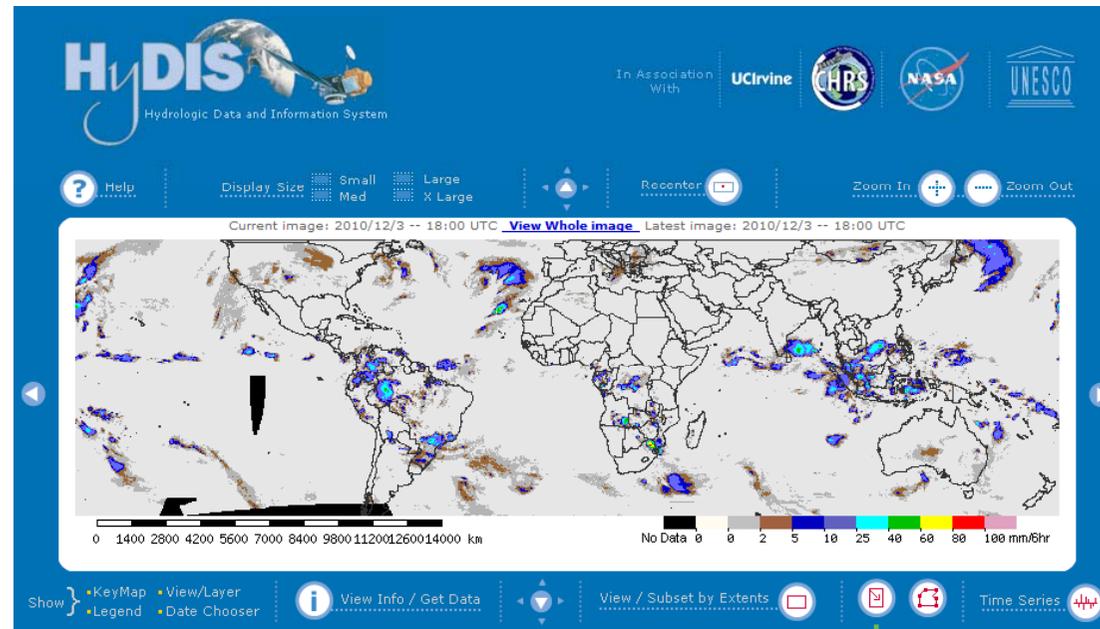




# Utilidad de la Precipitación Obtenida por Satélite en la Modelación Hidrológica Aplicada a la Cuenca del Río Júcar.

Lia Ramos Fernández  
Director: Félix Francés



## El Problema

- La Eficacia de los modelos distribuidos depende de la disponibilidad de los datos de entrada. Y, siendo la lluvia una variable clave en el balance hidrológico, es fundamental una mejor comprensión de su distribución espacio temporal.
- La Lluvia estimada por satélite permite disponer en tiempo real de datos que se ajustan a la necesidad de estos modelos distribuidos, proporcionando información en regiones que son inaccesibles para otros sistemas de observación tales como pluviómetros y radar.
- Existen muchos algoritmos basados en satélites, uno de ellos es el Algoritmo PERSIANN (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks) desarrollado por Sorooshian et al (2000, 2005) del Centro para la Hidrometeorología y Sensores Remotos (CHRS) de USA.

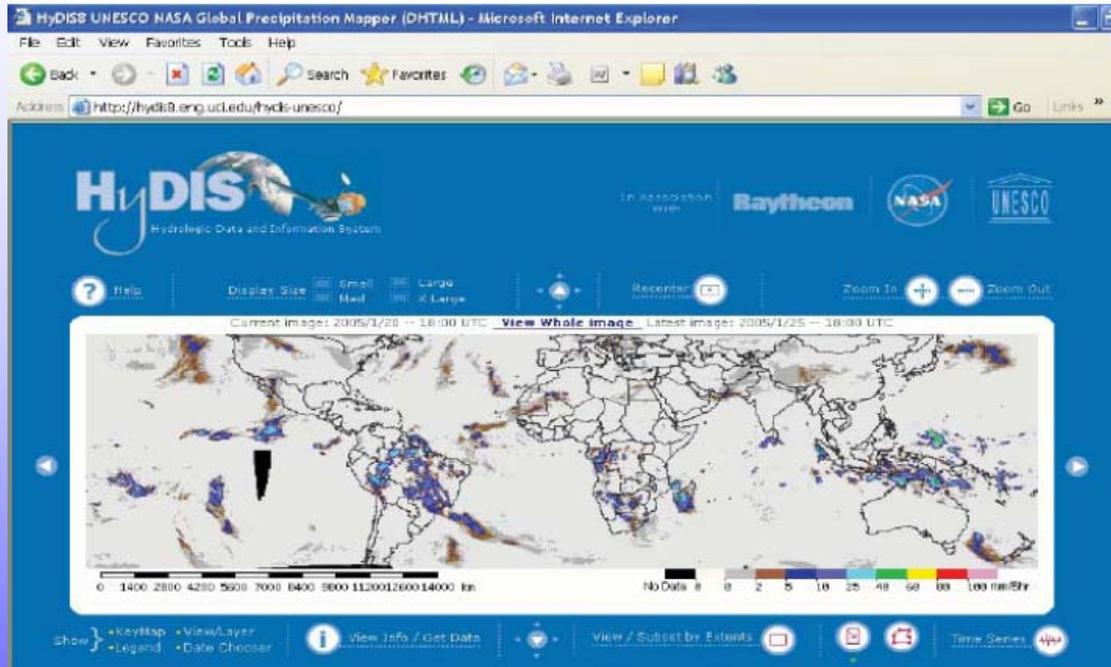
**Algoritmo PERSIANN:** estima la lluvia a partir de imágenes de múltiples satélites, utilizando redes neuronales.

(En general, nubes más frías ocurren a mayores alturas -> el algoritmo asocia nubes más altas con presencia de lluvia)



## HyDIS: Hydrologic Data and Information System

PERSIANN está disponible a través de interfaz **HyDIS**: <http://hydis8.eng.uci.edu/hydis-unesco/>



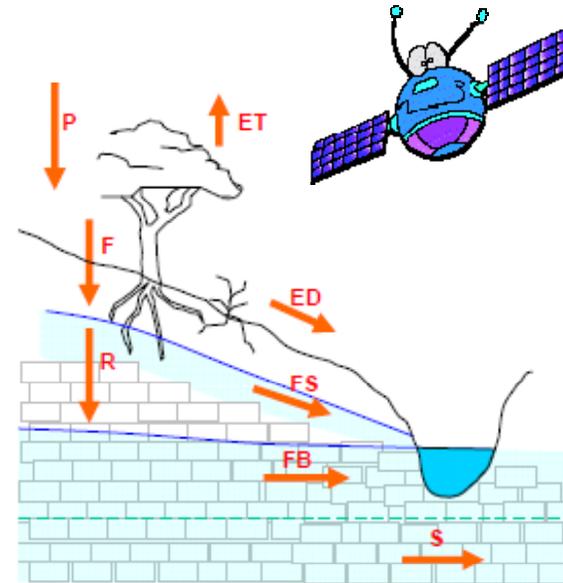
Resolución temporal: diaria y c/6hr.  
Resolución espacial: 0.25°  
Disponible desde marzo 2000

Hsu y Sorooshian (2008) desarrollan un sistema de clasificación de nubes PERSIANN-CCS (<http://fire.eng.uci.edu/CCS/>); sin embargo su limitación es que dependen de las propiedades de la nube.

Kuo-Lin et al (2010) mejoran el algoritmo PERSIANN-CCS. El nuevo algoritmo extrae información de nubes a **tres temperaturas umbrales** (220°, 235°, y 253°K) que permite obtener intensidades de lluvia de diferentes nubes; esto ayuda en la detección de nubes cirros y distingue diferentes sistemas convectivos en varias alturas. Aunque los resultados mejoran (nubes frías,  $T < 253^{\circ}\text{K}$ ), se requiere ampliar la capacidad del algoritmo para capturar lluvias más cálidas. Está en investigación el empleo de imágenes multiespectrales.

## Objetivo del Trabajo

- La estimación de lluvia por satélite está sujeta a errores debido a problemas de instrumentación, naturaleza del sistema de medición, simplificaciones teóricas, relación no lineal entre la variable observada (temperatura) y la lluvia, etc. Estos errores introducen incertidumbre a los algoritmos; por lo que es necesario validar con mediciones de pluviómetros y/o radares en una amplia gama de condiciones meteorológicas y regímenes climáticos
- El desafío principal es cómo beneficiarse de las fortalezas de los diferentes tipos de sensores de satélites y minimizar sus limitaciones.



Evaluar la utilidad de la lluvia estimada por satélite a escala global, en un modelo hidrológico distribuido en la cuenca del río Júcar en España.

# Modelo TETIS

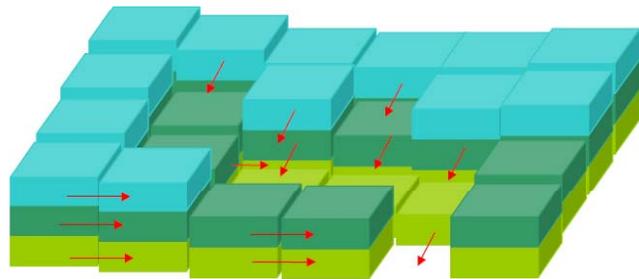
- Modelo Lluvia-Escorrentía, **distribuido de tipo conceptual con parámetros físicamente basados,**

## Conceptualización Vertical:

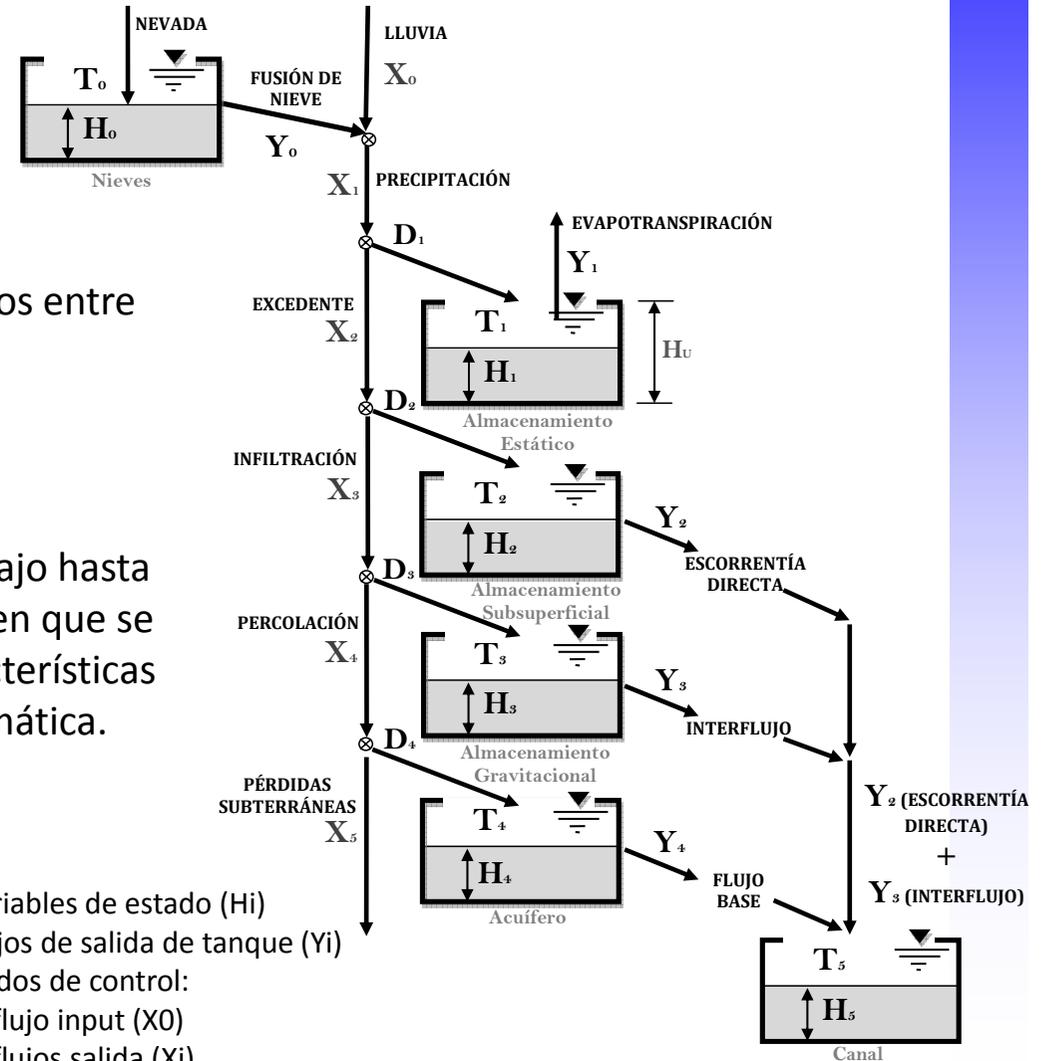
Son seis tanques de almacenamiento conectados entre sí. El flujo entre los tanques es función del agua almacenada en cada tanque.

## Conceptualización Horizontal:

Todas las celdas drenan hacia la celda aguas abajo hasta que alcancen una celda con un cauce definido en que se realiza la traslación del flujo utilizando las características geomorfológicas combinadas con la onda cinemática.



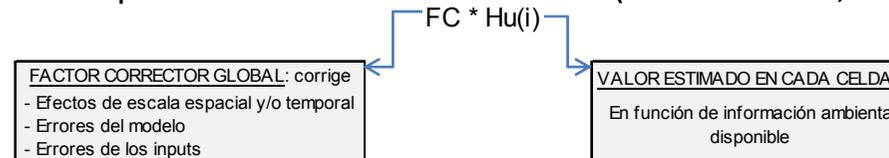
- 6 variables de estado ( $H_i$ )
- 5 flujos de salida de tanque ( $Y_i$ )
- 5 nudos de control:
  - 1 flujo input ( $X_0$ )
  - 5 flujos salida ( $X_i$ )



## Parámetro Efectivo:

El problema de los Modelos Distribuidos en la Calibración: es el elevado número de parámetros en cada celda a partir del hidrograma en la salida de la cuenca.

**Solución:** Estructura Separada del Parámetro Efectivo (Francés et al., 2007)



### ❑ Factores Correctores a Calibrar (9):

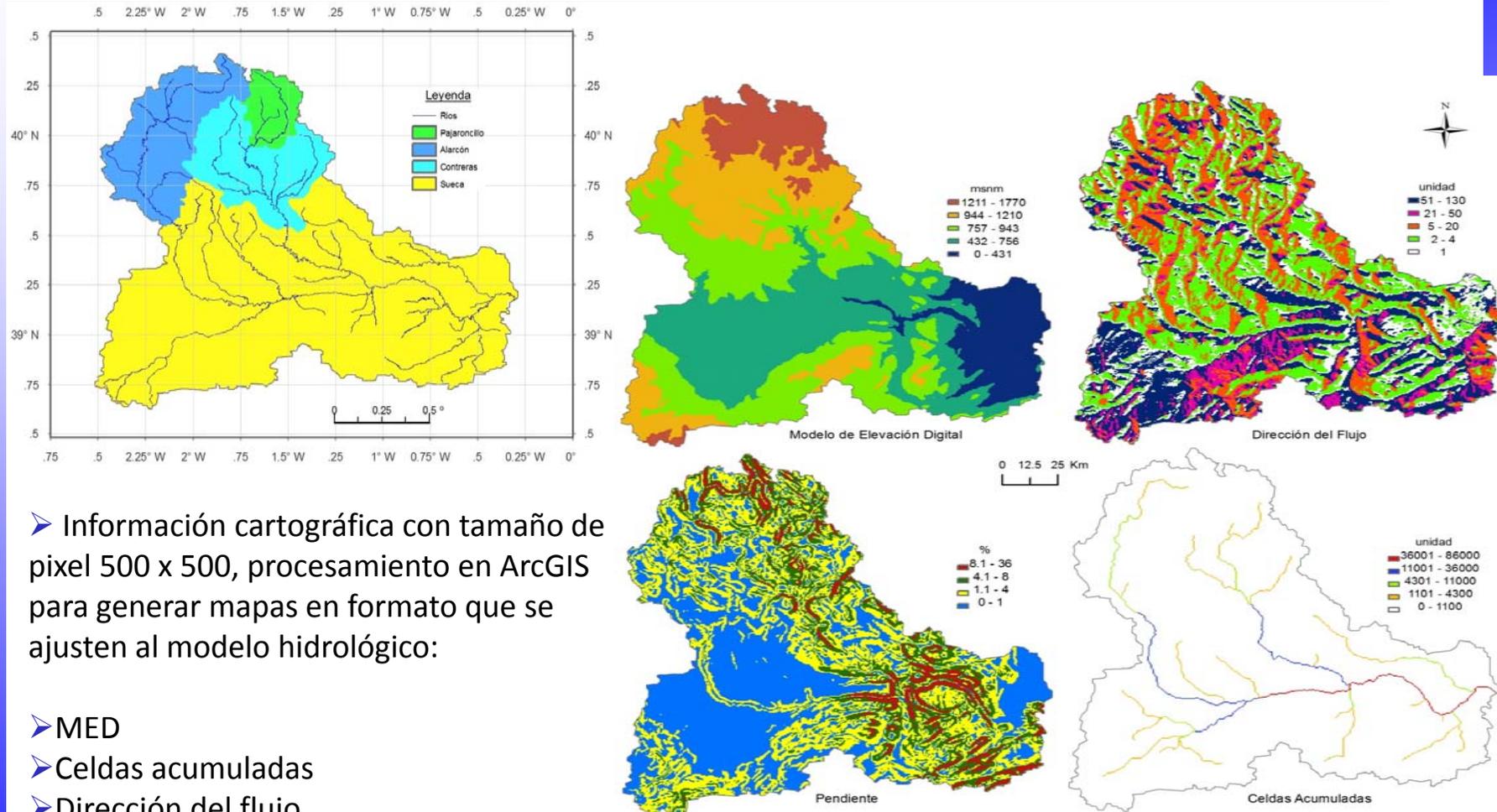
- Almacenamiento estático máximo:  $FC_1 Hu$
- Factor de vegetación para la ET:  $FC_2 \lambda_v$
- Infiltración (tasa cte.):  $FC_3 Ks$
- Escorrentía directa (embalse lineal):  $FC_4 V_{ladera}$
- Percolación (tasa cte.):  $FC_5 Kp$
- Interflujo (embalse lineal):  $FC_6 Ks$
- Pérdidas subterráneas (tasa cte.):  $FC_7 Kp$
- Flujo base (embalse lineal):  $FC_8 Kp$
- Velocidad en cauces:  $FC_9 V_{cauces}$

### Calibración Automática:

- ❑ Tetis, emplea un potente algoritmo de optimización (Shuffled Complex Evolution - University of Arizona), eficiente para calibración de modelos lluvia-escorrentía)

Metodología de estimación de parámetros involucra una serie de incertidumbres (cantidad, calidad y grado de definición espacial de información básica) -> **Ventaja de TETIS es que se puede corregir errores, calibrando los 9 factores correctores del modelo.**

# Lugar de Estudio

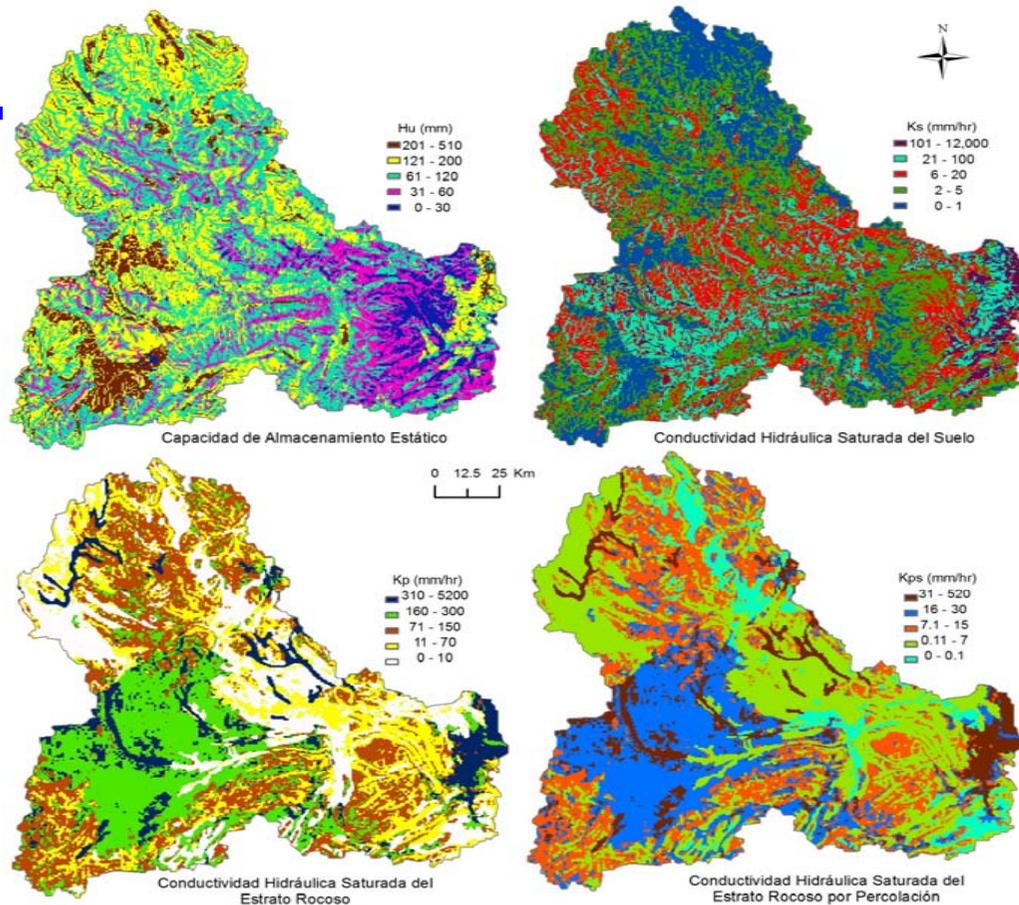


➤ Información cartográfica con tamaño de pixel 500 x 500, procesamiento en ArcGIS para generar mapas en formato que se ajusten al modelo hidrológico:

- MED
- Celdas acumuladas
- Dirección del flujo
- Pendiente del terreno
- Velocidad en ladera

➤ Área de 21434 km<sup>2</sup>.

