



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES MEDIANTE RETENCIÓN EN EL TERRITORIO

Autores:

Sergio Salazar y Félix Francés

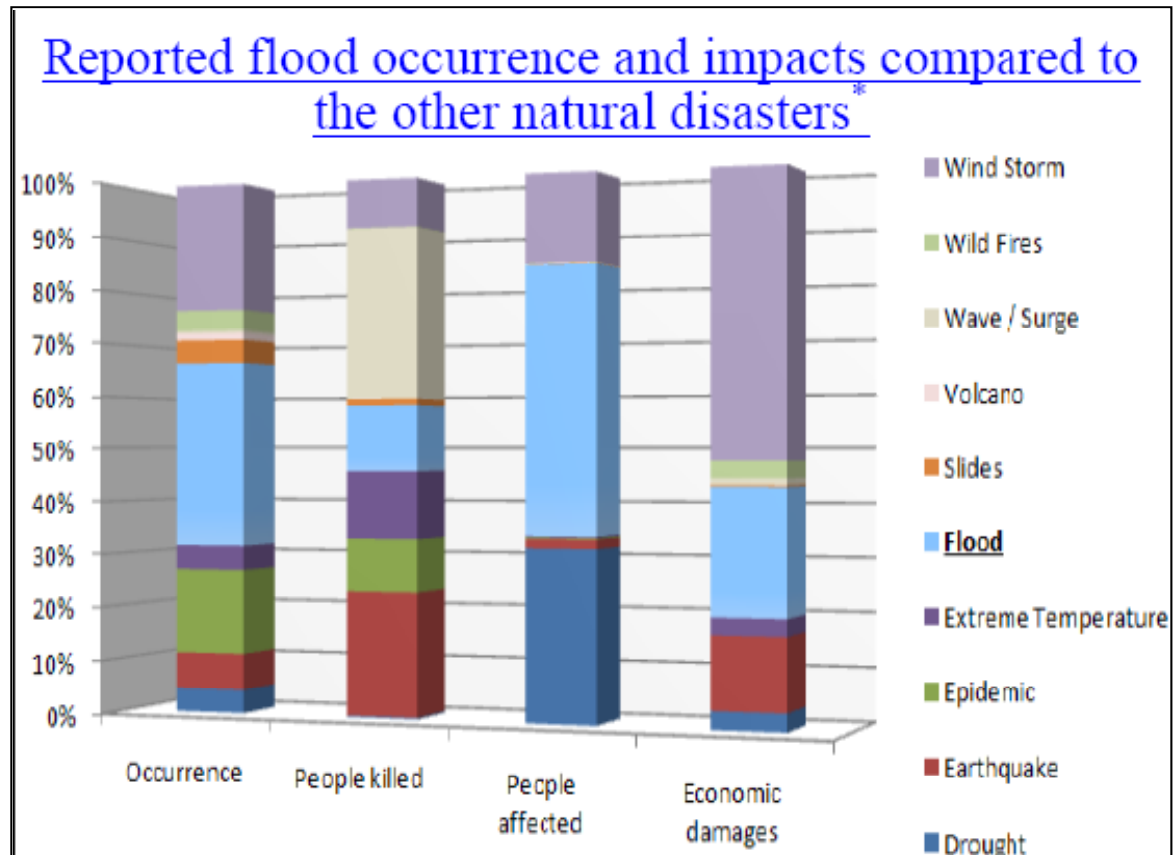
Universidad Politécnica de Valencia - España
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
Grupo de Investigación de Hidráulica e Hidrología
<http://lluvia.dihma.upv.es>



XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica
Cartagena de Indias, Septiembre 2008

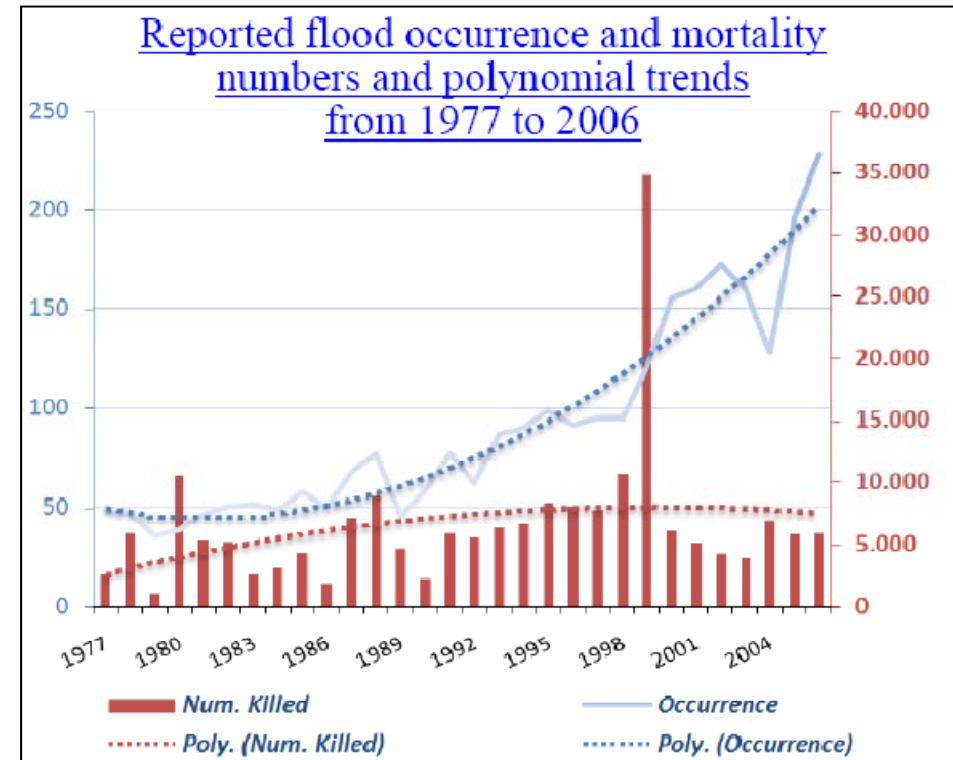
- Inundaciones a nivel mundial son la catástrofe natural con:

- > Ocurrencia
 - ≈ 35% del total
- > # Damnificados
 - ≈ 50% del total



*Porcentajes calculados para periodo de 10 años 1997-2006 del registro de datos del EM-DAT (CRED CRUNCH. Issue 11:Disaster data:”A Balanced Perspective. January 2008. The OFDA/CRED International Disaster Database. www.emdat.be)

- Europa: Inundaciones
 - reducir el riesgo de estos fenómenos naturales .
 - directiva del parlamento (23/10/ 2007) **relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación**
 - Evaluación riesgo 2011
 - Mapas de peligrosidad 2013
 - Planes de gestión en crisis 2015
 - Espacio Europeo de investigaciones en inundaciones
 - ERANET CRUE
 - Cuencas de estudio en Alemania, Austria y España)



*Tomado de CRED CRUNCH. Issue 11:Disaster data."A Balanced Perspective. January 2008.

