



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente



# Modelación hidrológica distribuida en cuencas de alta montaña utilizando el modelo TETIS.

I. Orozco, F. Francés, J. López y M.I. Barrios

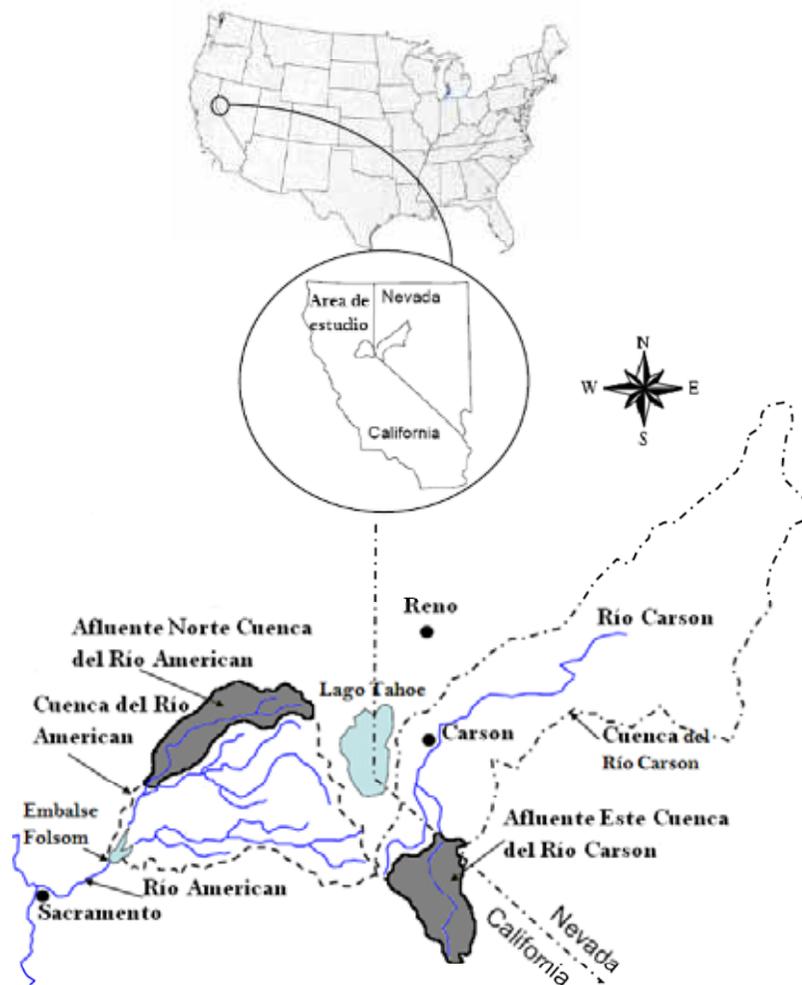
Universidad Politécnica de Valencia  
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente  
Grupo de Investigación de Hidráulica e Hidrología

<http://luvia.dihma.upv.es>

- Introducción
  - Objetivo
  - Importancia de modelar la fusión de nieve
- Proyecto DMIP
- Casos de estudio
- Conceptualización del modelo TETIS
- Implementación del modelo
  - Información, inputs y parámetros de entrada
  - Metodología y resultados de calibración
  - Resultados de validación
- Conclusiones

- Objetivo
  - El objetivo del presente artículo es mostrar la implementación del modelo hidrológico distribuido TETIS y su módulo de fusión de nieve, en las cuencas de alta montaña American y Carson EE. UU., para su evaluación dentro del Proyecto Comparación de Modelos Distribuidos fase II (DMIP2 por sus siglas en inglés) para la predicción de crecidas
  
- Importancia de modelar la fusión de nieve
  - Crecidas por fusión o mixtas (fusión y lluvia)
  - Recurso hídrico
  - Energético
  - Recurso deportivo

- Proyecto Comparación de Modelos Distribuidos (DMIP)
  - NOAA/NWS (2000)
  - DMIP
    - a) DMIP1
      - Río Illinois, Blue, Elk (Oklahoma, Arkansas y Missouri en EE. UU.)
    - b) DMIP2
      - Río Illinois, Blue, Elk
      - Río American y Carson (Sierra Nevada en EE. UU.)
- Interés por participar en el DMIP2
  - Usar la información y comparar el modelo TETIS frente a otros modelos distribuidos
  - Analizar el funcionamiento del módulo de fusión de nieve
  - Participar en las reuniones que organiza la NOAA/NWS

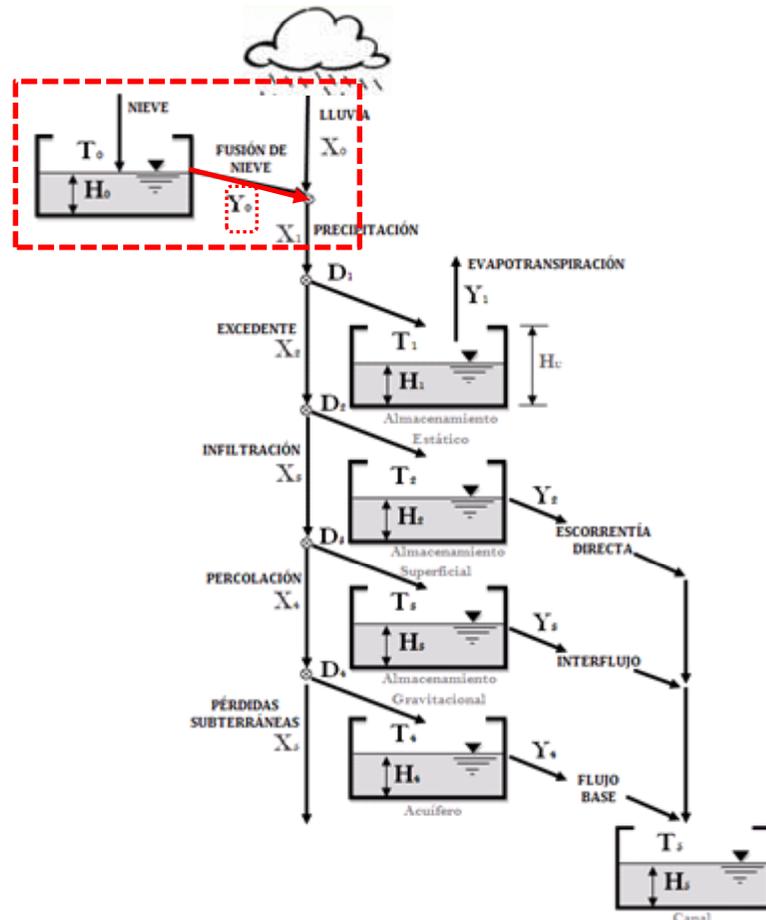


## ■ Río American

- Área: 886 km<sup>2</sup>
- Precipitación media: 813-1651 mm
- Temperatura media: 3-18 °C
- Rocas volcánicas y granodioritas
- Franco y franco-arenoso
- Bosque y pastizales