- Parámetros hidrológicos
- Parámetros geomorfológicos
- Índices de Cobertura Vegetal



Índices de Cobertura Vegetal Mensual (λ) en la Cuenca del río Júcar

Categoría	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Bosque hoja perenne	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Bosque hoja caduca	0.6	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.6
Cultivo arbóreo perenne	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Cultivo arbóreo caduco	0.2	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.2
Matorral	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pradera natural	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Cultivo estacional	0.2	0.2	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
Pastos cultivados	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Sin vegetación o vegetación pobre	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Zona urbana	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Cuerpos de agua y vegetación acuática	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Arozales	1.0	0.6	0.2	0.6	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.6	1.0	1.0

Parámetros Geomorfológicos del Cauce del río Júcar

Relaciones Geomorfológicas de Tipo Potencial	Y = Coeficiente X Exponente	B: Cuenca Media	
		Coeficiente	Exponente
Área acumulada de la cuenca y caudal a sección llena	$\Lambda = \kappa Q_s^\phi$	1.2968	0.7571
Ancho de la sección transversal a sección llena y el caudal a sección llena	$w_b = \alpha Q_s^{\alpha_1}$	3.1301	0.5088
Ancho de la sección transversal y el caudal	$w = Q^{\alpha_2}$		0.3253
Diámetro del sedimento, la pendiente y la profundidad del flujo	$d = C_s (y s_s)^\beta$	6.5156	0.6548
Coefficiente de rugosidad y el diámetro del sedimento	$n = \xi_0 d_s^\xi$	0.0470	0.1667

# Hidrometeorología

Período: 01 Marzo 2000 al 31 Octubre 2009

## 1. Lluvia Puntual Local: SAIH y AEMET

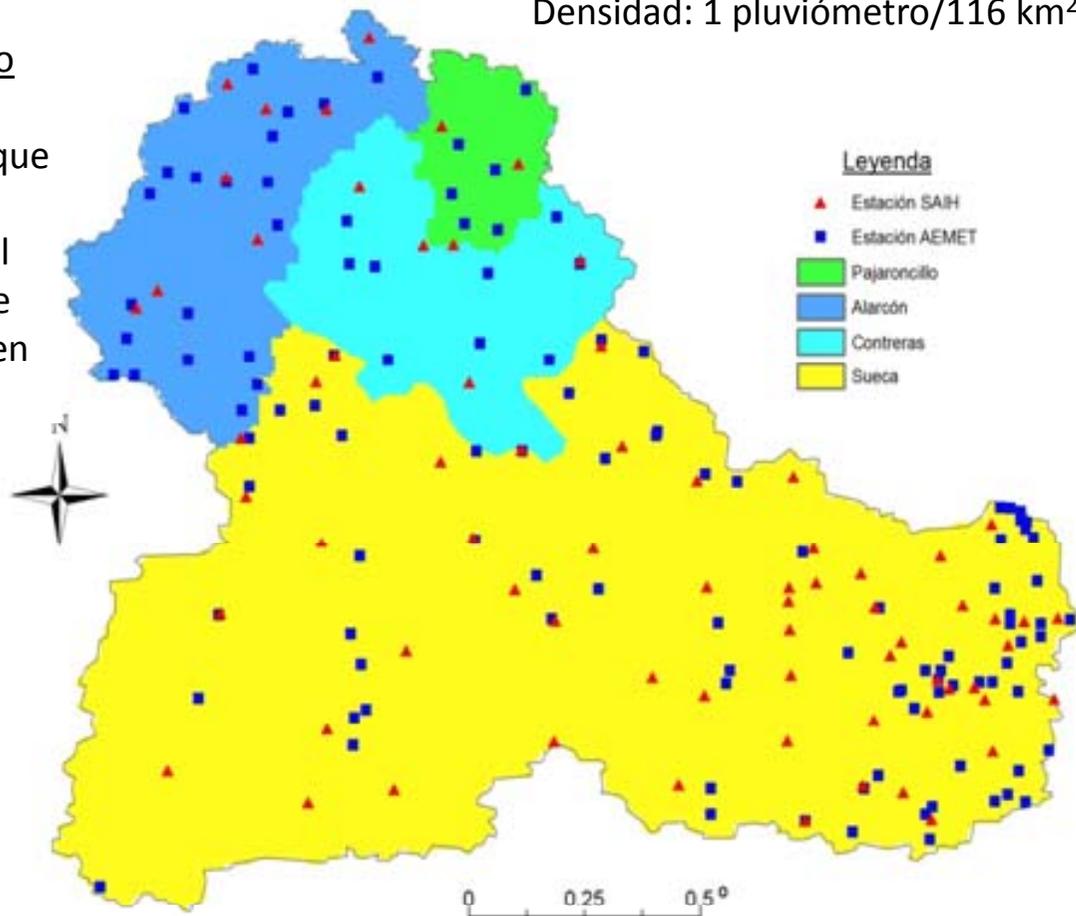


Pluviómetro SAIH: tipo balancín  
 Constan de sensores que permite colectar la información cada 5'. El valor mínimo capaz de medir es 2.4 mm/hr en 5'.



Pluviómetro AEMET: Hellmann (200mm)  
 Lectura diaria por operadores al servicio del AEMET

Densidad: 1 pluviómetro/116 km<sup>2</sup>



Estaciones SAIH y AEMET distribuidas en la Cuenca del río Júcar

**1. ... Lluvia Puntual Local: SAIH y AEMET**

Formato Origen de la Lluvia Puntual Local

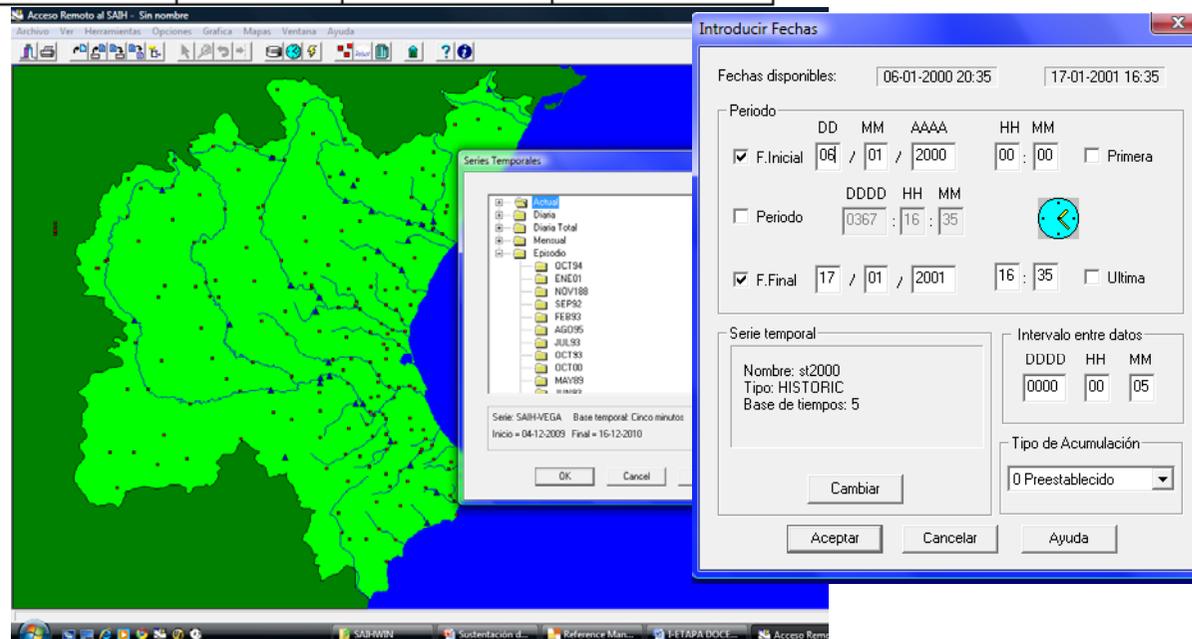
Variable	Fuente	Formato Origen			
		Archivo	Resolución Temporal	Sistema de Coordenadas	Hora
Lluvia	AEMET	CSV	Diario	WGS 1984	GMT 07-07 del día siguiente
	SAIH	ASCII	Cinco Minutal	UTM_Zona_30N	Local

Formato de Lluvia Puntual Local para Modelación con TETIS

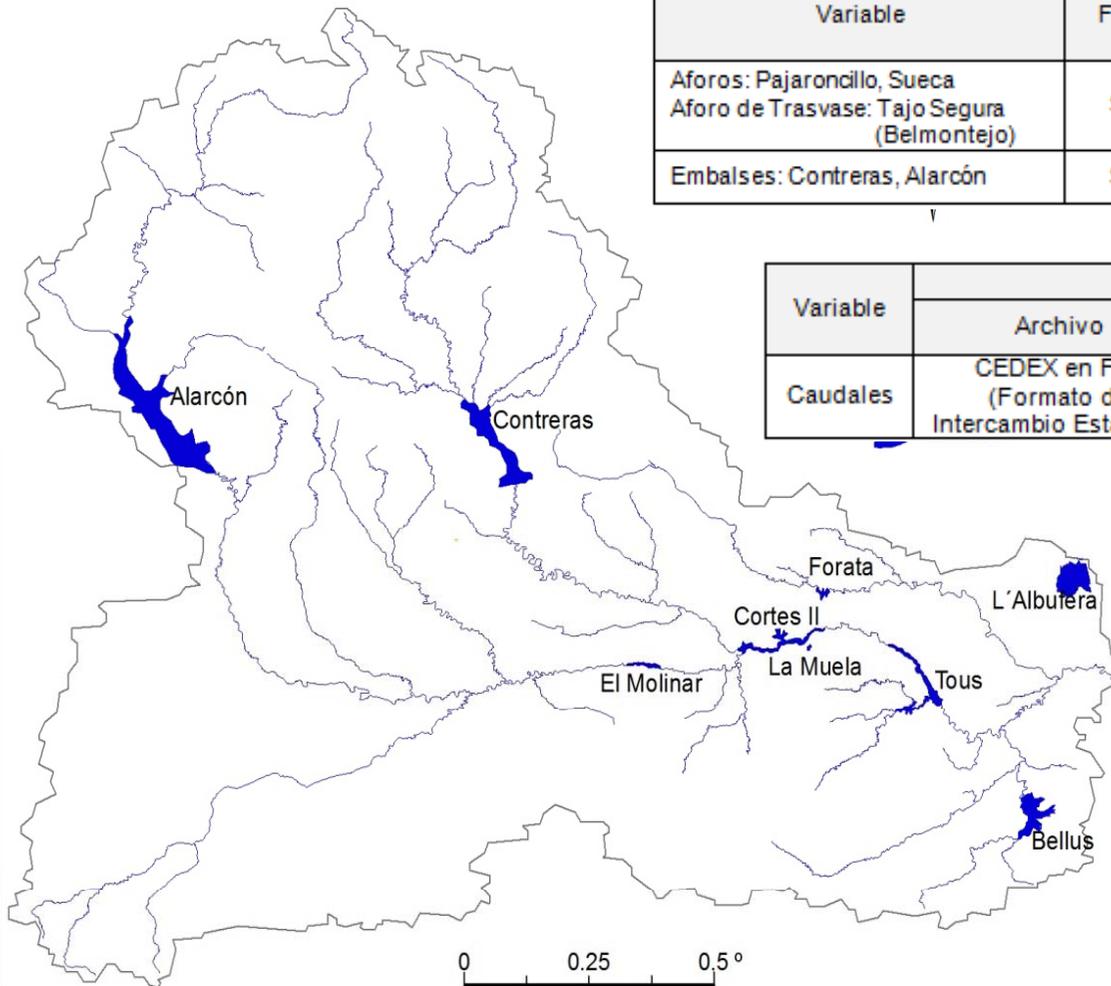
Variable	Formato TETIS			
	Archivo	Resolución Temporal	Sistema de Coordenadas	Hora
Lluvia	CEDEX en Fila (Formato de Intercambio Estándar)	Diario	UTM_Zona_30N	GMT 0 a 24hr

Información SAIH puede ser colectada a través de interfaz **SAIHWin** que permite descargar información a través de internet:

- Cinco minutal: desde 1989
- Diaria: desde 1957



## 2. Aforos y Embalses: SAIHWin

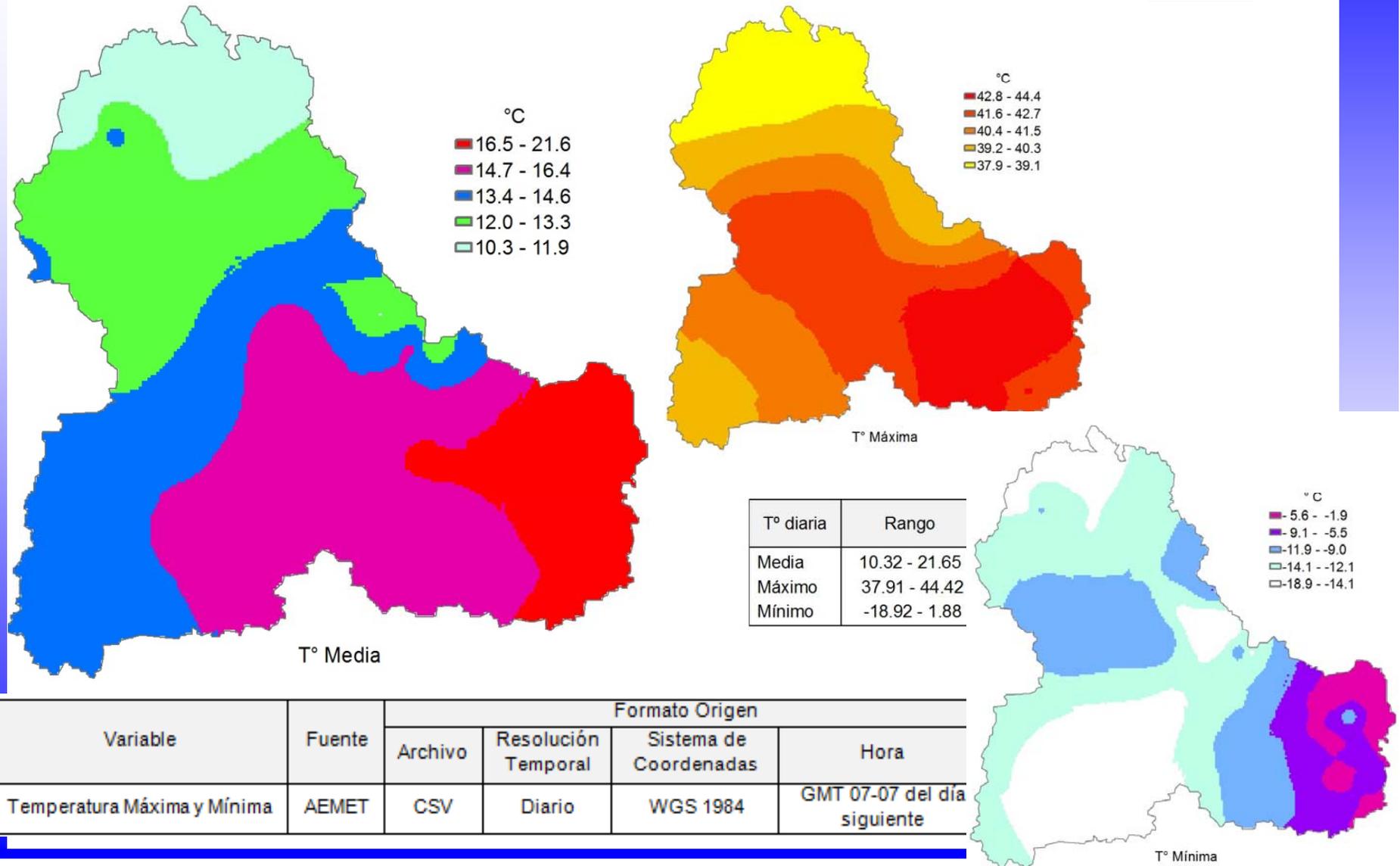


Variable	Fuente	Formato Origen			
		Archivo	Resolución Temporal	Sistema de Coordenadas	Hora
Aforos: Pajaroncillo, Sueca Aforo de Trasvase: Tajo Segura (Belmontejo)	SAIH	ASC	Cinco Minutal	UTM_Zona_30N	Local
Embalses: Contreras, Alarcón	SAIH	ASC	Cinco Minutal	UTM_Zona_30N	Local

Variable	Formato TETIS			
	Archivo	Resolución Temporal	Sistema de Coordenadas	Hora
Caudales	CEDEX en Fila (Formato de Intercambio Estándar)	Diario	UTM_Zona_30N	GMT ( 0 a 24hr)

El embalse Alarcón recibe agua del trasvase Tajo-Segura. En la modelación, fue necesario restar las aguas del Tajo-Segura al caudal de ingreso del embalse.

**3. Temperatura:** Estaciones termométricas del AEMET Período: 01 Marzo 2000 al 31 Octubre 2009



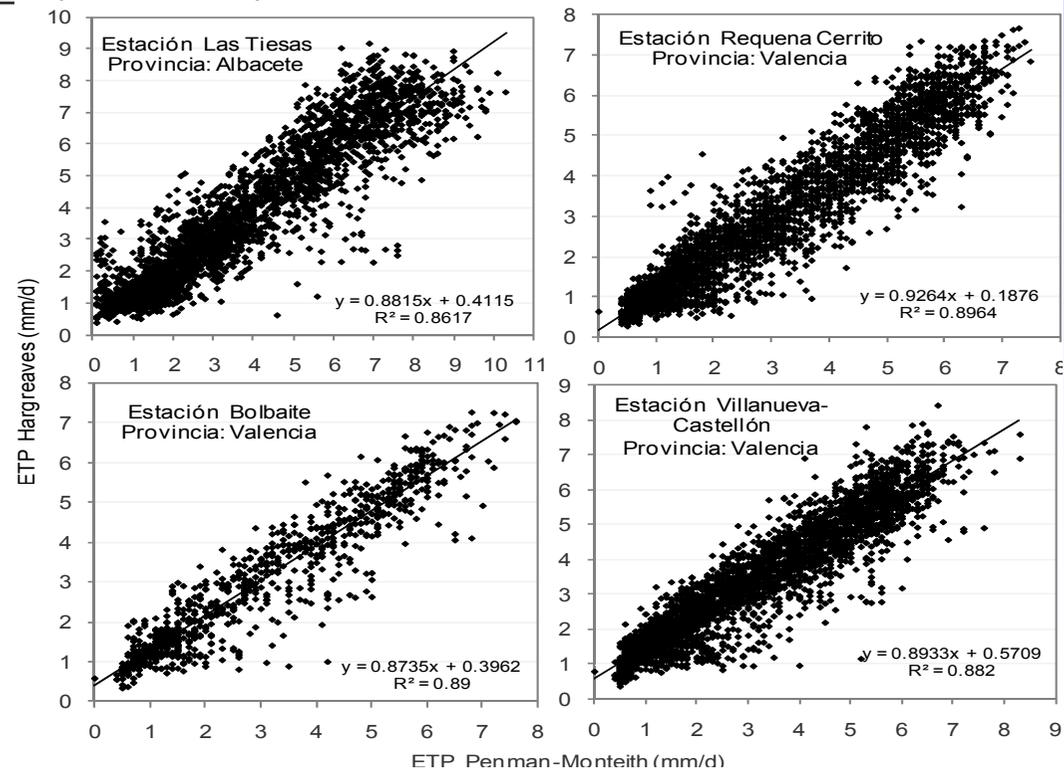
**4. Evapotranspiración:** con Ecuación de Hargreaves calibrada con Penman-Monteith

$$ETP = 0.0023(t_{media} + 17.78)R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

Estación	Provincia	Calibración		
		Error Medio	R2	Constante (C)
Las Tiasas	Albacete	0.782	0.8617	0.0023679
Requena Cerrito	Valencia	0.407	0.8964	0.0020617
Bolbaite	Valencia	0.383	0.8900	0.0020366
Villanueva-Castellón	Valencia	0.465	0.8820	0.0020617

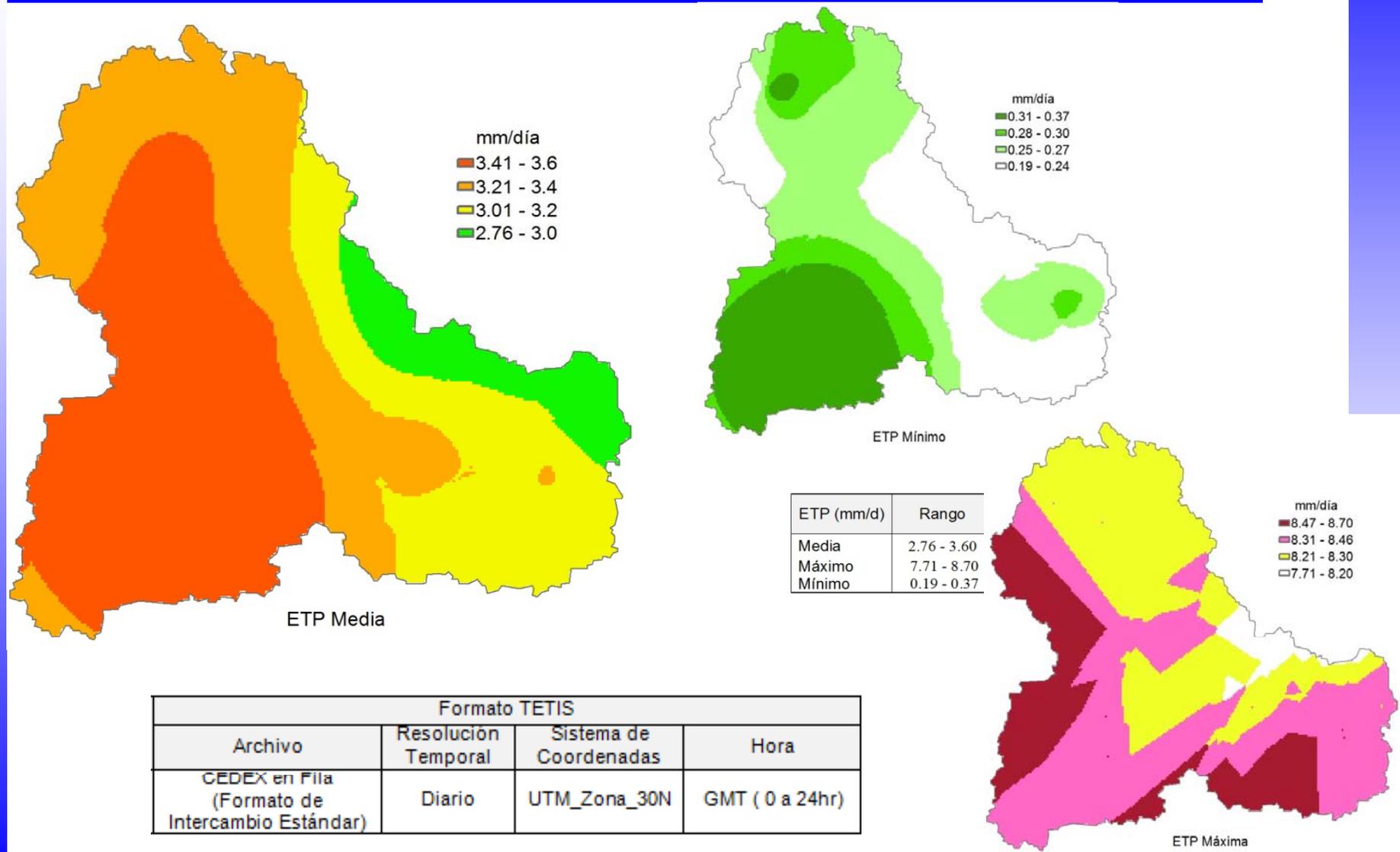
-“Las Tiasas”: <http://www.itap.es/ITAP-Meteorologia/3infohistorica/InfoHisto3.as>

- “Requena Cerrito”, “Bolbaite”, “Villanueva-Castellón”: <http://estaciones.ivia.es/>.



