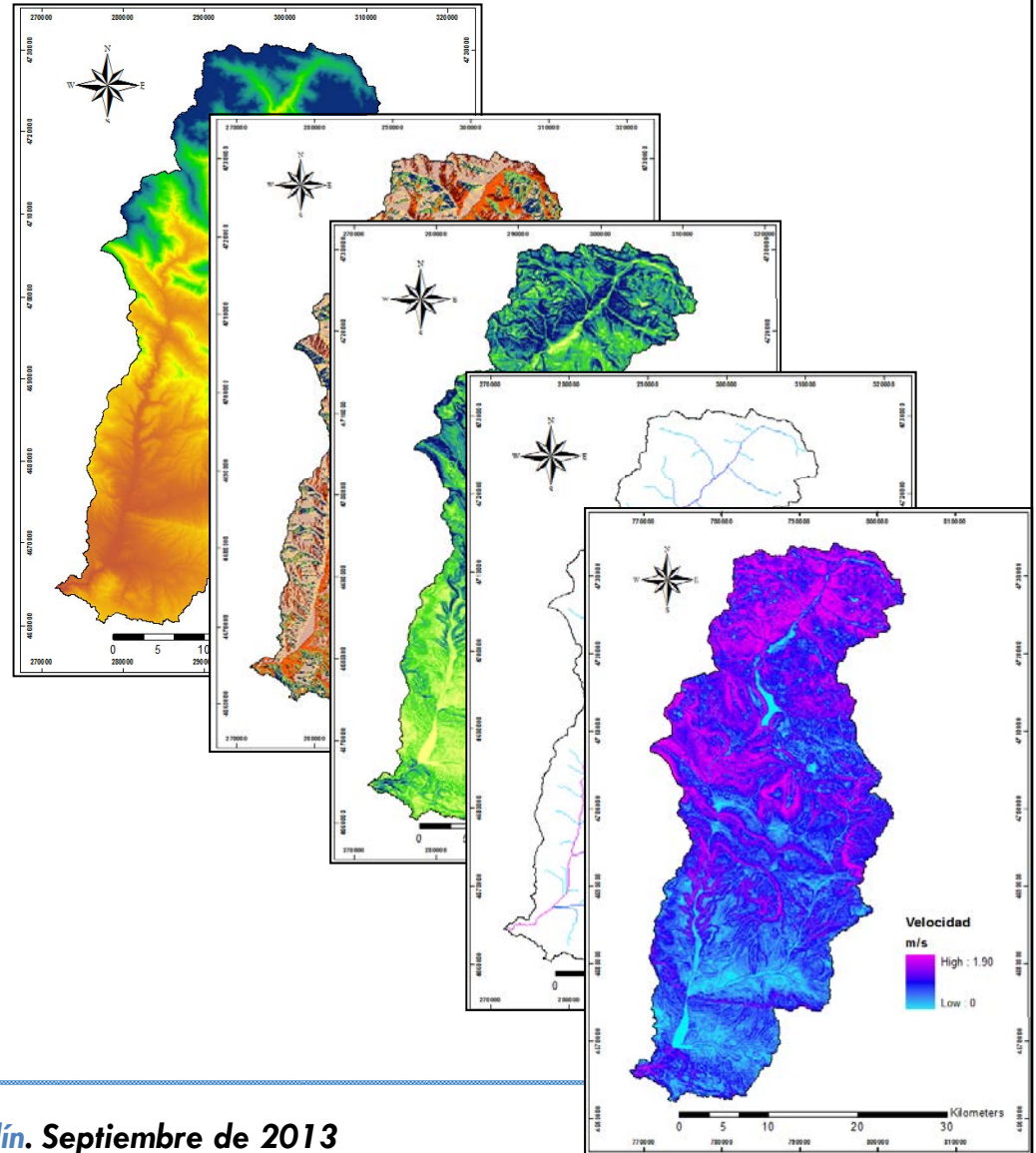
# Estimación inicial de parámetros

## □ MED

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

## □ Derivados del MED

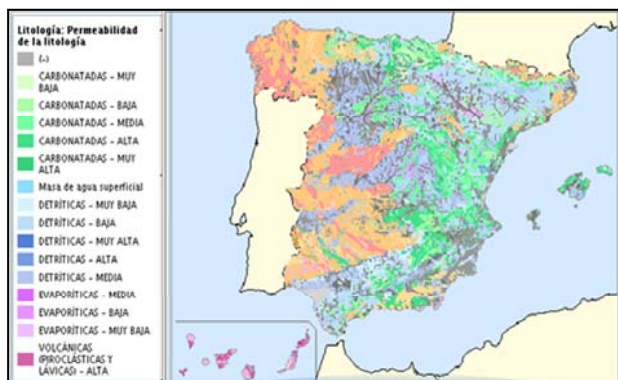
- Dirección de flujo
- Pendiente
- Celdas acumuladas
- Velocidad en ladera