## ■ Río Carson

- Área: 922 km<sup>2</sup>
- Precipitación media: 560-1244 mm
- Temperatura media: 0-14 °C
- Rocas metasedimentarias y granodioritas
- Franco-arcilloso y franco arenoso
- Bosques, arbustos y pastizales



- Esquema de tanques

- Método grado-día

- Precipitación:  $T_c = T_b; (0^\circ C - 2^\circ C)$ 
  - Nieve:  $T < T_b (T_0)$
  - Lluvia:  $T \geq T_b (X_1)$

- Fusión y acumulación de nieve

$$Y_0 = \left\{ \begin{array}{l} M_f (T - T_b); \text{ si } (T \geq T_b) \\ 0; \text{ si } (T < T_b) \end{array} \right\}$$

$$M_f \left\{ \begin{array}{l} M_{f_1}; (\text{sin\_lluvia}) \\ M_{f_2}; (\text{con\_lluvia}) \end{array} \right.$$

- Distribución espacial

- Altura equivalente de agua
- Inverso de la distancia al cuadrado

## ■ Información, inputs y parámetros de entrada

### ➤ Escala

- Temporal: horaria
- Espacial: 400 m

### ➤ Inputs

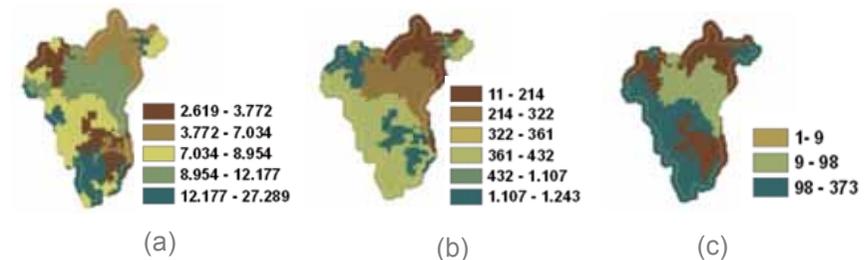
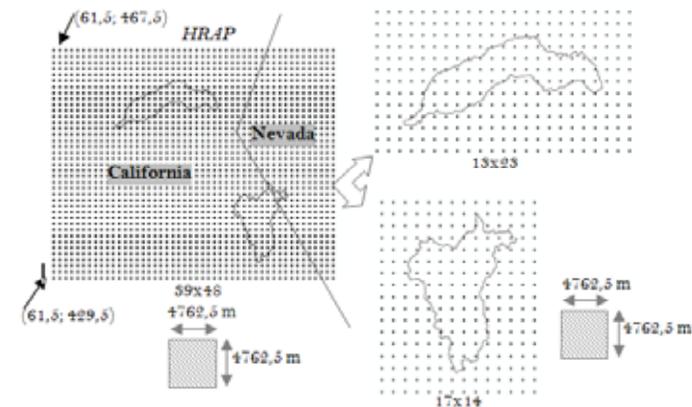
- Precipitación
- Temperaturas
- Evapotranspiración potencial
- SWE

### ➤ Mapas de parámetros

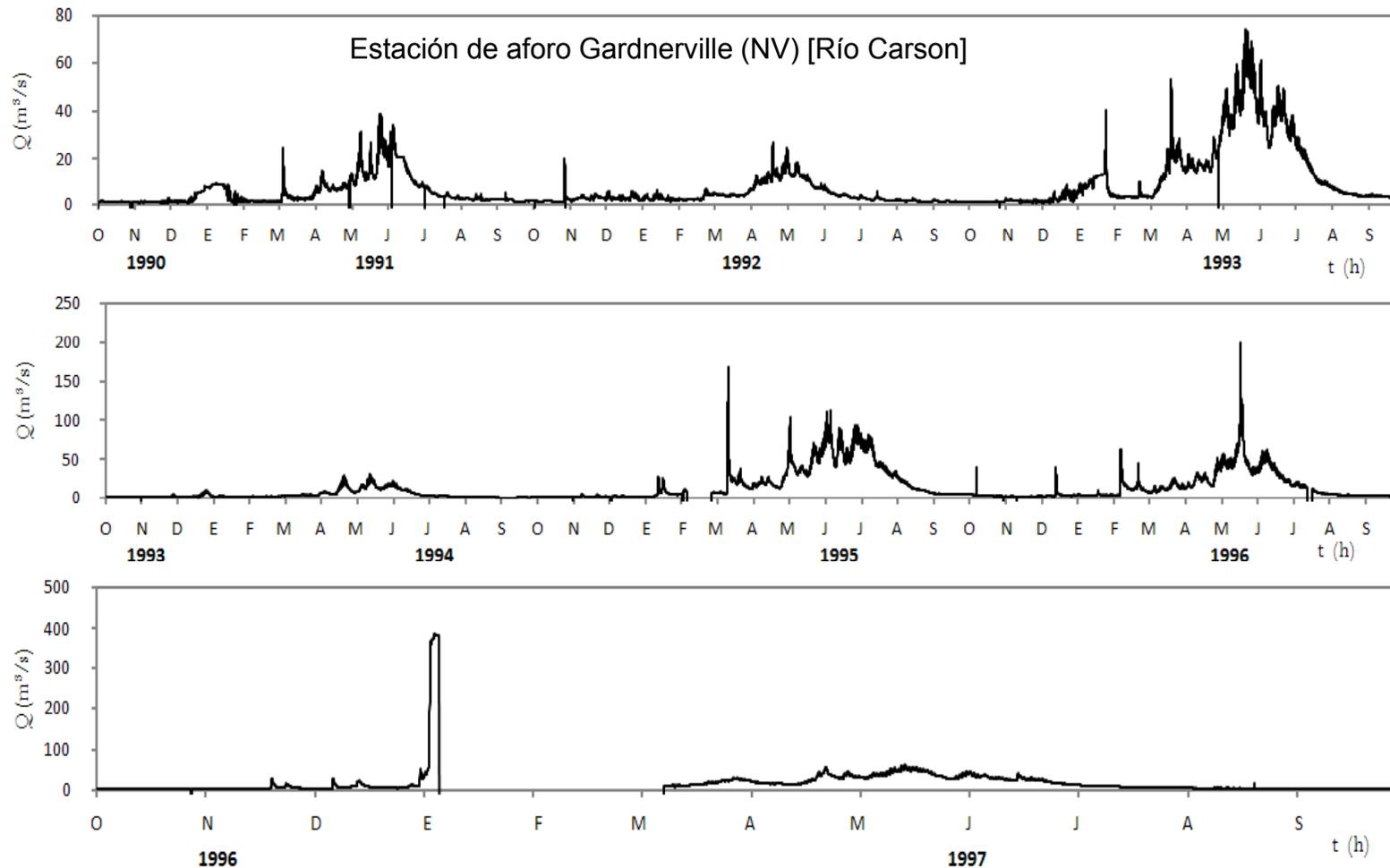
- $H_u$  (a),  $K_s$  (b) y  $K_p$  (c)