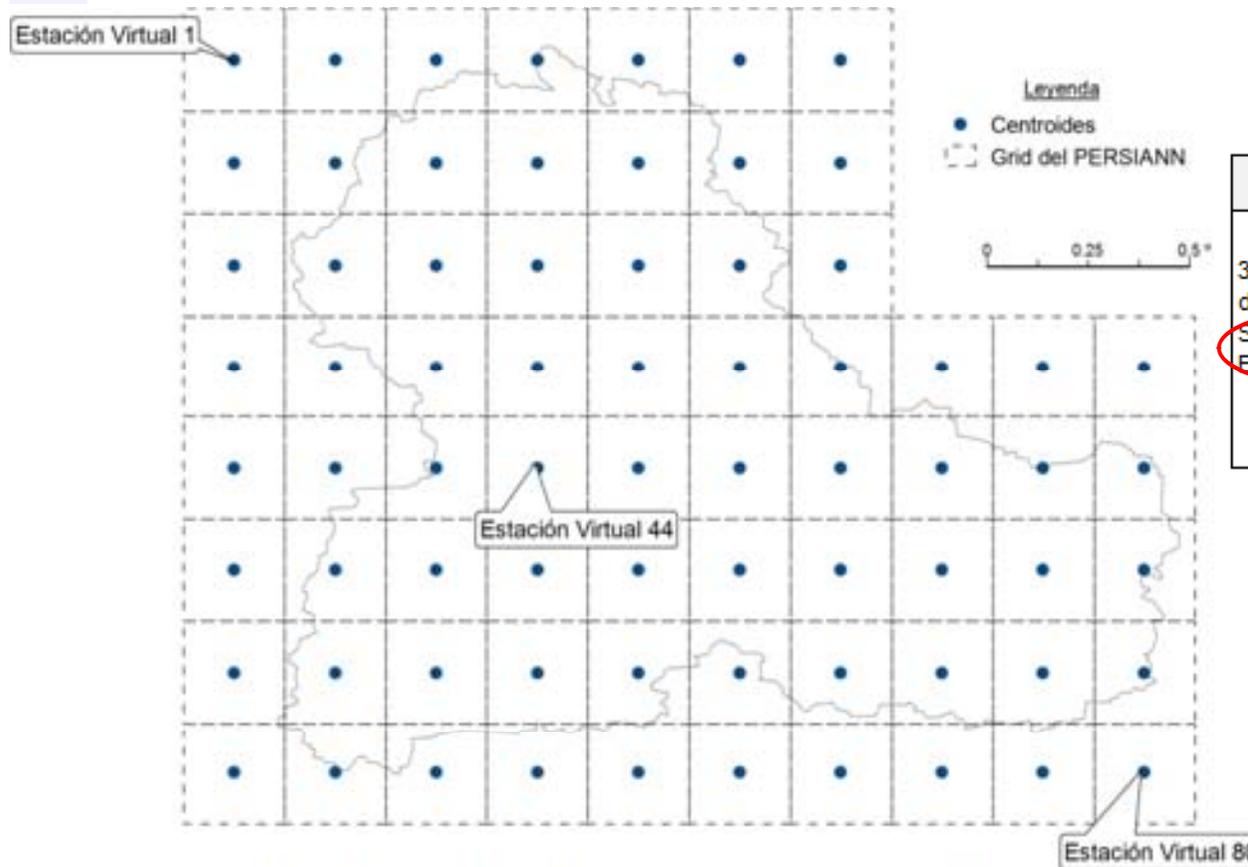
4. ... Evapotranspiración:

Período: 01 Marzo 2000 al 31 Octubre 2009



# Lluvia Global de Satélite: PERSIANN

El grid PERSIANN ingresó como datos puntuales (input lluvia) al modelo TETIS respetando su variabilidad espacial, asignando al centro de la celda el valor de lluvia y considerando este como una estación virtual.



Variable	Formato de origen
3532 archivos: un archivo por día, desde:	Archivos en formato ASCII Hora GMT Unidad en mm/d
Start Date: 20000301 Ending Date: 20091031 (yearmmdd)	Encabezado del archivo: Xllcorner: -2.625000 Yllcorner: 36.87500 nodata_value: -9999.0

Para reducir tiempo de computo, se redujo el área de la malla inicial de 10x12 a una malla de 8x10.

Centroides del Grid PERSIANN ó Estaciones Virtuales para el Modelo TETIS

Tamaño de celda 0.25°: malla recortada de 8 filas x 10 columnas

## ... Lluvia Global de Satélite: PERSIANN

Se empleó ArGIS, procesador Ultraedit, y programa IDL para preprocesamiento y codificación para ajustarse al tipo de formato compatible con el modelo TETIS.

```

* MODELO DE SIMULACION - T E T I S  V.8.0 -
* Desarrollado en:
* UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
* Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
* Unidad de Ingeniería Hidráulica e Hidrología
*
* DATOS DEL MODELO TETIS EN FORMATO CEDEX EN FILA
*
*   Número de datos   Intervalo Temporal Diario (en minutos)
*
G       3532           1440 Δt = 1 día = 1440 minutos
F       01-03-2000     00:00
*
*
* INFORMACION DE LLUVIA DE SATELITE: ALGORITMO PERSIANN
**HORA GMT/UTC (00 A 24HR)
*
*
*   Coord. UTM X  Coord. UTM Y  Z  Δt=0  Δt=1  Δt=2  Δt=3  .....  Δt=3532
P*ESTACION VIRTUAL 1  " 531716.200  4497198.000  0.000  0.00  0.235  0.789  0.123  .....  1.340
P*ESTACION VIRTUAL 2  " 552860.400  4497318.000  0.000  0.00  0.234  0.987  0.676  .....  1.045
P*ESTACION VIRTUAL 3  " 574004.800  4497498.000  0.000  0.00  0.387  0.368  0.230  .....  1.690
.....
.....
P*ESTACION VIRTUAL78  " 707466.100  4250094.000  0.000  0.00  0.456  0.100  0.450  .....  2.020
P*ESTACION VIRTUAL 79  " 729308.000  4250686.000  0.000  0.00  1.001  1.127  0.456  .....  0.123
P*ESTACION VIRTUAL 80  " 751150.900  4251337.000  0.000  0.00  0.345  (-1)  0.280  .....  1.190
*
*
*                               Sin información
    
```

# Metodología

Siendo la lluvia una variable clave en el balance hidrológico, es fundamental una mejor comprensión de su distribución espacio temporal.

## 1. Lluvia Distribuida:

La técnica de interpolación depende de muchos factores, ya que siempre hay un grado de incertidumbre debido a diferentes fuentes de error: equipos de medición, escalas de agregación temporal, escala espacial, cantidad de información existente, etc. A priori es más riguroso, lo que no significa que sea lo correcto, usar el método kriging que usar IDW. Lo importante es comprobar su exactitud con el modelo lluvia-escorrentía

### ✓ Interpolación (ArcGIS):

- Kriging esférico (por defecto del ArcGIS)
- Kriging exponencial
- IDW: que es el que usa el modelo TETIS en la interpolación.

### ✓ Escala Temporal:

- Lluvia diaria: por tener información diaria incompleta fue necesario interpolar la lluvia día a día para obtener la imagen raster diaria.
- Lluvia mensual: suma de raster diarios
- Lluvia anual: suma de raster mensuales

### ✓ Periodo a analizar: 01 julio 2002 al 31 julio 2003 (periodo de calibración que se usó en la modelación hidrológica)

### ✓ Variable Estadística (herramienta Band collection statistics del ArcGIS):

- Correlación lineal de Pearson (r)
- Parámetros estadísticos básicos

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

$\sigma_{xy}$  covarianza de "x" e "y"

$\sigma_x$  desviación estándar de "x"

## ... Metodología

### 2. Lluvia Agregada:

- ✓ Interpolación IDW (output del TETIS)
- ✓ Lugar: A la salida de las subcuencas de Pajaroncillo, Contreras, Alarcón y Sueca.
- ✓ Periodo a analizar:  
01 marzo 2000 al 31 octubre 2009
- ✓ Variable Estadística (software STATISTICA):
  - Correlación lineal de Pearson (r)
  - Parámetros estadísticos básicos
  - Desfases
- ✓ Otros:
  - % ceros
  - Curva doble masa
  - Matriz de acierto de lluvia

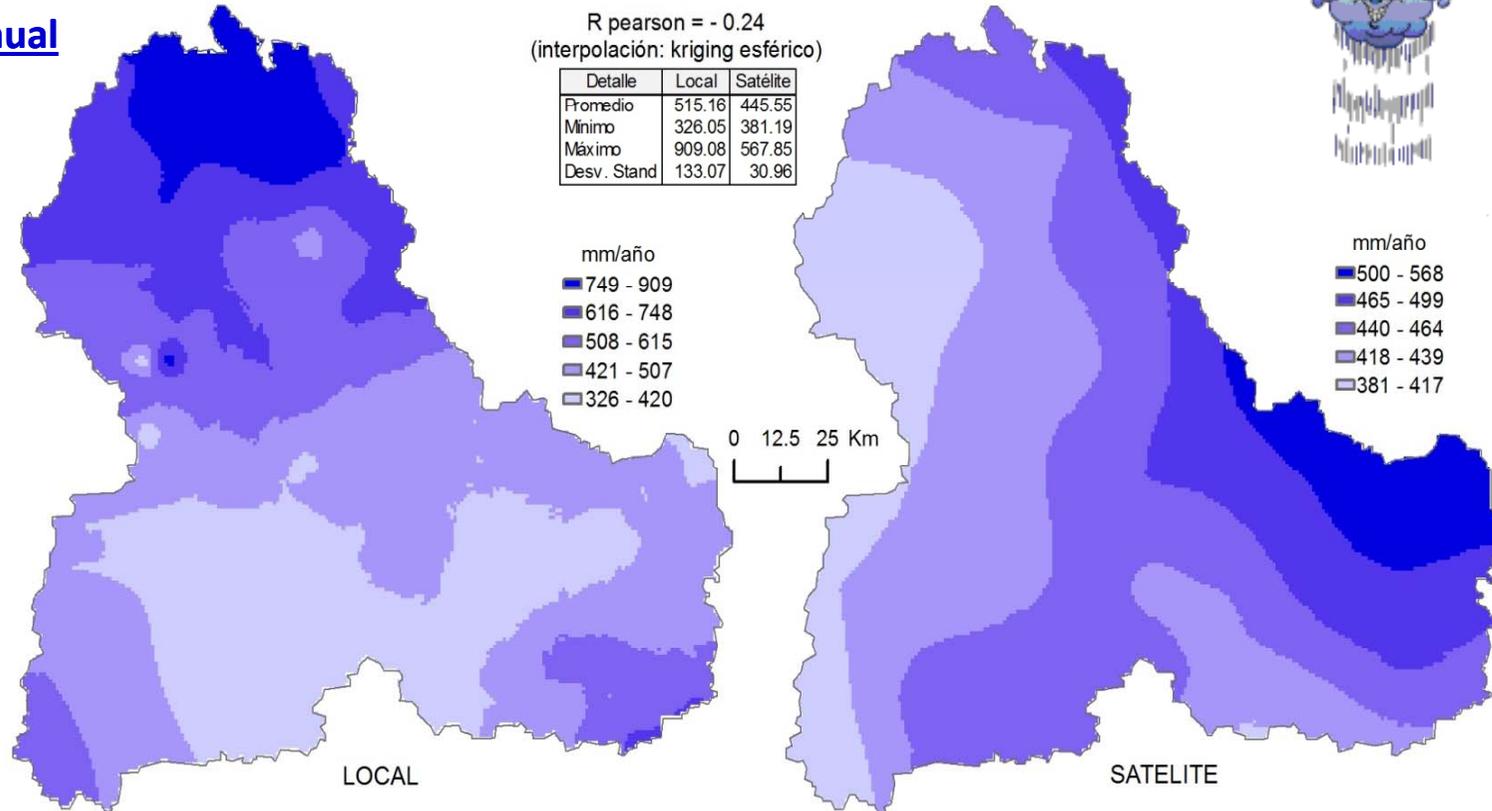
```

* MODELO DE SIMULACION - T E T I S  V.8.0 -
* Desarrollado en:
* UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
* Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
* Unidad de Ingeniería Hidráulica e Hidrología
*
* DATOS DEL MODELO TETIS EN FORMATO CEDEX EN FILA
*
*      Número de datos   Intervalo Temporal Diario (en minutos)
*
G      3532              1440  Δt = 1 día = 1440 minutos
F      01-03-2000      00:00
*
* INFORMACION DE LLUVIA
*
*      Coord. UTM X   Coord. UTM Y   Z   Δt=0   Δt=1   Δt=2   ....   Δt=3532
P * ESTACION CUENCA      " 573385.000  4436619.000  952.000  0.00  1.500  1.100  ...  2.890
P * ESTACION PARRILLA   " 561000.000  4411799.000  851.000  0.00  1.234  1.987  ...  1.345
*
*
* INFORMACION DE EVAPOTRASPIRACION POTENCIAL
*
E * ESTACION CASA CEJALBO " 597737.000  4336571.000  640.000  0.00  2.996  -1  ....  3.471
E * ESTACION LOS LLANOS  " 598522.000  4312162.000  704.000  0.00  2.809  -1  ....  3.161
*
*
* LLUVIA AGREGADA EN LA CUENCA
*
*      Coord. UTM X   Coord. UTM Y   Z
* B * PAJARONCILLO      " 610900.000  4422200.000  0.000
* B * CONTRERAS        " 628700.000  4377850.000  0.000
* B * SUECA             " 730150.000  4342750.000  0.000
* B * ALARCON          " 576700.000  4379400.000  0.000
    
```

Archivo Input para Obtener Lluvia Agregada en Cualquier Punto de la Cuenca con el Modelo TETIS

# Resultados: Lluvia Distribuida

## 1. Lluvia Anual



### LOCAL:

- Zona más meridional, clima semiárido: < 400 mm
- Zona montañosa, actúa como barrera para frentes marinos, forzando a nubes cargadas de humedad a elevarse a capas atmosféricas más altas y originar lluvias > 800 mm

**SATELITE:** ocurre lo contrario. -> satélite no representa bien efecto de montañas, que según Levizzani (2008), emiten radiación muy variable en comparación con superficie del mar que es más homogénea.

-> **Coeficiente de Pearson negativo: -0.44, -0.24, -0.29**

## 1. .....Lluvia Anual

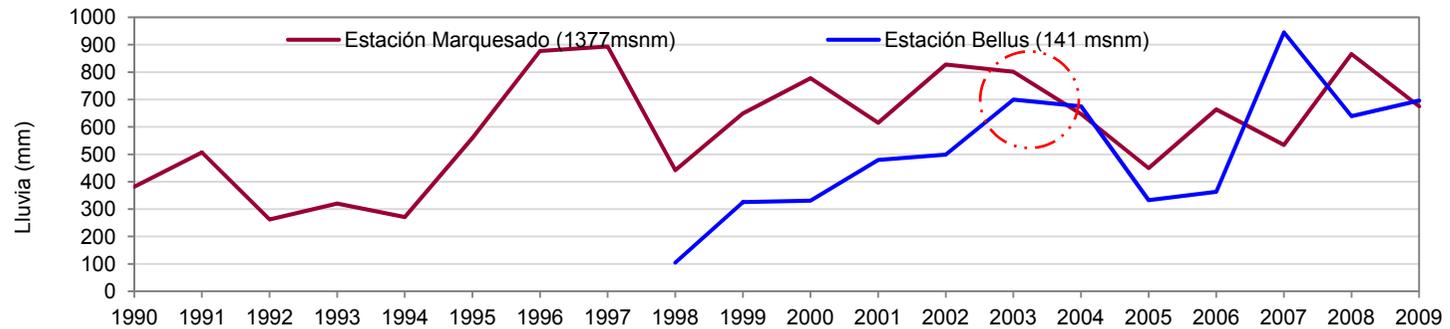
- ✓ Con respecto al valor medio:
  - Lluvia local: 511-528 mm
  - Lluvia satélite: disminuye 16% (429 a 445 mm)

No se halló diferencias significativas entre las tres técnicas de interpolación

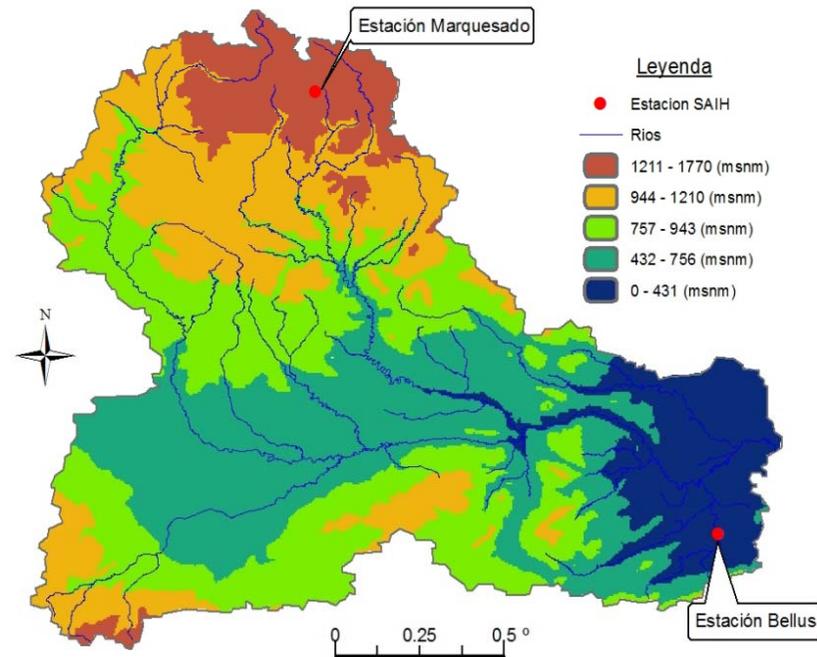
- ✓ Con respecto a los valores extremos:  
la interpolación IDW obtiene valores más altos que con kriging, debido a que kriging compensa mejor las sobreestimaciones con subestimaciones.

Tipo de Interpolación	local	Satélite
IDW		
Promedio	528.61	429.88
Mínimo	191.30	376.94
Máximo	993.31	529.94
Desv. Stand	146.35	26.95
R pearson anual	-0.44	
Kriging - Esférico		
Promedio	515.16	445.55
Mínimo	326.05	381.19
Máximo	909.08	567.85
Desv. Stand	133.07	30.96
R pearson anual	-0.24	
Kriging - Exponencial		
Promedio	511.46	440.54
Mínimo	311.70	379.09
Máximo	915.30	560.97
Desv. Stand	137.00	30.04
R pearson anual	-0.29	

## 1. .....Lluvia Anual



**Ejemplo:** Estación Marquesado (Zona Montañosa) y Estación Bellus (Zona cerca al litoral), se confirma que en zona del litoral < lluvia, y en zona montañosa > lluvia. Pero año a año, estas diferencias se acortan (2004), incluso 2007 se invierte tendencia. Esto induce a creer que lluvias de origen convectivo del mediterráneo tendrían tendencia creciente acelerada; mientras que lluvias de zona montañosa, frente atlántico, estarían con tendencia al descenso.