The OFDA/CRED International Disaster Database. www.emdat.be)

Caso de estudio

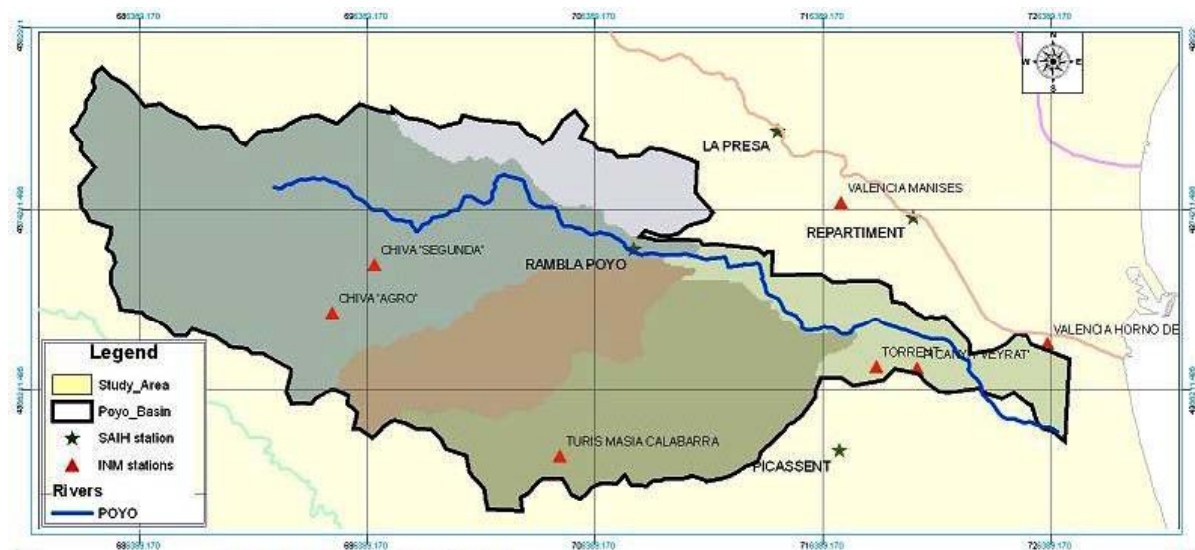
- Cuenca severamente inundada en 2000 y 2002
 - Localización en la zona mediterránea de España
 - Clima mediterráneo (subtropical – semiárido)
 - Invierno: T° suaves y constantes
 - Verano: Largo y caluroso: 30° media
 - Amplitud térmica reducida
 - Heladas casuales



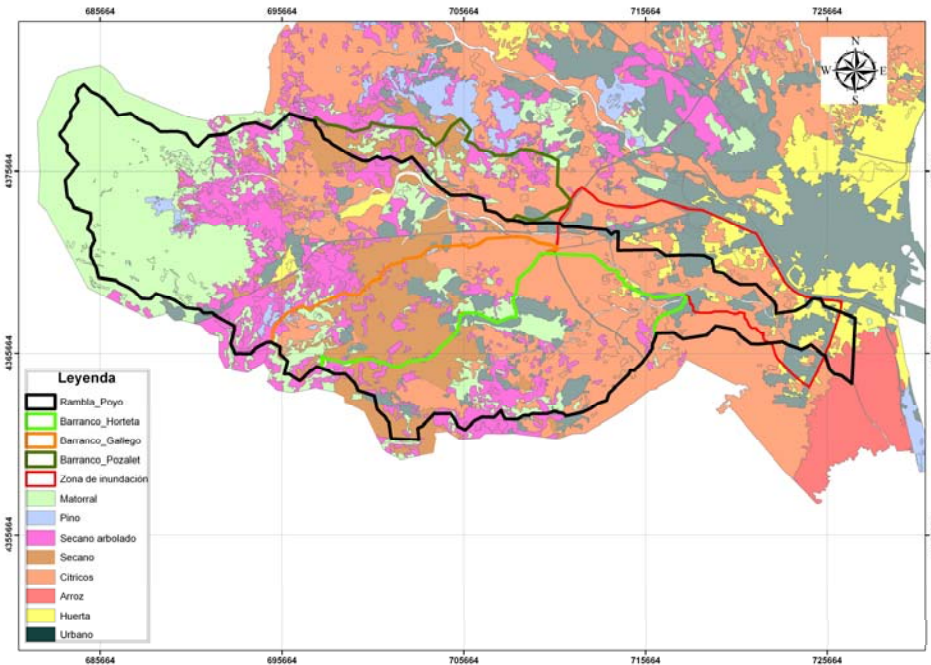
- Régimen de flujo típicamente efímero
 - Riadas muy frecuentes en otoño debido a fenómenos meteorológicos de mesoescala con magnitudes extraordinarias
 - Q máximos > 500m³/s



- Superficie
 - Poyo: 380 Km²
 - Pozalet: 33 Km²



■ Cobertura vegetal

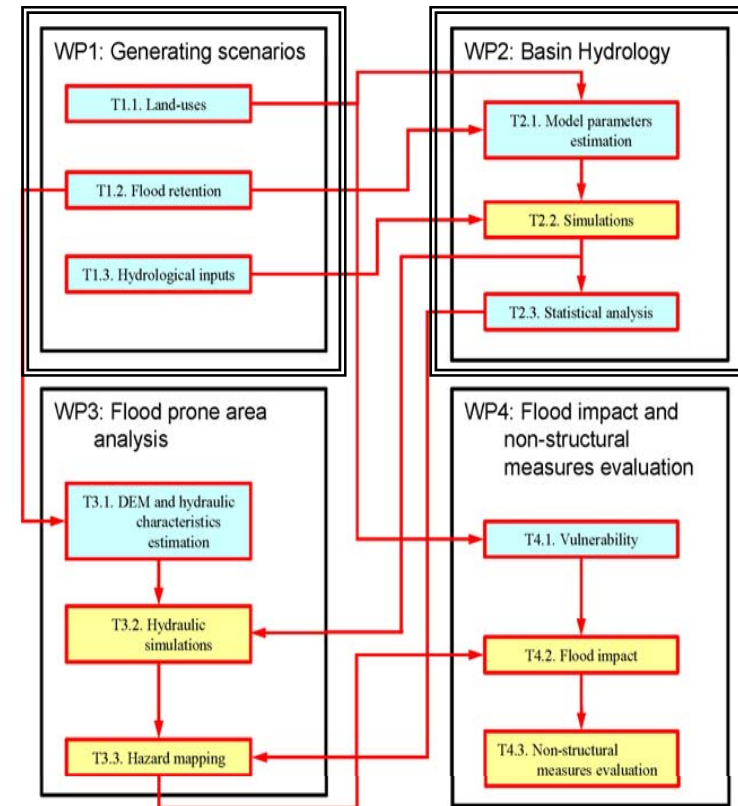


- Eranet CRUE : Efficiency of non-structural flood mitigation measures: “room for the river” and “retaining water in the landscape”

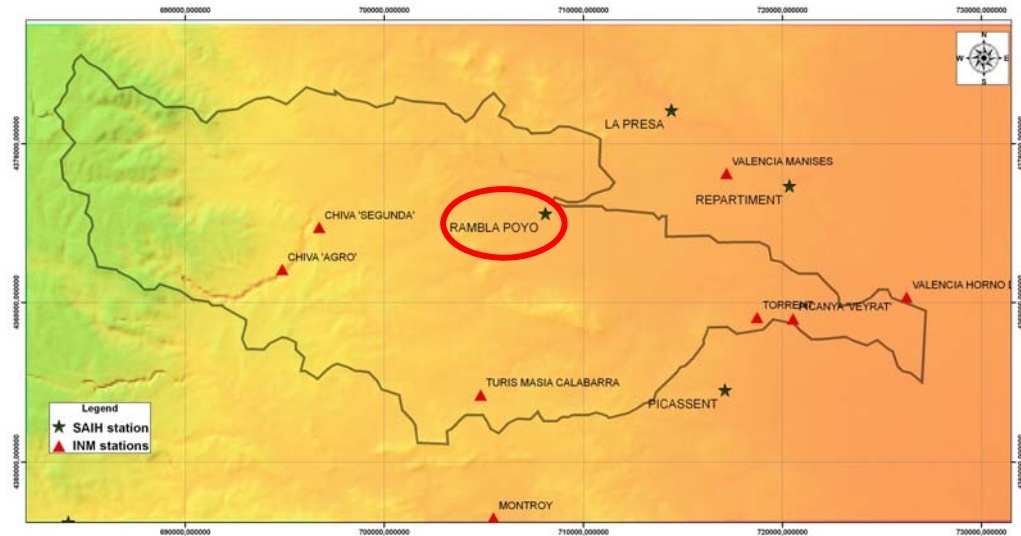
➤ Enfoque multidisciplinar

➤ Fases

- Hidrología
- Generación de escenarios



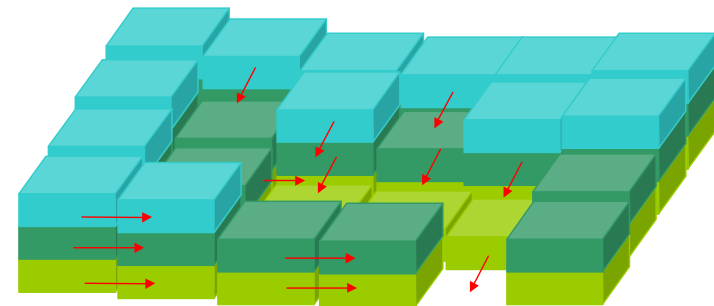
- Estaciones de registro
 - Instituto Nacional de Meteorología (INM) ($\Delta t = 24$ horas)
 - 5 pluviómetros
 - Sistema Automático de Información Hidrológica “SAIH” ($\Delta t = 5$ minutos)
 - 1 pluviógrafo
 - 1 est. aforo