### ➤ Mapas de entrada

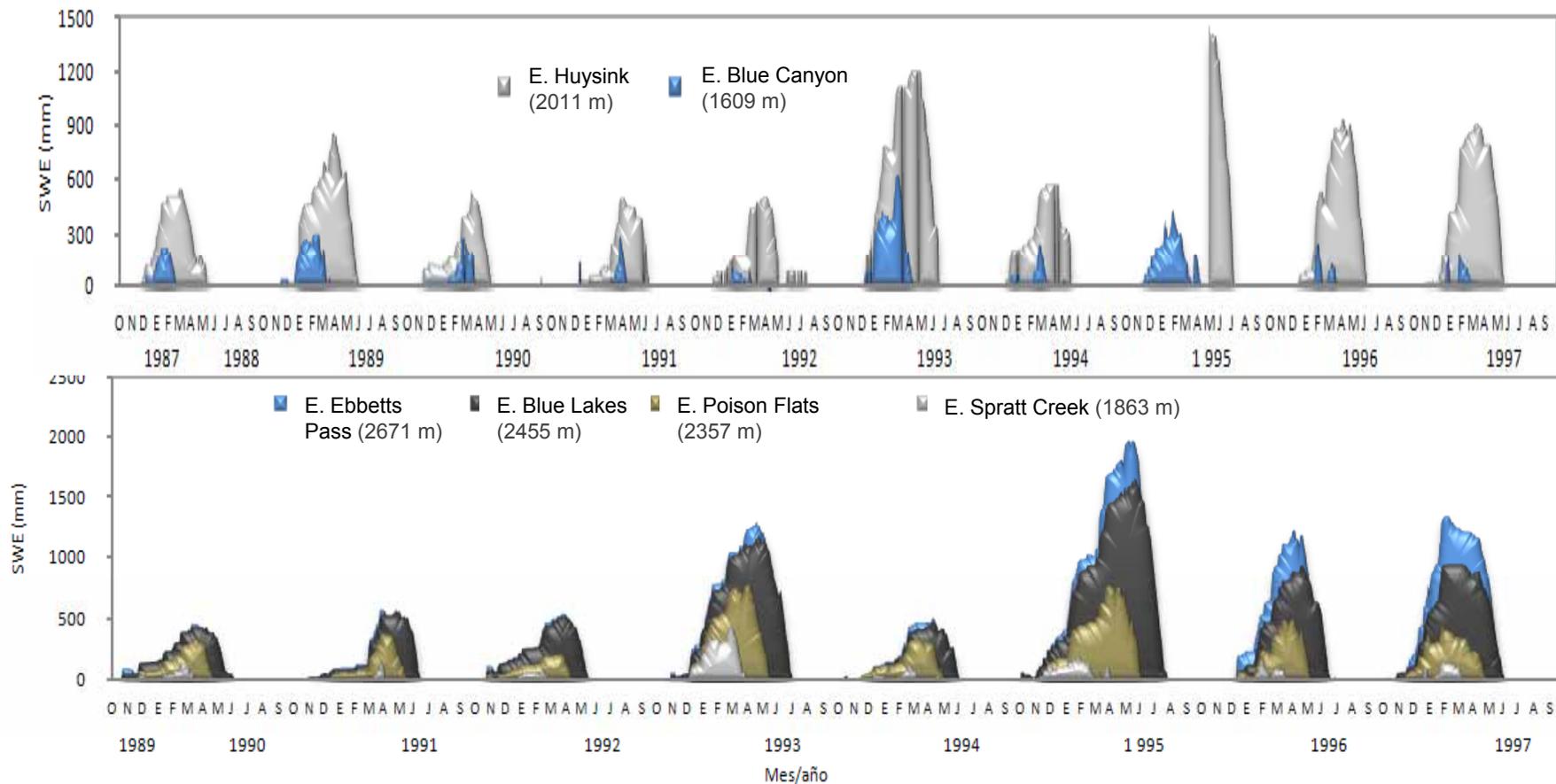
- DEM: pendientes, direcciones de flujo, y acumulación de flujo



## ■ Distribución temporal de caudales



## ■ Distribución temporal de SWE en las estaciones SNOTEL



## ■ Calibración del modelo TETIS

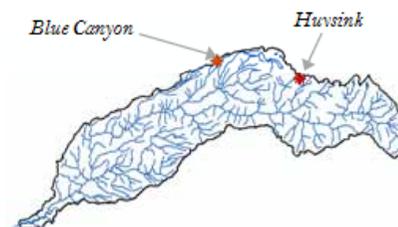
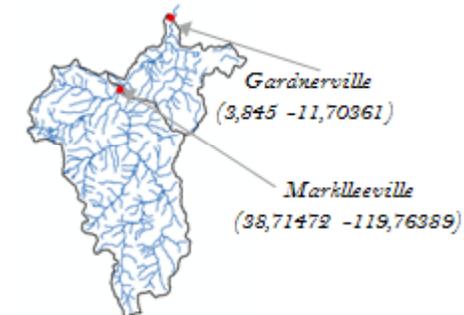
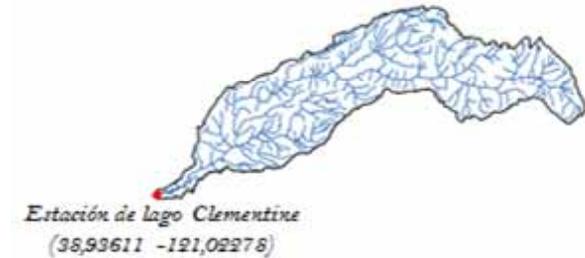
- Calentamiento
  - Cuatro variables de estado inicial
- Calibración automática (SCE-UA)
  - Nueve parámetros ( $FC_s$ )

➤ Nash y Sutcliffe 
$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{t,sim} - Q_{t,obs})^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{t,obs} - \bar{Q})^2}$$