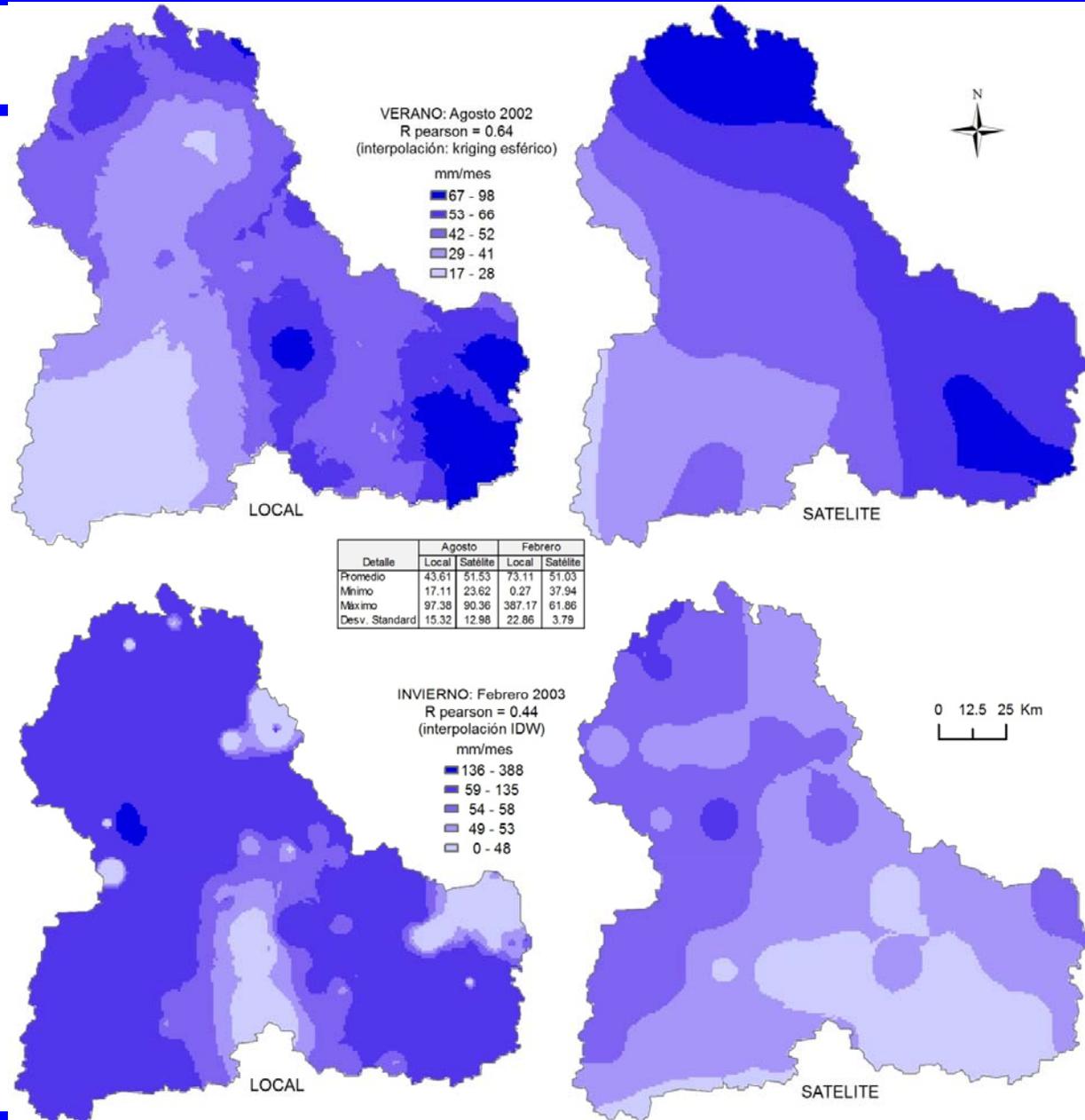


## 2. Lluvia Mensual

**Verano:** valores altos en parte baja y media de la cuenca, por la alta evaporación ( $> T$  del mar) ->  $>$  humedad.

**Invierno:** uniforme en la cuenca, a excepción de pequeña zona con valores altos originada por efecto orográfico que favorece ‘anclaje’ del sistema nuboso.

**Coefficiente de Pearson:** Mas bajo en invierno (0.44) debido a que las lluvias se concentran mas en zona montañosa y este efecto no está siendo representado bien por los satélites. Según Levizzani (2008), las montañas emiten radiación muy variable en comparación con la superficie del mar que es más homogénea.

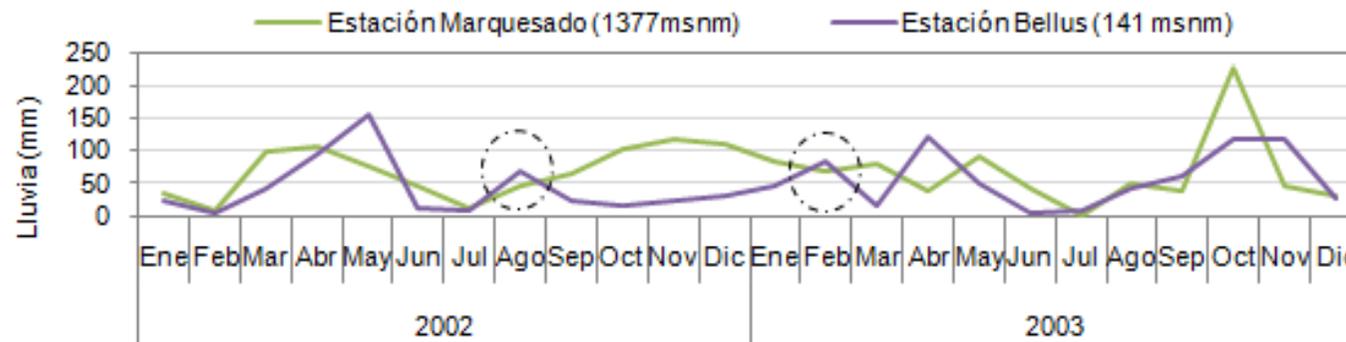


## 2. ...Lluvia Mensual

➤ Coeficiente de Pearson en las tres técnicas de interpolación, obtiene sus valores más altos en agosto 2002 y febrero 2003, verano e invierno respectivamente.

Interpolación	VERANO		INVIERNO	
	Mes: Agosto 2002		Mes: Febrero 2003	
	local	Satélite	local	Satélite
IDW				
Promedio	43.20	31.57	73.11	51.03
Mínimo	0.05	10.83	0.27	37.94
Máximo	142.86	70.14	387.17	61.86
Desv. Stand	18.47	13.44	22.86	3.79
R pearson	0.60		<b>0.44</b>	
Kriging - Esférico				
Promedio	43.61	51.53	54.18	50.92
Mínimo	17.11	23.62	20.18	38.86
Máximo	97.38	90.36	355.97	61.09
Desv. Stand	15.32	12.98	16.51	4.07
R pearson	<b>0.64</b>		0.29	
Kriging - Exponencial				
Promedio	42.22	51.52	70.56	50.91
Mínimo	11.40	25.27	36.08	38.55
Máximo	86.85	89.35	132.40	61.41
Desv. Stand	15.34	12.25	18.07	4.07
R pearson	0.63		0.43	

Ejemplo: Estación Marquesado y Estación Bellus, se confirma en verano (agosto 2002) valores ligeramente más altos en la parte baja de la cuenca; mientras que en invierno (febrero 2003) la diferencia es mínima. Además se aprecia una clara irregularidad mensual.

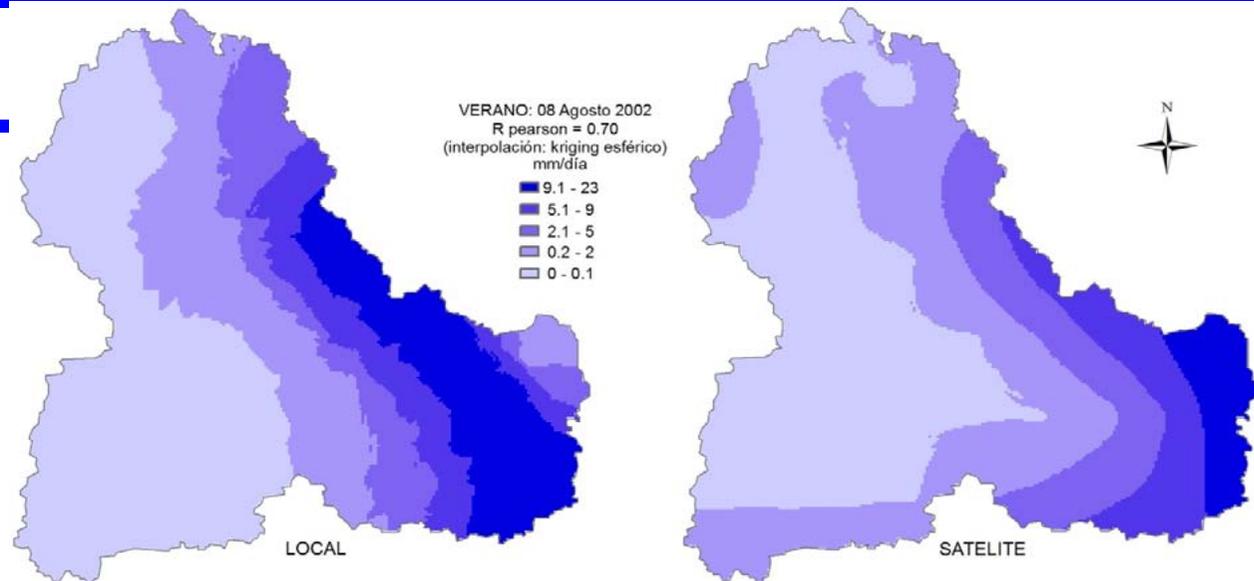


### 3. Lluvia Diaria

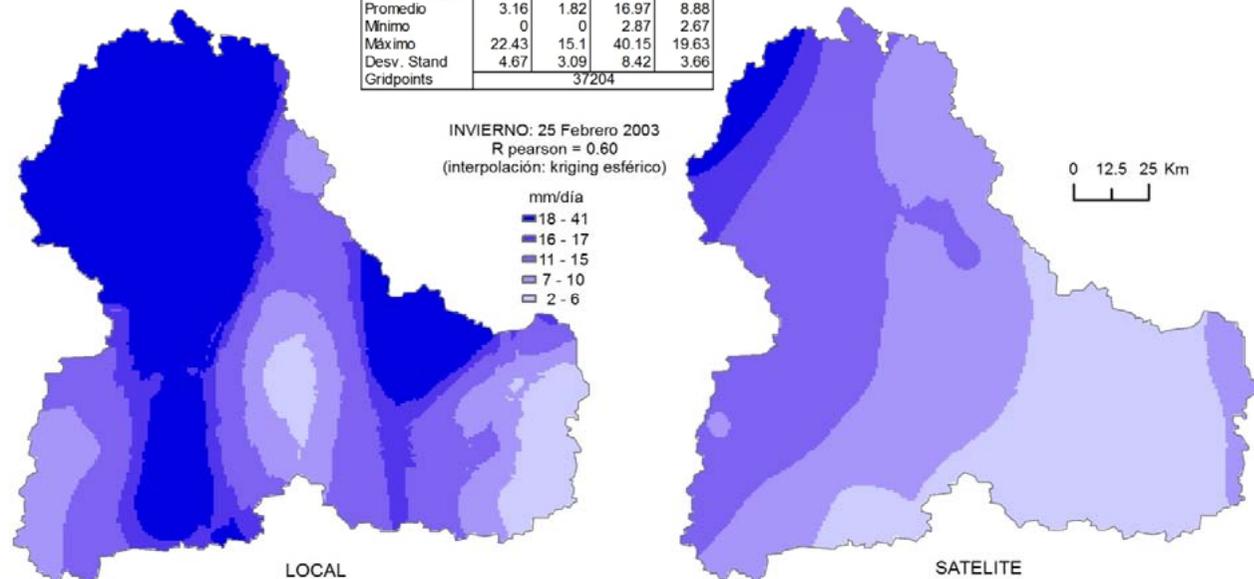
**Verano :** valores más altos (23 mm/día) se concentran en parte baja de la cuenca

**Invierno:** valores más altos (41 mm/día) se concentran en parte alta y media de la cuenca, por orografía (cadena de montañas)

**Coeficiente de Pearson:** obtiene la mejor correlación diaria el 08 de agosto 2002 (0.70) en verano y el 25 de febrero 2003 (0.60) en invierno.



Detalle	08 Agosto 2002		25 Febrero 2003	
	Local	Satélite	Local	Satélite
Estaciones	151		155	
Celdas del grid		110		110
Promedio	3.16	1.82	16.97	8.88
Mínimo	0	0	2.87	2.67
Máximo	22.43	15.1	40.15	19.63
Desv. Stand	4.67	3.09	8.42	3.66
Gridpoints	37204			

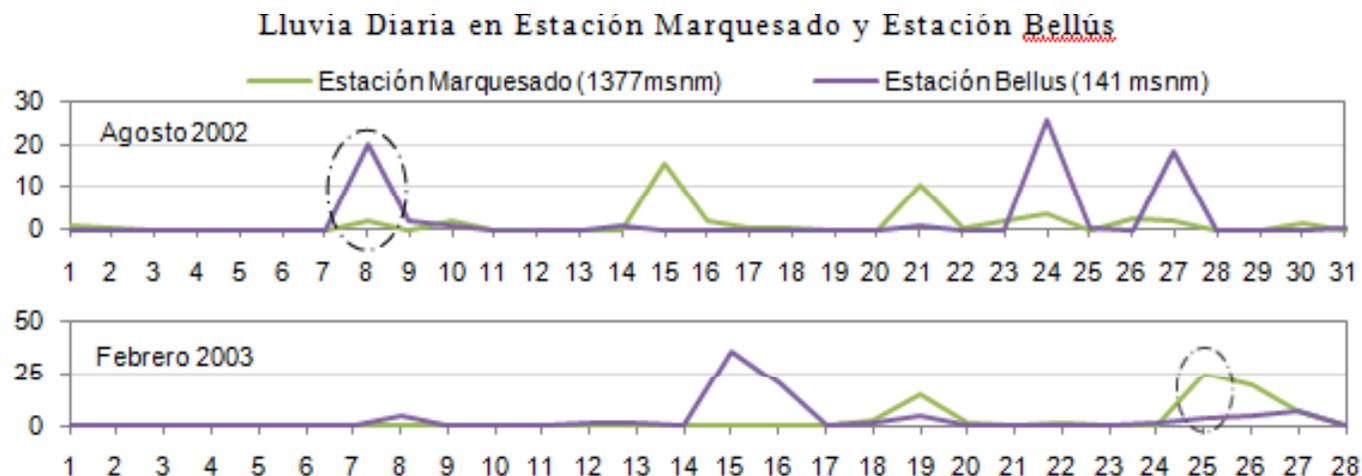


### 3. ....Lluvia Diaria

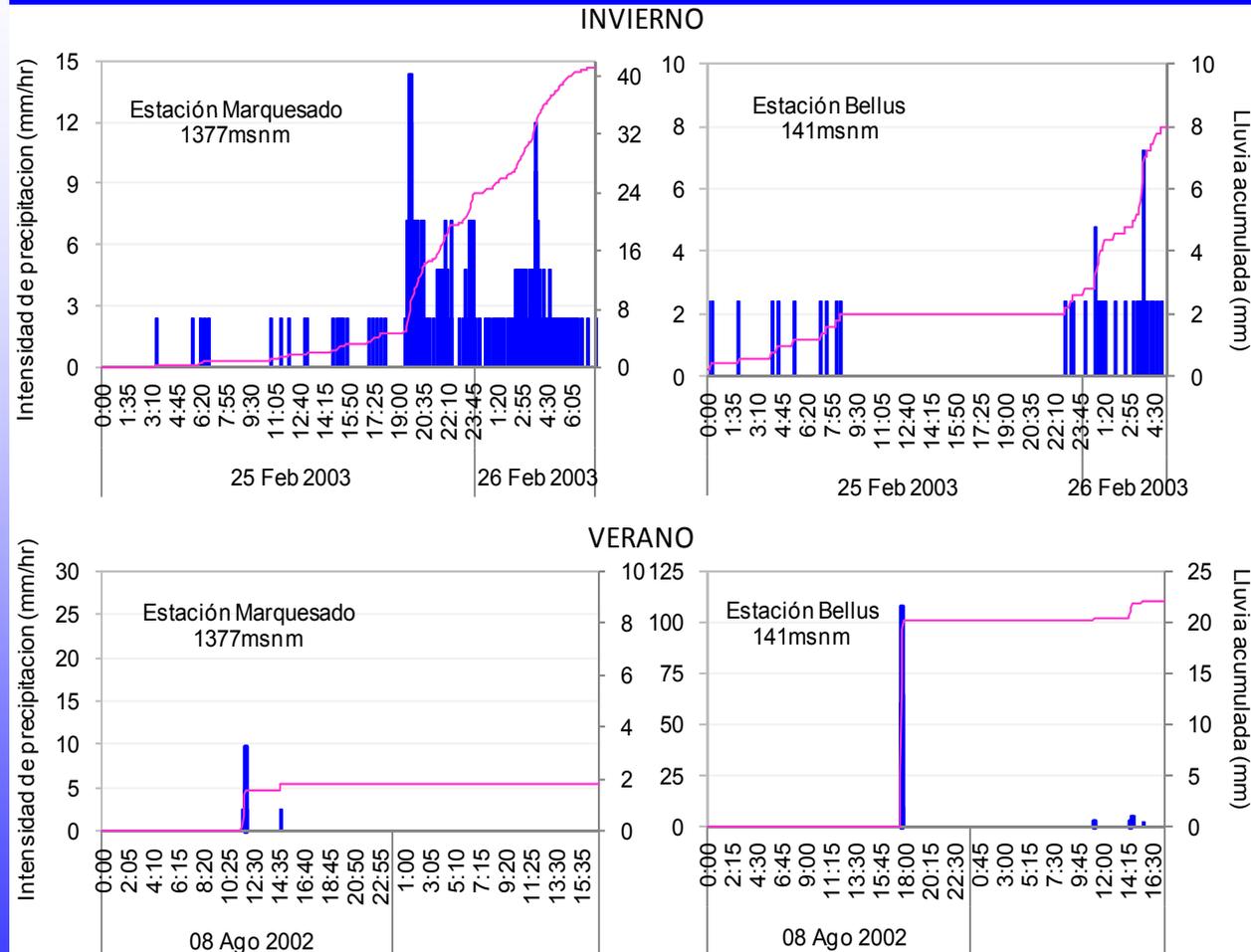
➤ Coeficiente de Pearson en las tres técnicas de interpolación, no se han encontrado diferencias significativas. Esto puede deberse a lo descrito por Tabios y Salas (1985) que dicen que si la densidad de la red pluviométrica es baja y dispersa entonces los distintos métodos de interpolación entre sí, arrojan resultados comparables.

Interpolación	VERANO		INVIERNO	
	Día: 08 Agosto 2002		Día: 25 Febrero 2003	
	local	Satélite	local	Satélite
IDW				
Promedio	3.13	1.93	17.28	8.91
Mínimo	0.00	0.00	0.00	2.66
Máximo	38.03	15.17	56.04	19.56
Desv. Stand	5.12	3.03	9.24	3.55
R pearson	0.69		0.48	
Kriging - Esférico				
Promedio	3.16	1.82	16.97	8.88
Mínimo	0.00	0.00	2.87	2.67
Máximo	22.43	15.10	40.15	19.63
Desv. Stand	4.67	3.09	8.42	3.66
R pearson	0.70		0.60	
Kriging - Exponencial				
Promedio	3.15	1.80	16.94	8.88
Mínimo	0.00	0.00	2.51	2.67
Máximo	22.68	15.12	40.88	19.63
Desv. Stand	4.68	3.07	8.66	3.65
R pearson	0.70		0.58	

Ejemplo: Estación Marquesado y Estación Bellus,



## Hietograma Típico de una Zona de Montaña y Zona Próxima a la Costa



Zonas Montañosas: en invierno, lluvias voluminosas.

Zonas cercanas al litoral: en verano, lluvias intensas y corta duración, con picos aislados de valor muy alto, originadas por Sistemas Convectivos en la Mesoescala (SCM) típicos del Mediterráneo.

Tian Y. y Peters-Lidard, C. (2010) con PERSIANN, obtienen mayor incertidumbre en zonas con latitud > 30N, especialmente en invierno y con topografía accidentada ; además pierden una cantidad importante de lluvia ligera (<10mm/d).