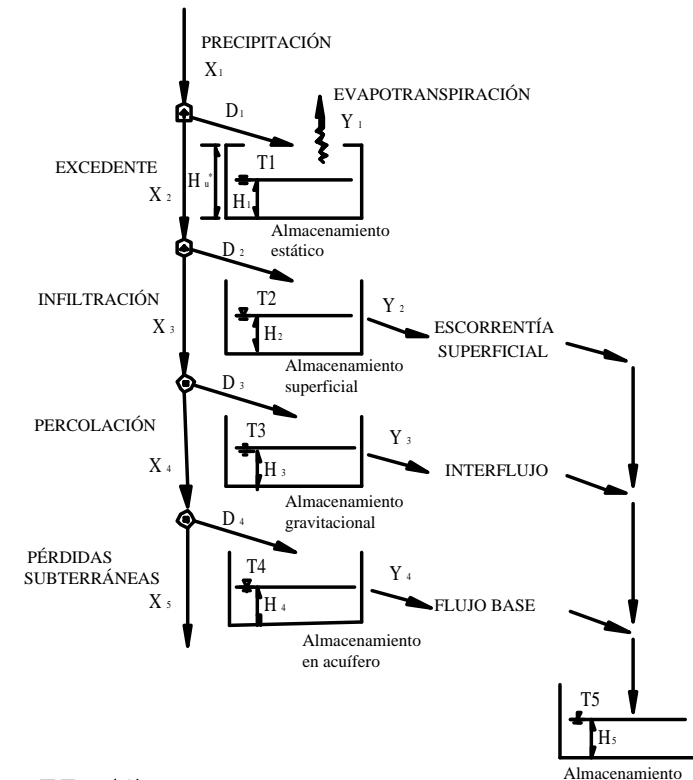
Evento histórico máximo	duración (h)	Ppt Acum (mm)	Q máx (m ³ /s)
Noviembre de 1988	33.3	84	193
Noviembre de 1989	72	181.4	175.6
Enero-Febrero de 1998	220.5	154.2	76.5
Octubre de 2000	83.3	419.2	538.8
Mayo de 2002	123.2	82.5	50.4

El Modelo hidrológico TETIS

- Desarrollado en la UPV desde 1994
- Distribuido en el espacio:
 - Reproduce la variabilidad espacial del Ciclo Hidrológico
 - Reducción del efecto de escala espacial
 - Explotación de toda la información espacio-temporal existente
 - Modelación de propagación separada en laderas y cauces
 - Propagación no lineal en cauces mediante O.C.G. (IAHR Habana 2002)



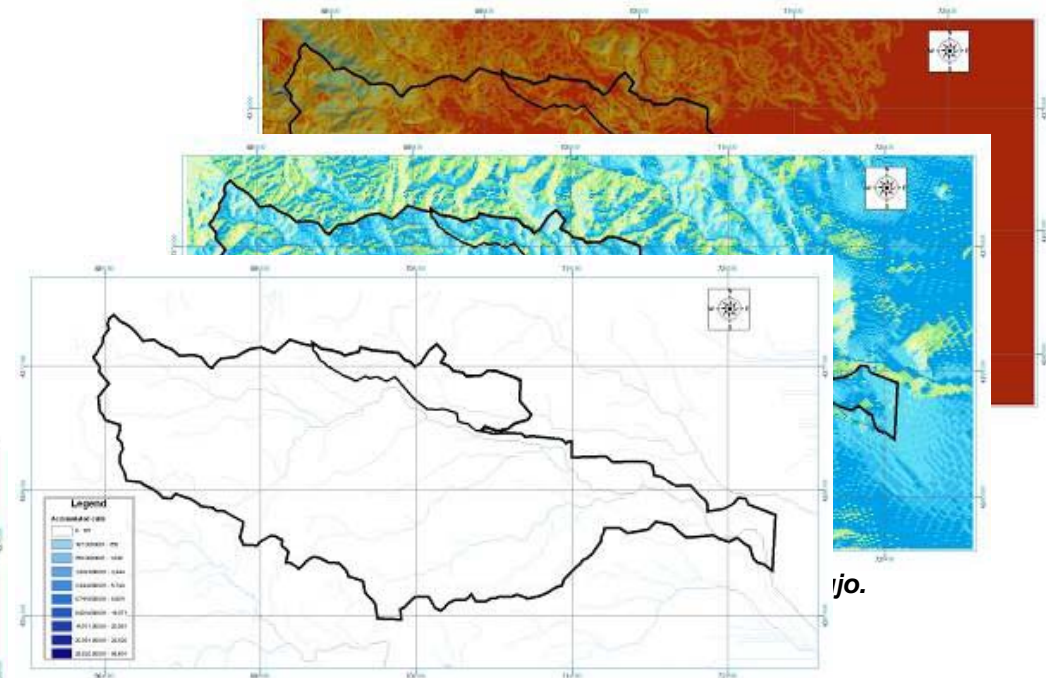
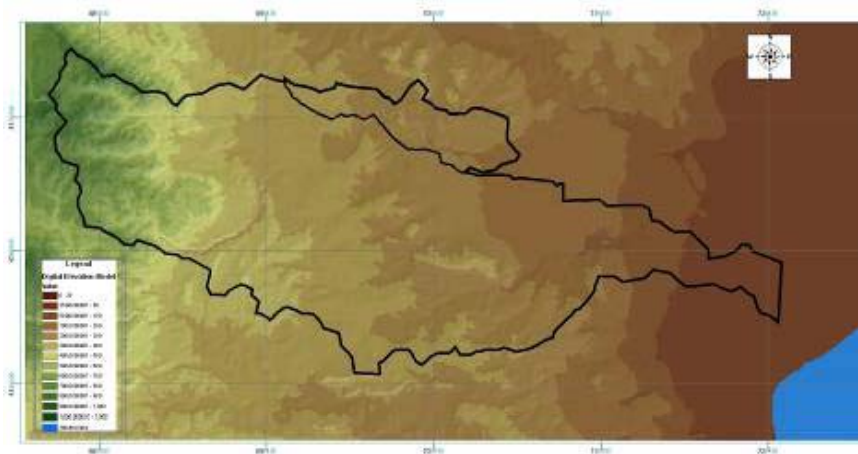
- Modelo Global: incluye el balance en todo momento
 - Simulación adecuada de la humedad inicial
 - 5 variables de estado $H(t)$
 - 4 flujos de salida $Y(t)$
- Problema potencial con parámetros en modelos distribuidos:
 - Calibración de elevado número de parámetros en cada celda a partir de un hidrograma en la salida.
 - Solución: Estructura separada del parámetro efectivo:
 - Primera fase: estimación a partir de información física y ambiental
 - Segunda fase: Factor corrector global