## ■ Calibración del módulo de fusión

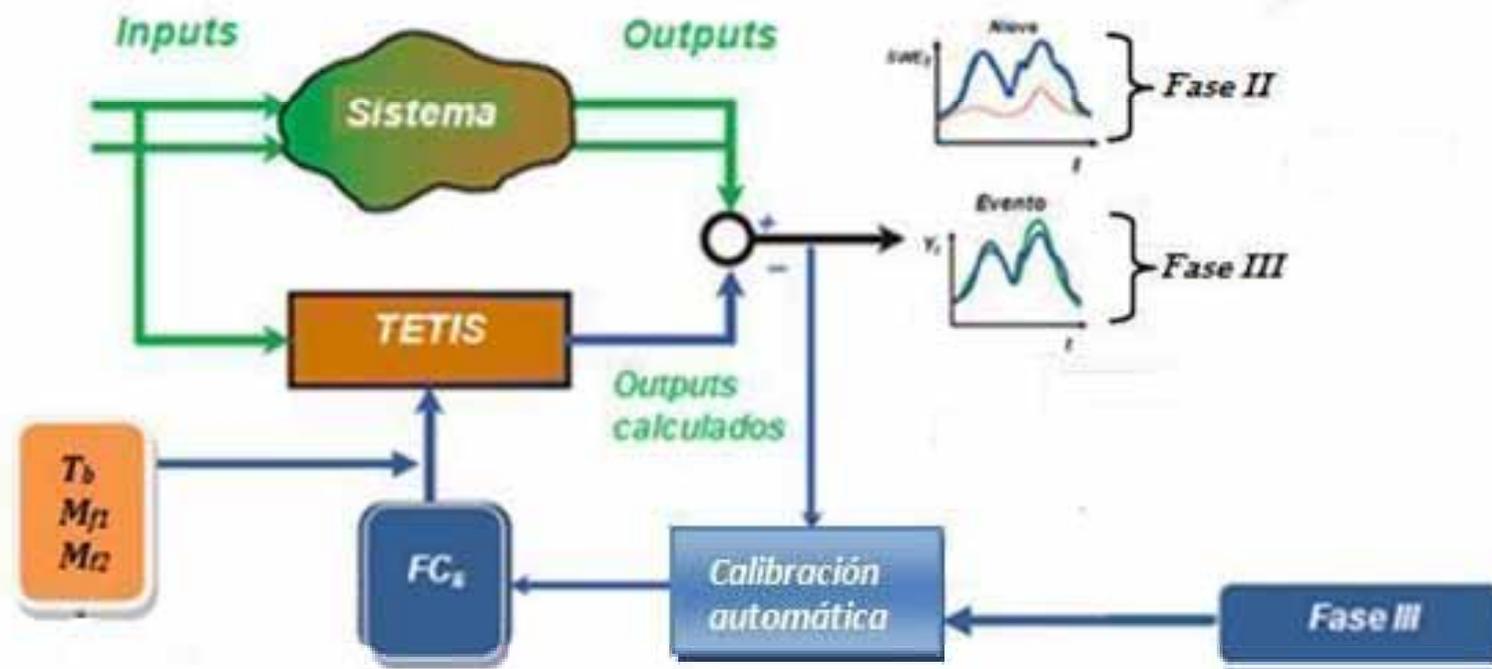
- Calibración manual (SWE)
  - $T_b$
  - $M_{f1}$
  - $M_{f2}$

- Nash y Sutcliffe



## ■ Metodología de calibración

- Fase I
  - SWE=0
- Fase II
  - SWE≠0
  - $M_{f1}$ ,  $M_{f2}$  y  $T_b$
- Fase III
  - Tres episodios



## ■ Resultados de calibración

### ➤ Fase I (automática)

- Episodio de primavera (20/mayo-31/julio/90)
- NSE=0.92
- Rango de los  $FC_s$

### ➤ Fase II (manual)

- Tres episodios con SWE (alta, media y baja)

#### • Carson

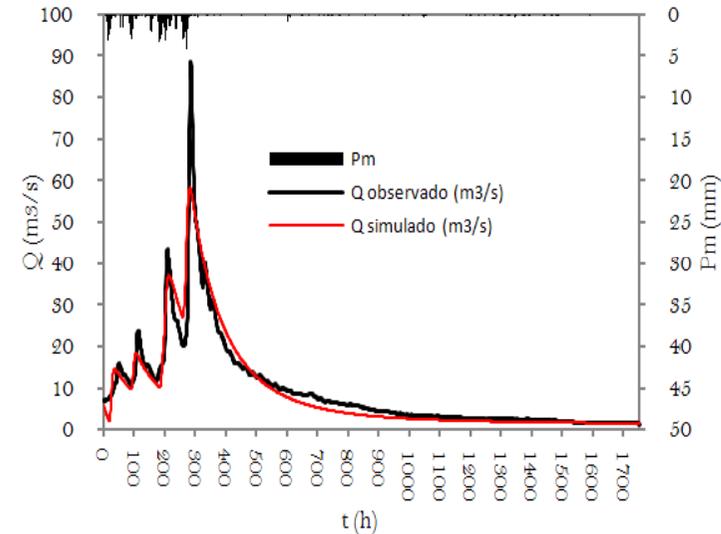
( $T_b=2.5$ ,  $M_{f1}=2.6$  y  $M_{f2}=3.8$ )

(NSE = <0-0.92)

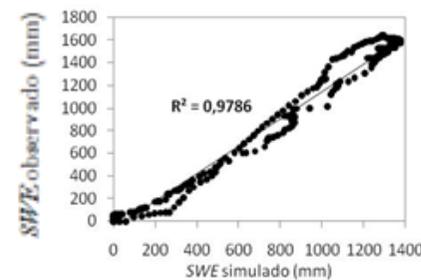
#### • American

( $T_b=2.8$ ,  $M_{f1}=2.7$  y  $M_{f2}=5.0$ )

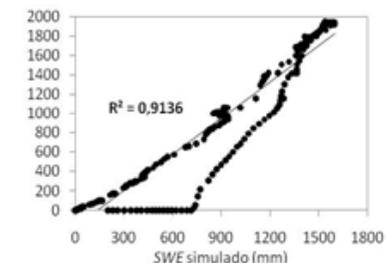
(NSE = <0-0.86)



01/oct/1994-31/jul/1995 (Alta)