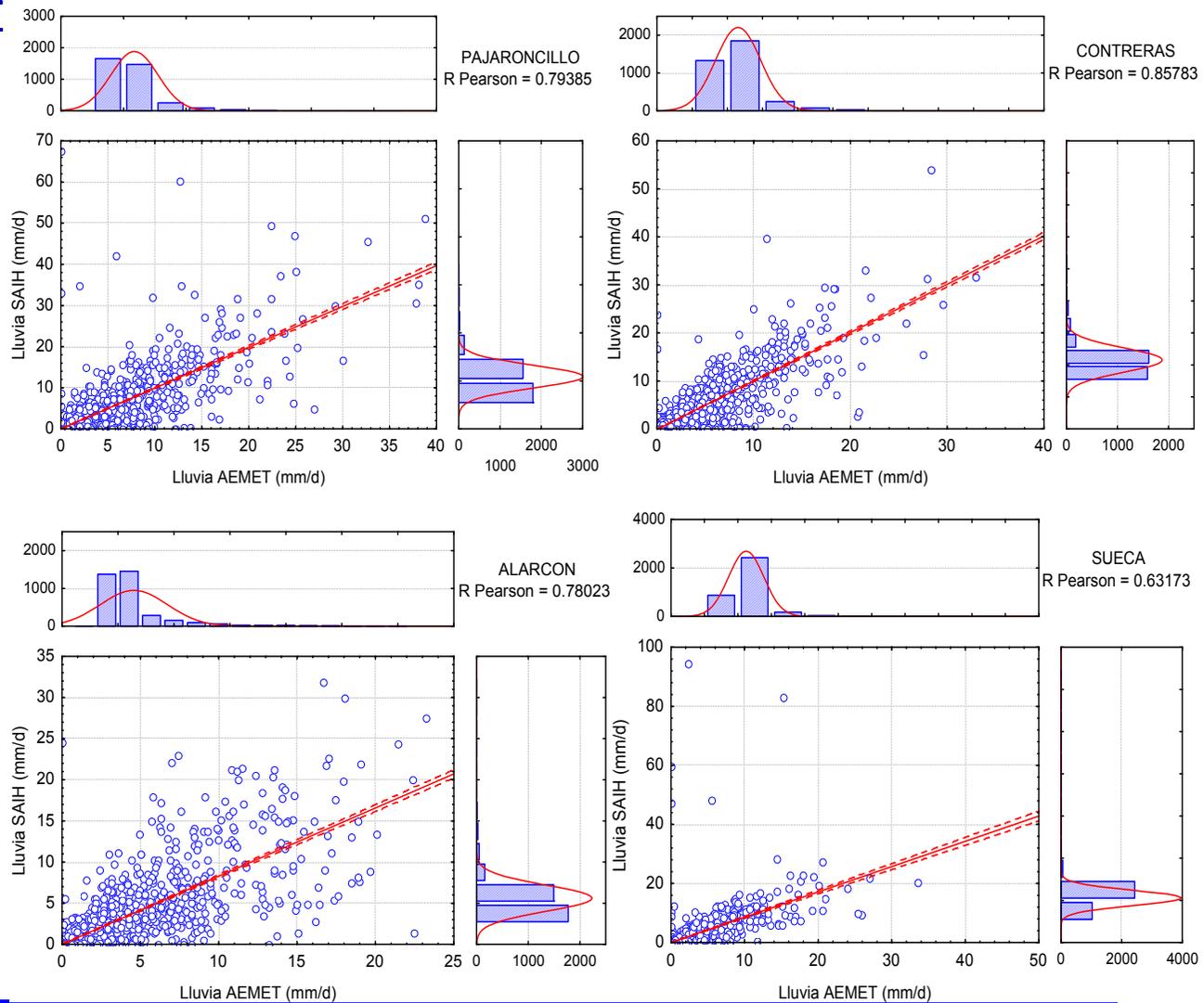
# Lluvia Agregada

## 1. Lluvia SAIH y AEMET

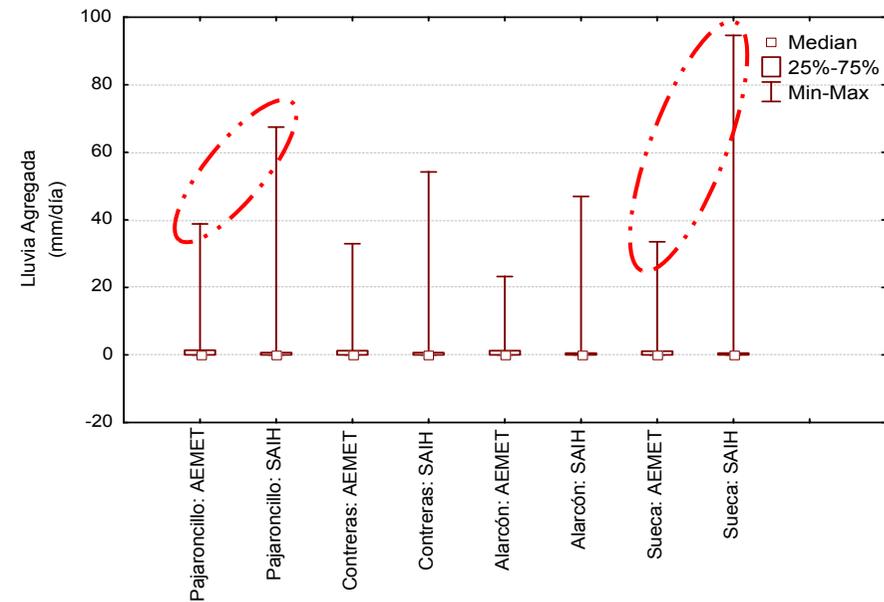
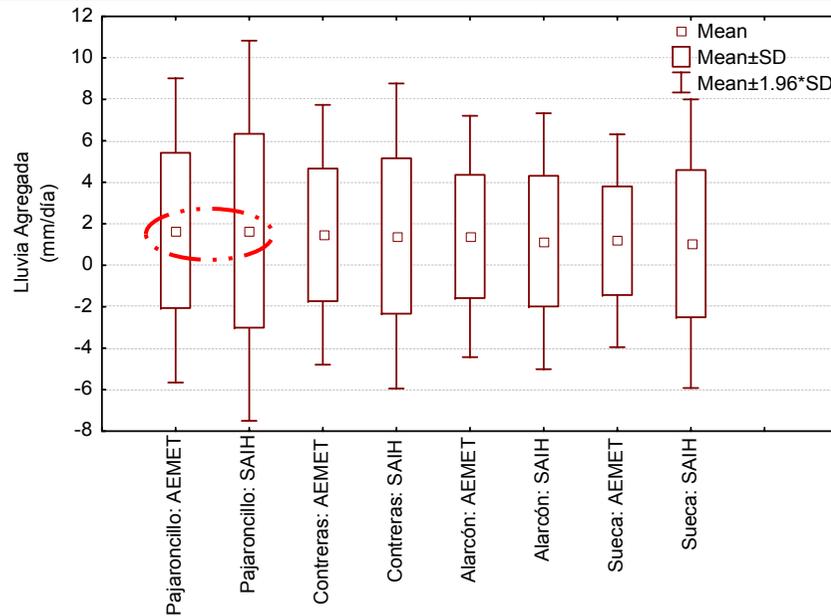
Buena Correlación de Pearson: valor más alto para Contreras (0.8578) y valor más bajo para Sueca (0.6317).

Esto permite inferir que es razonable combinar las dos fuentes de lluvia local (AEMET y SAIH) en la modelación hidrológica ya que la muestra generada es razonablemente similar.

Lluvia Agregada Diaria SAIH y AEMET: 2000-2009



### 1. .... Lluvia SAIH y AEMET



Resumen de Estadísticos de Lluvia Agregada Diaria SAIH y AEMET: 2000 a 2009

Detalle		Pajaroncillo	Contreras	Alarcón	Sueca
Área drenada (km <sup>2</sup> )		861	3427	2883	21523
Altitud (msnm)		1009	630	799	0
Nº de datos		3332	3332	3332	3332
Nº de Ceros	AEMET	2049	1710	1746	1249
	SAIH	1799	1589	1777	1029
Lluvia promedio	AEMET	1.68	1.47	1.39	1.19
	SAIH	1.66	1.41	1.16	1.04
Lluvia máxima	AEMET	38.81	32.93	23.20	33.52
	SAIH	67.49	54.18	46.95	94.65
Lluvia mínima		0.00	0.00	0.00	0.00
R Pearson AEMET vs SAIH		0.79	0.86	0.78	0.63

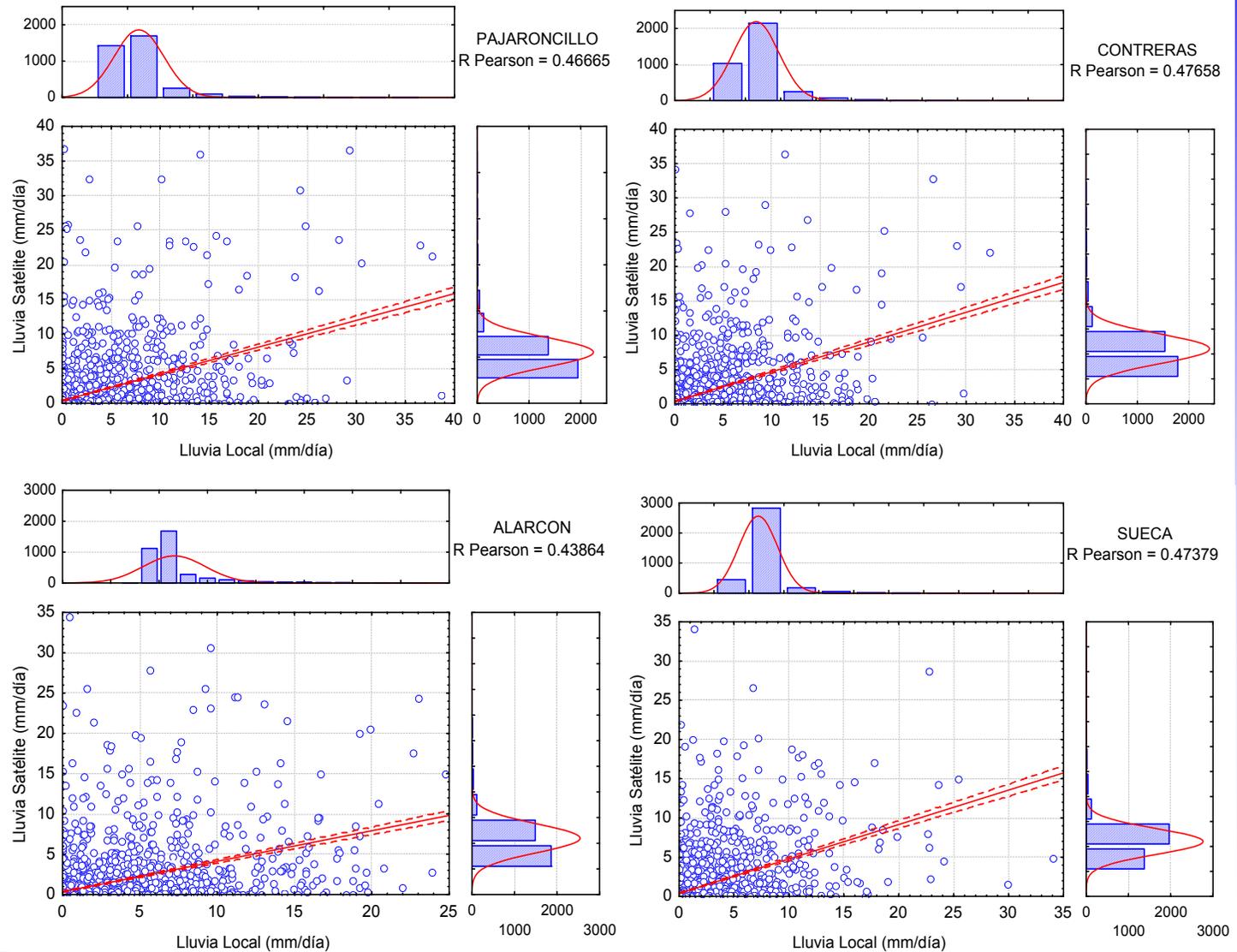
En cuanto al **valor promedio**, No hay diferencias significativas.

Sin embargo si hay diferencias con respecto al **valor máximo**

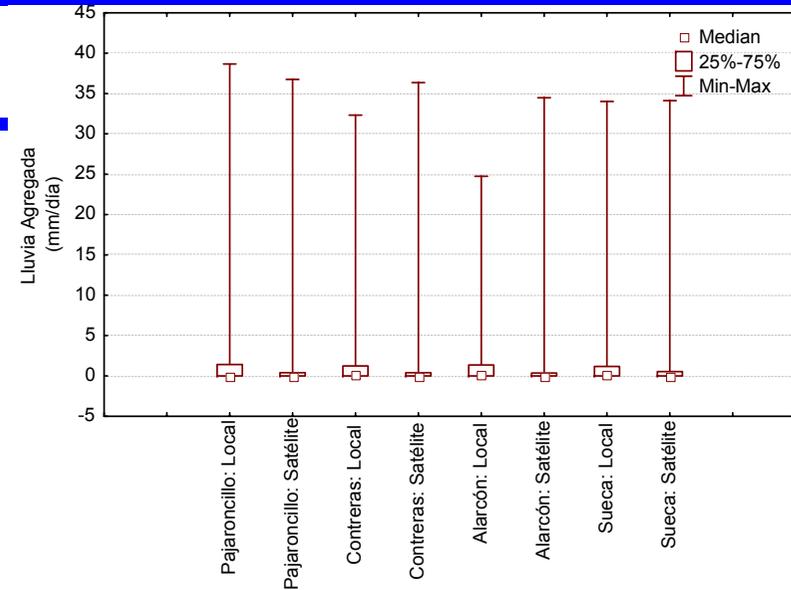
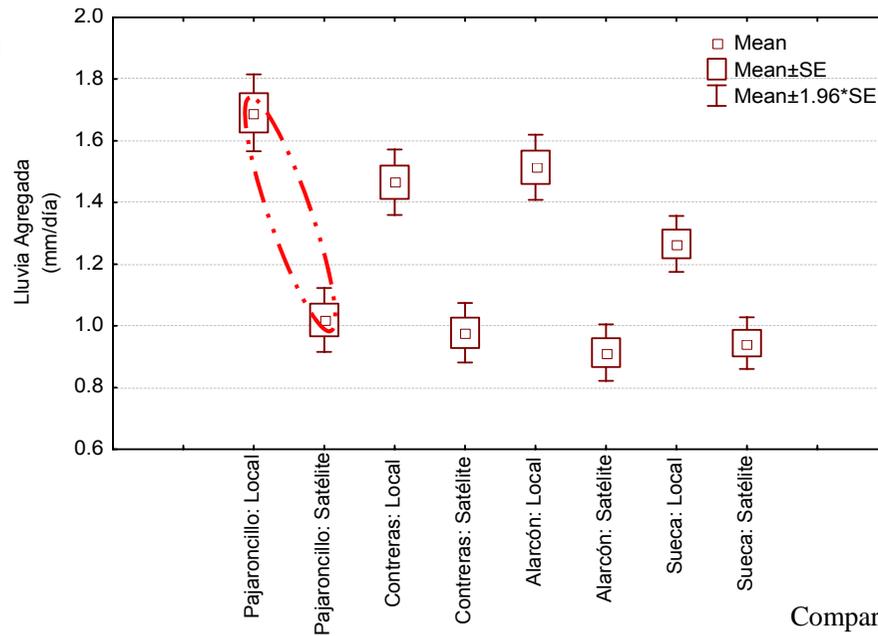
## 2. Lluvia Local y Satélite

Lluvia Agregada Diaria Local y Satélite: 2000-2009

Diferencias significativas, variando correlación de Pearson entre **0.4386** (Alarcón) a **0.4766** (Contreras)

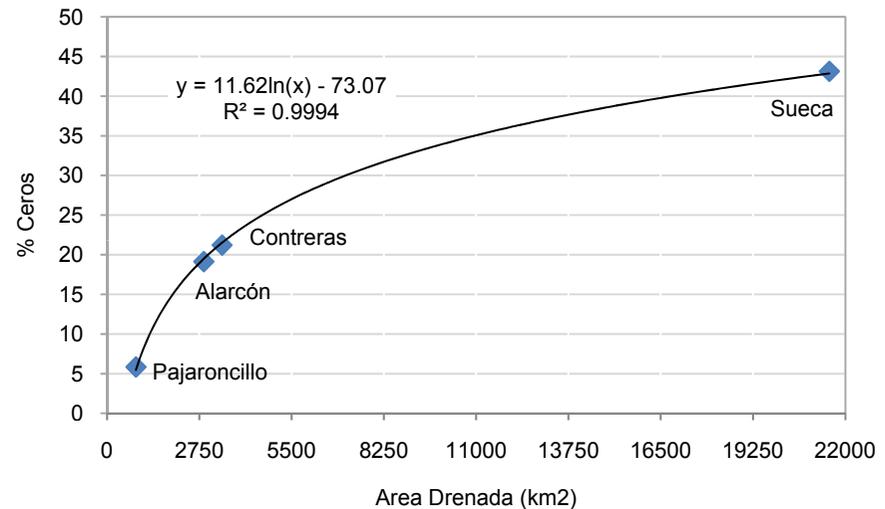


## 2. ...Lluvia Local y Satélite



Con respecto al valor promedio: la lluvia satélite obtiene menores valores (0.91-1.02 mm/d) que con lluvia local (1.27-1.69 mm/d), aumentando esta tendencia conforme aumenta el % de ceros de lluvia de satélite y estos a su vez siguen la misma tendencia creciente con el área drenada de la cuenca.

Comparación de Área Drenada de la Cuenca y Porcentaje de Ceros de Lluvia Satélite



## 2. ...Lluvia Local y Satélite

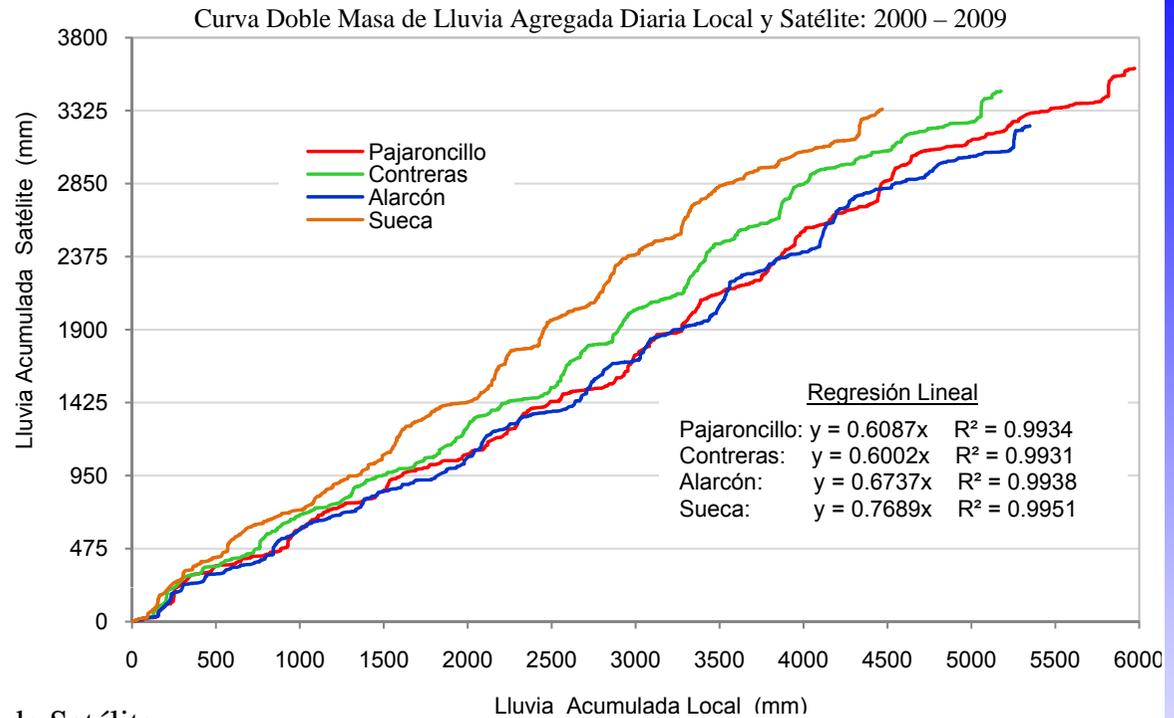
Resumen de Estadísticos de Lluvia Agregada Diaria Local y Satélite: 2000 a 2009

Detalle		Pajaroncillo	Contreras	Alarcón	Sueca
Área drenada (km <sup>2</sup> )		861	3427	2883	21523
Altitud (msnm)		1009	630	799	0
Nº de datos		3332	332	332	332
Nº de Ceros	LOCAL	1833	1411	1505	782
	SATELITE	1947	1791	1861	1375
% Ceros: (Satélite-Local)/Satélite		6	21	19	43
Lluvia promedio	LOCAL	1.69	1.47	1.51	1.27
	SATELITE	1.02	0.98	0.91	0.94
Lluvia máxima	LOCAL	38.67	32.33	24.75	34.01
	SATELITE	36.75	36.35	34.48	34.12
Lluvia mínima	LOCAL, SATELITE	0.00	0.00	0.00	0.00
R Pearson	LOCAL vs SATELITE	0.47	0.48	0.44	0.47

En general, el valor promedio es bajo con lluvia de satélite y esto se debe a la cantidad de ceros en la información.

## 2. ...Lluvia Local y Satélite

Curva doble masa:  
valores acumulados  
son menores con lluvia  
satélite.