$$H_u(i)$$

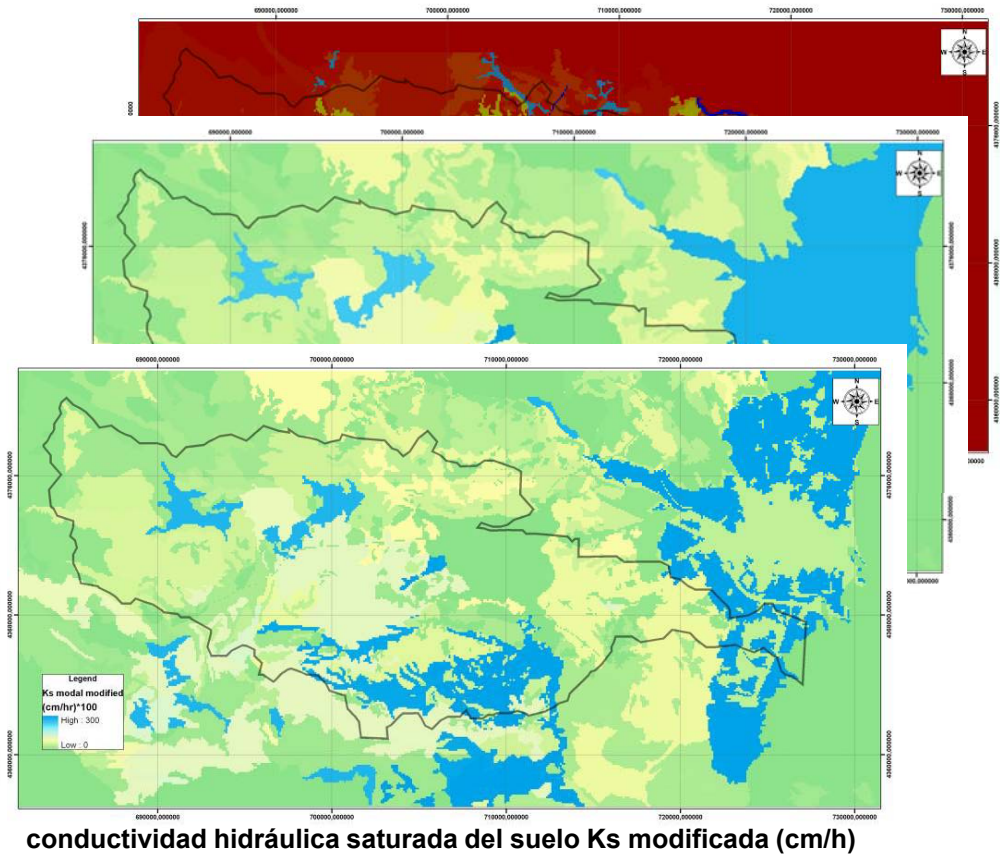
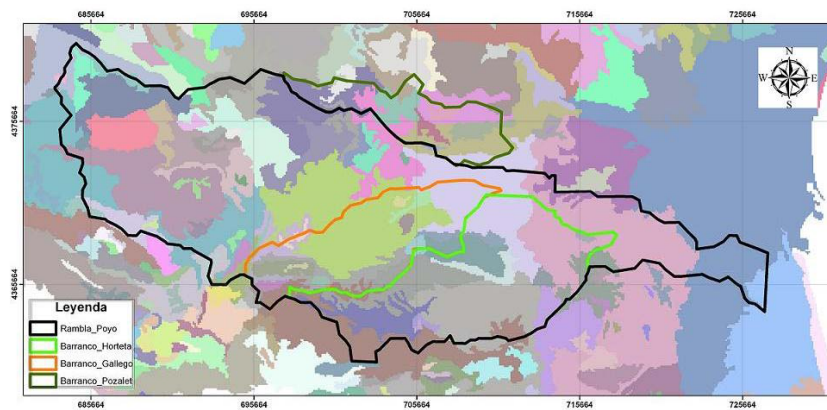
$$H_u(i) \cdot R_1 \rightarrow \text{Calibración}$$

- Desde el Modelo de Elevación Digital
 - 100 m

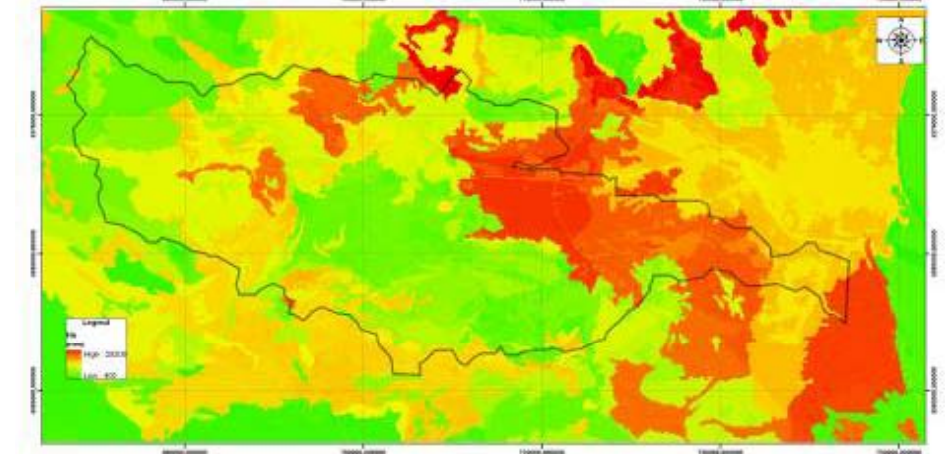
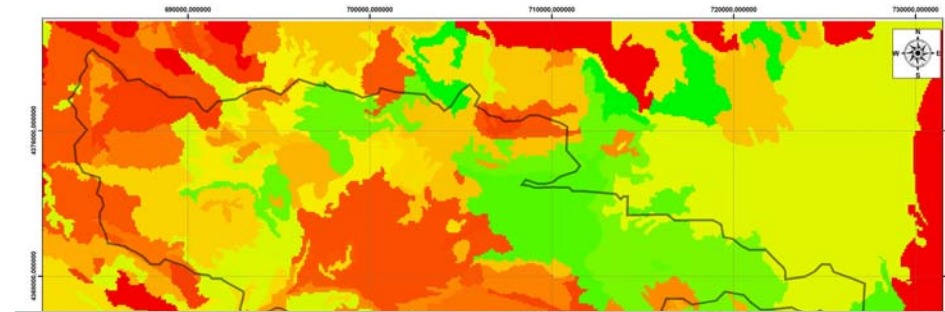
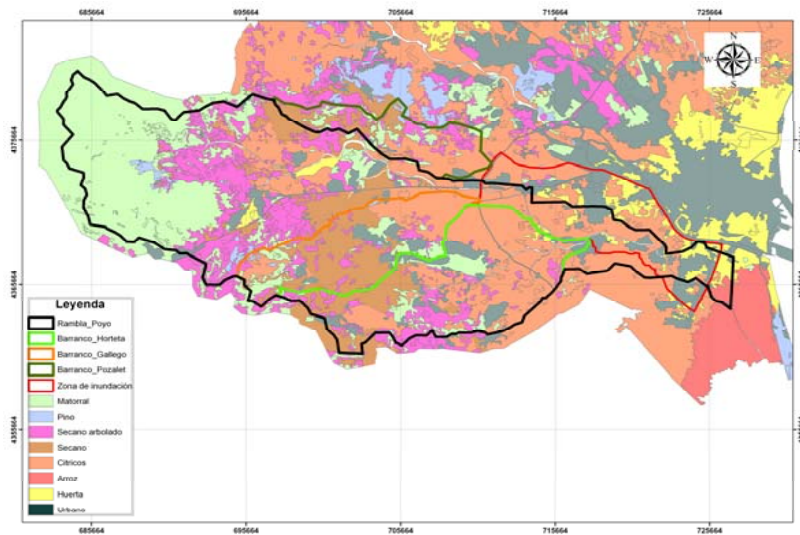


Celdas acumuladas de drenaje

- Desde el mapa de perfiles del suelo
 - Unidades Hidrológicas de respuesta (HRUs)
 - Valores modales



- Desde el mapa de usos del suelo



Capacidad máxima de almacenamiento estático del suelo H_u (mm)

■ Parámetros geomorfológicos

- Conceptualización traslación escorrentía: Onda Cinemática Geomorfológica, Vélez, J.I. Tesis Doctoral (2001)