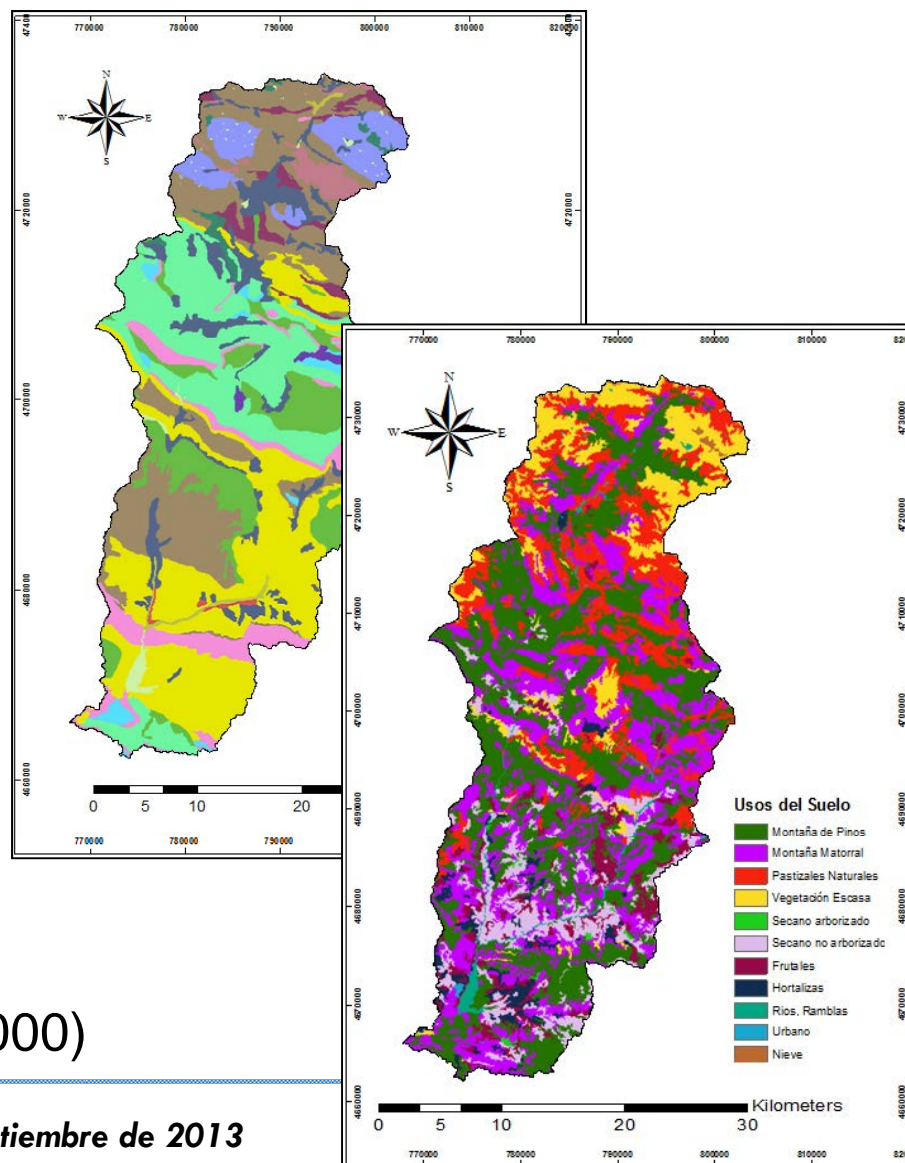


# Estimación inicial de parámetros

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



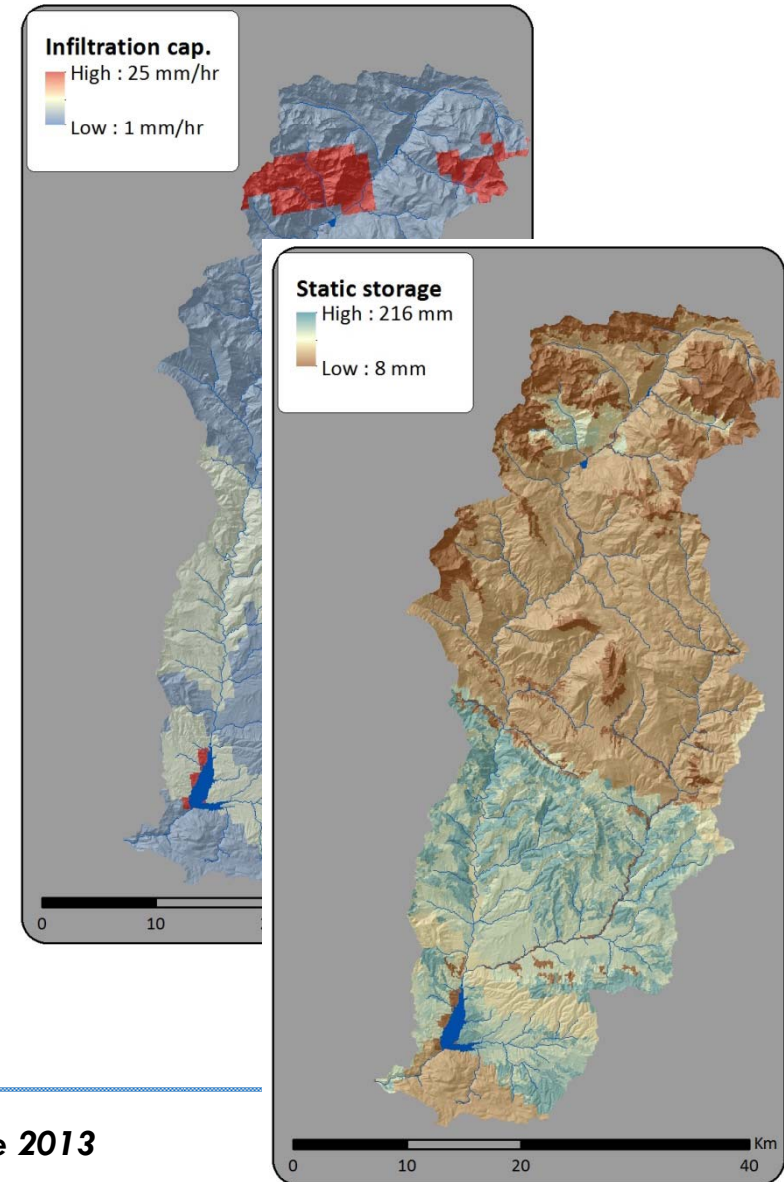
- ❑ Cubierta del suelo (coef. de vegetación e interceptación)
  - Fuente: Corine 2006 (1:100,000)





# 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







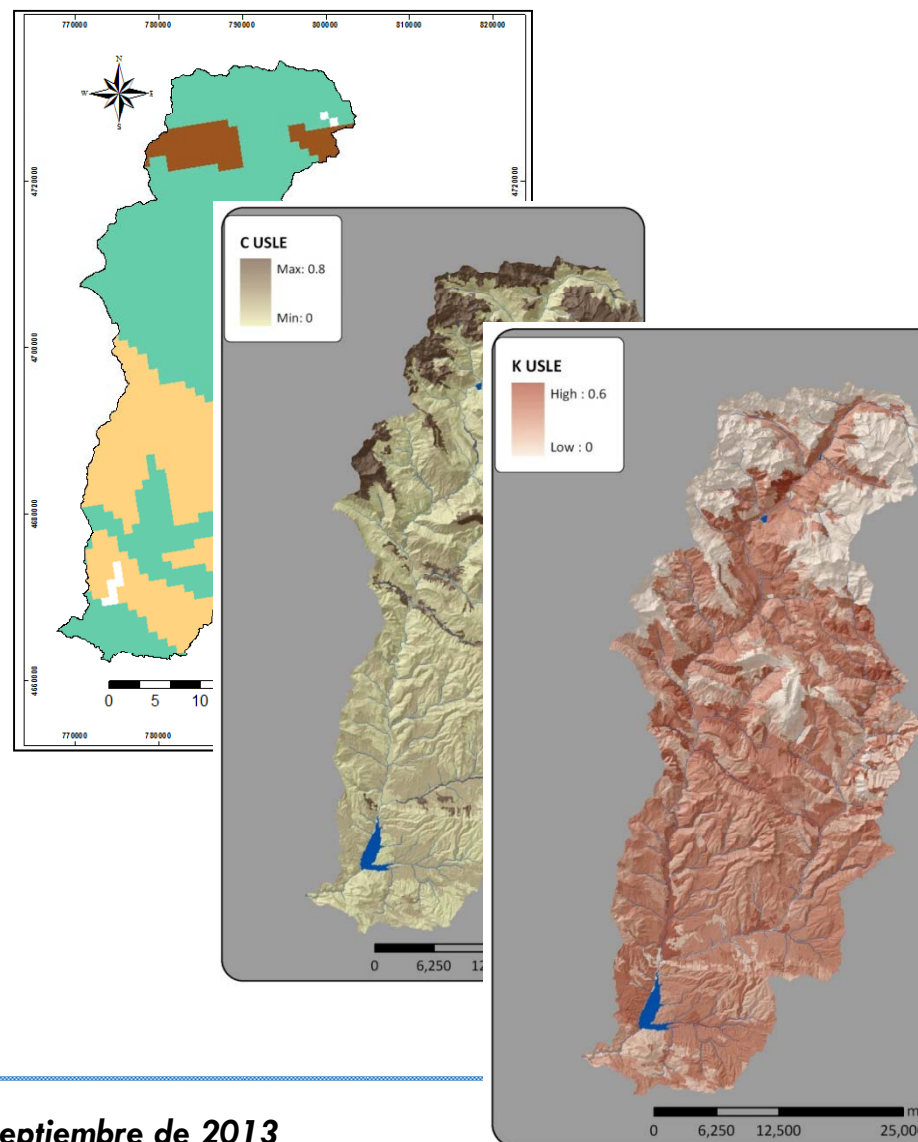
# Estimación inicial de parámetros

## □ Mapa de texturas

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

## □ Factores de la USLE

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

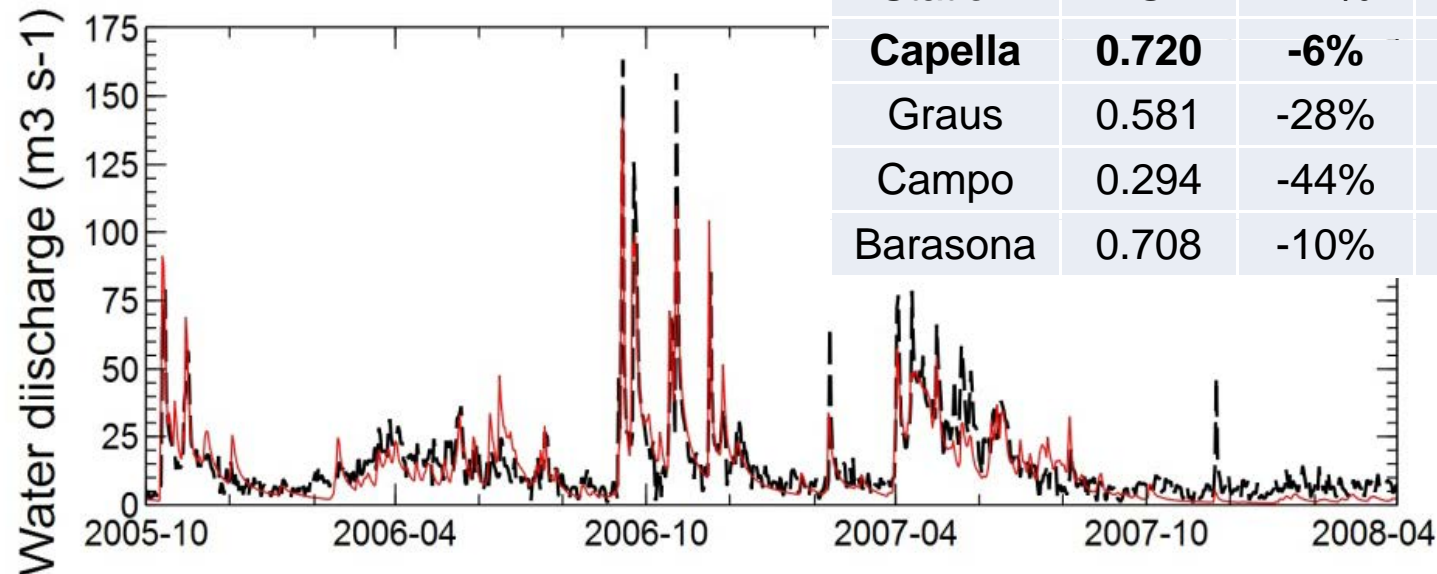




# Calibración y validación

## ❑ 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%
<b>Capella</b>	<b>0.720</b>	<b>-6%</b>	0.686	-39%
Graus	0.581	-28%	0.704	-61%
Campo	0.294	-44%	0.455	-35%
Barasona	0.708	-10%	0.529	-22%