Matriz de Acierto y No Acierto de Lluvia de Satélite

Pajaroncillo		Contreras	
0.56	0.44	0.55	0.45
0.17	0.83	0.18	0.82
Alarcón		Sueca	
0.54	0.46	0.60	0.40
0.16	0.84	0.20	0.80

Matriz de acierto de lluvia:

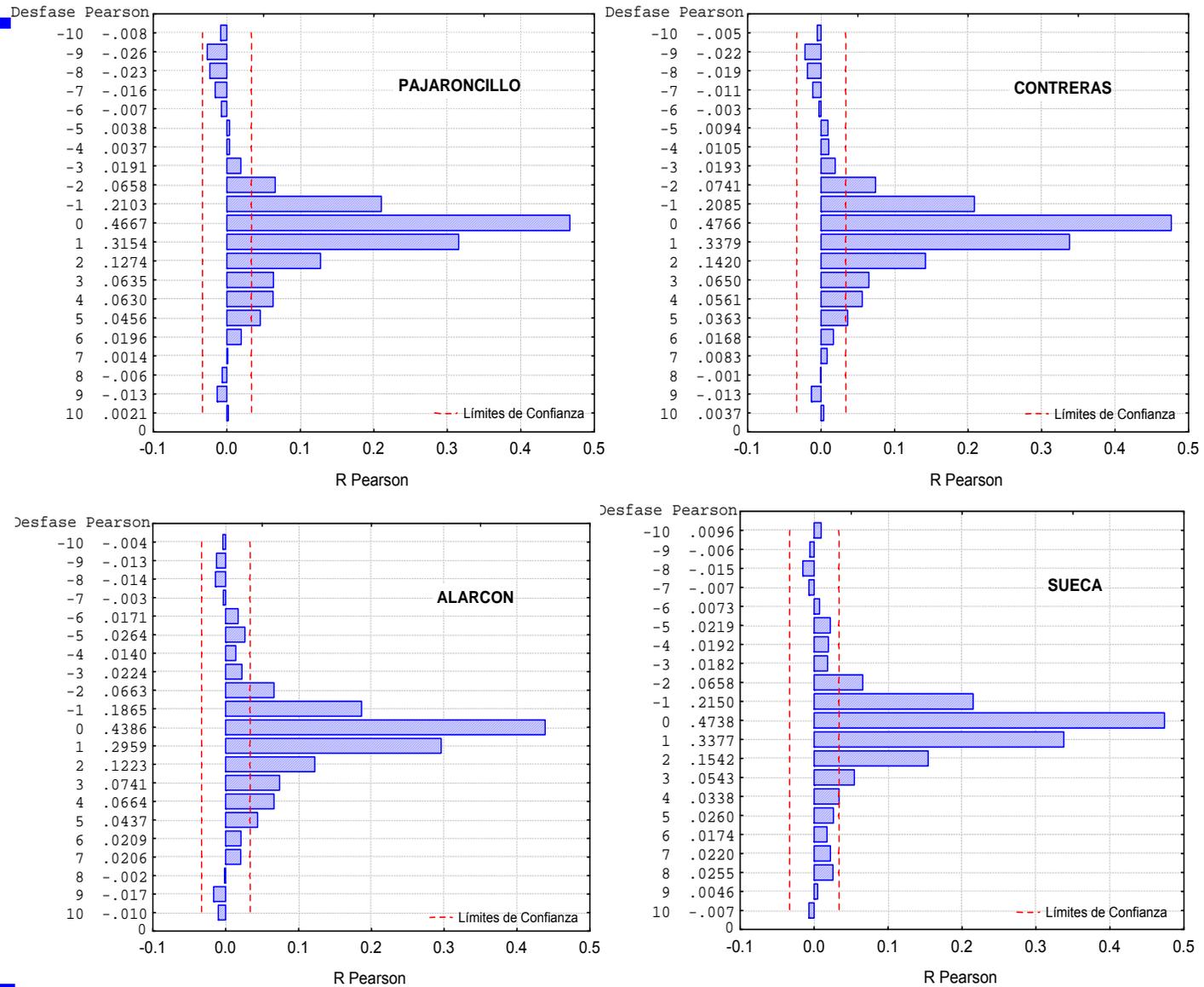
- Probabilidad mayor se da al “acierto de no lluvia”: 0.80 - 0.84
- Probabilidad de “acierto de lluvia”: 0.54 - 0.60

MATRIZ		Lluvia Satélite	
		Lluvia	No lluvia
Lluvia Local	Lluvia	Acierto de lluvia	Fallo de lluvia
	No lluvia	Fallo de no lluvia	Acierto de no lluvia

\* Lluvia  $\geq 0.1\text{mm/d}$

## 2. ...Lluvia Local y Satélite

Correlación de Pearson con Desfase de Lluvia Satélite



# Metodología

## 1. Preparación de Información Input:

- Mapas en formato ASCII de: MED, Celdas acumuladas, Direcciones de flujo, pendiente, velocidad.

- Nueve parámetros geomorfológicos: Archivo "parangeo.txt"

- Parámetros hidrológicos en formato ASCII: Hu, Ks, Kp, Kps, Kss, Ksa.

- Índice de cobertura vegetal ( $\lambda$ ): Archivo "FactorETmes.txt"

- Archivo input en formato CEDEX en Fila

```
* MODELO DE SIMULACIÓN - T E T I S V.8.0 -
* Desarrollado en:
* UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
* Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
* Unidad de Ingeniería Hidráulica e Hidrología
*
* DATOS DEL MODELO TETIS EN FORMATO CEDEX EN FILA
*
* Número de datos Intervalo Temporal Diario (en minutos)
*
* G 3532 1440 Δt = 1 día = 1440 minutos
* F 01-03-2000 00:00
* Inicio de Modelación
*
* INFORMACION DE LLUVIA Coord. UTM X Coord. UTM Y Z Δt=0 Δt=1 Δt=2 Δt=3 ..... Δt=3532
*
P*ESTACION CUENCA " 573385.000 4436619.000 952.000 0.00 1.500 1.100 0.876 ..... 2.890
P*ESTACION PARRILLA " 561000.000 4411799.000 851.000 0.00 1.234 1.987 0.876 ..... 1.345
P*ESTACION TOBA " 591836.000 4451876.000 1210.000 0.00 0.987 0.468 0.380 ..... 2.690
.....
*
* INFORMACION DE EVAPOTRASPIRACION POTENCIAL Sin información
*
E*ESTACION CASA CEJALBO " 597737.000 4336571.000 640.000 0.00 2.996 3.052 -1 ..... 3.471
E*ESTACION LOS LLANOS " 598522.000 4312162.000 704.000 0.00 2.809 -1 3.363 ..... 3.161
*
.....
*
* INFORMACION DE AFOROS
*
Q "MONTAVERNER " 717300.000 4308200.000 162.000 0.00 0.456 0.367 0.135 ..... 0.467
Q "MANUEL " 716800.000 4324700.000 0.000 0.00 0.270 0.281 0.273 ..... 0.279
Q "PAJARONCILLO " 610900.000 4422200.000 940.000 0.00 1.548 1.543 1.542 ..... 1.530
*
```

Formato de Archivo Input del Modelo TETIS: archivo 01030000.e00 con inicio de modelación el 01 de marzo del 2000.

## 2. Condiciones Iniciales de Humedad:

- Primero: definió valores de humedad inicial (el mismo valor H para todas las celdas) para un periodo de calentamiento obteniéndose al final de la simulación, un archivo con las condiciones finales de humedad: Archivo hantec.sds (valores de humedad distribuidos en la cuenca, un valor en cada celda)
- Segundo: realizó la simulación considerando como valores iniciales de humedad los producidos por la simulación anterior.

## 3. Calibración y Validación:

- Calibración Manual: ajustó flujo base, luego error en el volumen que es más sensible a las condiciones iniciales de humedad en los tanques 1, 4 y 5 (tanque estático, acuífero y cauce).
- Calibración Automática: Índice Nash-Sutcliffe (Q picos)
- Validación Temporal y Espacial

## 4. Evaluación del Modelo:

- Índice de Nash-Sutcliffe
- % Error en el volumen
- Error Cuadrático Medio RMSE (m<sup>3</sup>/s)

ARCHIVO HACTEC.SDS: Humedad en los Tanques 1, 2, 3, 4 y 5					
NORTE-SUR:	4466500	4420500			
ESTE-OESTE:	634500	607000			
COLUMNAS:	55				
FILAS:	92				
COL-FINAL:	8				
FIL-FINAL:	89				
NUM-CELDA:	3443				
Nro. de Celdas	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H5 (mm)
1	33.6962	0	16.9344	86.7739	0.0024
2	33.7068	0	18.952	86.7109	0.0019
3	33.6528	0	14.9078	86.6946	0.0021
4	25.2557	0	0	8.6214	0.0043
5	25.1769	0	0	8.6678	0.0042
6	25.091	0	0	8.6036	0.0057
7	24.9948	0	0	20.2933	0.0072
8	42.5456	0.0002	0.0033	11.0566	0.0051
9	33.9189	0	0.3939	209.2545	0.0021
10	79.6735	0	0.0303	130.5066	0.0007
11	33.5481	0.0001	5.8715	278.5176	0.0043
12	33.553	0	3.7045	191.9289	0.0032
.....	.....	.....	.....	.....	.....
3434	10.2417	0	0	0.0187	4.2117
3435	10.415	0	0	0.0067	5.029
3436	11.2956	0	0	0.0006	4.4755
3437	11.4799	0	0	0.0014	5.7299
3438	12.1284	0	0	117.3066	4.0827
3439	12.5506	0	0	118.5332	4.0381
3440	12.9515	0	3.1005	156.088	5.6827
3441	20.6106	0.0053	0.025	184.3838	6.2991
3442	21.804	0.0024	0.0033	219.22	6.3549
3443	22.706	0	0	6.7927	3.7106

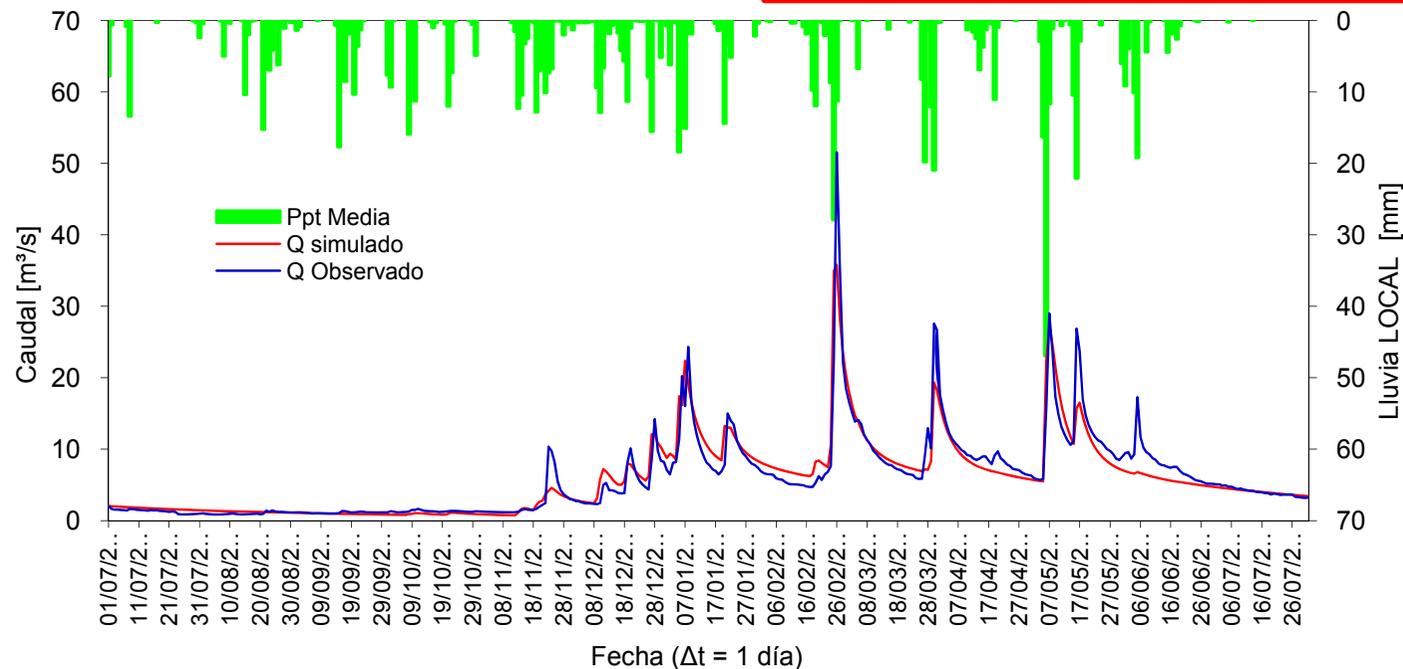
Condiciones de Humedad Final el 30/11/06 y que serán las Condiciones Iniciales de Humedad de la Calibración que se inicia el 01/12/06

# Resultados: Modelación con Lluvia Puntual Local

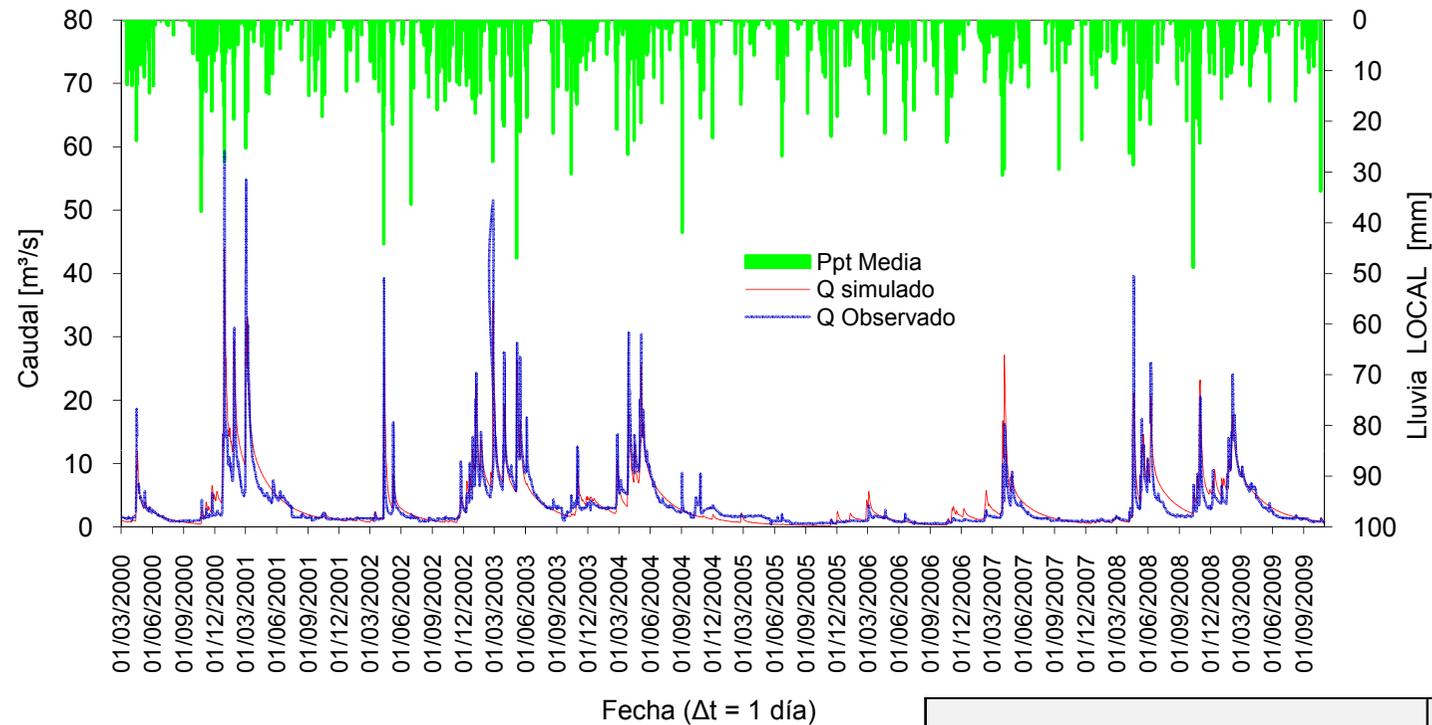
## 1. Calibración en Pajaroncillo: 01 Julio 2002 al 31 Julio 2003

Factores Correctores		
FC-1	Almacenamiento estático	0.942
FC-2	Evapotranspiración	0.636
FC-3	Infiltración	0.924
FC-4	Escorrentía directa	0.004
FC-5	Percolación	0.248
FC-6	Interflujo	501.774
FC-7	Perdidas Subterráneas	0.000
FC-8	Flujo Base	2.389
FC-9	Velocidad en los cauces	0.834

Principales Características:	Jul 02 - Jul 03 Δt = 1 día
Caudal máximo observado (m3/s)	51.525
Caudal máximo simulado (m3/s)	35.793
Nro de datos	396
Caudal medio observado	5.964
Volumen Observado (Hm3)	204.067
Volumen Simulado (Hm3)	199.171
Error en Volumen(%)	-2.40
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>0.874</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m3/s)	2.070

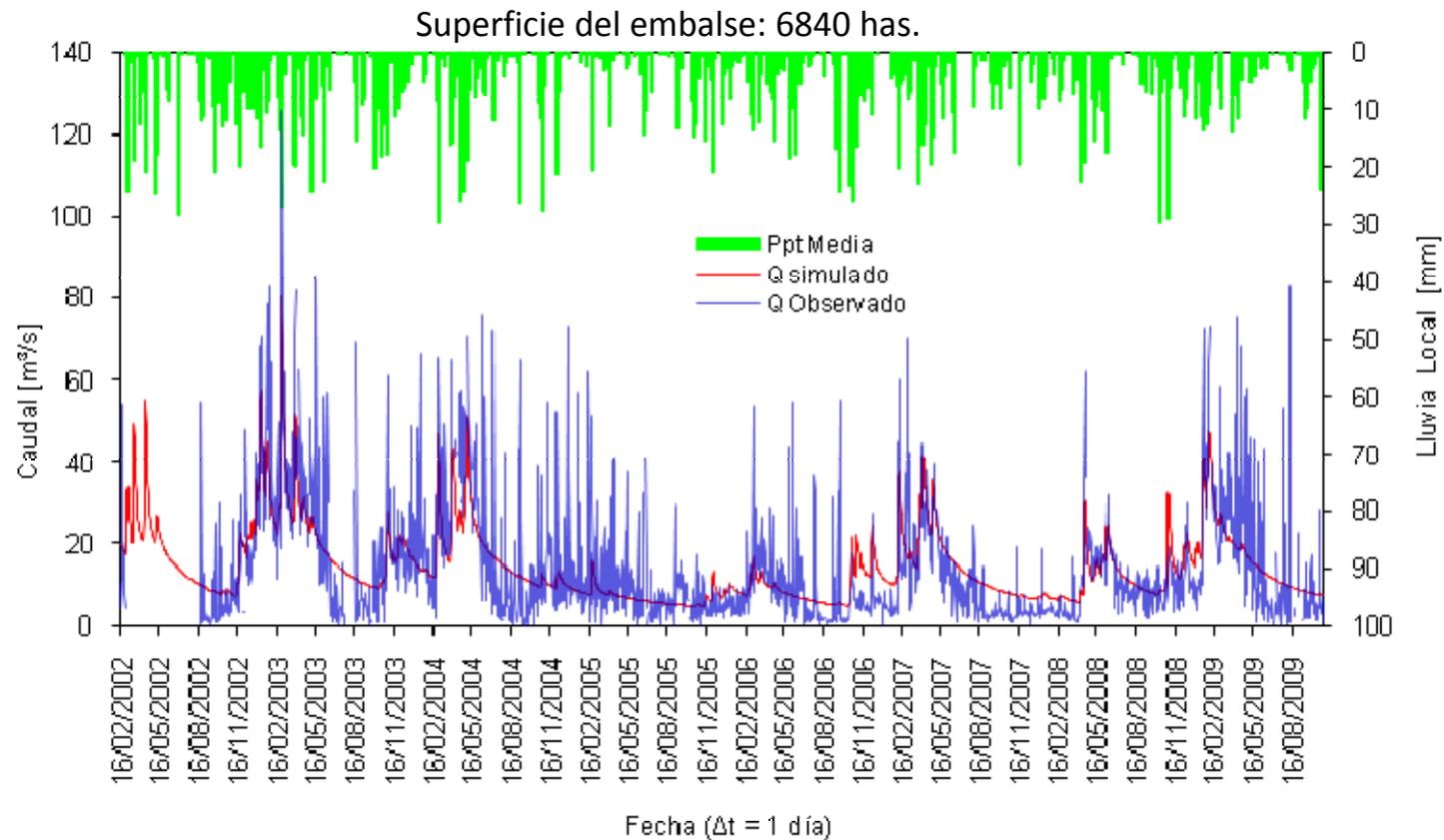


## 2. Validación Temporal: Pajaroncillo, 01 Marzo 2000 al 31 Octubre 2009



Principales Características:	Mar 00 - Oct 09 $\Delta t = 1$ día
Caudal máximo observado (m3/s)	59.327
Caudal máximo simulado (m3/s)	43.993
Nro de datos	3511
Caudal medio observado	3.391
Volumen Observado (Hm3)	1028.772
Volumen Simulado (Hm3)	1129.975
Error en Volumen(%)	9.837
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>0.810</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE)	1.916

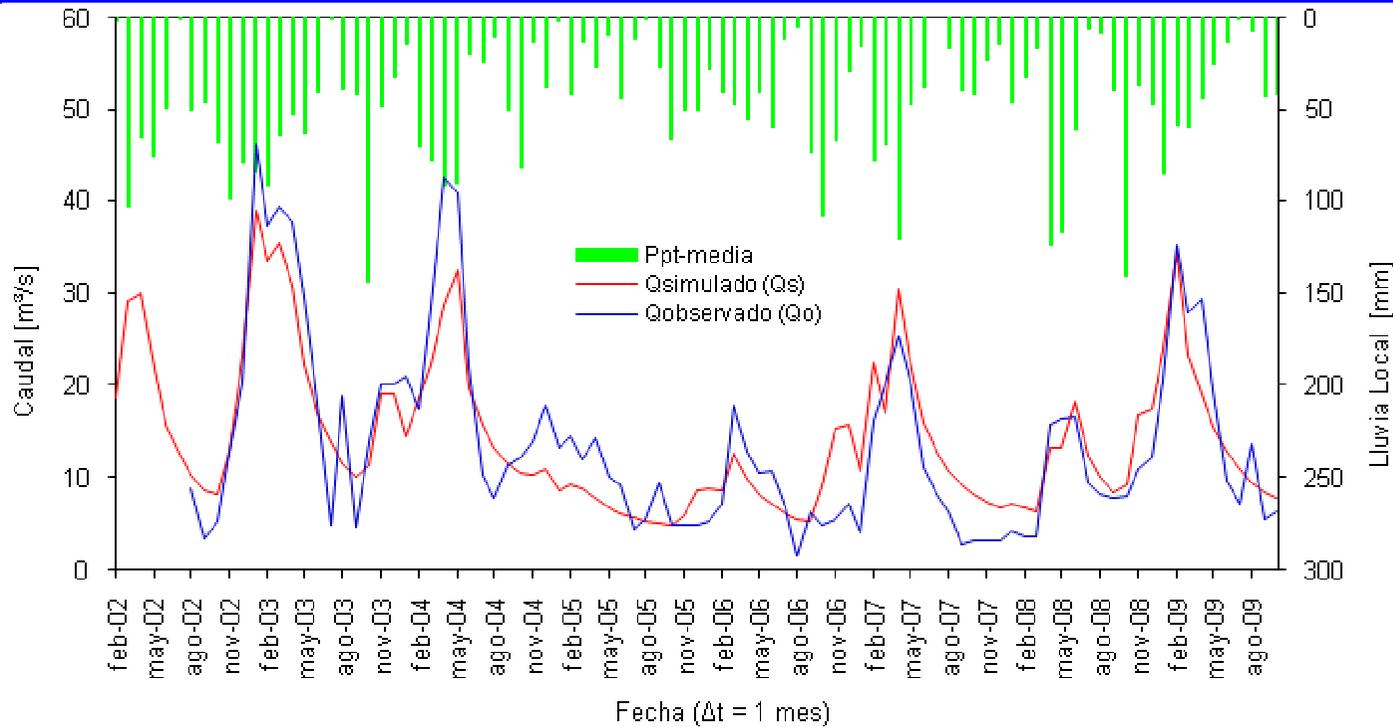
### 3. Validación Espacio-Temporal: Entrada a Embalse Alarcón, 01 Febrero 2002 al 31 Octubre 2009



Estas oscilaciones (pelos) son originadas por la variación del nivel del embalse debido a que SAIH obtiene por balance el Qentrada (Qsalida y variación del nivel). Esto está deteriorando los estadísticos.