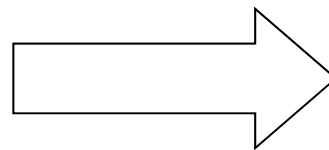
$$\Lambda = \kappa \cdot Q_b^\varphi$$

$$w_b = a_1 \cdot Q_b^{\alpha 1}$$

$$w = Q^{\alpha 2}$$

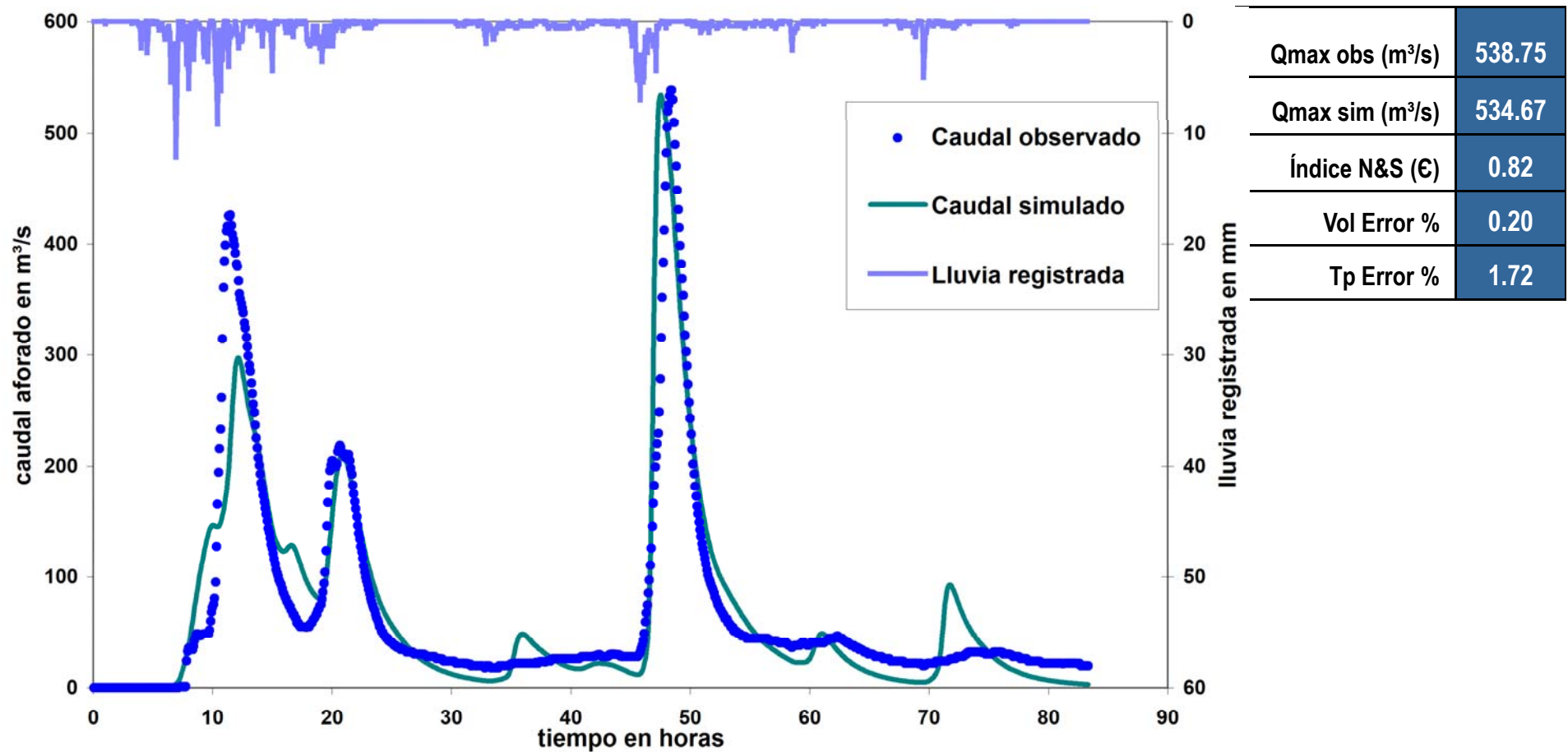
$$d = c_d \cdot (ys_o)^\theta$$

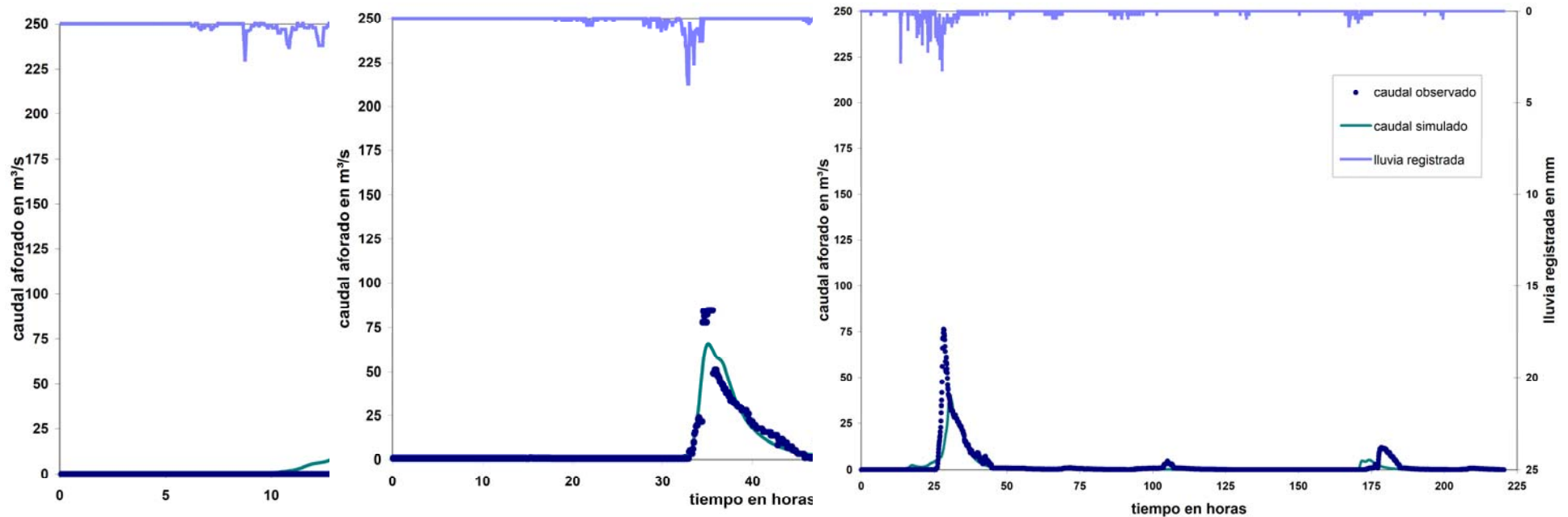
$$n = c_n \cdot d^\xi$$



κ	0.600
a_1	3.260
c_d	20.000
c_n	0.047
φ	0.750
$\alpha 1$	0.500
$\alpha 2$	0.200
θ	1.250
ξ	0.167

- Automática: SCE-UA acoplada en TETIS (Vélez, J.J. y Francés, F., 2004)