## ❑ Submodelo de sedimentos

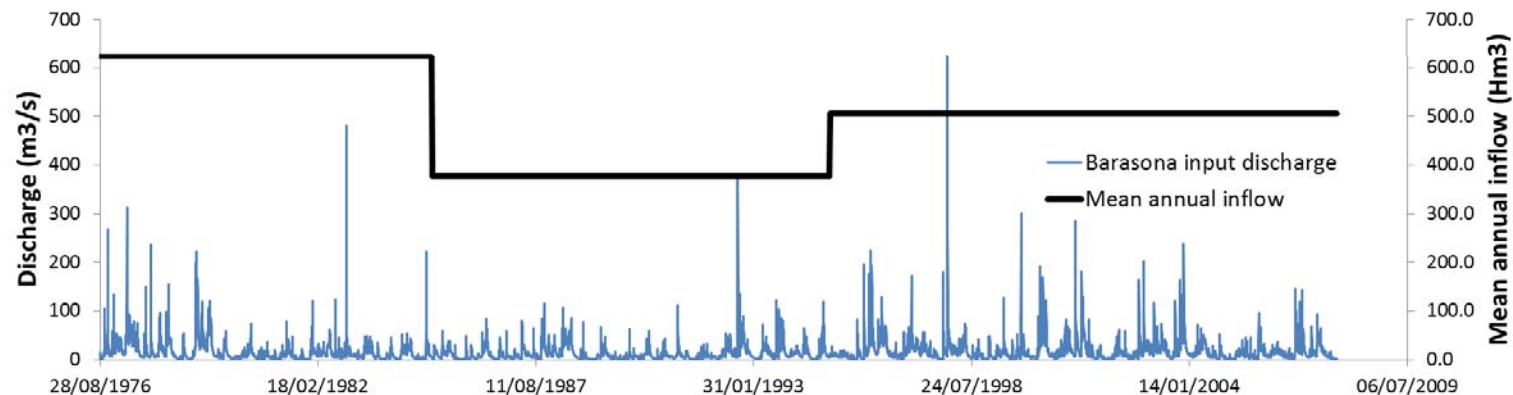
### ➤ Densidad sedimentos

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



## ❑ 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%





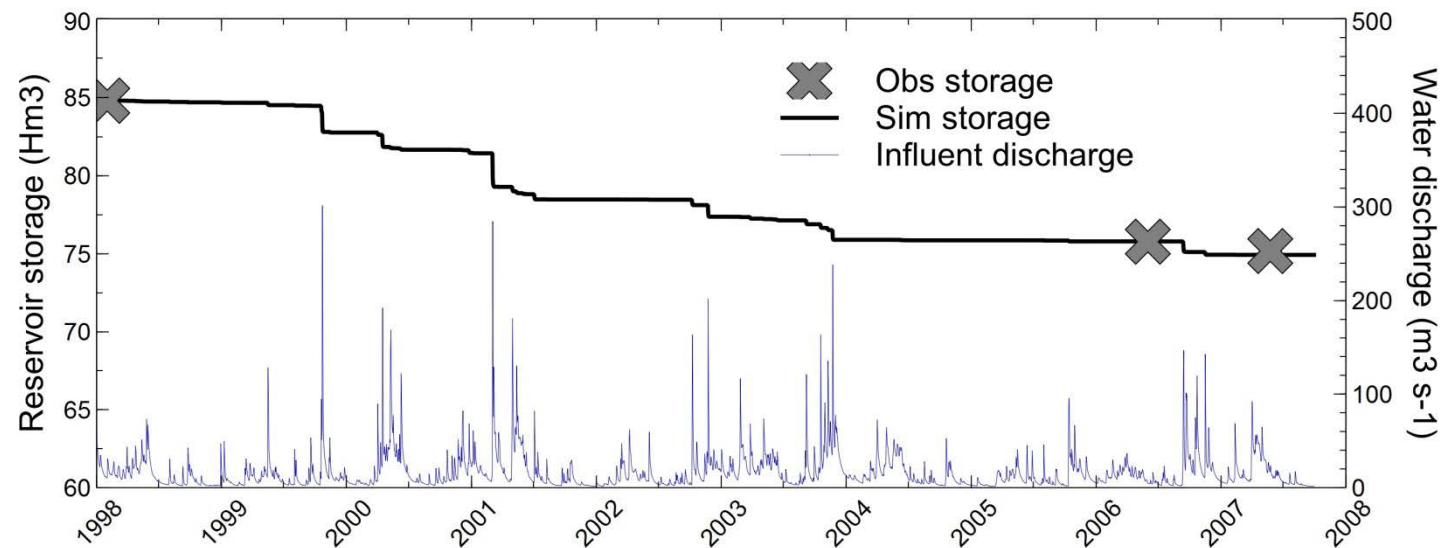
# Calibración y validación

## □ Submodelo de sedimentos

### ■ Calibración y validación en embalse de Barasona



Period	Accumulated sediments Hm <sup>3</sup>	Specific sediment yield t km <sup>-2</sup> year <sup>-1</sup>	Simulated volume Hm <sup>3</sup>
Calibration 1998-2006	9.02	820	9.02
<b>Validation 2006-2007</b>	<b>0.60</b>	435	<b>0.76</b>

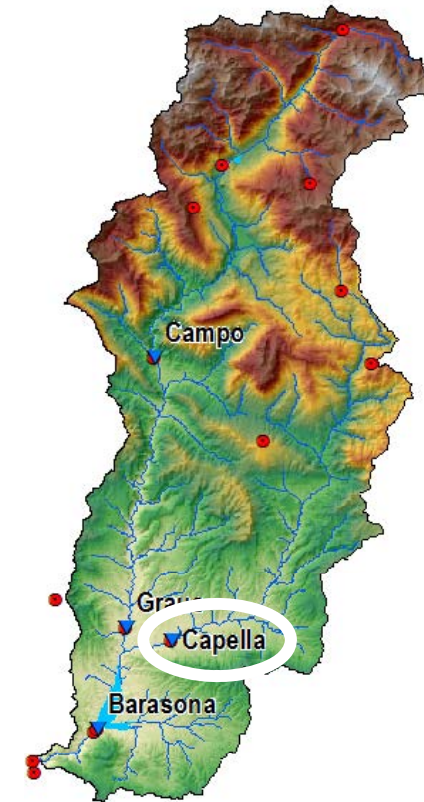
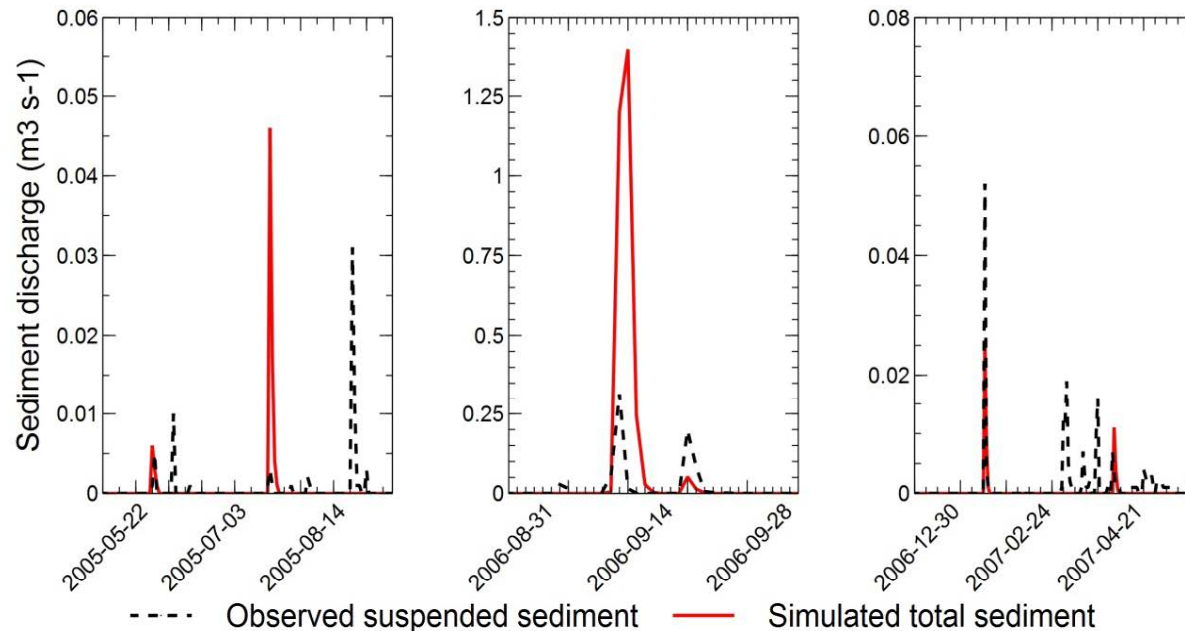