A nivel mensual, oscilaciones desaparecen ya que valores extremos se compensan: Ejemplo, el Índice Nash-Sutcliffe mejora de 0.50 a 0.78

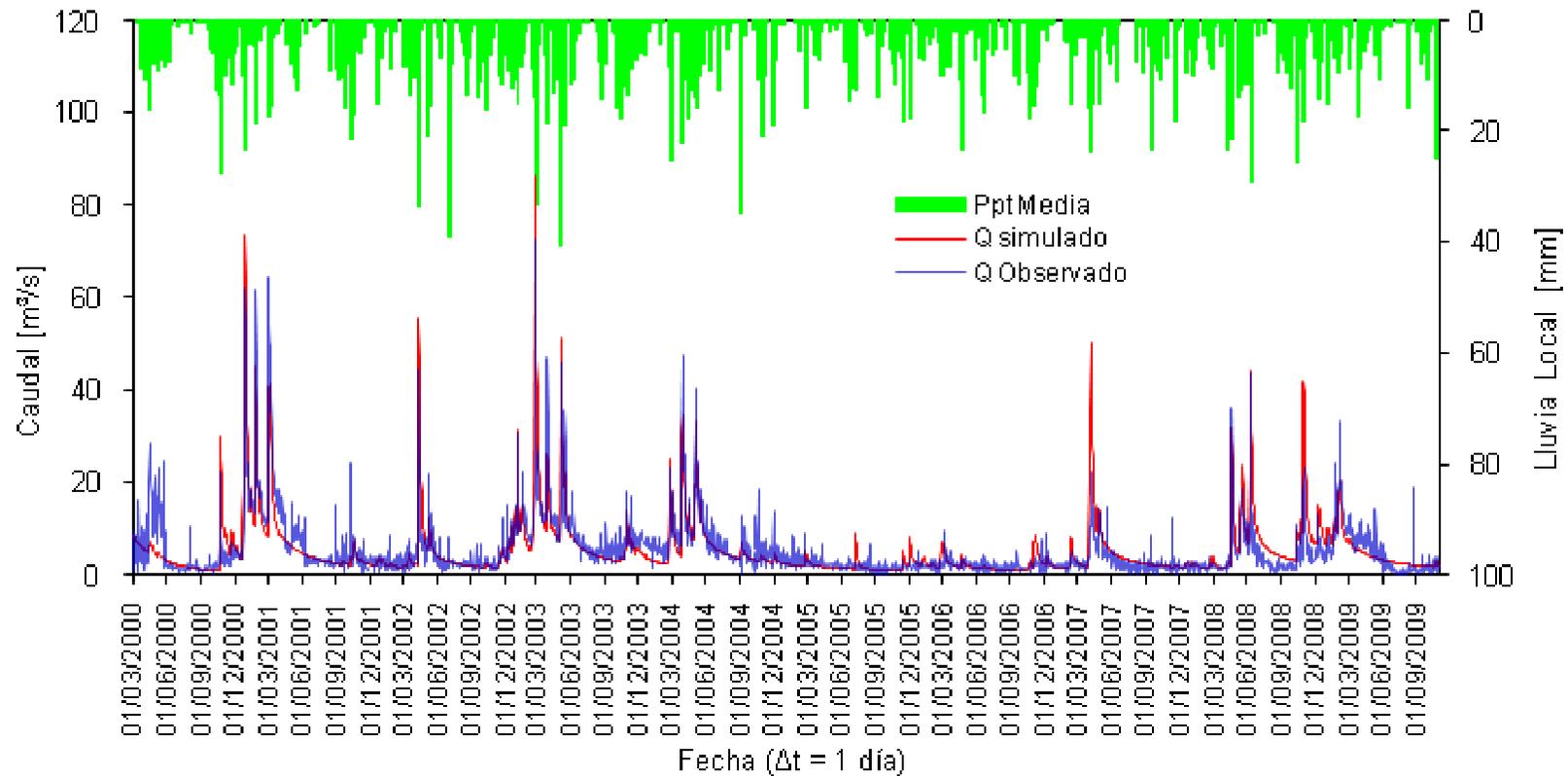
### 3. ... Validación Espacio-Temporal: Entrada a Embalse Alarcón, Febrero 2002 a Octubre 2009



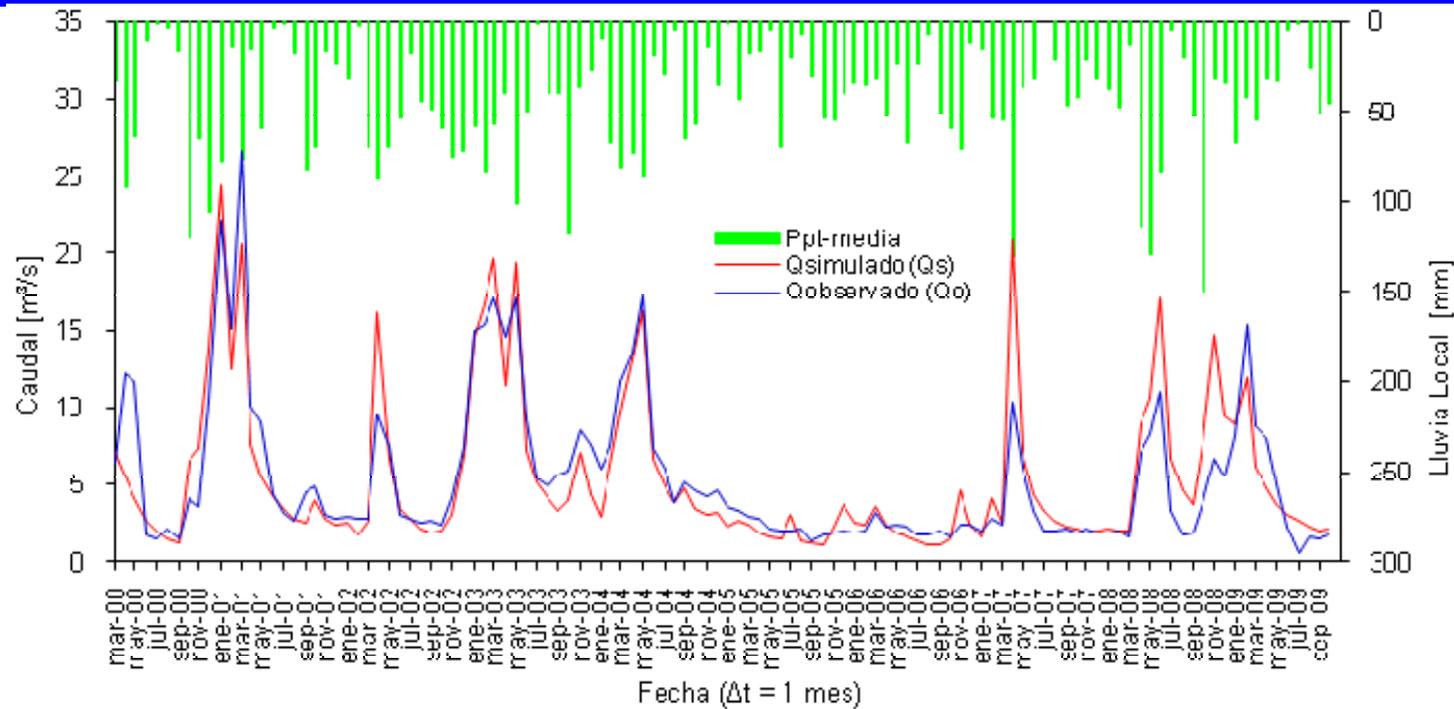
Principales Características:	Feb 02 - Oct 09 $\Delta t = 1$ día	Feb 02 - Oct 09 $\Delta t = 1$ mes
Caudal máximo observado (m3/s)	125.891	45.99
Caudal máximo simulado (m3/s)	80.363	38.95
Nro de datos	2472	88
Caudal medio observado	13.801	13.85
Volumen Observado (Hm3)	2947.645	2947.64
Volumen Simulado (Hm3)	2960.145	2960.15
Error en Volumen(%)	0.42	0.42
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	0.509	0.78
Error Cuadrático Medio (RMSE)	9.872	4.77

**4. Validación Espacio-Temporal:** Entrada a Embalse Contreras, 01 Marzo 2000 al 31 Octubre 2009

Superficie del embalse: 2748 has.



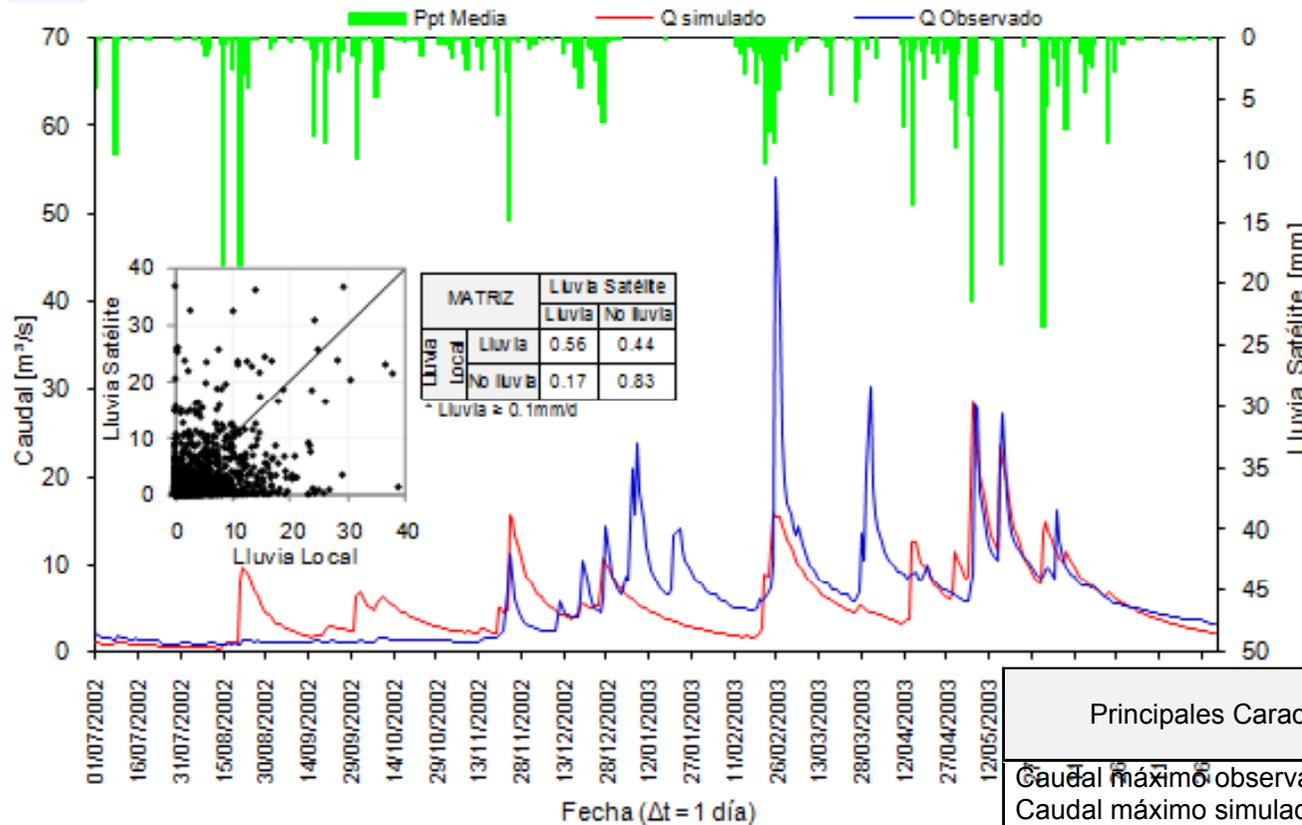
**4. ... Validación Espacio-Temporal:** Entrada a Embalse Contreras, Marzo 2000 a Octubre 2009



Principales Características:	Mar 00 - Oct 09 Δt = 1 día	Mar 00 - Oct 09 Δt = 1 mes
Caudal máximo observado (m3/s)	72.523	26.61
Caudal máximo simulado (m3/s)	86.111	24.41
Nro de datos	3505	116
Caudal medio observado	5.442	5.44
Volumen Observado (Hm3)	1648.023	1648.02
Volumen Simulado (Hm3)	1658.434	1658.43
Error en Volumen(%)	0.632	0.63
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>0.620</b>	<b>0.75</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE)	3.927	2.39

# Resultados: Modelación con Lluvia Global Satélite

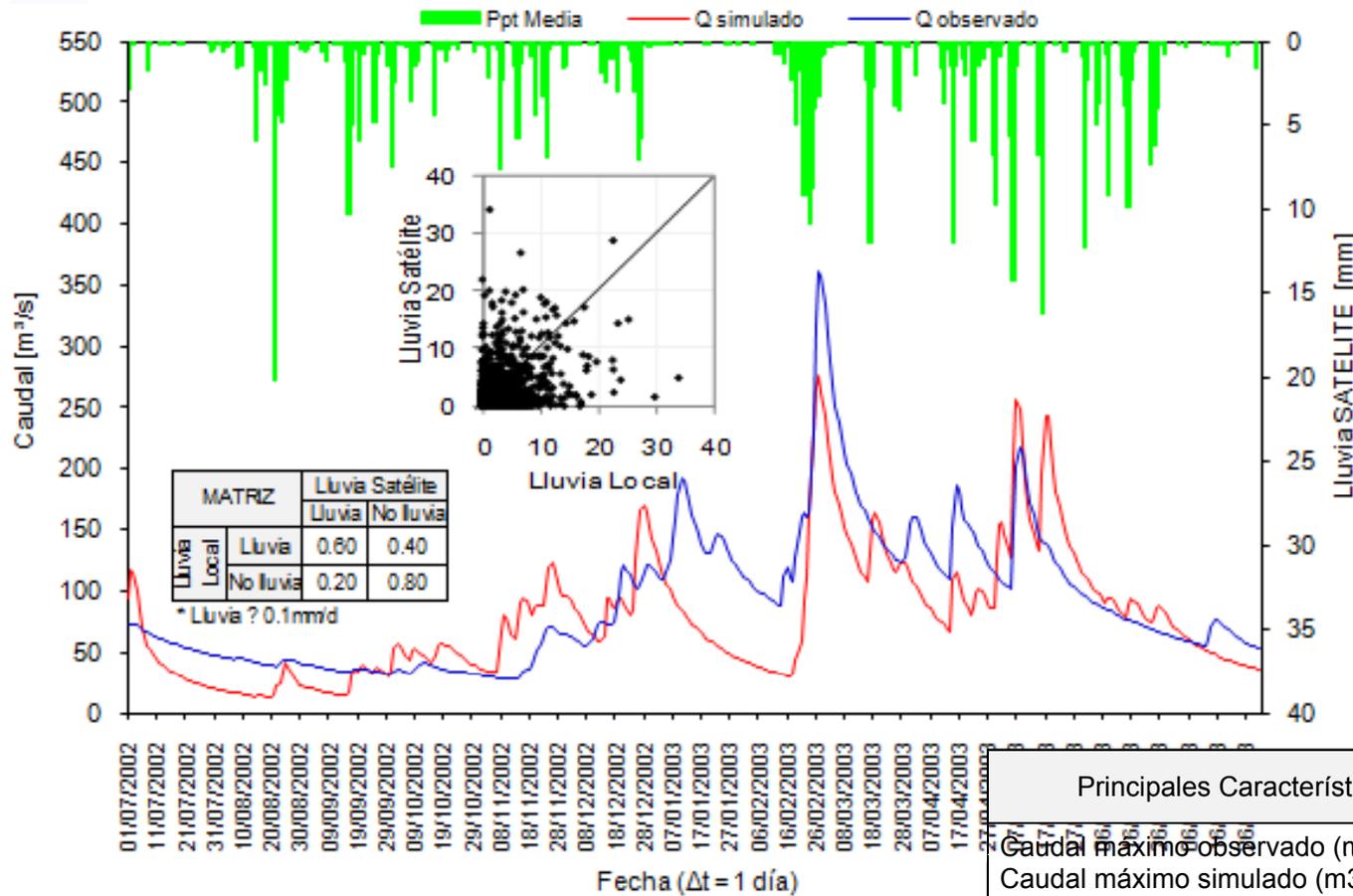
## 1. Calibración en Pajaroncillo: 01 Julio 2002 al 31 Julio 2003



Factores Correctores:		Calibración: Jul02 - Jul03
FC-1	Almacenamiento estático	0.84311
FC-2	Evapotranspiración	0.19337
FC-3	Infiltración	0.62216
FC-4	Escorrentía directa	0.00381
FC-5	Percolación	0.25663
FC-6	Interflujo	462.21899
FC-7	Perdidas Subterráneas	0
FC-8	Flujo Base	7.74713
FC-9	Velocidad en los cauces	0.88396

Principales Características:	Jul 02 - Jul 03 $\Delta t = 1$ día	Jul 02 - Jul 03 $\Delta t = 1$ mes
Caudal máximo observado (m3/s)	54.075	12.75
Caudal máximo simulado (m3/s)	28.394	14.35
Nro de datos	396	13
Caudal medio observado	5.964	5.98
Volumen Observado (Hm3)	204.038	204.04
Volumen Simulado (Hm3)	186.357	186.36
Error en Volumen(%)	-8.666	-8.67
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>0.384</b>	<b>0.51</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m3/s)	4.647	2.91

## 2. Calibración en Sueca: 01 Julio 2002 al 31 Julio 2003



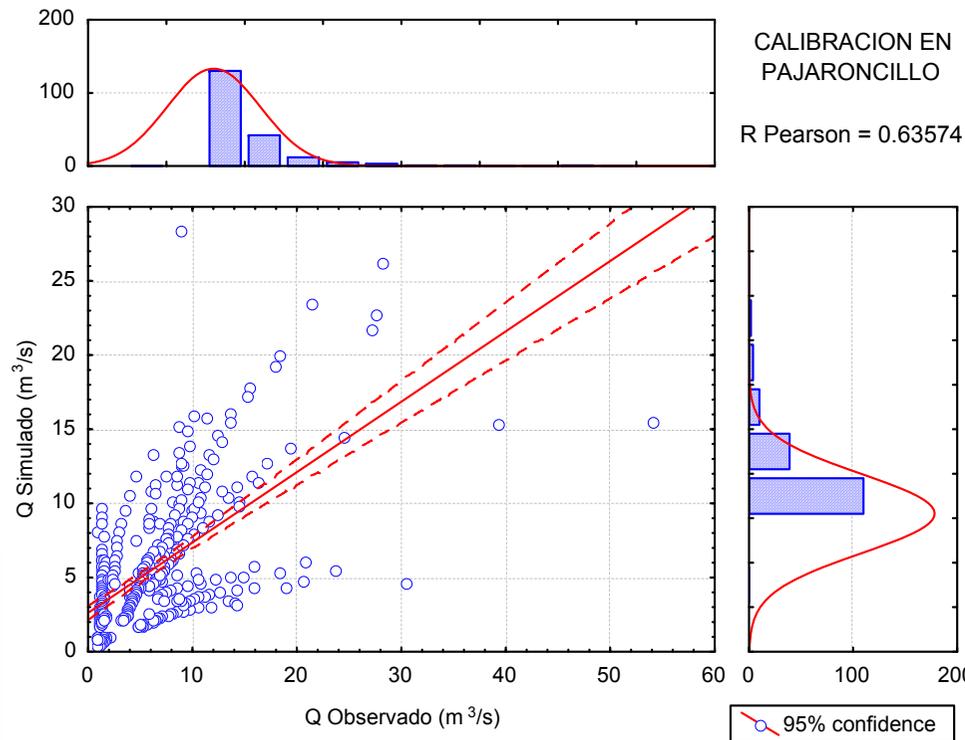
MATRIZ		Lluvia Satélite	
		Lluvia	No luvia
Lluvia Local	Lluvia	0.60	0.40
Lluvia Local	No luvia	0.20	0.80

\* Lluvia > 0.1mm/d

Factores Correctores:		Calibración: Jul02 - Jul03
FC-1	Almacenamiento estático	0.80790
FC-2	Evapotranspiración	0.36560
FC-3	Infiltración	0.73470
FC-4	Escorrentía directa	0.06330
FC-5	Percolación	0.75290
FC-6	Interflujo	500.07541
FC-7	Perdidas Subterráneas	0
FC-8	Flujo Base	5.82500
FC-9	Velocidad en los cauces	0.60290