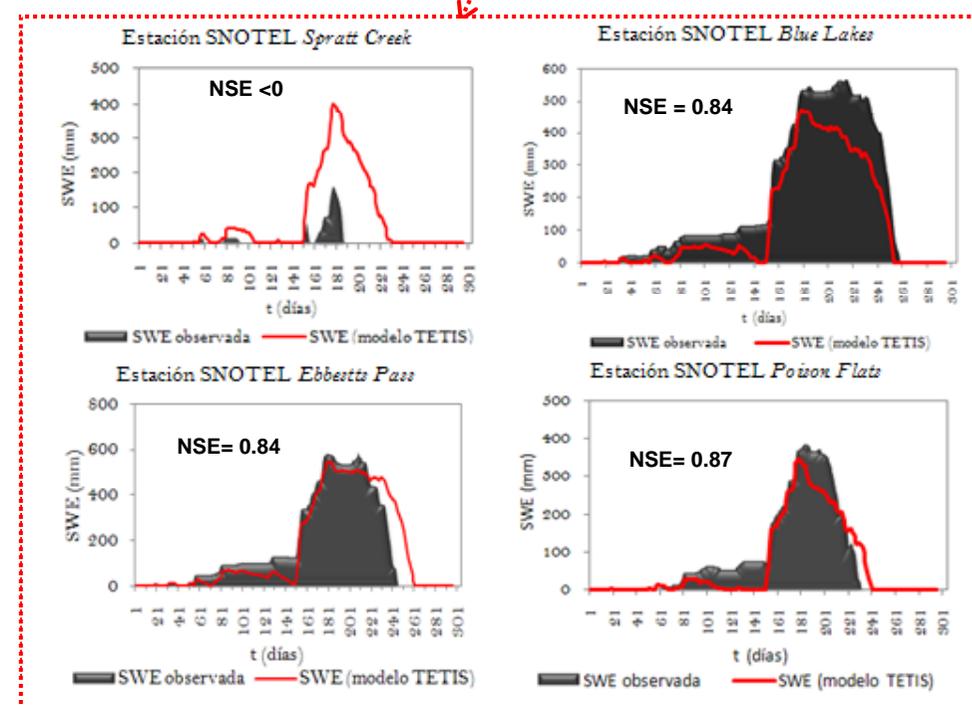
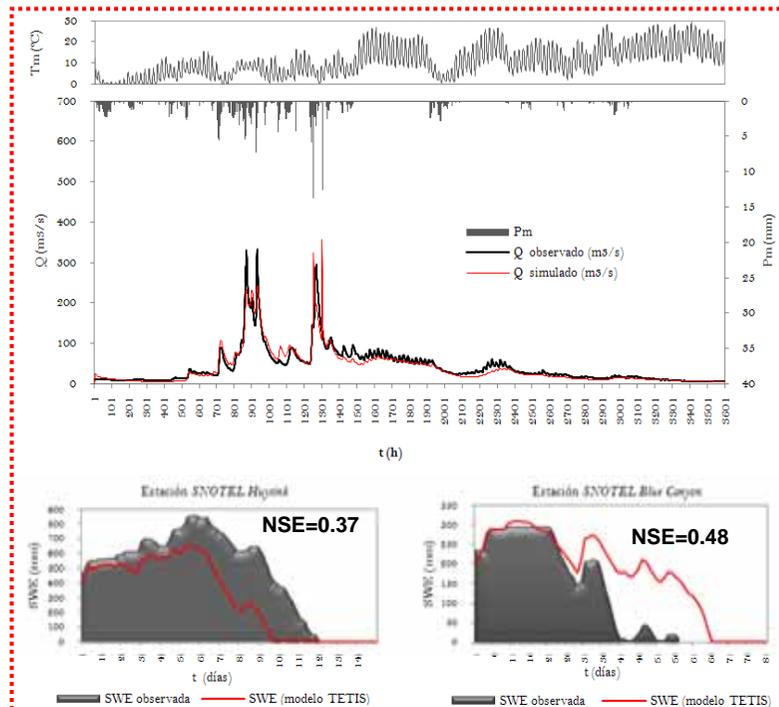
Estación SNOTEL Blue Lakes  
(NSE=0,92)



Estación SNOTEL Ebbetts Pass  
(NSE=0,87)

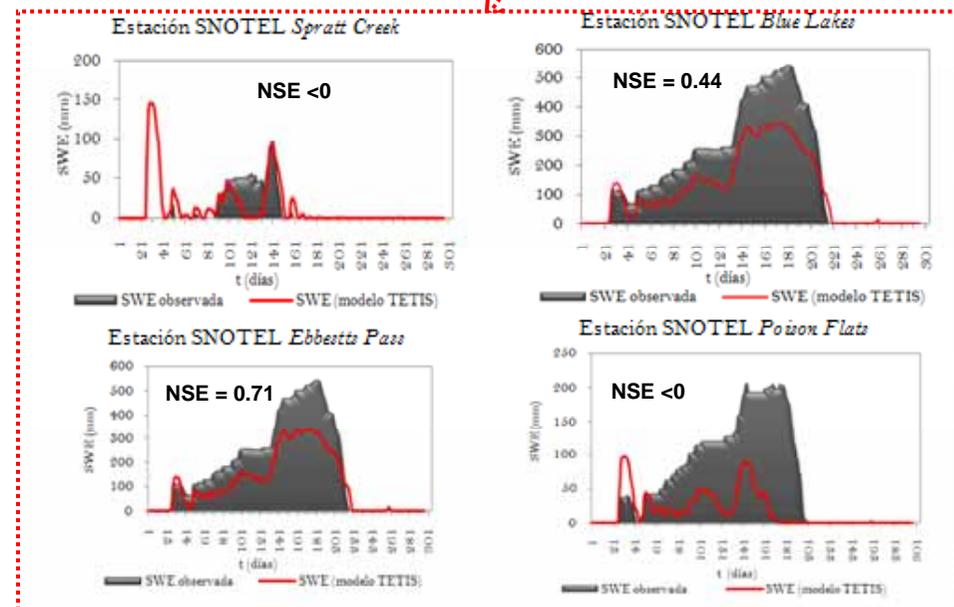
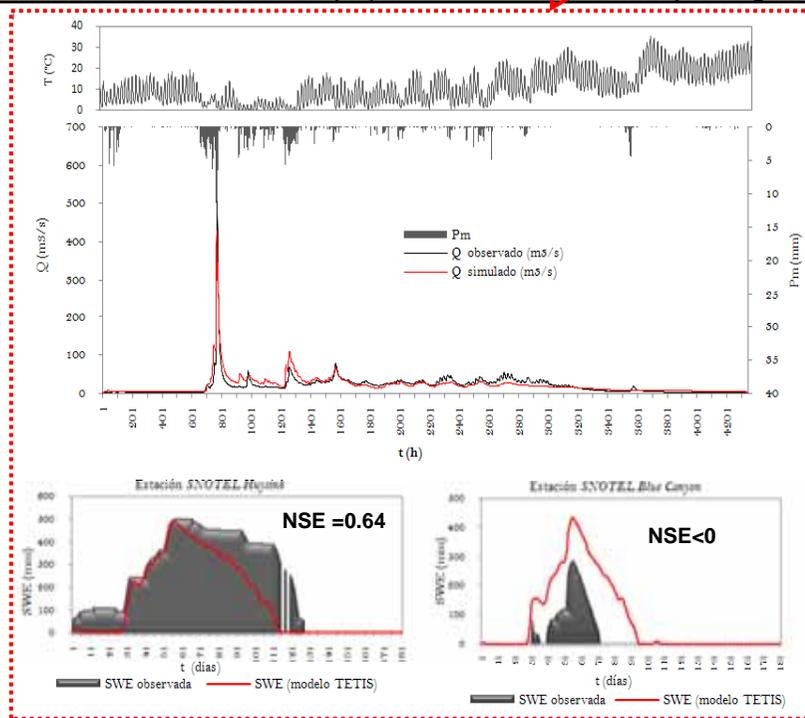
## ➤ Fase III (automática)