# Calibración y validación

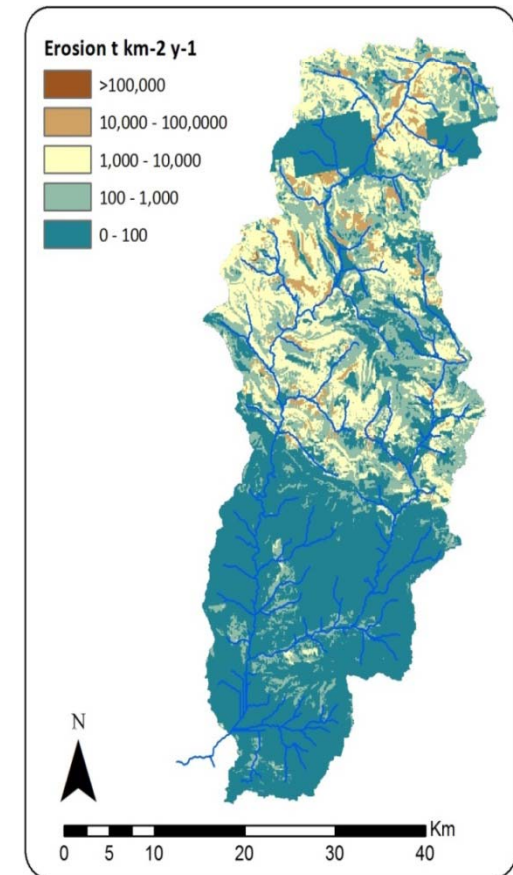
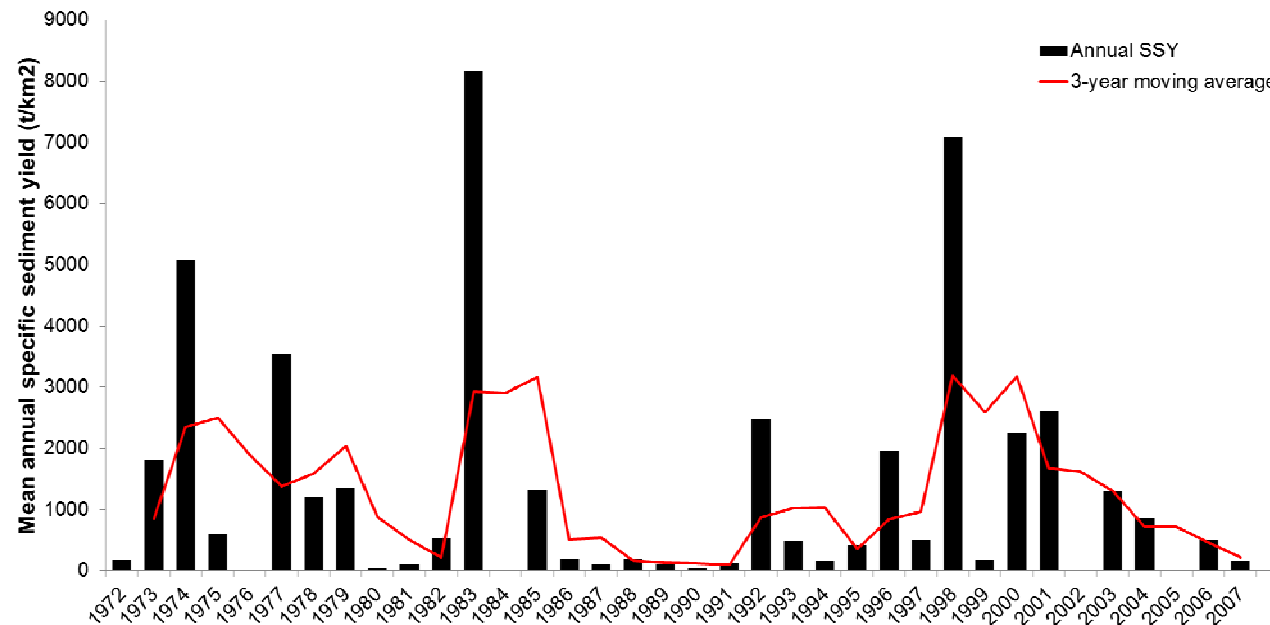
- ❑ Submodelo de sedimentos
  - Validación en Capella con simulación carga total vs suspendidos observados
  - ¿errores turbidímetro para altas concentraciones? (Regües & Nadal-Romero 2012, CATENA)





# 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





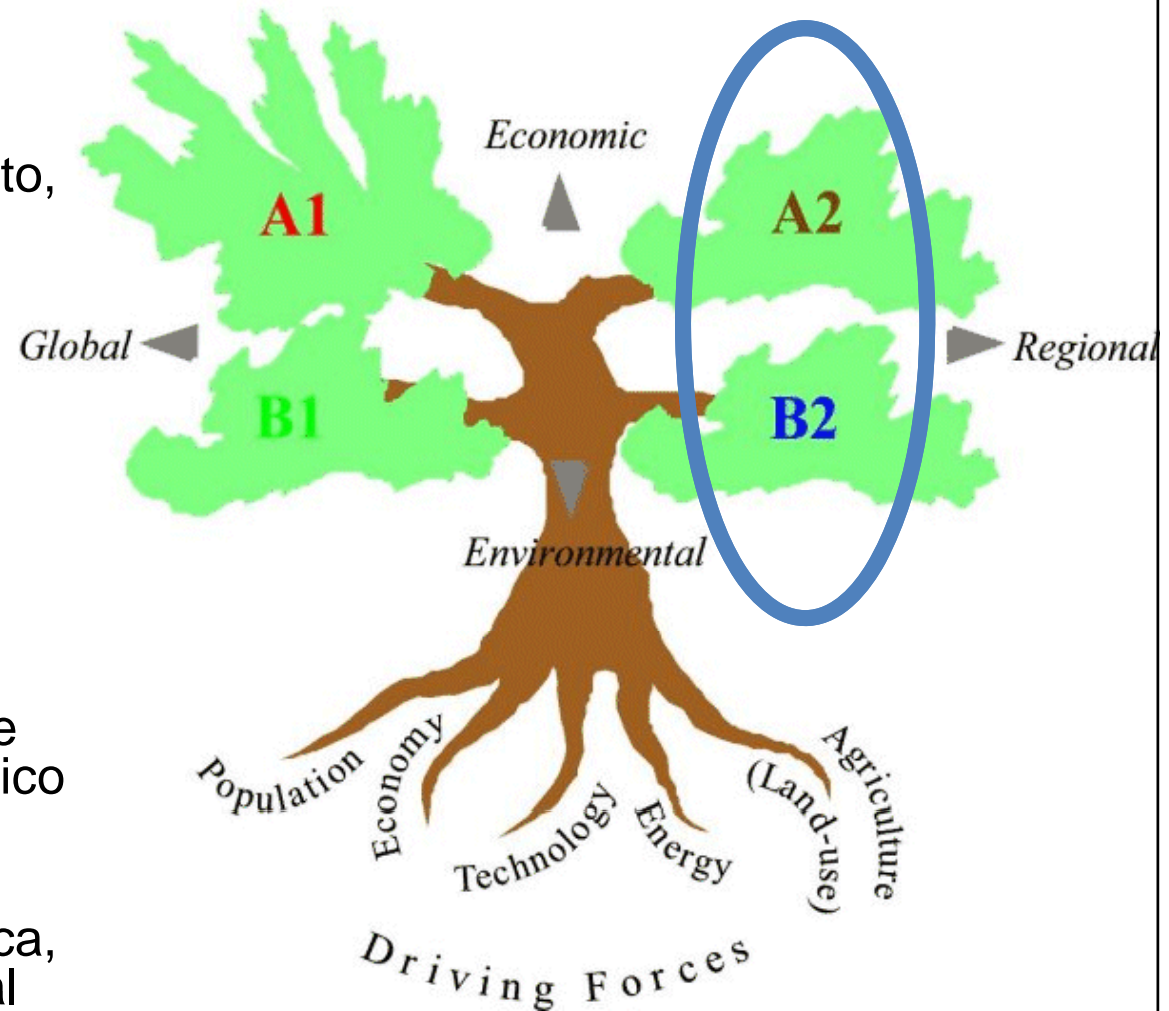
# Escenarios de emisiones 2071-2100

## ❑ **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





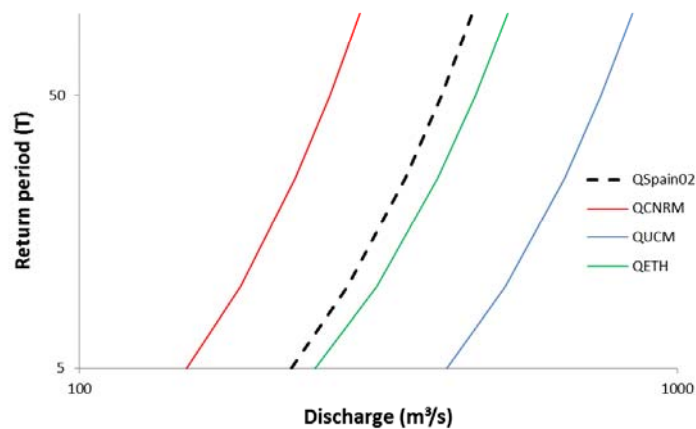
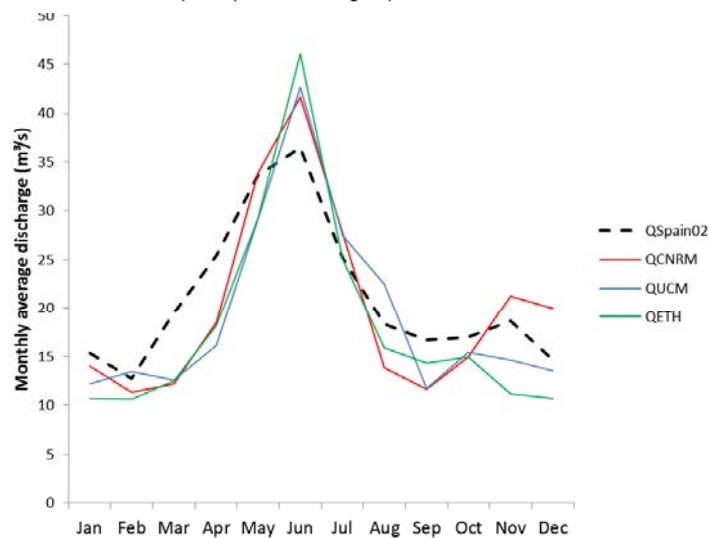
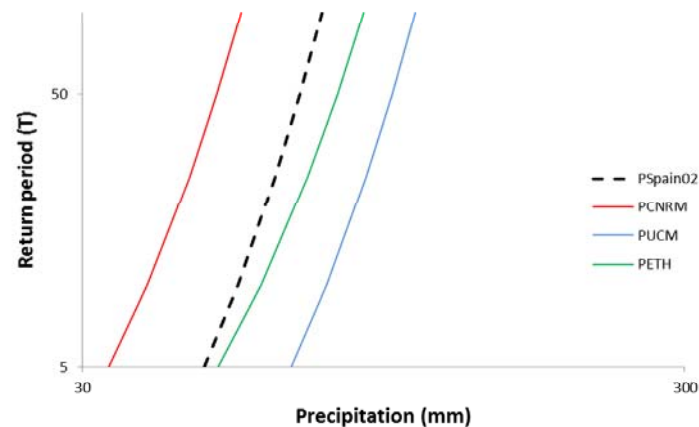
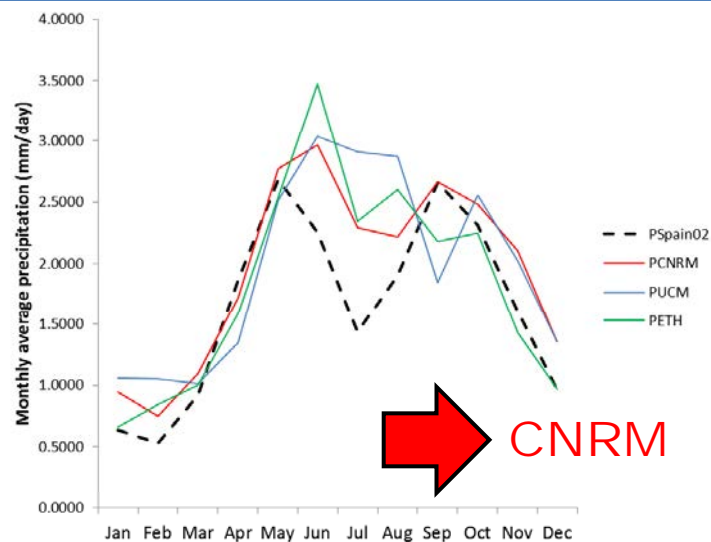
- ❑ En la zona de estudio y con discretización diaria se dispone de 3 resultados del proyecto PRUDENCE, que combinó un mismo modelo de circulación global con regionales diferentes:
  - **UCM** Universidad de Castilla la Mancha, España (hadAM3+ PROMES)
  - **CRNM** Centro Nacional para la Investigación 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:





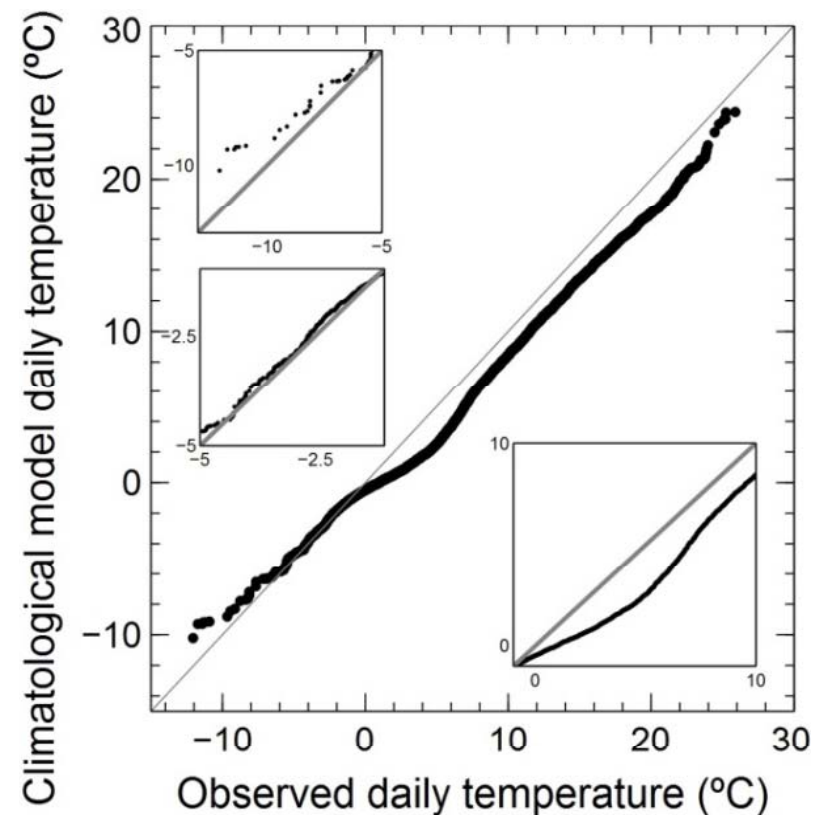
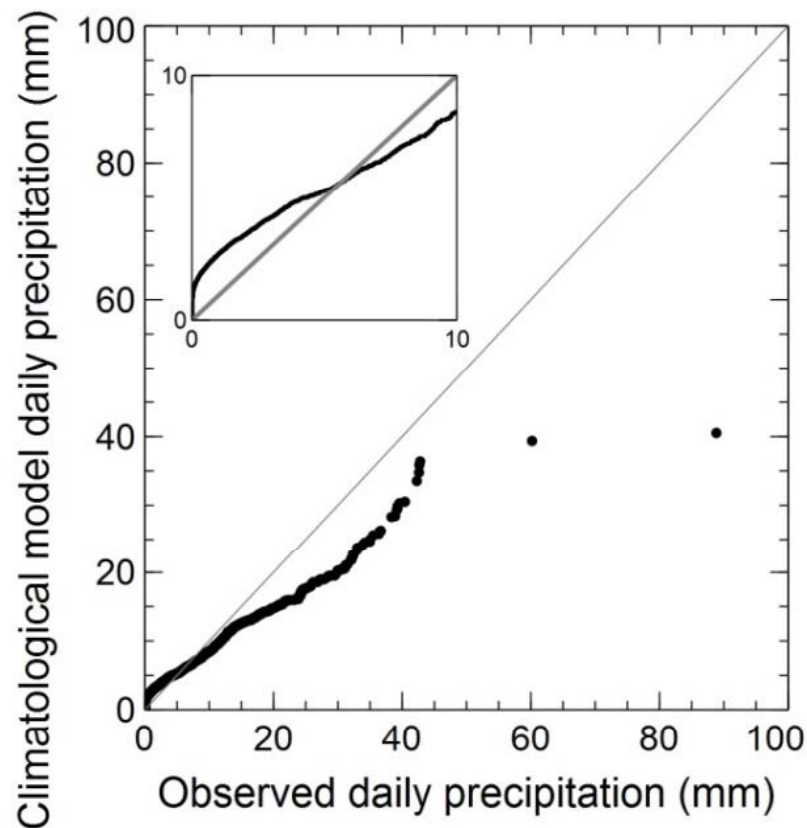


# Selección modelo climático



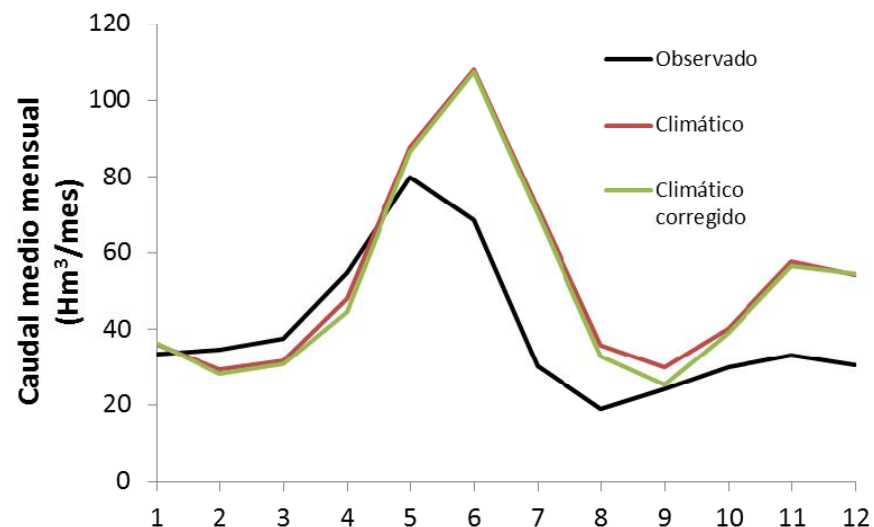
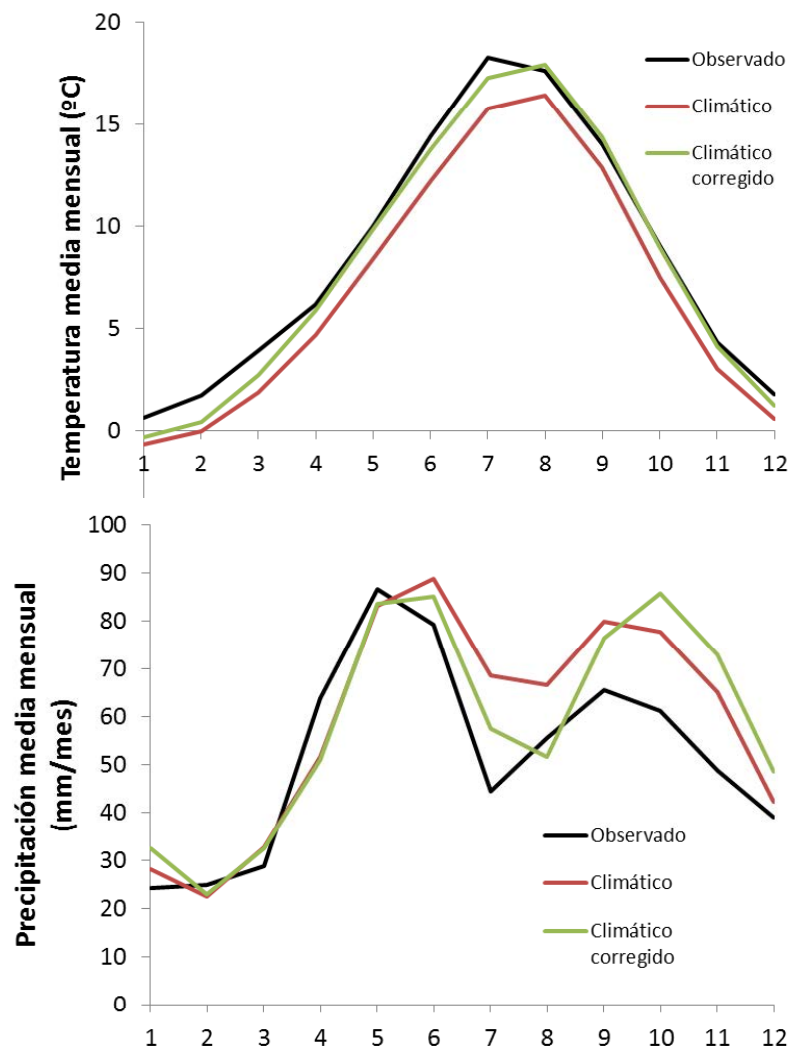