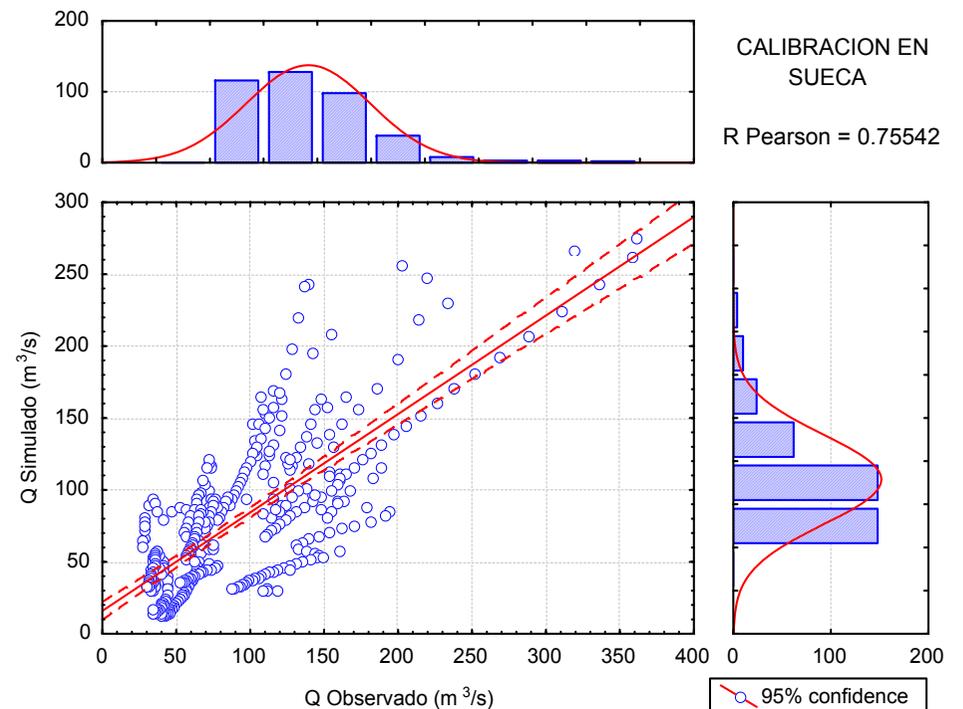
Principales Características:	Jul 02 - Jul 03 $\Delta t = 1$ día	Jul 02 - Jul 03 $\Delta t = 1$ mes
Caudal máximo observado (m3/s)	361.095	181.73
Caudal máximo simulado (m3/s)	275.226	168.93
Nro de datos	396	13.00
Caudal medio observado	90.568	90.80
Volumen Observado (Hm3)	3098.745	3098.74
Volumen Simulado (Hm3)	2664.485	2664.49
Error en Volumen(%)	-14.014	-14.01
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>0.499</b>	<b>0.48</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m3/s)	40.599	34.82

### Correlación de Pearson (r):



La correlación lineal de Pearson entre caudales observados y caudales simulados:

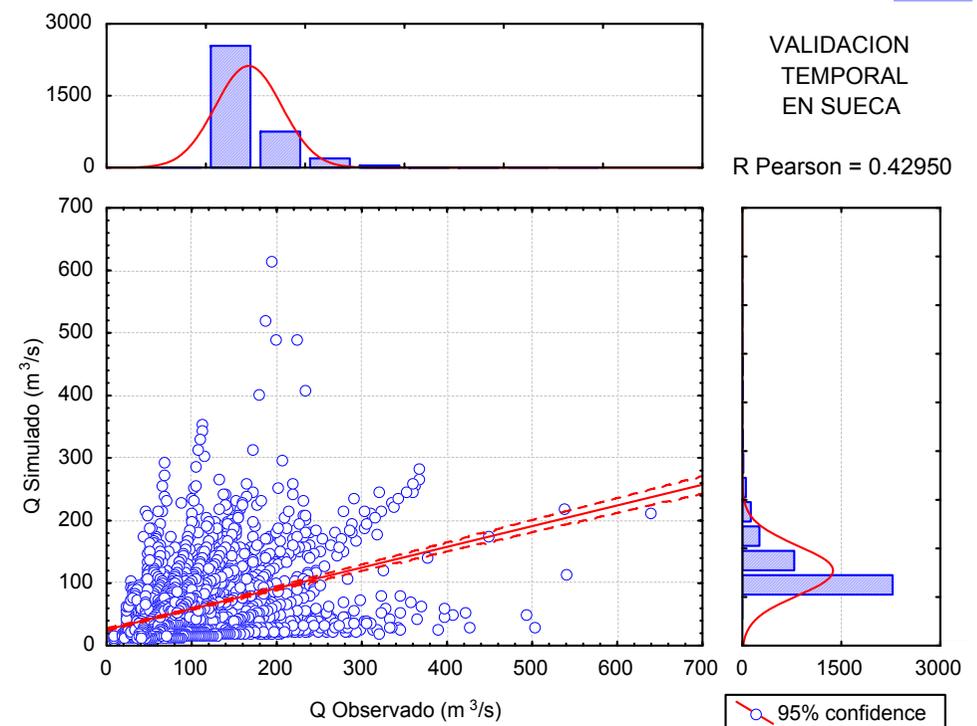
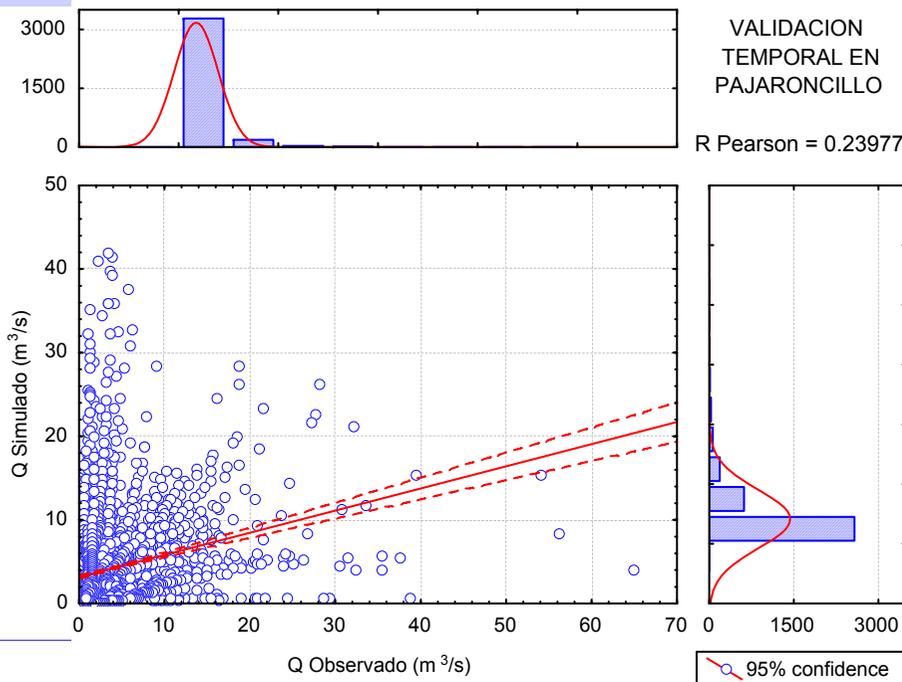
- 0.75542 para la calibración en Sueca
- 0.63574 para calibración en Pajaroncillo



### 3. Validación Temporal: 01 Marzo 2000 a 31 Octubre 2009

Principales Características:	Mar 00 - Oct 09 $\Delta t = 1$ día	Mar 00 - Oct 09 $\Delta t = 1$ mes
Caudal máximo observado (m <sup>3</sup> /s)	64.720	18.47
Caudal máximo simulado (m <sup>3</sup> /s)	41.950	22.96
Nro de datos	3511	116.00
Caudal medio observado	3.391	3.41
Volumen Observado (Hm <sup>3</sup> )	1028.725	1028.73
Volumen Simulado (Hm <sup>3</sup> )	1233.286	1233.29
Error en Volumen(%)	19.88	19.88
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>-0.714</b>	<b>-0.62</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE)	5.779	4.38

Principales Características:	Mar 00 - Oct 09 $\Delta t = 1$ día	Mar 00 - Oct 09 $\Delta t = 1$ mes
Caudal máximo observado (m <sup>3</sup> /s)	639.345	260.61
Caudal máximo simulado (m <sup>3</sup> /s)	616.055	250.73
Nro de datos	3532	116
Caudal medio observado	84.675	84.81
Volumen Observado (Hm <sup>3</sup> )	25839.868	25839.87
Volumen Simulado (Hm <sup>3</sup> )	16367.897	16367.90
Error en Volumen(%)	-36.656	-36.66
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>-0.150</b>	<b>-0.26</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE)	71.236	62.71



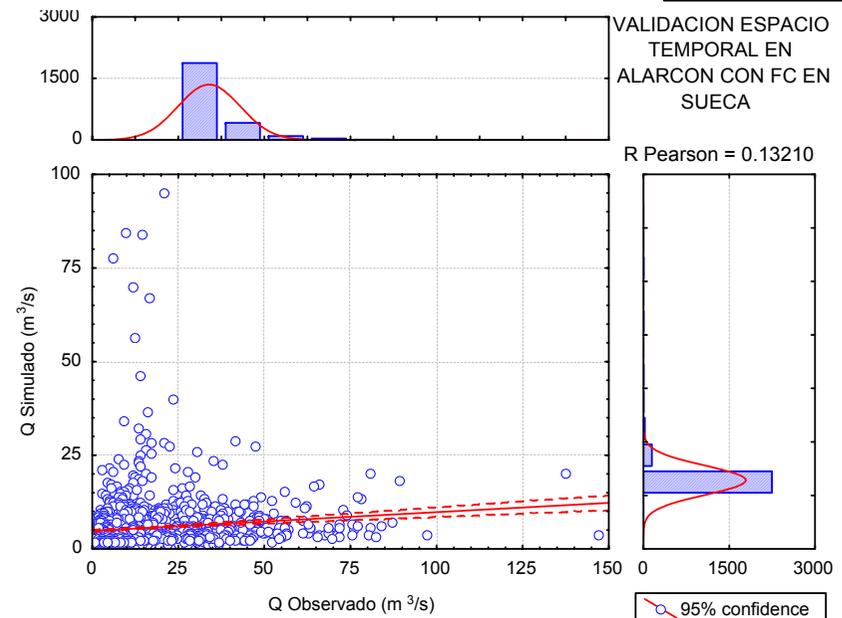
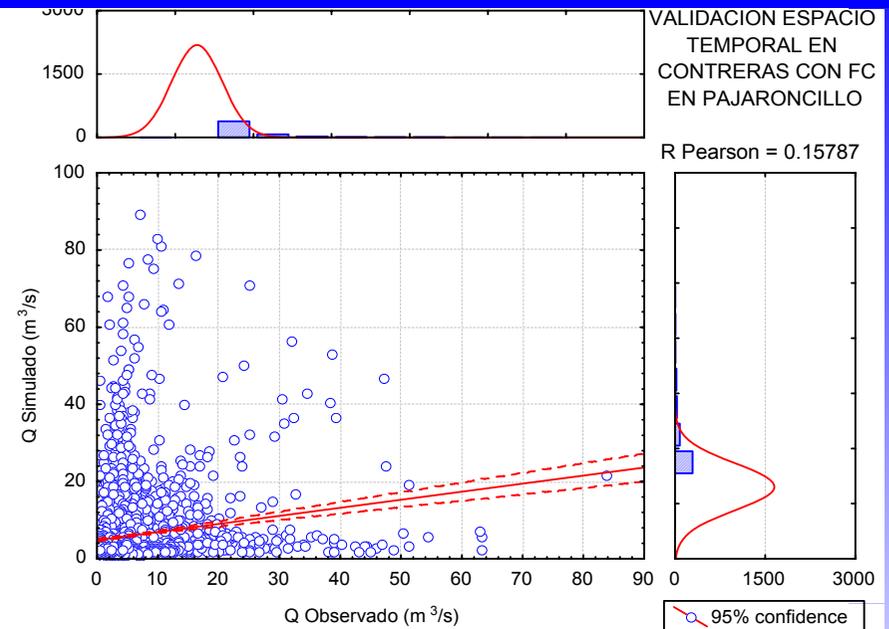
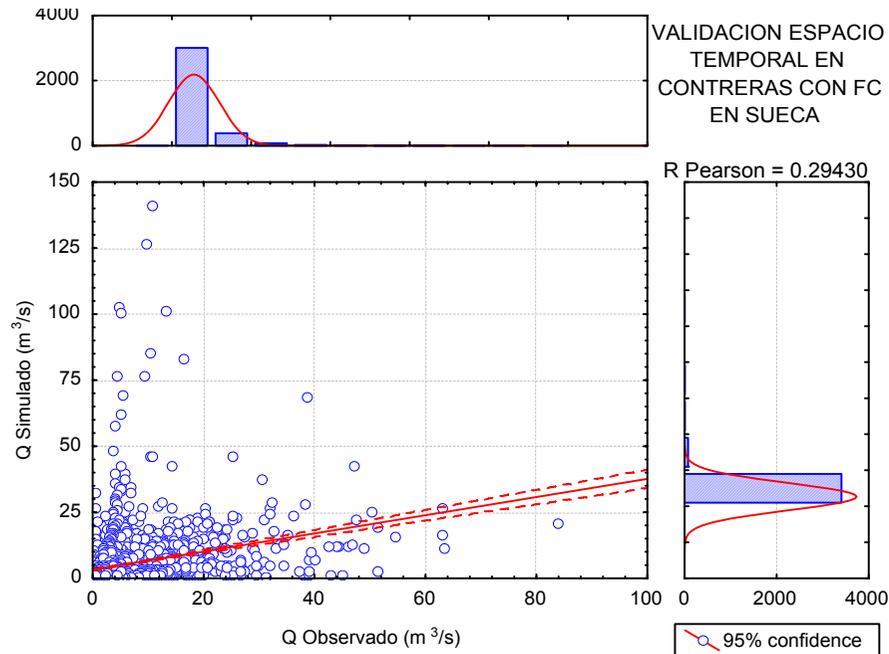
#### 4. Validación Espacio-Temporal:

Principales Características:	Validación Espacio-Temporal en Contreras			
	FC Calibrados en Pajaroncillo		FC Calibrados en Sueca	
	Mar 00 - Oct 09 $\Delta t = 1$ día	Mar 00 - Oct 09 $\Delta t = 1$ mes	Mar 00 - Oct 09 $\Delta t = 1$ día	Mar 00 - Oct 09 $\Delta t = 1$ mes
Caudal máximo observado (m3/s)	83.72	26.67	83.72	26.67
Caudal máximo simulado (m3/s)	89.59	43.22	141.22	44.67
Nro de datos	3505	116	3505	116
Caudal medio observado	5.45	5.44	5.45	5.44
Volumen Observado (Hm3)	1648.95	1648.95	1648.95	1648.23
Volumen Simulado (Hm3)	1813.94	1813.94	1545.98	1545.45
Error en Volumen(%)	10.01	10.01	-6.24	-6.24
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>-1.34</b>	<b>-1.33</b>	<b>-0.68</b>	<b>-0.55</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m3/s)	9.78	7.33	8.30	5.97

Principales Características:	Validación Espacio-Temporal en Alarcón	
	FC Calibrados en Sueca	
	Feb 02 - Oct 09 $\Delta t = 1$ día	Feb 02 - Oct 09 $\Delta t = 1$ mes
Caudal máximo observado (m3/s)	147.07	52.22
Caudal máximo simulado (m3/s)	95.19	31.76
Nro de datos	2433	88
Caudal medio observado	14.10	14.08
Volumen Observado (Hm3)	2963.08	2963.08
Volumen Simulado (Hm3)	1162.06	1162.06
Error en Volumen(%)	-60.78	-60.78
Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)	<b>-0.40</b>	<b>-0.69</b>
Error Cuadrático Medio (RMSE) (m3/s)	16.99	13.61

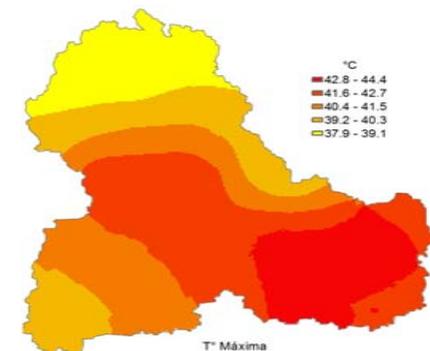
## Correlación de Pearson (r):

La correlación lineal de Pearson entre caudales observados y caudales simulados:



# Conclusiones

- ❑ La lluvia en el Júcar, es un proceso complejo que tiene asociado un grado de incertidumbre debido a diferentes fuentes de error; se caracteriza por su enorme variabilidad temporal y espacial. En verano lluvias intensas de corta duración, con picos aislados de valor muy alto, originadas por SCM típicos del Mediterráneo; en invierno valores altos en zona montañosa. En el caso de lluvia de satélite, en invierno, valores mas bajos, debido a que las lluvias se concentran mas en zona montañosa y este efecto no está siendo representado bien por los satélites (montañas emiten radiación muy variable).
- ❑ A nivel anual, correlación Pearson negativa (-0,24); a nivel mensual baja correlación (0.64-verano, 0.44-invierno); a nivel diario mejor correlación (0.70-verano, 0.60-invierno) entre lluvia local y satélite.
- ❑ En general, valores más bajos con lluvia satélite, que se ve influenciado por la cantidad de días sin lluvia sobre todo en verano, debido a:
  - ✓ Presencia de Lluvia cálida en el litoral: lluvias de nubes que no llegan lo suficientemente alto en la atmósfera, no son cuantificadas por el satélite como nubes frías y por lo tanto no se registra presencia de lluvia  
 => Mas valores ceros en verano. Y por lo tanto mayor probabilidad (0.80 a 0.84) de “acierto de no lluvia”.
- ❑ No existe desfases (atraso ó adelanto) de la lluvia satélite.
- ❑ La relación asumida por PERSIANN entre la T en el tope de nube y la intensidad de lluvia, no son las adecuadas para esta región mediterránea que se caracteriza por lluvias producidas por SCM.



## Conclusiones

- ❑ Buena correlación entre lluvia AEMET y SAIH (0.86, 0.79, 0.78) lo que permite inferir que es razonable combinar las dos fuentes de lluvia local en la modelación hidrológica con TETIS, ya que la muestra generada es razonablemente similar.
- ❑ La calibración y validación con lluvia local diaria en el modelo TETIS, obtuvo óptimos resultados, con índices de Nash-Sutcliffe de 0.874 (calibración), 0.81 (validación temporal) y 0.62-0.75 (validación espacio-temporal).
- ❑ La calibración y validación con lluvia global diaria de satélite, no generó resultados satisfactorios; siendo el mejor rendimiento en la calibración con valores de 0.384, -8.16, 4.64 (Pajaroncillo) y 0.499, -14.01, 40.59 (Sueca) del índice de Nash-Sutcliffe, % error en el volumen y RMSE ( $m^3/s$ ).
- ❑ En la correlación de Pearson, entre caudal observado y simulado con lluvia de satélite, se obtuvieron valores aceptables en calibración: 0.6357 (Pajaroncillo) y 0.7554 (Sueca). En cambio, baja correlación en validación temporal ( $< 0.4295$ ); y muy baja correlación en validación espacio-temporal ( $< 0.2943$ ). Estos resultados corroboran lo obtenido en la caracterización de la lluvia, siendo que el error de la lluvia se ha trasladado al caudal generado en el modelo.

Los pluviómetros y estimaciones de satélite tienen errores de diferente naturaleza; Los pluviómetros tienden a ser más preciso en un punto pero su significado espacial decae con la distancia. En cambio estimaciones por satélite ofrecen una mejor representación espacial aunque sesgado. Esta diferente naturaleza de errores ha sido estudiado y analizado por Ezio Todini de la Universidad de Bologña-Italia, para combinar la información mediante una técnica bayesiana basada en el uso del block kriging y filtro de Kalman.

Por ello, en el marco de la Tesis Doctoral, se prevé **el uso de datos de satélite combinados con los mejores datos disponibles**, independientemente de la fuente. **Con el avance de la ciencia llegarán nuevos sensores de satélite y tecnologías que mejorarán la detección y su utilidad en la modelación hidrológica.**

## Aportes del trabajo

- Se propone un procedimiento para caracterizar la lluvia distribuida y agregada en la cuenca.
- Se evalúa la lluvia estimada por PERSIANN en la Cuenca del Júcar.
- Se propone un procedimiento para ingresar el grid de la lluvia PERSIANN al modelo TETIS.
- Se propone un procedimiento de calibración preciso, flexible y rápido.
- Se evalúa la propagación del error de la lluvia estimada por PERSIANN a la escorrentía, a través del modelo lluvia-escorrentía TETIS
- Se recomienda uso del SAIHWin para coleccionar información disponible cincominutal desde 1989 y disponible diaria desde 1957.



## Líneas de investigación futuras

Se recomienda en el futuro las posibles líneas de investigación siguientes:

- Combinación de pluviómetros con estimaciones de satélite y su utilidad en la modelación hidrológica
- Combinación de pluviómetros, estimaciones de satélite y radar, y su utilidad en la modelación hidrológica
- Mejora del modelo TETIS con herramientas que permitan diferentes técnicas de interpolación de las variables hidrometeorológicas.
- Aplicación del modelo TETIS en cuencas de la cordillera de los andes y cuencas del amazonas, en que la escasa información de pluviómetros puede ser compensada con información de satélite y/o radar.

## Producción Científica

- En el marco del presente trabajo se han producido dos ponencias en eventos internacionales:
  - ✓ Seminario Internacional “Medio Ambiente y Recursos Hídricos”, UNALM (Perú), Agosto 2010 – Presentación oral
  - ✓ Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este (Uruguay), Noviembre 2010 – Presentación Oral
  
- ... y un artículo para revista científica, actualmente en fase de redacción

### Agradecimientos

El presente trabajo hace parte de:

El Proyecto Consolider-Ingenio “SCARCE” para el Ministerio español de Ciencia e Innovación



El proyecto del Plan Nacional de I+D, referencia: 2010-CSD2009-00065

**!!! Gracias por la atención !!!**