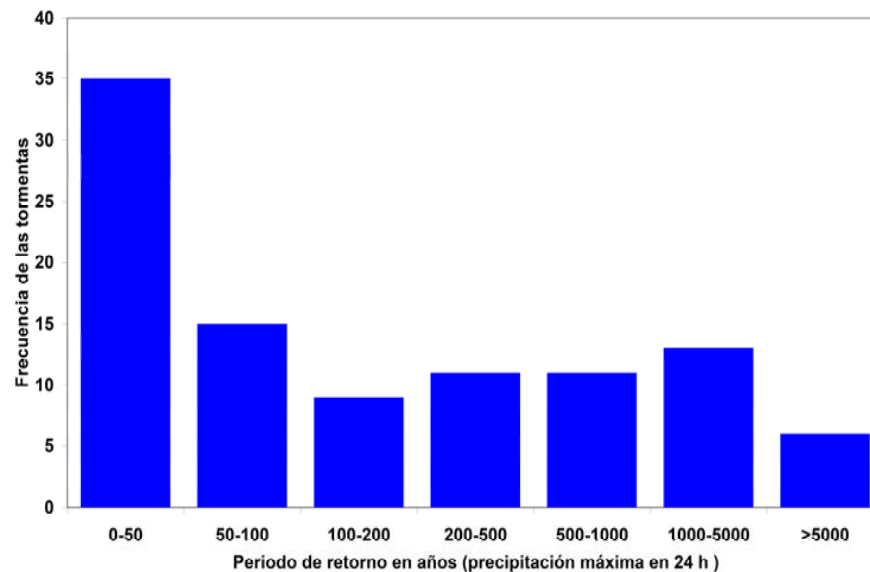


Noviembre 1988	
Qmax obs (m³/s)	193.02
Qmax sim (m³/s)	139.48
Índice N&S (€)	0.68
Vol Error %	-74.40
Tp Error %	-3.19

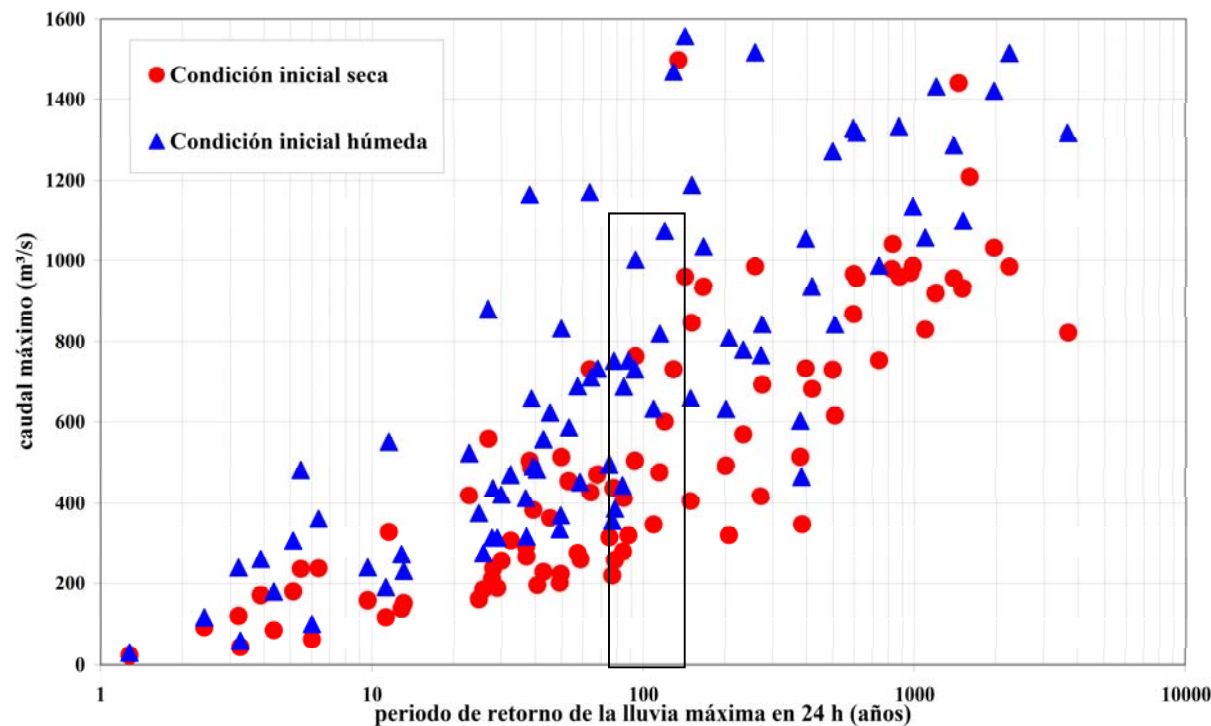
Noviembre 1989	
Qmax obs (m³/s)	175.61
Qmax sim (m³/s)	152.77
Índice N&S (€)	0.44
Vol Error %	-1.77
Tp Error %	-2.22

Enero-Febrero 1998	
Qmax obs (m³/s)	76.54
Qmax sim (m³/s)	39.81
Índice N&S (€)	0.58
Vol Error %	28.22
Tp Error %	-7.97

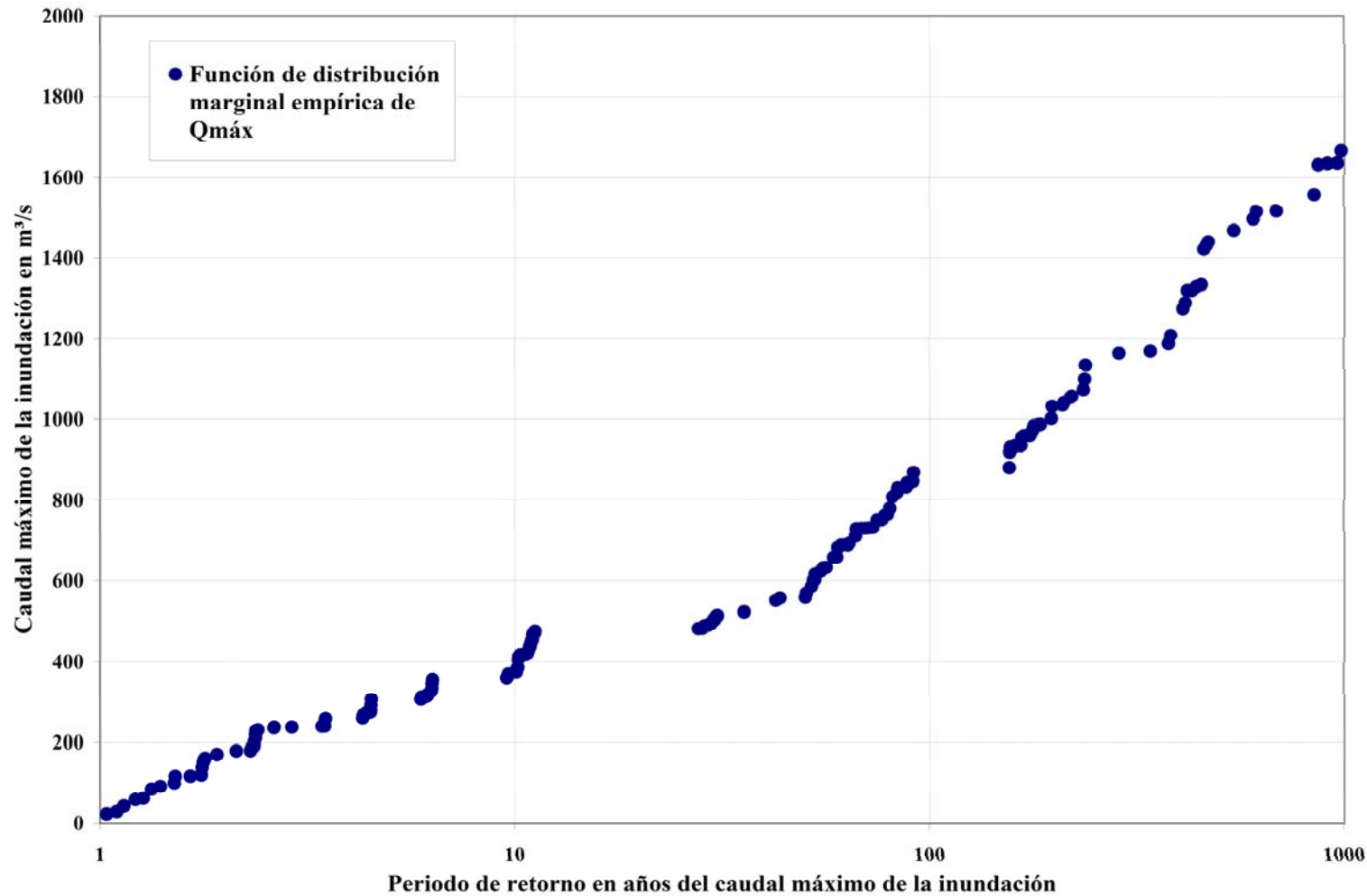
- Variabilidad espacio-temporal de las tormentas convectivas
 - 100 tormentas sintéticas generadas con el modelo RAINGEN-UPV (Salsón y García Bartual, *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 2003)
- Influencia del estado inicial de la cuenca en la producción de escorrentía
 - Simulación continua (52 años) T°, P(13 est), Q(1 est)
 - 10 % almacenamiento estático del suelo con una probabilidad de presentación de 0.4
 - 70 % almacenamiento estático del suelo con una probabilidad de presentación de 0.6