# Corrección modelo climático



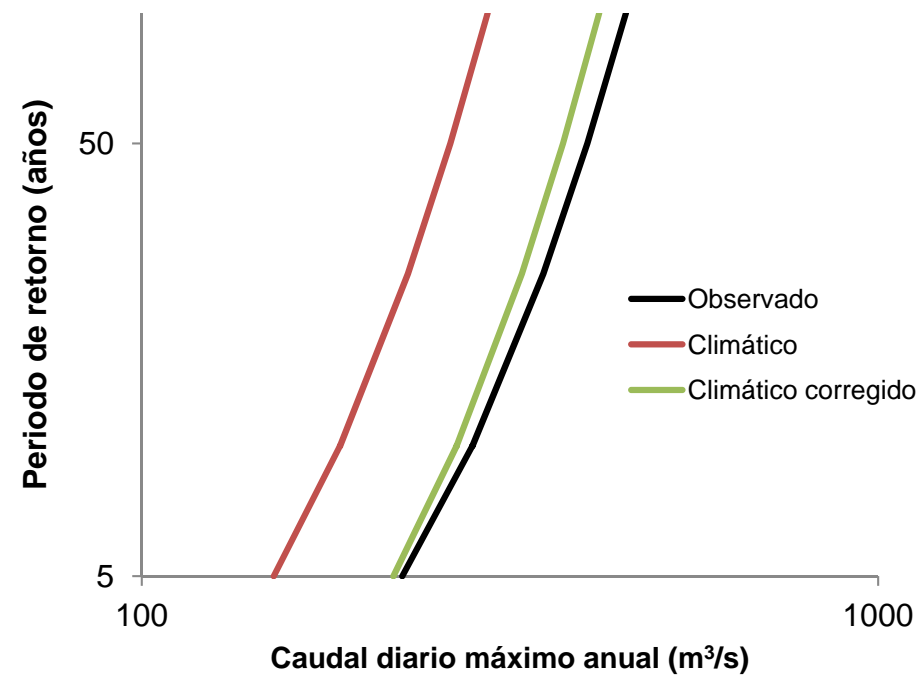
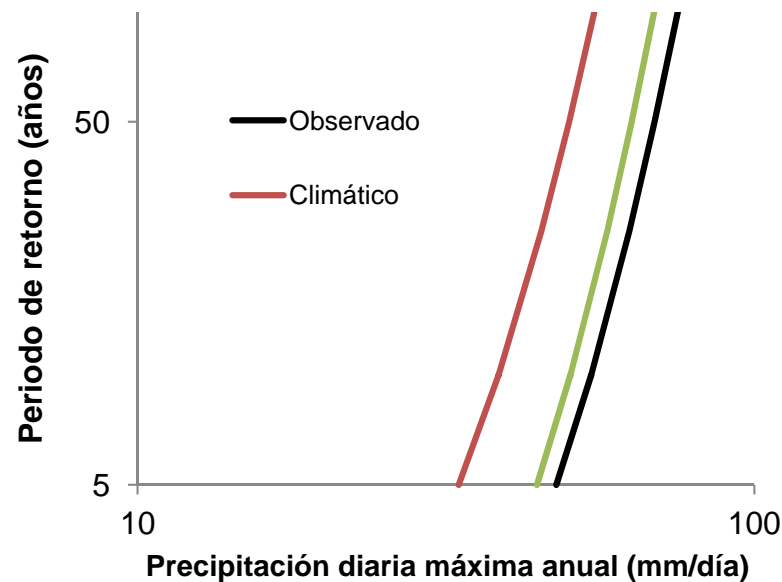


# Corrección modelo climático





# Corrección modelo climático





---

# Resultados y discusión



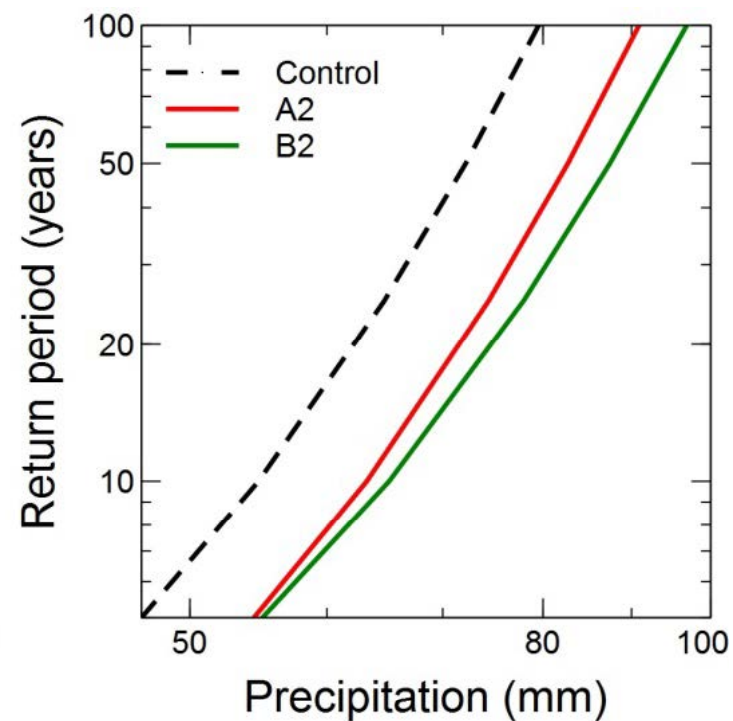
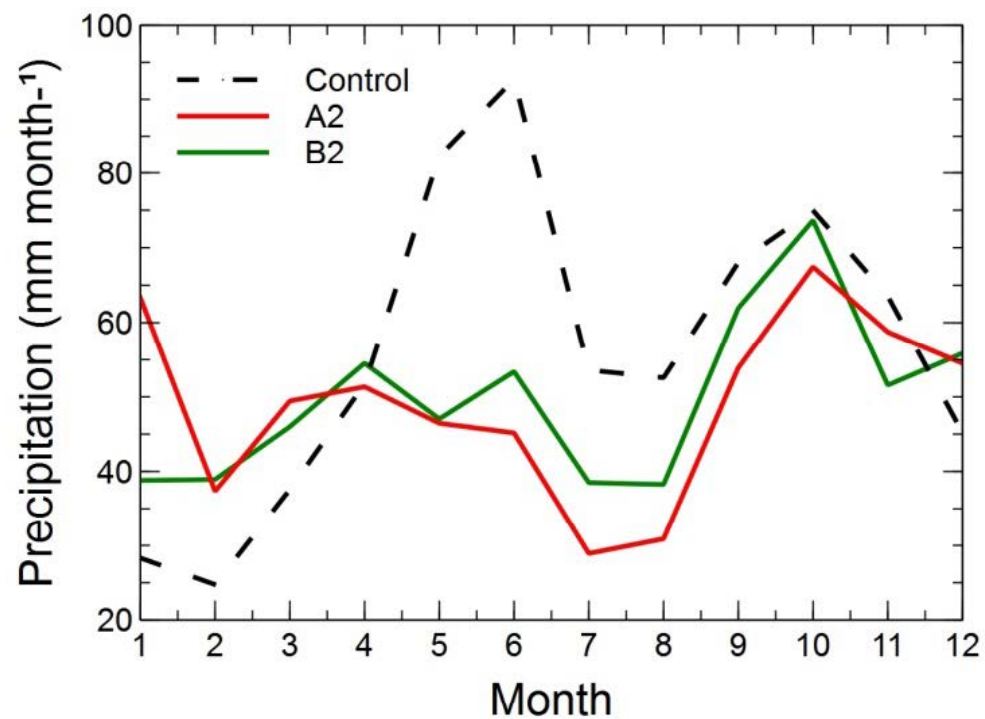




Mean state variable	Control scenario	A2 scenario	
Precipitation (mm y <sup>-1</sup> )	686	596	-13%
Temperature (°C)	7.99	12.06	51%
Soil moisture (%)	74	54	-27%
Snowpack water equivalent (mm)	49	15	-69%
Water yield (Hm <sup>3</sup> y <sup>-1</sup> )	690.6	417.6	-40%
Specific sediment yield (Mg ha <sup>-1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