Cuenca	No. Episodio	Calentamiento	Calibración	NSE
American	Episodio I	01/dic/1988-01/feb/1989	01/feb/1989-30/jun/1989	0.8775
	Episodio II	01/nov/1990-01/feb/1991	01/feb/1991-31/jul/1991	0.8373
	Episodio III	01/ago/1992-01/nov/1992	01/nov/1992-31/jul/1993	0.8475
Carson	Episodio I	01/ago/1990-01/oct/1990	01/oct/1990-31/jul/1991	0.8139
	Episodio II	01/ago/1991-01/oct/1991	01/oct/1991-31/jul/1992	0.7323
	Episodio III	01/ago/1992-01/oct/1992	01/oct/1992-31/jul/1993	0.8443



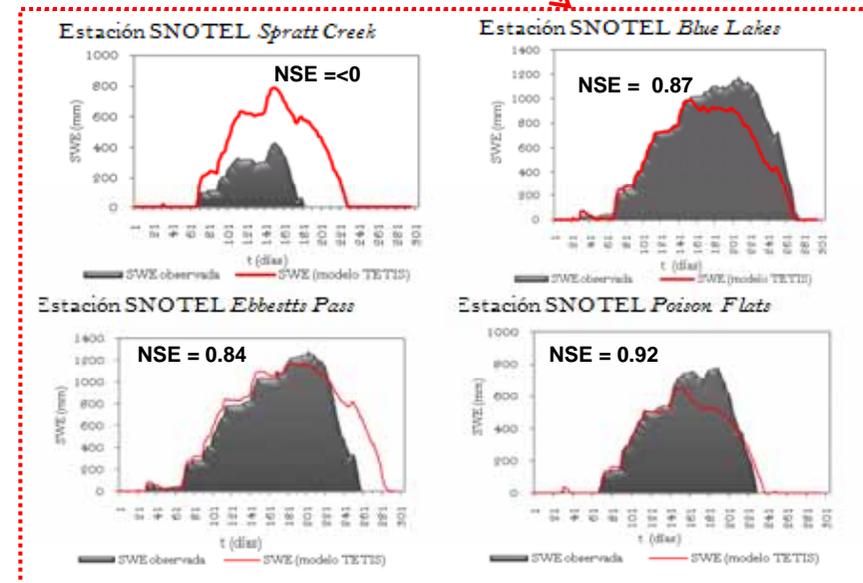
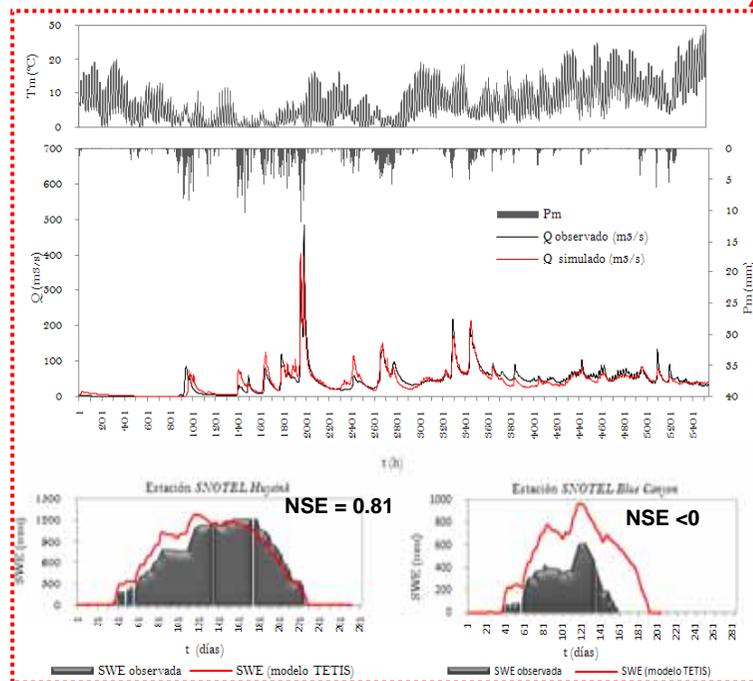
## ➤ Fase III (automática)

Cuenca	No. Episodio	Calentamiento	Calibración	NSE
American	Episodio I	01/dic/1988-01/feb/1989	01/feb/1989-30/jun/1989	0.8775
	Episodio II	01/nov/1990-01/feb/1991	01/feb/1991-31/jul/1991	0.8373
	Episodio III	01/ago/1992-01/nov/1992	01/nov/1992-31/jul/1993	0.8475
Carson	Episodio I	01/ago/1990-01/oct/1990	01/oct/1990-31/jul/1991	0.8139
	Episodio II	01/ago/1991-01/oct/1991	01/oct/1991-31/jul/1992	0.7323
	Episodio III	01/ago/1992-01/oct/1992	01/oct/1992-31/jul/1993	0.8443



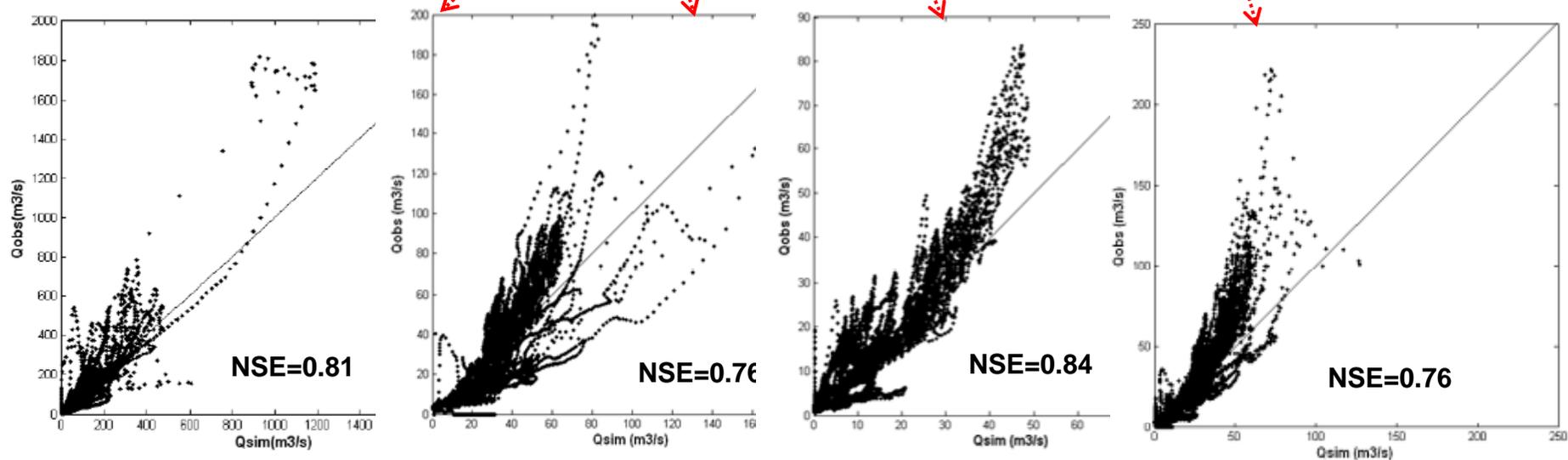
## ➤ Fase III (automática)