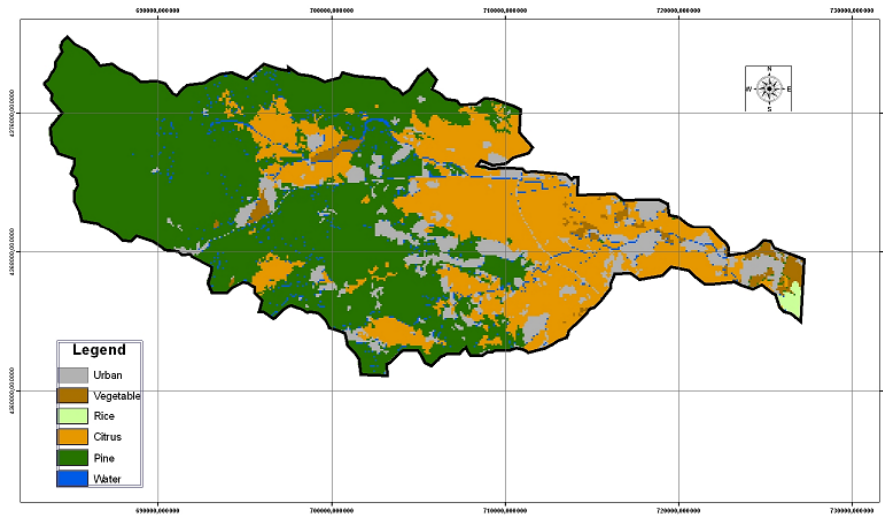
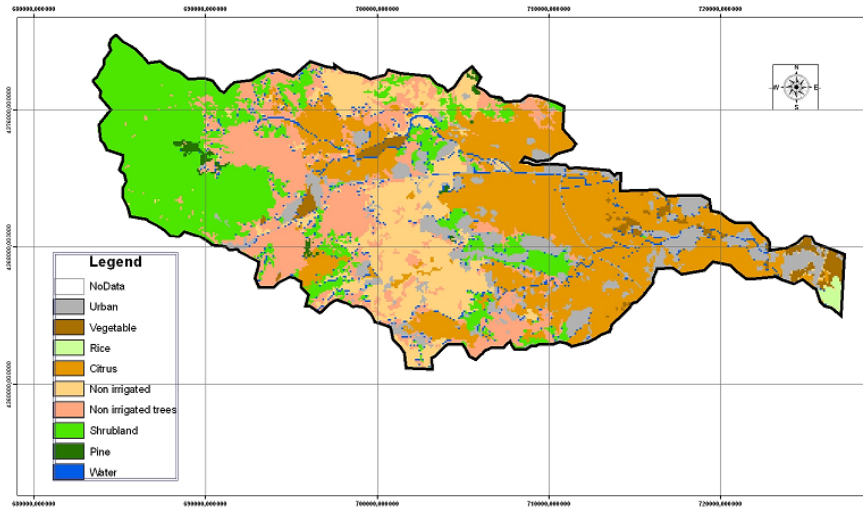
- Caudal máximo de la inundación depende altamente de:
 - Estado de humedad inicial del suelo
 - Variación espacio-temporal de la lluvia



- $Q_{max} < Est. Seco$
- Para T_r similares diferentes Q_{max}



Función de distribución marginal empírica para el escenario actual



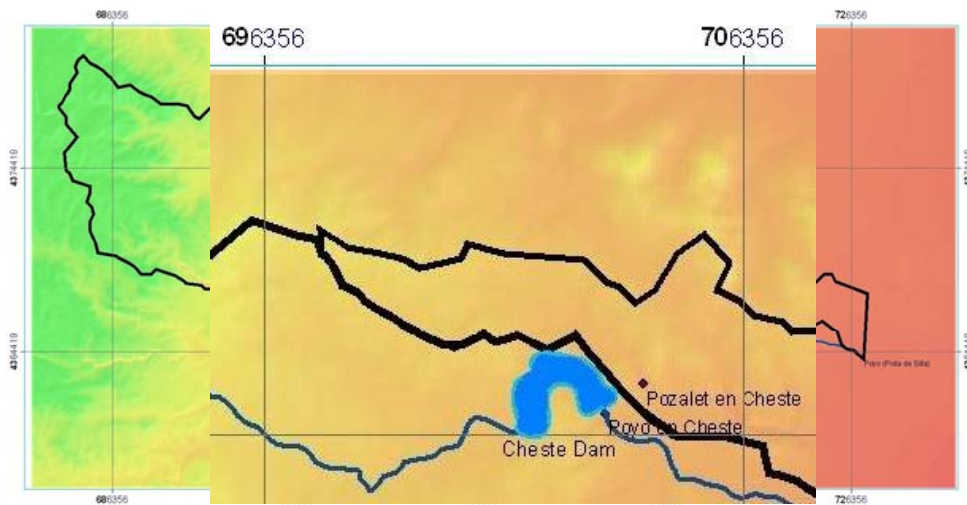
Uso del suelo	Área (Km ²)	% Cuenca
Urbano	43.51	10.31%
Huerta	9.07	2.15%
Arroz	1.8	0.43%
Cítricos	121.08	28.68%
Secano	58.89	13.95%
Secano arbolado	73.65	17.45%
Matorral	99.33	23.53%
Pino	2.66	0.63%
Cuerpos de agua	12.18	2.89%

Producción escorrentía



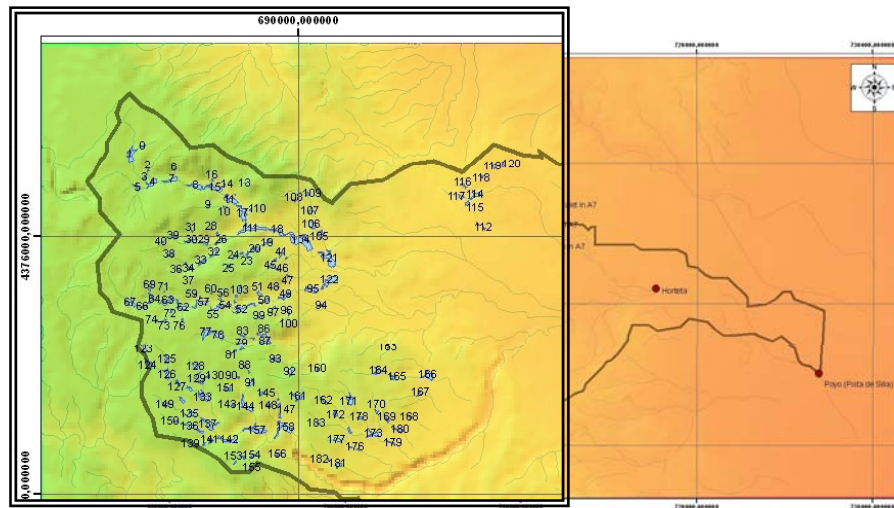
De... a Pino	Retención promedio areal (mm)	Área reforestada (%)	Área reforestada (km ²)
Tres usos	6	55%	212.8
Matorral	5	24%	94.6
Secano	4	13%	50.8
Secano arbolado	3	17%	67.3