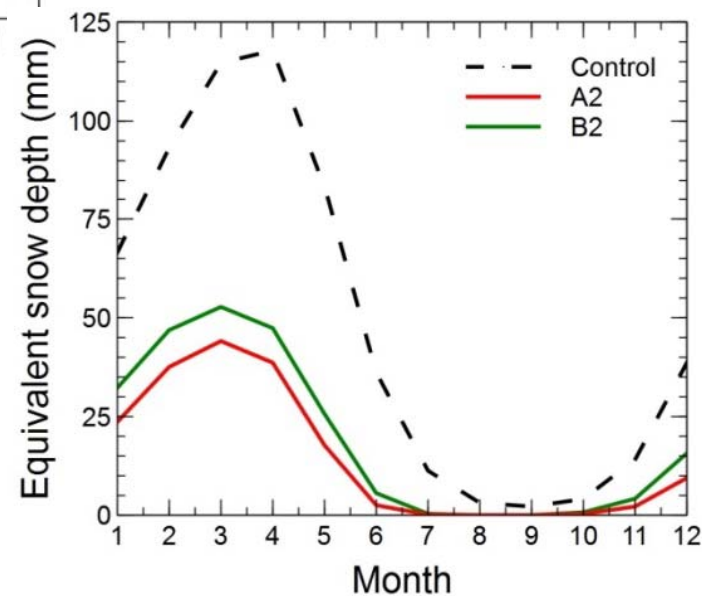
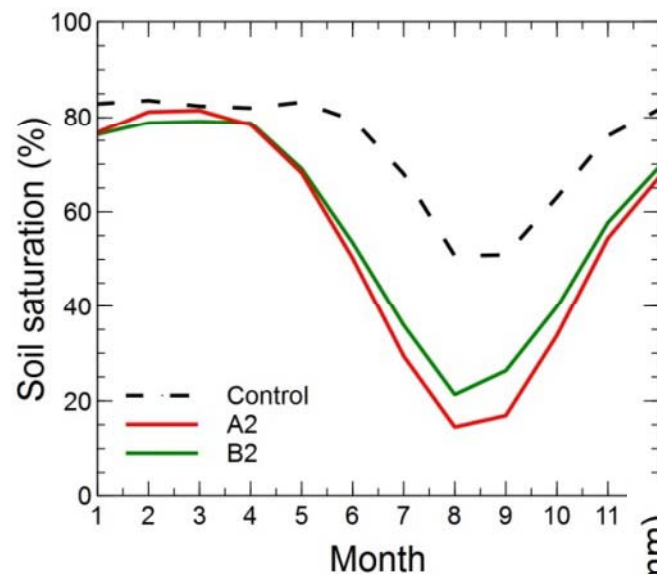
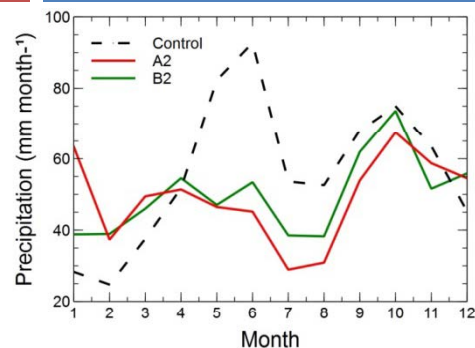


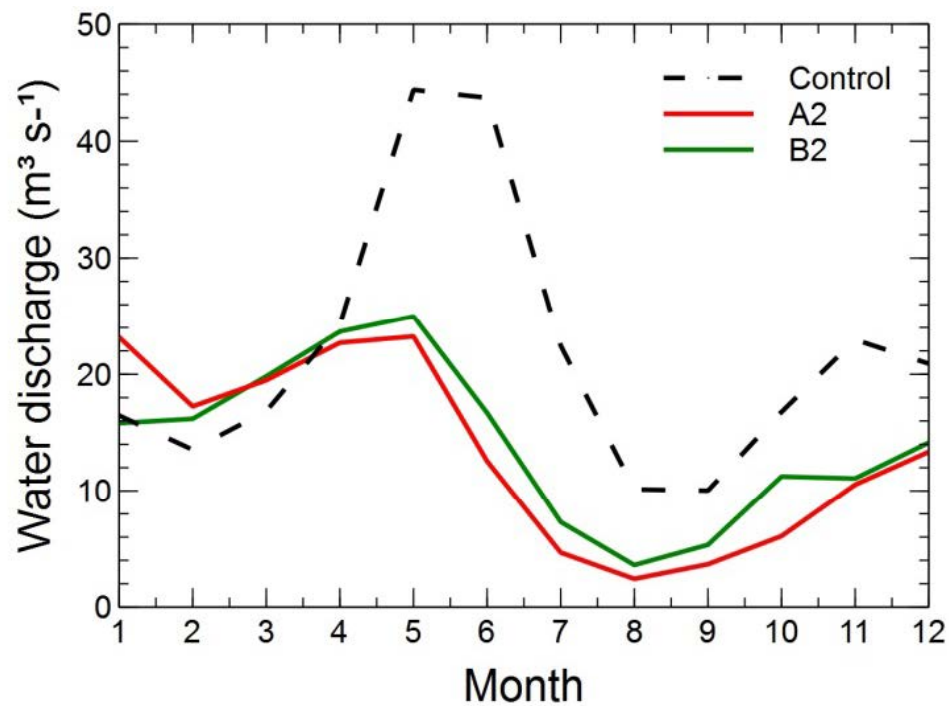
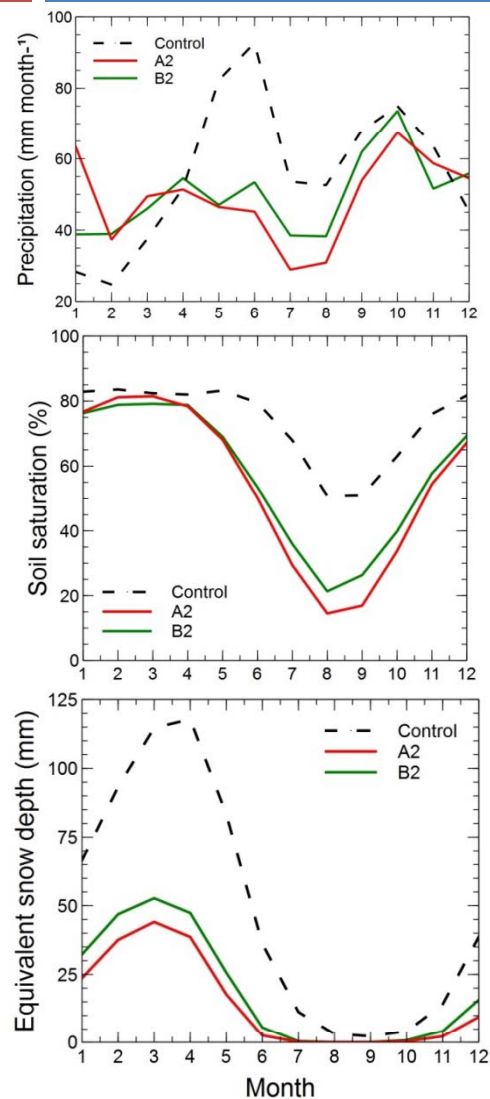
# Precipitación

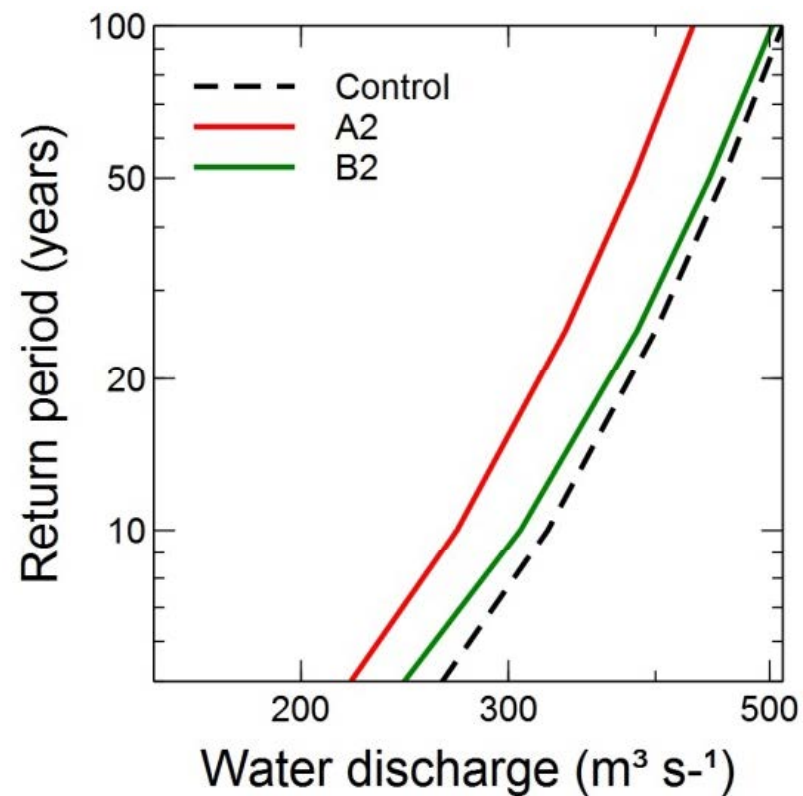
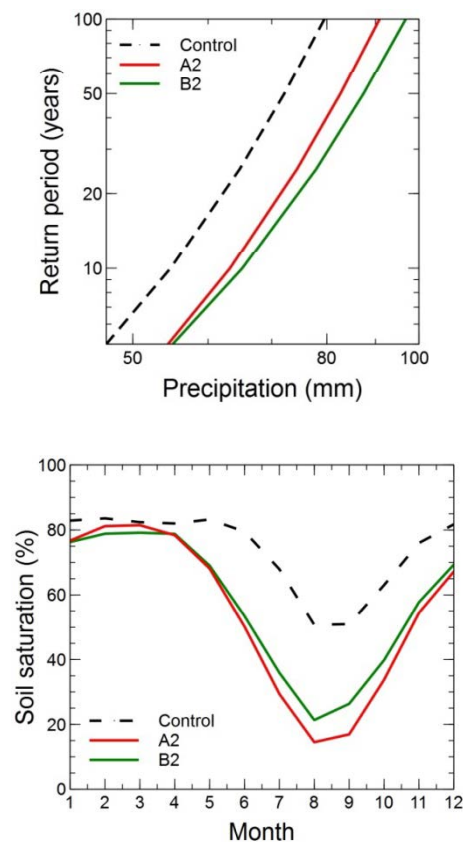