Cuenca	No. Episodio	Calentamiento	Calibración	NSE
American	Episodio I	01/dic/1988-01/feb/1989	01/feb/1989-30/jun/1989	0.8775
	Episodio II	01/nov/1990-01/feb/1991	01/feb/1991-31/jul/1991	0.8373
	Episodio III	01/ago/1992-01/nov/1992	01/nov/1992-31/jul/1993	0.8475
Carson	Episodio I	01/ago/1990-01/oct/1990	01/oct/1990-31/jul/1991	0.8139
	Episodio II	01/ago/1991-01/oct/1991	01/oct/1991-31/jul/1992	0.7323
	Episodio III	01/ago/1992-01/oct/1992	01/oct/1992-31/jul/1993	0.8443



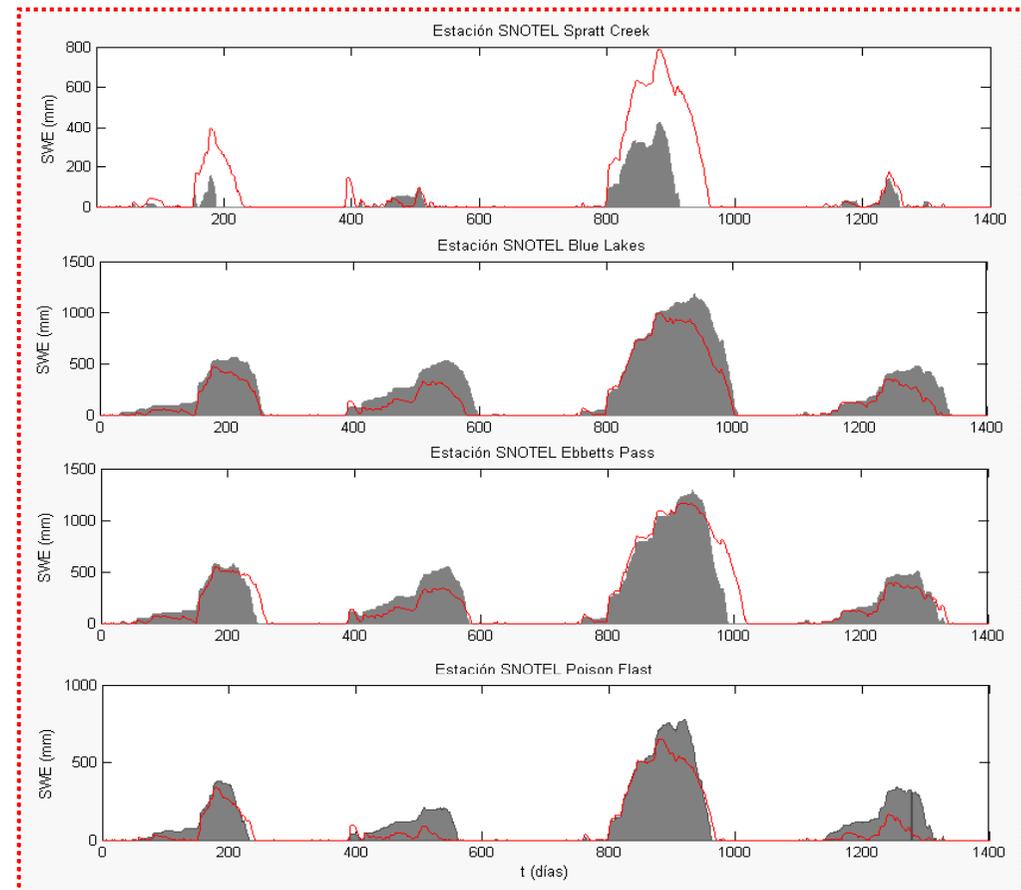
- Resultados de validación
  - Validación de caudales
    - Espacial, temporal y espacio-temporal

Cuenca	E.Aforo	Validación		
		Temporal	Espacial	Espacio/temporal
American	E. Clementine	01/oct/1994-30/sep/1997		
Carson	E. Gardnerville	01/oct/1994-30/sep/1996		
	E. Markleeville		01/oct/1990-30/sep/1994	01/oct/1994-30/sep/1996



- Resultados de validación
  - Validación de fusión de nieve (espacial, temporal y espacio-temporal)

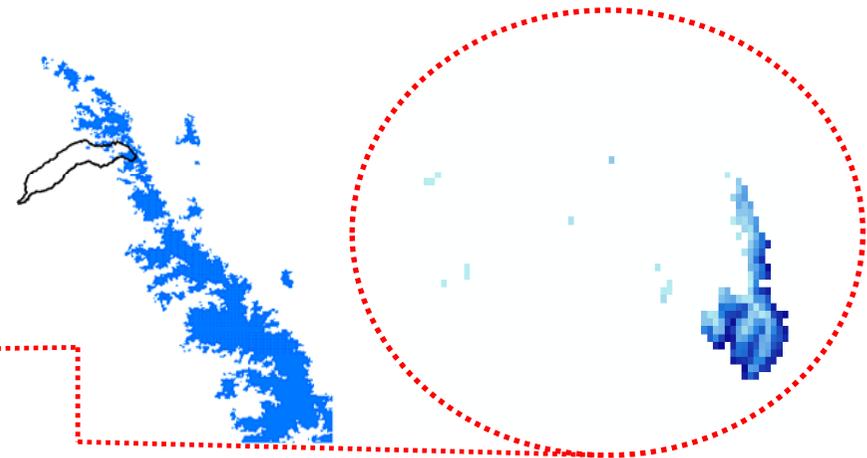
Cuenca	E. SNOTEL	Validación
<b>Temporal</b> 01/oct/1994-30/sep/1997		
American	E. Huysink	NSE=0.83
	E. Blue Canyon	NSE=0.73
Carson	E. Blue Lakes	NSE=0.95
	E. Ebbetts Pass	NSE=0.90
	E. Poison Flats	NSE=0.73
	E. Spratt Creek	NSE<0
<b>Espacial</b> 01/oct/1990-30/sep/1994		
Carson	E. Blue Lakes	NSE=0.85
	E. Ebbetts Pass	NSE=0.87
	E. Poison Flats	NSE=0.81
	E. Spratt Creek	NSE<0
<b>Espacio/temporal</b> 01/oct/1994-30/sep/1996		
Carson	E. Blue Lakes	NSE=0.95
	E. Ebbetts Pass	NSE=0.90
	E. Poison Flats	NSE=0.73
	E. Spratt Creek	NSE<0