- Embalse único
 - Propagación escorrentía



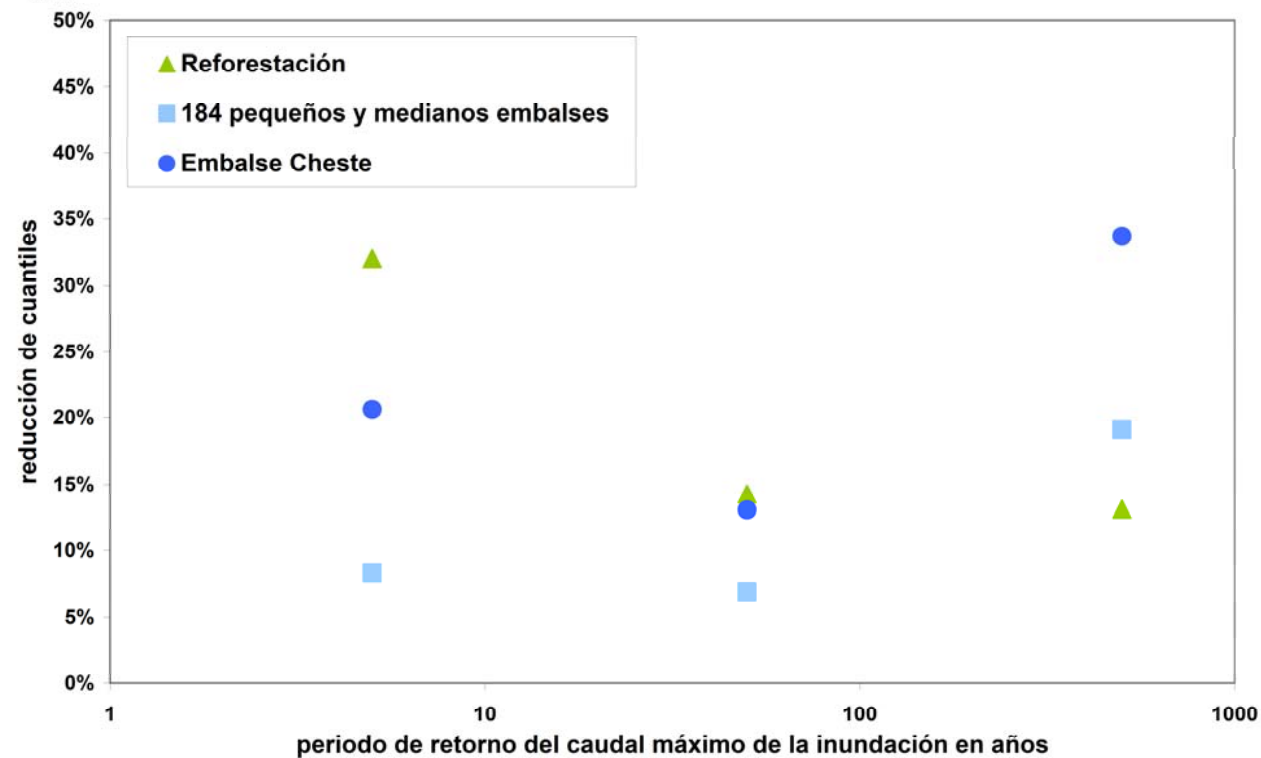
ESCENARIOS	volumen de retención (m ³)	Retención promedio areal (mm)
Embalse CHESTE	15,770,579	41
Embalse CHESTE 33	12,748,698	33
Embalse CHESTE 20	7,594,991	20
Embalse CHESTE 11	4,120,021	11
Embalse CHESTE 6	2,343,693	6
Embalse CHESTE 5	2,030,357	5
Embalse CHESTE 3	1,107,213	3

- Pequeños y medianos embalses
 - Propagación escorrentía

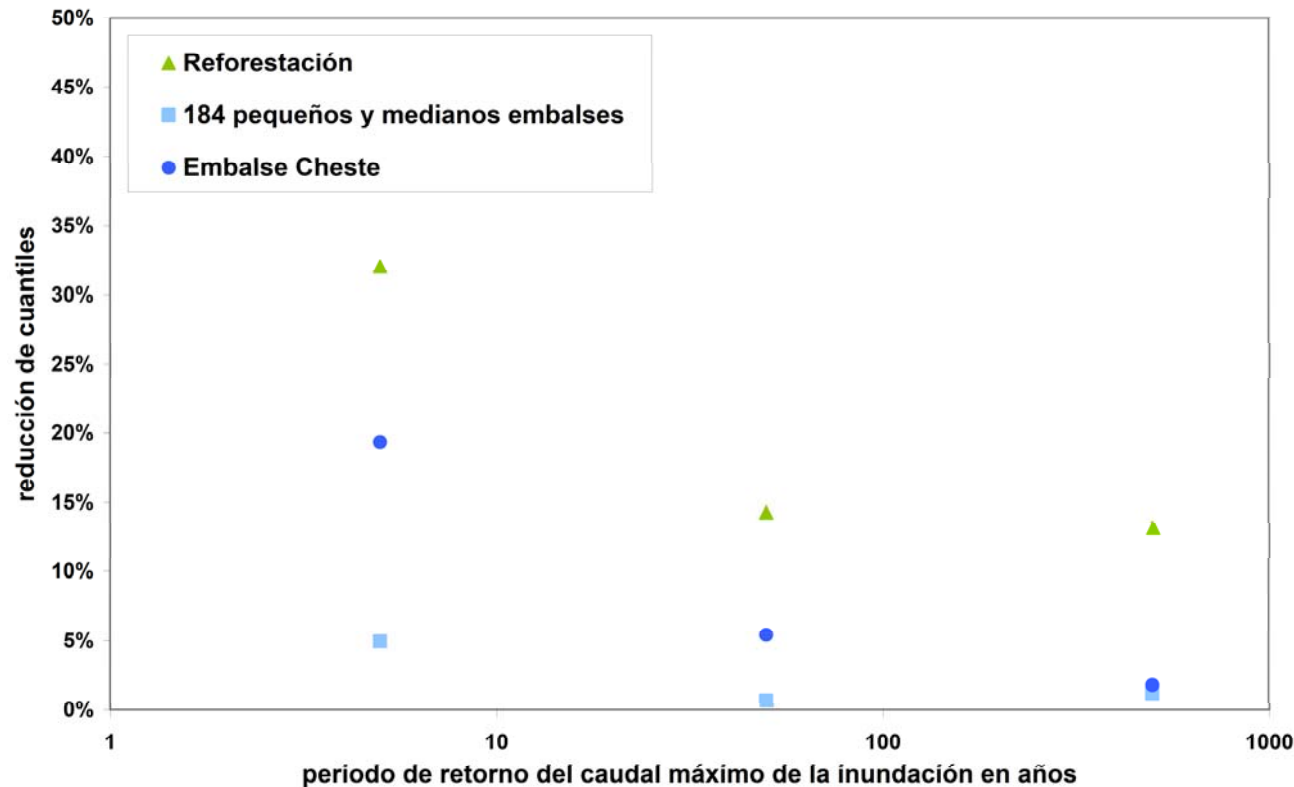


# pequeños y medianos embalses	Volumen de retención (m³)	Retención promedio areal (mm)
184	15,870,783	41
138	12,945,351	33
92	7,267,197	19
46	4,326,074	11
16a	2,334,000	6
16	1,945,000	5
11	1,167,000	3

- Función de distribución marginal empírica para escenarios máximos
 - Comparación “injusta” : Diferentes capacidades de retención promedio areal



- Función de distribución marginal empírica para escenarios con similar capacidad de retención promedio areal (6 mm a la salida de la cuenca)
 - Comparación “justa”



- El caudal máximo depende altamente de la variabilidad espacio-temporal de la lluvia y del estado de humedad del suelo al inicio del evento extremo.
- Importancia del volumen de retención: Los resultados indican que la eficiencia de cada medida de mitigación adoptada depende altamente de la relación entre el aumento en la capacidad de retención en el territorio y la magnitud de la inundación
 - Para similar capacidad de retención, la mejor medida de mitigación de la inundación es la reforestación.
- Una decisión sobre que medida de mitigación escoger deberá ajustarse a un plan integral de gestión y manejo de inundaciones que involucre enfoques multicriterio.