# Almacenamientos



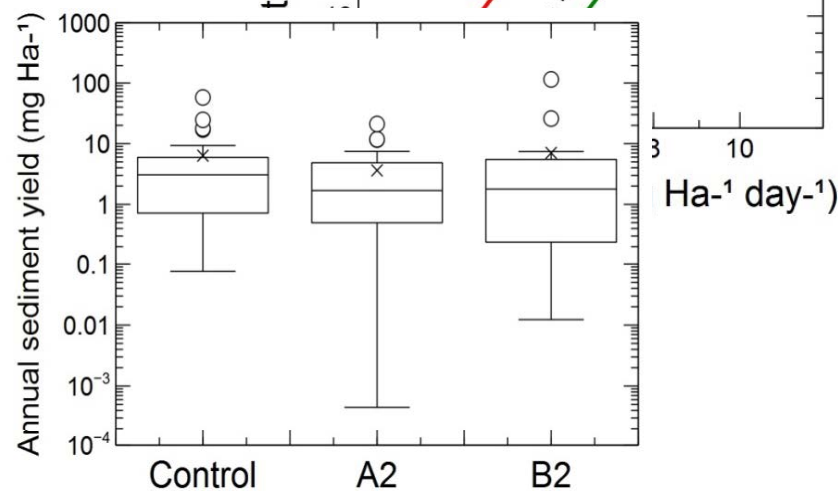
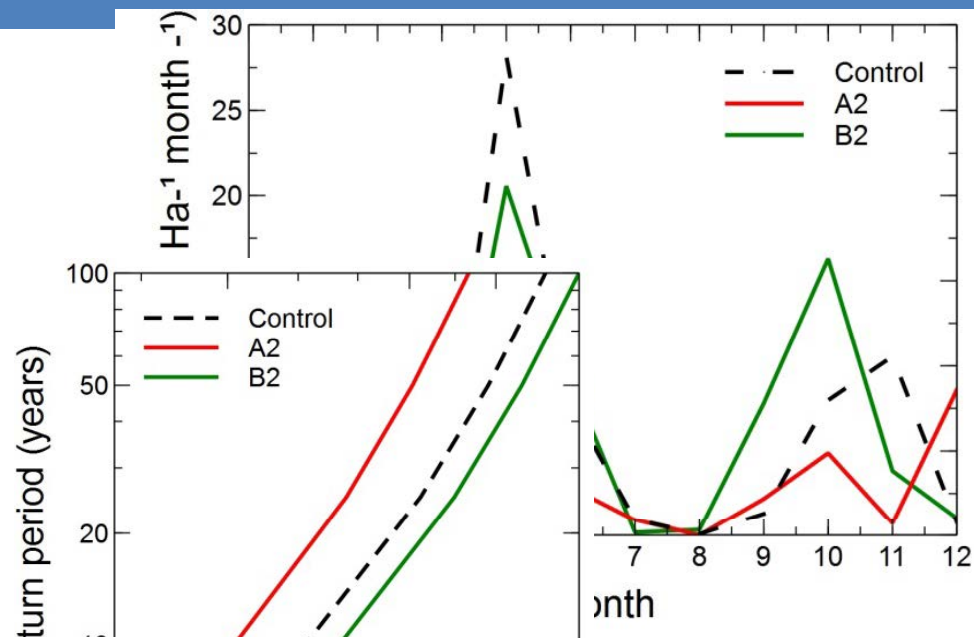
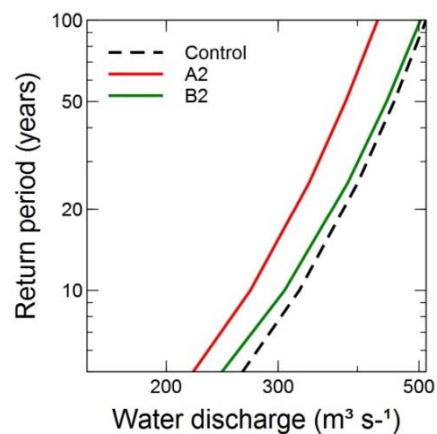
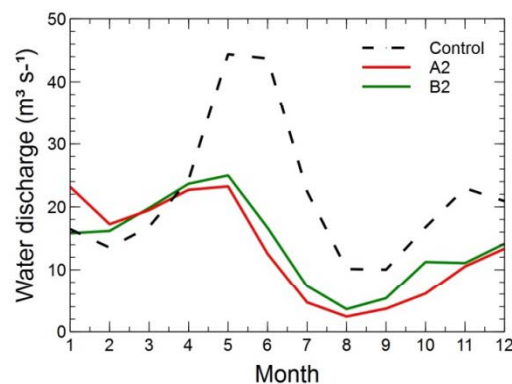






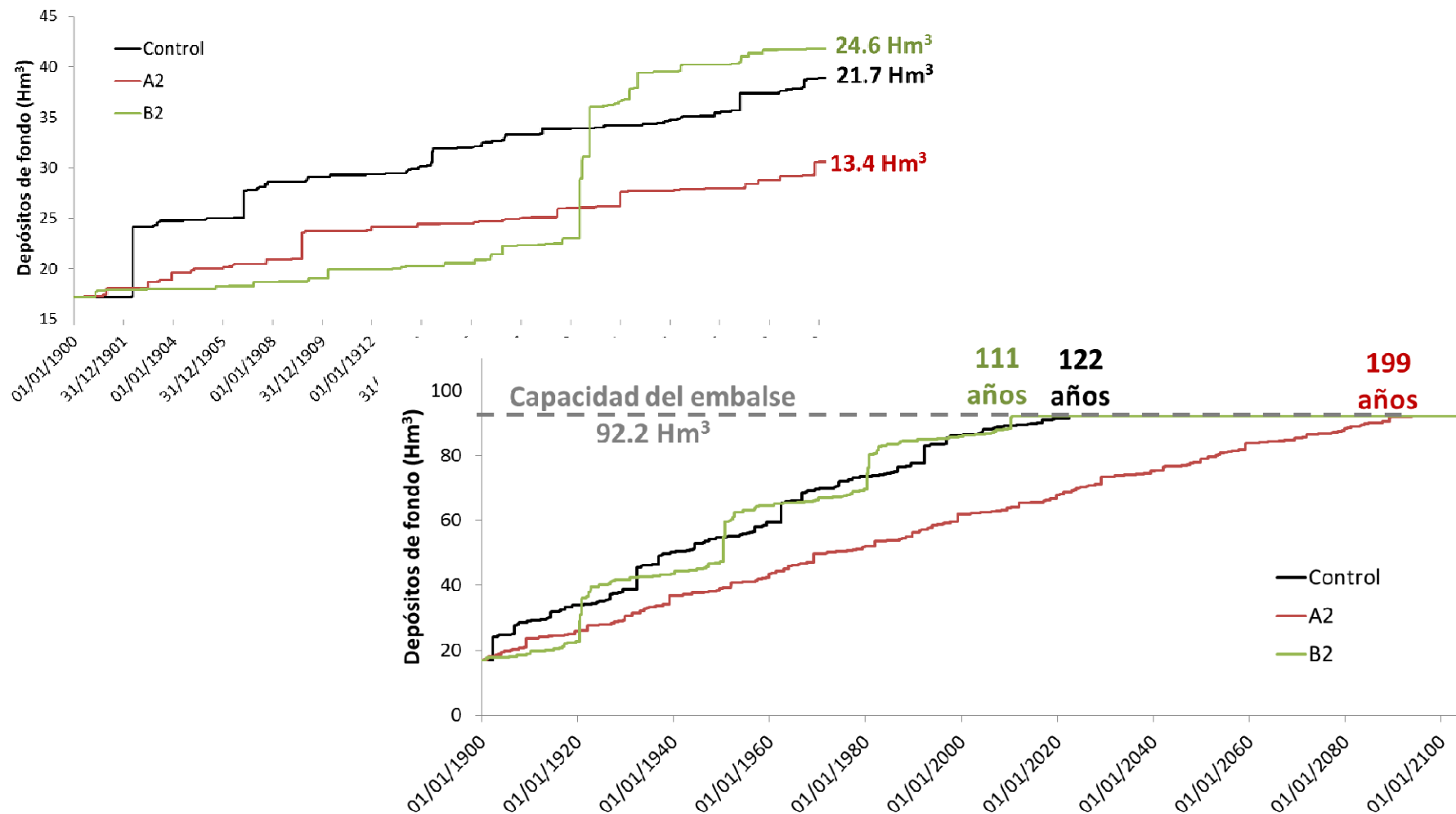


# Sedimentos





# Aterramiento embalse Barasona





- ❑ 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





- ❑ 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 torrencialidad 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](mailto:ffrances@hma.upv.es))**

**Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental**

**[lluvia.dihma.upv.es](http://lluvia.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](http://www.unimedellin.edu). Septiembre 2013**