## ■ Validación de la distribución espacial de la cubierta de nieve

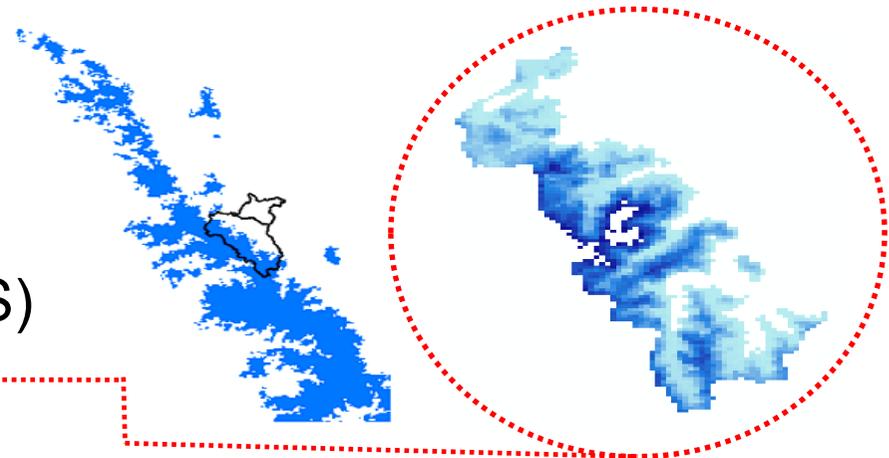
### ➤ Río American

- 01 de mayo de 1994
- 7.14% (imagen NOAA/NWS)
- 3.8% (TETIS)



### ➤ Río Carson

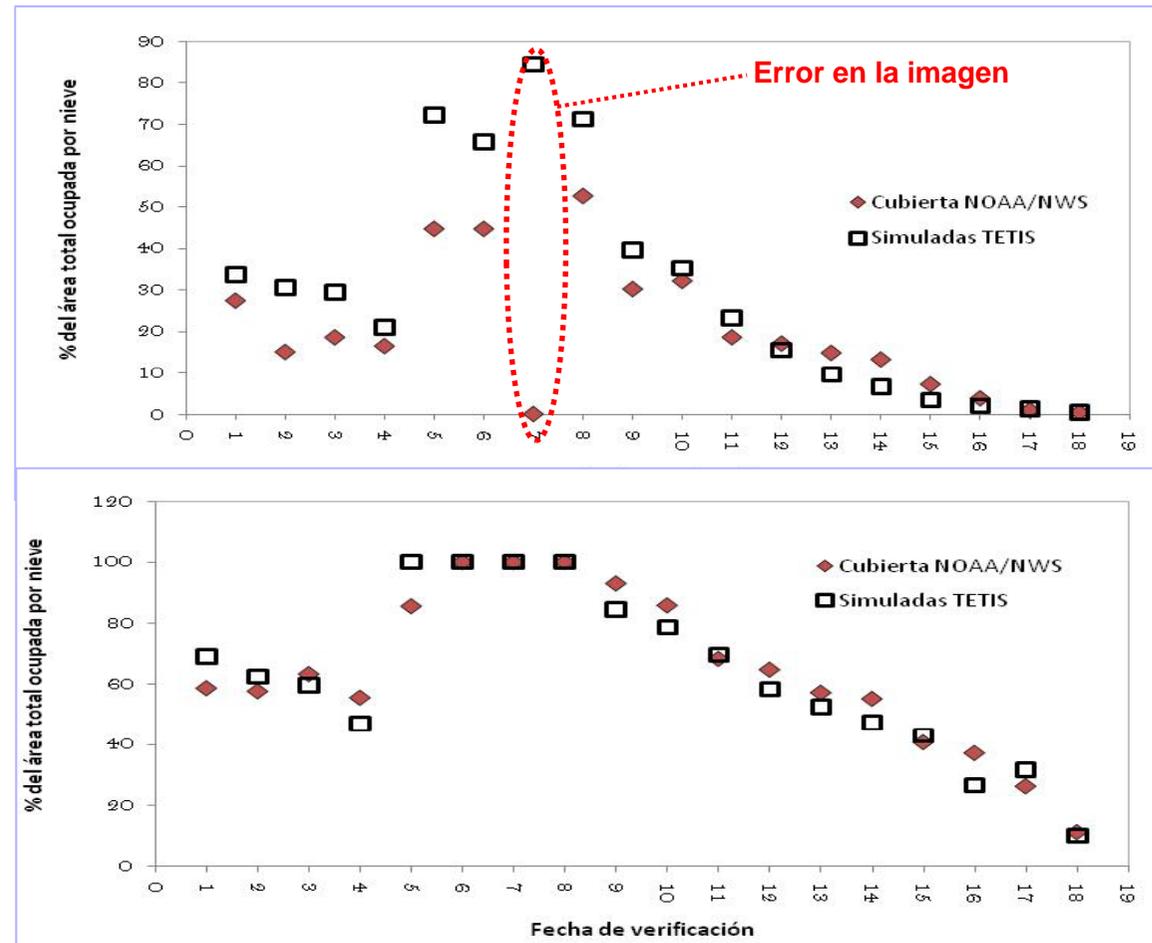
- 01 de mayo de 1994
- 40.6% (imagen NOAA/NWS)
- 43 % (TETIS)



- Validación temporal de la distribución espacial de la cubierta de nieve

1	05-ene-94
2	10-ene-94
3	12-ene-94
4	18-ene-94
5	27-ene-94
6	12-feb-94
7	21-feb-94
8	24-feb-94
9	07-mar-94
10	12-mar-94
11	27-mar-94
12	01-abr-94
13	12-abr-94
14	15-abr-94
15	01-may-94
16	10-may-94
17	22-may-94
18	29-may-94

Análisis en  
American



Análisis en  
Carson

# Conclusiones

- El modelo permitió comprobar que las cuencas de estudio tienen regímenes hidrológicos diferentes.
- La metodología de calibración implementada evitó enmascarar los resultados y por consecuencia la representación adecuada del sistema.
- Los resultados obtenidos con los modelos calibrados son excelentes.
- Los resultados que se obtuvieron en el proceso de validación para ambos casos de estudio son excelentes.
- En ambas subcuencas, se observó una baja e incluso nula aportación por escorrentía directa. Lo anterior influyó en la reproducción de las puntas de los hidrogramas.
- Los resultados obtenidos en la reproducción del proceso de fusión, son muy buenos tratándose de un método tan sencillo que usa el método *grado-día* (Shamir y Georgakakos, 2006).

# Gracias por su atención

**AGRADECIMIENTO:** El presente trabajo ha sido subvencionado por el proyecto del Plan Nacional de I+D “Acopla” (OAPN 011/2008).